ISSN: 2614 – 7211

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

#1 Peta Data Nusantara

55th Satu Peta Satu Data Satu Nusantara

SNG 2024

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL GEOMATIKA VII 2024

"INFORMASI GEOSPASIAL UNTUK IBU KOTA NUSANTARA"

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL
2024


SNG
2024

HALAMAN KATALOG DALAM TERBITAN

PROSIDING

Seminar Nasional Geomatika VII Tahun 2024
TEMA "INFORMASI GEOSPASIAL UNTUK IBU KOTA NUSANTARA"

Penyunting:
Ellen Suryanegara, Intan Pujawati, Tia Rizka Nuzula Rachma, Kesturi Haryunani Pendari, Luciana Retno Prastiwi, Nadya Oktaviani, Fahrul Hidayat, Maslahatun Nashiha, Prayudha Hartanto, Aninda Wisaksanti Rudiastuti, Munawaroh, Nugroho Purwono, Agung Syetiawan

Hak Cipta ©2024 pada Badan Informasi Geospasial
Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit.
All right reserved.

Tata Letak & Desain Sampul: Raditya Pradhana
Diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta - Bogor KM. 46
Cibinong – Jawa Barat 16911
www.big.go.id

Badan Informasi Geospasial RI. Data Katalog dalam Terbitan (KDT)

Suryanegara, Ellen (Editor).
Prosiding Seminar Nasional Geomatika 2024: Informasi Geospasial untuk Ibu Kota Nusantara / Ellen Suryanegara *et al.* (Editor). – Cibinong: Badan Informasi Geospasial RI, 2024.
xx, 800 hlm.: ilus.; 21x29,7 cm.

ISSN 2614-7211

1. Informasi Geospasial – Seminar Nasional Geomatika. I. Judul. II. Badan Informasi Geospasial

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL
Jl. Raya Jakarta - Bogor KM. 46 Cibinong 16911, INDONESIA
Telp. 021-875-3155
Fax. 021-8790-8988/875-3155
Website: www.big.go.id
Email: info@big.go.id

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL GEOMATIKA VII 2024
"INFORMASI GEOSPASIAL UNTUK IBU KOTA NUSANTARA"

Reviewer:

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
Prof. Dr. Dewayany Sutrisno, M.App.Sc.
Prof. Dr. Atriyon Julzarika, M.Eng.
Dr. Ir. Sri Lestari Munajati, M.Agr.
Dr. Susilo, S.T.
Dr. Ir. Mulyanto Darmawan, M.Sc.
Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi., M.Sc.
Dr. Ir. Wiwin Ambarwulan, MSc.
Dr. Ati Rahadiati, S.Si., M.Sc.
Dr. Yosef Prihanto, S.Si., M.Si.
Dr. Turmudi, M.Si.
Dr. Elyta Widyaningrum, S.T., M.Sc.
Dr. Lalitya Narieswari, S.Si., M.Sc.

ISSN 2614-7211 | Pusat Nasional ISSN Indonesia,
Direktorat Repositori Multimedia dan Penerbitan Ilmiah (RMPI) BRIN

Prosiding Seminar Nasional Geomatika 2024
Cibinong: Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
http://semnasgeomatika.big.go.id/
www.big.go.id

LAPORAN
KETUA PANITIA PELAKSANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyelenggaraan Seminar Nasional Geomatika 2024 dapat terlaksana dengan lancar dan sukses. Dengan segala upaya dan dukungan dari berbagai pihak, Prosiding Seminar Nasional Geomatika 2024 dapat diselesaikan dengan baik. Proses penyusunan prosiding ini merupakan rangkaian akhir dari kegiatan ilmiah yang sangat berarti bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang geospasial di Indonesia.

Tema besar yang diangkat dalam seminar ini, yaitu "Informasi Geospasial untuk Ibu Kota Nusantara". Kegiatan ini telah berhasil menghimpun para pakar, akademisi, praktisi, dan mahasiswa untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman dalam pengembangan dan pemanfaatan teknologi geospasial terutama dalam mendukung perencanaan pembangunan dan pengembangan Ibu Kota Nusantara.

Prosiding ini memuat 75 naskah ilmiah terbaik, diambil dari 149 abstrak yang telah melalui proses seleksi yang ketat oleh tim *reviewer*. Naskah ilmiah tersebut disusun dalam enam subtema yang relevan dengan isu-isu terkini dalam bidang geospasial terkait pembangunan Ibu Kota Nusantara, antara lain:

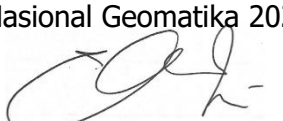
1. Pemetaan Skala Besar (*Large Scale Mapping*);
2. Ekologi Lanskap (*Landscape Ecology*);
3. Kota Pintar (*Smart City*), Perencanaan Kota (*Urban Planning*), dan Ketahanan Kota (*City Resilience*);
4. Pemetaan Kebencanaan dan Perubahan Iklim (*Disaster and Climate Change Mapping*);
5. Pengelolaan Pangan, Air, dan Energi untuk Pembangunan Berkelanjutan (*Food, Water, and Energy Management for Sustainable Development*); dan
6. Pemetaan Karbon Biru (*Blue Carbon Mapping*).

Kami berharap prosiding ini dapat menjadi rujukan yang berharga bagi para peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan dalam pengembangan dan penerapan teknologi geospasial di Indonesia. Selain itu, kami juga berharap prosiding ini dapat menginspirasi lahirnya inovasi-inovasi baru yang dapat memberikan kontribusi nyata bagi pembangunan bangsa.

Keberhasilan penyelenggaraan seminar ini tidak lepas dari dukungan dan kerja sama yang baik dari berbagai pihak, terutama para panitia pelaksana yang merupakan gabungan dari berbagai unit kerja di Badan Informasi Geospasial (BIG) serta dukungan dari para peneliti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah bekerja keras dan penuh dedikasi dalam mempersiapkan dan melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan seminar. Kepada tim *reviewer* yang telah memberikan masukan dan penilaian yang sangat berharga terhadap seluruh naskah ilmiah yang masuk. Kepada tim editor yang telah bekerja keras menyusun dan menyunting seluruh naskah menjadi sebuah prosiding yang berkualitas. Para pembicara yang telah berbagi ilmu dan pengalamannya yang sangat bermanfaat, serta para peserta yang telah aktif berpartisipasi dalam seminar ini.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelenggaraan Seminar Nasional Geomatika VII tahun 2024. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas segala usaha kita.

Bogor, 2 Desember 2024
Ketua Panitia Pelaksana
Seminar Nasional Geomatika 2024



Ellen Suryanegara, S.Sos., M.Si.

KATA PENGANTAR
Plt. KEPALA BIRO HUKUM, HUBUNGAN MASYARAKAT, DAN KERJA SAMA

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, kami sampaikan bahwa Prosiding Seminar Nasional Geomatika 2024 telah berhasil diselesaikan. Kegiatan ini merupakan manifestasi komitmen Badan Informasi Geospasial (BIG) dalam memfasilitasi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang informasi geospasial melalui karya tulis ilmiah.

Prosiding ini disusun berdasarkan pelaksanaan Seminar Nasional Geomatika 2024 yang telah diselenggarakan pada 7 Mei 2024 secara luring dan daring. Seminar Nasional Geomatika ini sendiri merupakan agenda tahunan BIG sebagai wadah komunikasi dan berkumpulnya para akademisi, surveyor pemetaan, peneliti, pemerhati, praktisi, dan pemangku kepentingan di bidang Informasi Geospasial dalam mempublikasikan hasil-hasil kajian ilmiahya. Sejak masih bernama Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal), telah diselenggarakan 16 kali seminar nasional. Sebanyak 10 kali seminar diselenggarakan dengan tajuk Forum Komunikasi Geospasial Nasional dan enam kali dilaksanakan dengan nama Seminar Nasional Geomatika. Pada tahun ke-tujuh (VII) ini, penyelenggaraan Seminar Nasional Geomatika tahun 2024 mengangkat tema "Informasi Geospasial untuk Ibu Kota Nusantara".

Tema yang diangkat pada seminar ini sejalan dengan isu strategis pembangunan nasional serta relevan dengan upaya pemerintah dalam membangun Ibu Kota Nusantara (IKN). Pembangunan IKN merupakan salah satu upaya konkrit pemerintah dalam memperbaiki tata kelola wilayah Ibu Kota untuk mewujudkan kota berkelanjutan dunia, menjadi simbol kemajuan bangsa dan negara, serta menjadi pusat pemerintahan, ekonomi, dan budaya yang baru.

Untuk mendukung pembangunan IKN, diperlukan inovasi dari berbagai bidang, salah satunya adalah dukungan Informasi Geospasial (IG). IG memegang peranan penting dalam mendukung berbagai keperluan dalam pembangunan wilayah, seperti perencanaan tata ruang, pengembangan infrastruktur, pengelolaan sumber daya alam, hingga mitigasi bencana. Prosiding ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi para akademisi, praktisi, dan pembuat kebijakan dalam upaya mewujudkan Ibu Kota Nusantara sebagai pusat pertumbuhan baru yang berkelanjutan dengan berbasis Informasi Geospasial.

Selaku Plt. Kepala Biro Hukum, Hubungan Masyarakat, dan Kerja Sama, saya menyambut baik terbitnya Prosiding Ilmiah Seminar Nasional Geomatika 2024 ini. Tentunya prosiding ini telah ditunggu-tunggu kehadirannya oleh para peserta Seminar Nasional Geomatika khususnya, maupun pemerhati bidang geospasial pada umumnya. Kami berharap prosiding ini dapat menjadi sumber inspirasi dan referensi bagi para peneliti, mahasiswa, dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan solusi inovatif berbasis informasi geospasial.

Terima kasih disampaikan kepada Panitia Seminar Nasional Geomatika 2024, para reviewer, editor, speaker, dan para penulis yang telah berbagi pengetahuan dan melakukan perbaikan terhadap makalah, sehingga menghasilkan makalah terbaik untuk dipublikasikan melalui prosiding ini. Semoga kegiatan ini dapat memberikan manfaat yang lebih luas bagi masyarakat dan dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan bangsa.

Bogor, 5 Desember 2024
Plt. Kepala Biro Hukum, Hubungan Masyarakat, dan Kerja Sama



Mone Iye Cornelia Marschiavelli, S.Pi., M.Si., M.Sc.

DAFTAR ISI

HALAMAN KATALOG DALAM TERBITAN ii
LAPORAN KETUA PANITIA PELAKSANA iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi

Pemetaan Skala Besar
(*Large Scale Mapping*)

1. Pemetaan Potensi Ancaman Teorisme di Ibu Kota Nusantara (IKN) Menggunakan Algoritma *K-Means* 1
2. Survei dan Pembuatan Peta Toponimi Guna Menunjang Persiapan Ibu Kota Negara Mengunakan *ArcGIS* dan Aplikasi Sakti 13
3. Visualisasi Data Relief Bumi, Batas Lempeng Tektonik, Patahan Aktif, dan Kegempaan Terelokasi di Indonesia Periode 2009 Hingga 2021 Secara Dua Dimensi 23
4. Pengukuran Tinggi Pohon Berdasarkan Variasi Ketinggian Terbang *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) 31
5. Efektivitas Pemetaan Tutupan Lahan Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Berdasarkan Variasi *Overlap* 41
6. Pemetaan Tutupan Lahan dan Kemiringan Lereng di Pulau Mansinam Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) 53
7. Pemanfaatan Metode Mosaik Citra untuk Ekstraksi Data Kedalaman Menggunakan Metode *Satellite Derived Bathymetry* di Perairan Wakatobi, Sulawesi Tenggara 65
8. Perbandingan Hasil Penentuan Garis Pantai Surut Terendah Dari Hasil Ekstraksi DEM Menggunakan Citra Sentinel-2 dan Foto Udara Non Metrik di Perairan Pulau Buton, Sulawesi Tenggara 73
9. Pemetaan Area Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) 81
10. Efektivitas Penggunaan JOSM dalam *Updating* Peta RBI Skala Besar Memanfaatkan Citra Satelit Resolusi Tinggi 87
11. Road Analytics In Multiresolution Aerial Images 95

Ekologi Lanskap
(*Landscape Ecology*)

12. Identifikasi dan Verifikasi Zona Pemanfaatan Tradisional Desa Parang Taman Nasional Karimunjawa 109
13. Mengukur Dampak Perubahan Lanskap dan Korelasinya Terhadap Daerah Potensi Air di Kabupaten Penajam Paser Utara 119
14. Perubahan Konsentrasi Udara Akibat Deforestasi Area IKN 131
15. Upaya Perlindungan Ekosistem Gambut pada Wilayah Perencanaan RDTR Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar 145

Kota Pintar Perencanaan Kota, dan Ketahanan Kota
(*Smart City, Urban Planning, and City Resilience*)

16. Pembangunan Geoportal Menggunakan Geonode untuk Kabupaten Bogor 155
17. Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berbasis Citra SPOT-7 Berdasarkan Ketersediaan Oksigen Penduduk di Kecamatan Bogor Tengah Kota Bogor 167
18. Potensi Pengembangan Kawasan Berbasis *Sustainable Transit Oriented Development* (TOD) di Sektor Jalur KRL Yogyakarta – Solo 181
19. Klasifikasi Tipologi *Urban*, *Sub-Urban*, dan *Rural* Wilayah Perkotaan Menggunakan Algoritma *Unsupervised Machine Learning Clustering* 191
20. Pemetaan Harga Lahan Dengan Model Regresi untuk Mendukung Manajemen Penggunaan Lahan di Kawasan Perkotaan 205
21. Singkatan Nama Kota 215
22. Estimasi Stok Karbon Biomassa Hutan pada Pembangunan Kota Berkelanjutan 225
23. Urgensi Keterbukaan Data dan Informasi Geospasial Untuk Publik dalam Menciptakan Pembangunan Ibu Kota Nusantara Yang Berkualitas 237
24. Identifikasi Bentuk dan Distribusi Pusat Ruang Perkotaan 245

25. Analisis Kemampuan Lahan Berdasarkan Kajian Daya Dukung dan Daya Tampung untuk Rasio Optimalisasi Pengembangan Wilayah Ibu Kota Nusantara 257
26. Implementasi Konsep *Smart City* Kota Samarinda dalam Mendorong Pertumbuhan Ibu Kota Nusantara (IKN) 267
27. Analisis Kesesuaian Lahan Untuk Permukiman di Ibu Kota Nusantara Berbasis Sistem Informasi Geografis 275
28. Dampak Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) Terhadap Harga Tanah 283
29. Optimasi Penggunaan Lahan Berbasis Emisi Karbon dan Pertumbuhan Ekonomi 289
30. Pemetaan Tingkat Kebahagiaan di Perkotaan Dengan Metode *Gross National Happiness Index* (GNHI) di Kota Yogyakarta Tahun 2023 299
31. Pemetaan Konflik Kepemilikan Lahan di Kawasan Sempadan Danau Toba Menggunakan Data Satelit Landsat 315
32. Pemetaan Hubungan Tingkat Pendidikan Kepala Daerah Dengan Indeks Pembangunan Manusia Daerahnya 325

Pemetaan Kebencanaan dan Perubahan Iklim
(*Disaster & Climate Change Mapping*)

33. Identifikasi Ancaman Bencana Tsunami Menggunakan Parameter Elevasi dan Penggunaan Lahan 335
34. Analisis Pengaruh Kerapatan Vegetasi Terhadap Suhu Permukaan Tanah Menggunakan Landsat 7 dan 8 345
35. Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel-1a untuk Pengamatan Deformasi Pasca Gempa Menggunakan Metode DInSAR 355
36. Penyebaran Informasi Spasial Kebencanaan Sosial dalam Agenda Pengarusutamaan Pembangunan Berkelanjutan 365
37. Analisis Kerapatan Vegetasi dan Suhu Permukaan Berbasis Data Penginderaan Jauh 377
38. Pemanfaatan WebGIS untuk Visualisasi Data Kejadian Bencana 391
39. Analisis Risiko Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut Menggunakan Indikator Tinggi Muka Air 401
40. Optimasi Pengelolaan Banjir: Analisis Spasial Banjir Kala Ulang dengan Menggunakan Simulasi 2D Software Hec-Ras dan Penerapan Debit Rancangan 409
41. Analisis Pola Curah Hujan di Wilayah IKN Berbasis Luaran Model Cuaca Numerik INANWP 421
42. Analisis Kualitas Udara Terhadap Suhu Permukaan di Yogyakarta 433
43. Pemetaan Tingkat Kerawanan Bencana Kebakaran di Wilayah Calon Ibu Kota Baru Indonesia: IKN & KI Muara Jawa 441
44. Kajian Kerentanan Banjir Berbasis Spasial 451
45. Pemetaan Daerah Rawan Longsor dan Pemetaan Daerah Pengungsian pada Kawasan Ibu Kota Nusantara Menggunakan Metode Skoring dan *Overlay* 459
46. Kecenderungan Spasial Suhu Permukaan Daratan Berbasis Geostatistika Autokorelasi Spasial di Wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) 469
47. Analisis Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan di Ibu Kota Nusantara Menggunakan Integrasi Peta Multi-Parameter 479
48. Kajian Kerusakan Lingkungan Pasca Gempa Bumi di Desa Liang Kecamatan Salahutu Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku 493
49. Pemanfaatan GNSS *Interferometric Reflectometry* untuk Pemantauan Kenaikan Permukaan Air Laut Absolut di Wilayah Pesisir Barat Sumatera Utara 503
50. Analisis Dinamika Luas Gletser di Pegunungan Jayawijaya Menggunakan Metode Normalized Difference Snow Index (NDSI) pada Citra Satelit Landsat 515
51. Pengawasan Variasi Polusi Udara dan Sumbernya di Dki Jakarta dan Jawa Barat Menggunakan Satelit Sentinel-5P pada Tahun 2020-2023 523
52. Studi Kenaikan Muka Air Laut Secara Relatif dari Kombinasi Data Stasiun Pasang Surut, GPS dan Altimetri di Jakarta 535
53. Tinjauan Parameter dan Model Pendekatan pada Penentuan Jalur Evakuasi Tsunami Berdasarkan Karakteristik Wilayah 547
54. Mitigasi Bencana Banjir di Ibu Kota Nusantara (IKN) Berbasis WebGIS 561
55. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam Menganalisis Kemampuan *Food Estate* dalam Menghadapi Potensi Multi Bencana 569

Pengelolaan Pangan, Air, dan Energi untuk Pembangunan Berkelanjutan
(*Food, Water and Energy Management for Sustainable Development*)

56. Identifikasi Kesesuaian Lokasi Embung untuk Keperluan Pertanian 583

57. Dampak Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Daya Dukung Air di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung 593
58. Pemetaan Petak Lahan Sawah Menggunakan Sistem Informasi Geografis Partisipatif (SIGP) Berbasis Web Dengan Akses Layanan Api Google Maps 605
59. Optimasi Pengelolaan Air: Analisis Pola Spasial Potensi Air Tanah Terhadap Ketersediaan Lahan di Daerah Ibu Kota Nusantara (IKN) 615
60. The Potential of Using Different Polarization Combinations of Sentinel-1 for Detecting Mangroves 629
61. Analisis Kesesuaian Lokasi Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) untuk Mendukung Pengembangan Ibu Kota Nusantara yang Berkelanjutan 635
62. Pemetaan Kecamatan Potensial Komoditas Jahe di Kabupaten Bandung Menggunakan *Pendekatan Location Quotient* dan *Shift Share Analysis* 645
63. Geostatistik Hidrologi: Analisis Skala Sub-Das Debit Banjir Rencana Berbasis Data Meteorologi dan Geospasial 653
64. Community Efforts to Improve Sustainable Food Security in Urban Areas 663
65. Pemetaan Wilayah Potensial Perikanan di Perairan Laut IKN Guna Mendukung Terwujudnya Keamanan Maritim 675
66. AHP-GIS Model-Based Analysis for Wind Power Plant Site Suitability Assessment in Ibu Kota Nusantara, Indonesia 685
67. Strategi Pengelolaan Pangan Berkelanjutan Provinsi Kalimantan Timur untuk Mendukung Ketahanan Pangan Ibu Kota Nusantara 697
68. Penilaian Dinamika Kualitas Air Laut Secara Spasial dan Vertikal 707
69. Analisis Potensi Listrik Biobriket dari Tanaman Pesisir Berbasis Penginderaan Jauh 717

Pemetaan Karbon Biru
(*Blue Carbon Mapping*)

70. Pemetaan Stok Karbon Mangrove dan Tingkat Penyerapannya dengan Google Earth Engine (GEE) di Muara Sungai Cimanuk Kabupaten Indramayu 727
71. Pemetaan Prediksi Perubahan Kondisi Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2 dan Indeks Vegetasi Turunan pada Kawasan Teluk Balikpapan 737
72. Analisis Estimasi Kandungan Biomassa dan *Carbon Storage* pada Ekosistem Mangrove Ibu Kota Nusantara Menggunakan Citra Landsat 8 747
73. Analisis Distribusi Spasial dan Kerapatan Ekosistem Karbon Biru Menggunakan Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 757
74. Prediksi Distribusi Karbon Biru pada Padang Lamun Pulau Satonda Menggunakan Citra Sentinel-2: Perbandingan Model Regresi Linear dan Klasifikasi *Random Forest* 765
75. Seagrass Mapping Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) using Obia (*Object Based Image Analysis*) Method at Barrang Lompo Island 773

SNG 2024

SUBTEMA 1:
Pemetaan Skala Besar
(*Large Scale Mapping*)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMETAAN POTENSI ANCAMAN TEORISME DI IBU KOTA NUSANTARA (IKN) MENGGUNAKAN ALGORITMA *K-MEANS*

(Mapping The Potential Threat of Theorizing in The New National Capital City (IKN) Based On K-Means Algorithm)

Mahmud Badarudin, Asep Adang Supriyadi, Syachrul Arief, Yosef Prihanto
Universitas Pertahanan Republik Indonesia

Desa Cibatok 2, Kec. Cibungbulang, Kab. Bogor, Indonesia
E-mail: mahmud.badarudin@tp.idu.ac.id

ABSTRAK

Pemindahan Ibu Kota Negara dari Jakarta ke Nusantara di Kabupaten Penajam Paser Utara, dan Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur memunculkan kekhawatiran akan adanya potensi ancaman di beberapa sektor. Misalnya pada kondisi lingkungan/hutan, ekonomi masyarakat, hingga ancaman terorisme. Hal ini dikarenakan Ibu Kota Nusantara (IKN) masih dalam tahap pengembangan hingga puluhan tahun ke depan yang menyebabkan pertahanan dan keamanan masih rapuh. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kota/kabupaten di Indonesia yang memiliki potensi ancaman terorisme yang tinggi terhadap IKN. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggunaan algortima *K-Means* dengan beberapa parameter yang diukur. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarak ke Nusantara, penutup lahan, dan sumber akomodasi. Proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan *Google Maps* dan *Google Earth Engine* (GEE). Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Pada iterasi pertama, didapatkan hasil bahwa pada klaster pertama yaitu Makassar, Denpasar, Yogyakarta, Semarang, Palopo, Poso, Surabaya, dan Bandung. Klaster dua terpilih dua kota atau kabupaten yaitu Jakarta Pusat dan Pekanbaru. Setelah dilakukan iterasi kedua, didapatkan bahwa pada klaster pertama, jarak ke *centroid* pertama adalaH $1.12 \leq d(X^i, c_1) \leq 3.50$. Pada klaster kedua, jarak terdekat ke *centroid* kedua adalah $d(X^i, c_2) = 2.29$. Berdasarkan kedua iterasi tersebut dapat disimpulkan bahwa kota/kabupaten yang terpilih memiliki potensi ancaman terorisme yang sama. di mana potensi terbesar didapatkan pada klaster pertama yang memiliki wilayah yang lebih terpusat dibandingkan klaster kedua.

Kata kunci: *Google Earth Engine*, IKN, *K-Means,* pemindahan ibu kota, terorisme

ABSTRACT

The relocation of The New National Capital City (IKN) from Jakarta to the Nusantara in Penajam Paser Utara, East Kalimantan raises concerns about potential threats in several sectors. For example, in environmental/forest conditions, the community's economy, to the threat of terrorism. This is because IKN will be in the development stage for decades to come, which will cause fragile defense and security. This research aims to map cities/districts in Indonesia that have a high potential threat of terrorism to the new capital city (IKN) of the archipelago. The method used in this research is using the K-Means algorithm with several parameters measured. The parameters used in this research are distance to the Nusantara, land cover, and accommodation sources. The data was collected using Google Maps and Google Earth Engine (GEE). The data obtained is then processed using Microsoft Excel. In the first iteration, it was found that in the first cluster namely Makassar, Denpasar, Yogyakarta, Semarang, Palopo, Poso, Surabaya, and Bandung. The second cluster selected two cities or districts, namely Central Jakarta and Pekanbaru. After the second iteration, it's found that in the first cluster, the distance to the first centroid is $1.12 \leq \mathrm{d}(X^{\mathrm{i}}, c_1) \leq 3.50$*. In the second cluster, the closest distance to the second centroid is* $\mathrm{d}(X^{\mathrm{i}}, c_2) = 2.29$*. From these two iterations, it can be concluded that the selected cities/districts have the same potential for terrorism threats. Where the most significant potential is obtained in the first cluster which has more centralized areas than the second cluster.*

Keyword: *Google Earth Engine, IKN, K-Means, capital relocation, terrorism*

PENDAHULUAN

Pemindahan Ibu Kota Nusantara (IKN) dari DKI Jakarta ke wilayah Nusantara merupakan langkah awal pemerintah pusat dalam melakukan pemerataan pertumbuhan. Ibu kota yang semula berada di Jakarta sebagai pusat perekonomian nasional, pindah ke Penajam Paser Utara, Kota Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur (Ariyaningsih & Shaw, 2022; Hackbarth & de Vries, 2021). Pemindahan ibu kota negara telah dibahas sejak tahun 2019 (Sutoyo & Almaarif, 2020), namun pembangunannya baru dimulai pada tahun 2022. Pembangunan di wilayah Nusantara direncanakan selesai sebelum tahun 2045. Pemindahan ibu kota negara menyebabkan beberapa aspek yang harus dipertimbangkan, termasuk faktor lingkungan (Koldobskaya, 2022), pertahanan dan keamanan.

Ancaman yang mungkin terjadi saat pemindahan ibu kota negara ke Nusantara, seperti masalah spionase atau mata-mata, potensi serangan militer dari negara lain, hingga terorisme. Masalah yang akan dibahas adalah masalah potensi ancaman terorisme di ibu kota negara yang baru di Penajam Paser Utara. Sebagai ibu kota negara yang baru, pertahanan dan keamanan harus diperhatikan, terutama daerah-daerah yang memiliki potensi ancaman terorisme. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan mengenai daerah-daerah yang memiliki potensi ancaman terorisme yang tinggi, terutama daerah yang berdekatan dengan ibu kota baru di Penajam Paser Utara.

Telah banyak penelitian mengenai potensi ancaman terorisme. Indonesia sendiri memiliki beberapa wilayah dengan potensi ancaman terorisme yang tinggi seperti Sulawesi tengah (Syachrul Arief, 2022), Makassar, Yogyakarta, Surabaya dan Jakarta, Bandung, Solo. Kegiatan terorisme ini kebanyakan dilakukan oleh orang-orang tertentu yang membawa nama agama tertentu bahkan dengan cara bermigrasi (Helbling & Meierrieks, 2022). Padahal daerah-daerah tersebut sangat dekat dengan posisi Penajam Paser, sebagai lokasi Ibu Kota Nusantara (IKN) baru, yaitu Nusantara yang tentunya memiliki potensi ancaman terorisme. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daerah-daerah yang memiliki potensi ancaman terorisme yang tinggi di sekitar Ibu Kota Nusantara (IKN) baru dan mengidentifikasi jenis-jenis ancaman yang mungkin terjadi.

Kondisi ini menyebabkan perlunya pemetaan wilayah yang memiliki potensi ancaman terorisme yang tinggi, khususnya wilayah yang berdekatan dengan Ibu Kota Nusantara (IKN) baru di Penajam Paser Utara. Namun yang menjadi pertanyaan adalah bagaimana memetakan wilayah yang memiliki potensi ancaman terorisme yang tinggi di sekitar IKN . Oleh karena itu, dalam penelitian ini, wilayah yang menjadi fokus adalah lokasi di sekitar Penajam Paser Utara yang merupakan lokasi IKN . Sehingga diharapkan potensi ancaman terorisme dapat dihindari, khususnya dengan menggunakan algoritma *K-Means* ini.

METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diambil dari Google Earth Engine (GEE) dan Google *Maps* (GMaps). GEE dan GMaps memuat lokasi dan persebaran yang dapat menjadi kekuatan dari penelitian ini tanpa harus melakukan observasi langsung yang kemudian akan dianalisis menggunakan algoritma *K-Means* (Amani *et al.*, 2020; Moradi Fard *et al.*, 2020; Sinaga & Yang, 2020). Penggunaan algoritma *K-Means* memiliki manfaat untuk membagi data yang diperoleh menjadi beberapa *cluster*.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di daerah sekitar ibu kota negara di Kabupaten Penajam Paser Utara, dan Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. **Gambar 1** menjelaskan wilayah yang memiliki potensi ancaman terorisme di sekitar IKN di Penajam Paser, khususnya kota-kota besar yang memiliki jarak kurang dari 1500 km. Pemilihan wilayah tersebut dikarenakan adanya kegiatan terorisme yang menggemparkan Indonesia sehingga menimbulkan potensi ancaman terorisme di wilayah tersebut. Berikut ini adalah peta kemungkinan potensi ancaman terorisme dari daerah tersebut.



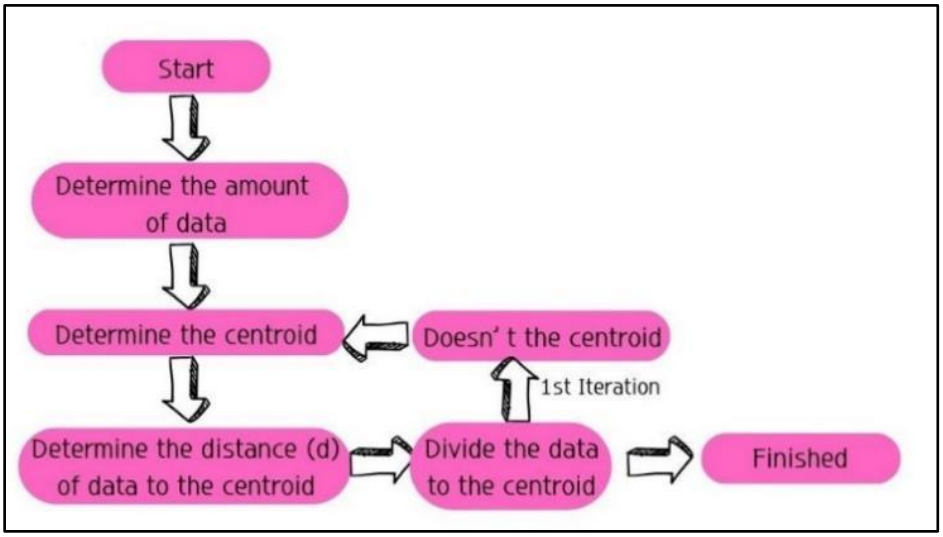
Sumber: https://www.google.com/maps

Gambar 1. Peta Daerah yang memiliki potensi ancaman terorisme.

IKN merupakan sebuah wilayah yang terletak di Kabupaten Penajam Paser Utara, dan Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi yang akan diteliti adalah daerah-daerah di sekitar Penajam Paser Utara yang memiliki catatan terorisme. Kota-kota tersebut antara lain Makassar, Bali, Yogyakarta, Semarang, Kendari, Poso, Surabaya, Jakarta pusat, Bandung, dan Pekanbaru. Dari beberapa kota tersebut, terdengar bahwa kegiatan terorisme sering terjadi, terutama dalam dua dekade terakhir. Oleh karena itu, terdapat kemungkinan potensi ancaman terorisme yang tinggi di IKN .

Algoritma *K-Means*

Penggunaan algoritma *K-Means* memiliki beberapa tahapan yang harus dilakukan. Tahapan tersebut dibagi menjadi beberapa bagian yaitu menentukan jumlah klaster, menempatkan data berdasarkan prinsip jarak minimum, menentukan pusat *cluster*/center, melakukan kembali dua proses sebelumnya (Ahmed *et al.*, 2020; Raeisi & Sesay, 2022; Ren *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2018). Seperti yang digambarkan pada bagan berikut ini.



Sumber: Raeisi & Sesay (2022)

Gambar 2. Langkah-langkah dalam penggunaan algoritma *K-Means.*

Penentuan jumlah klaster pada algoritma ini dilakukan dengan menggunakan teknik *sum of square error* (SSE). Nilai kesalahan yang didapat kemudian menjadi batas untuk menentukan jumlah klaster yang akan digunakan dalam algoritma *K-Means*. Kemudian dari hasil tersebut

ditentukan jarak antar klaster dengan menggunakan jarak Euclid (Dias *et al.*, 2020; Ding *et al.*, 2017). Rumus jarak Euclid ini juga dikenal dengan istilah SSE (Ahenkorah *et al.*, 2023).

$$d^2 = |x - y|^2 = \sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2 \quad \text{..... (1)}$$

Didapatkan,

$$d = |x - y|^2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2} \quad \text{..... (2)}$$

di mana:
d = jarak Euclid
x_i = nilai pusat klaster
y_i = nilai data kabupaten/kota yang diteliti setelah di konversi

Selanjutnya dalam menentukan klaster mana yang akan dimasuki, dilihat dari jarak minimum dari data ke pusat klaster (Okabe & Yamada, 2018; Yu *et al.*, 2018). Dimana dirumuskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$d(n) = \min[d(x^i, c_1); d(x^i, c_2); \dots; d(x^i, c_n)] \quad \text{..... (3)}$$

di mana:
$d(n)$ = jarak terdekat dengan klaster-n
$d(x^i, c_n)$ = Jarak data i ke klaster-n.

Setelah data ditentukan untuk masuk ke dalam klaster yang ada, terdapat data yang belum masuk ke dalam klaster manapun. Sehingga data yang tidak masuk ke dalam klaster manapun dapat diulang dari proses dua dan seterusnya (Shrifan *et al.*, 2022). Pada penelitian ini, karena ada tiga parameter yang digunakan, maka jumlah data yang diteliti menyesuaikan dengan jumlah parameter.

Data yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan pembobotan dengan kombinasi linier. Dimana pada tahap sebelumnya data telah diperoleh dengan menggunakan perhitungan dari setiap parameter yang diuji terkait ancaman terorisme di IKN . Selanjutnya data tersebut dihitung dengan interval 1-5, yang kemudian akan dijumlahkan sehingga menjadi skor total.

Pada penelitian yang dibuat, parameter yang digunakan adalah jarak ke kota besar, penutup lahan, dan sumber akomodasi. Jarak terhadap kota besar yang pernah terjadi kegiatan terorisme tentunya menjadi parameter yang harus ditentukan (Perliger & Palmieri, 2022). Hal ini disebabkan oleh kota-kota besar yang pernah terjadi kegiatan terorisme memiliki potensi yang lebih besar dibandingkan dengan kota lainnya (Golose, 2022; Nussio *et al.*, 2019). Variasi jarak pada parameter ini dibagi menjadi beberapa interval jarak, mulai dari 100 km hingga 2000 km dari lokasi IKN (lihat **tabel 1**).

Tabel 1. Nilai parameter jarak ke IKN.

Jarak ke IKN	Nilai
100 km – 500 km	5
501 km – 1000 km	4
1001 km – 1500 km	3
1501 km – 2000 km	1

Parameter berikutnya adalah penutup lahan. Penutup lahan sangat berkaitan dengan penginderaan jauh menggunakan google image. Penutup lahan yang dimaksud adalah hutan, sabana, dan lahan kosong yang terbuka. Penutup lahan menjadi parameter karena memiliki potensi terjadinya kegiatan terorisme (Adelaja & George, 2019). Semakin banyak aktivitas, maka semakin besar pula peluang ancaman terorisme yang mungkin terjadi.

Pada parameter penutup lahan ini, yang dilihat adalah banyaknya aktivitas masyarakat di lokasi tempat yang diteliti. Hal ini diketahui dengan menggunakan GEE (Liang *et al.*, 2020; Peter *et al.*, 2022) dengan menggunakan satelit Landsat 8 sentinel 2 Raw Scenes (Ermida *et al.*, 2020; Nasiri *et al.*, 2022). Penggunaan satelit Landsat 8 memiliki kegunaan untuk mengetahui bentuk vegetasi termasuk penutup lahan dan penggunaan lahan (Hermosilla *et al.*, 2022; Potapov *et al.*, 2020; Tassi *et al.*, 2021). Data yang digunakan adalah data citra satelit pada selang waktu Januari

hingga November 2023. Selanjutnya data citra yang diperoleh pada Landsat 8 GEE akan dikonversi berdasarkan tabel di bawah ini (lihat **Tabel 2.**).

Tabel 2. Nilai parameter penutup lahan.

Aktivitas Komunitas	Nilai
Banyaknya aktivitas komunitas	1
Aktivitas komunitas yang jarang terjadi	5

Parameter terakhir adalah sumber akomodasi. Sumber akomodasi adalah sesuatu yang berhubungan dengan kegiatan ekonomi (Bardwell & Iqbal, 2021; Polyxeni & Theodore, 2019). Jika dikaitkan dengan penelitian ini, maka sumber akomodasi adalah sesuatu yang dapat membantu dalam kegiatan sosial, termasuk kegiatan terorisme. dalam melakukan kegiatan terorisme, faktor akomodasi seperti ekonomi menjadi hal yang penting (Malik *et al.*, 2015). Kemiskinan, kelaparan, dan kekurangan dapat menjadi faktor seseorang untuk melakukan tindakan terorisme (Dhumad *et al.*, 2020; Korotayev *et al.*, 2021). Pada permasalahan ini, kami menghitung sumber akomodasi dari pendapatan masyarakat yang dilihat dari upah minimum provinsi (ump) masing-masing daerah yang dibagi menjadi beberapa interval yaitu 1 juta hingga 5 juta. Seperti yang dijelaskan pada tabel berikut ini (lihat **Tabel 3.**).

Tabel 3. Nilai parameter sumber akomodasi.

Sumber Akomodasi	Nilai
1 juta – 2 juta	1
2 juta – 3 juta	3
3 juta – 4 juta	4
4 juta – 5 juta	5

Sumber akomodasi dalam penelitian ini diambil mengenai besaran UMP (upah minimum provinsi) di setiap provinsi pada tahun 2023 yang didapatkan sebagai berikut (lihat **Tabel 4.**).

Tabel 4. Sumber akomodasi: Upah Minimum Provinsi (UMP) dari Kabupaten/Kota.

No	Kabupaten/Kota	Besar UMP (dalam Rupiah)
1	Makassar	3.385.145
2	Denpasar, Bali	2.713.672
3	Yogyakarta	1.981.782
4	Semarang	1.958.169
5	Palopo	3.384.876
6	Poso	2.599.546
7	Surabaya	2.040.244
8	Jakarta Pusat	4.901.798
9	Bandung	1.986.670
10	Pekanbaru	3.191.662

Dari parameter-parameter yang telah dijelaskan, data yang telah diperoleh diolah menggunakan algoritma *K-Means*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data yang dilakukan dengan menggunakan data citra yang diperoleh dari GEE dan Gmaps. Pengumpulan data disesuaikan dengan lokasi yang akan diteliti dalam penelitian ini. Pengumpulan data disesuaikan dengan parameter-parameter yang terdapat pada penelitian ini.

Nilai Parameter Jarak ke Ibu Kota

Jarak merupakan salah satu hal yang dapat digunakan sebagai parameter potensi terorisme di suatu wilayah. Jarak IKN terhadap kota-kota besar didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan google maps. Hasil pengukuran tersebut dirangkum dalam tabel 5 di bawah ini (lihat **Tabel 5**).

Tabel 5. Nilai parameter jarak ke IKN.

No	Kabupaten/Kota	Jarak ke IKN (dalam km)
1	Makassar	552,71
2	Denpasar, Bali	864,97
3	Yogyakarta	1023,25
4	Semarang	964,69
5	Palopo	449,75
6	Poso	452,24
7	Surabaya	818,89
8	Jakarta pusat	1239,88
9	Bandung	1202,90
10	Pekanbaru	1703,21

Dari informasi ini, kami mengkonversi jarak berdasarkan tabel parameter jarak Kabupaten/Kota ke IKN . Setelah mengkonversi tabel parameter tersebut, maka didapatkan nilai sebagai berikut (lihat **Tabel 6**).

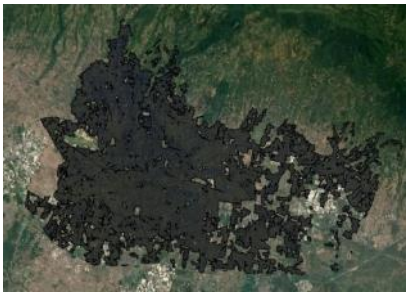
Tabel 6. Hasil konversi jarak kota dengan IKN.

No	Kabupaten/Kota	Jarak ke IKN (dalam km)	Hasil Konversi
1	Makassar	552,71	4
2	Denpasar, Bali	864,97	4
3	Yogyakarta	1023,25	3
4	Semarang	964,69	4
5	Palopo	449,75	5
6	Poso	452,24	5
7	Surabaya	818,89	4
8	Jakarta Pusat	1239,88	3
9	Bandung	1202,90	3
10	Pekanbaru	1703,21	1

Dari tabel tersebut, kami menganggap nilai parameter jarak ke IKN sebagai P1 atau parameter pertama.

Penutup Lahan

Penutup lahan merupakan salah satu aspek yang sering digunakan dalam penelitian ancaman terorisme. Pada penelitian ini, penutup lahan menggunakan data dari GEE dengan menggunakan citra mentah satelit Landsat 8. Pada hasil GEE Landsat 8 *Raw Scene* dengan menggunakan skala 1:5.000.000, dapat dilihat daerah mana saja yang memiliki aktivitas masyarakat yang padat. Data citra satelit yang diperoleh menunjukkan bahwa setiap kota memiliki kepadatan penduduk yang berbeda-beda. Kota-kota yang memiliki kepadatan penduduk yang tinggi adalah Makassar, Denpasar, Yogyakarta, Semarang, Surabaya, Jakarta Pusat, dan Bandung. Sedangkan daerah yang memiliki kepadatan penduduk yang minim adalah Palopo, Poso, dan Pekanbaru. Berikut data yang diperoleh dari hasil GEE.

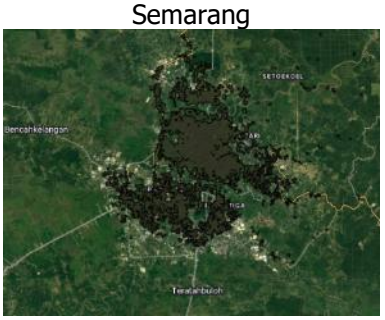

Bandung


Denpasar, Bali


Semarang

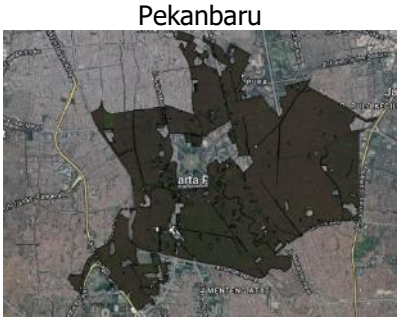

Makassar

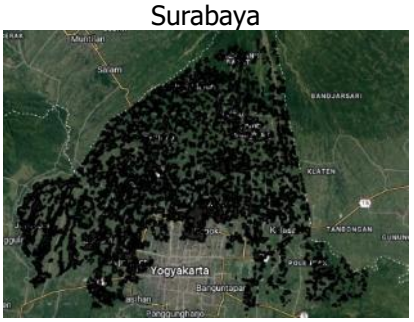

Poso


Pekanbaru


Palopo


Surabaya


Jakarta Pusat



Jogjakarta

Sumber: https://earthengine.google.com/)

Gambar 3. Hasil GEE untuk kota atau kabupaten

Dari tabel tersebut kemudian dilakukan konversi kepadatan tersebut ke dalam nilai sesuai dengan tabel konversi dan didapatkan hasil pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil konversi penutup lahan.

No	Kota atau Kabupaten	Hasil Konversi
1	Makassar	1
2	Denpasar, Bali	1
3	Yogyakarta	1
4	Semarang	1
5	Palopo	5
6	Poso	5
7	Surabaya	1
8	Jakarta Pusat	1
9	Bandung	1
10	Pekanbaru	5

Dari tabel tersebut, kami menganggap nilai parameter jarak ke IKN sebagai P2 atau sebagai parameter kedua.

Sumber Akomodasi

Sumber-sumber akomodasi merupakan hal yang penting dalam semua aspek kehidupan. Sumber akomodasi meliputi masalah ekonomi dan sumber daya ekonomi. Ekonomi merupakan masalah yang sering terjadi di negara berkembang, hal ini memicu kegiatan penolakan dan terorisme (Younas & Sandler, 2017).

Dari data yang diperoleh, kami mengonversikannya ke nilai yang tercantum dalam tabel nilai parameter. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut (lihat **Tabel 8**):

Tabel 8. Hasil konversi besar UMP sebagai sumber akomodasi.

No	Kabupaten/Kota	Besar UMP Pada 2023 (dalam Rupiah)	Hasil Konversi
1	Makassar	3.385.145	4
2	Denpasar, Bali	2.713.672	3
3	Yogyakarta	1.981.782	1
4	Semarang	1.958.169	1
5	Palopo	3.384.876	4
6	Poso	2.599.546	3
7	Surabaya	2.040.244	3
8	Jakarta Pusat	4.901.798	5
9	Bandung	1.986.670	1
10	Pekanbaru	3.191.662	4

Dari tabel tersebut, kami menganggap nilai parameter jarak ke IKN sebagai P3 atau sebagai parameter ketiga.

Penerapan Algoritma *K-Means*

Data yang telah didapatkan di atas, selanjutnya dibuat ke dalam sebuah tabel. Tabel tersebut disajikan sebagai berikut (lihat **Tabel 9**):

Tabel 9. Hasil dari ketiga parameter.

No	Kabupaten/Kota	P_1	P_2	P_3
1	Makassar	4	1	4
2	Denpasar, Bali	4	1	3
3	Yogyakarta	3	1	1
4	Semarang	4	1	1
5	Palopo	5	5	4
6	Poso	5	5	3
7	Surabaya	4	1	3
8	Jakarta Pusat	3	1	5
9	Bandung	3	1	1
10	Pekanbaru	1	5	4

Dari kota-kota tersebut, dipilih secara acak kota yang akan dijadikan *centroid*. Misalnya Denpasar dan Jakarta Pusat sebagai *centroid*, maka dengan menggunakan rumus jarak *Euclid* akan didapatkan jarak ke klaster masing-masing kota atau kabupaten berdasarkan rumus yang telah dihitung (**Tabel 10**). Tabel ini dapat disebut sebagai iterasi pertama (lihat **Tabel 10**).

Tabel 10. Hasil algortima *K-Means* pada iterasi pertama.

No	X	Kabupaten/Kota	P1	P2	P3	*Centroid*	d (Xi, C1)	d (Xi, C2)	d(n)	Klaster terdekat
1	X1	Makassar	4	1	4		1,00	1,41	1,00	C1
2	X2	Denpasar, Bali	4	1	3	Klaster pertama	0,00	2,24	0,00	C1
3	X3	Yogyakarta	3	1	1		2,24	4,00	2,24	C1
4	X4	Semarang	4	1	1		2,00	4,12	2,00	C1
5	X5	Palopo	5	5	4		4,24	4,58	4,24	C1

No	X	Kabupaten/Kota	P1	P2	P3	*Centroid*	d (Xi, C1)	d (Xi, C2)	d(n)	Klaster terdekat
6	X6	Poso	5	5	3		4,12	4,90	4,12	C1
7	X7	Surabaya	4	1	3		0,00	2,24	0,00	C1
8	X8	Jakarta Pusat	3	1	5	Klaster Kedua	2,24	0,00	0,00	C2
9	X9	Bandung	3	1	1		2,24	4,00	2,24	C1
10	X10	Pekanbaru	1	5	4		5,10	4,58	4,58	C2

Pada iterasi pertama, data menunjukkan bahwa jarak terdekat dengan *centroid* pertama adalah 0, yaitu Surabaya, dan yang terjauh adalah 4,24, yaitu Palopo atau dapat dituliskan sebagai $0 \leq d(X^i, c_1) \leq 4{,}24$. Kemudian pada klaster kedua, hanya ada satu kota yang masuk yaitu Pekanbaru dengan jarak terdekat yaitu 4,58 ke *centroid* kedua.

Setelah melakukan iterasi pertama, dilakukan pengujian kembali dengan cara yang sama untuk menentukan tabel iterasi kedua. Fungsi dari pengujian iterasi kedua adalah untuk membuktikan apakah jawaban yang didapatkan pada iterasi pertama memiliki akurasi informasi yang sama dengan iterasi pertama. Untuk pengujian iterasi kedua digunakan rata-rata dari nilai klaster yang telah dipilih pada iterasi pertama. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut (lihat **Tabel 11**).

Tabel 11. Penentuan nilai kluster untuk iterasi kedua.

Kabupaten/Kota	P1	P2	P3
***Cluster* -1**			
Makassar	4	1	4
Denpasar, Bali	4	1	3
Yogyakarta	3	1	1
Semarang	4	1	1
Palopo	5	5	4
Poso	5	5	3
Surabaya	4	1	3
Bandung	3	1	1
Centroid-1	4,00	2,00	2,50
***Cluster*-2**			
Jakarta Pusat	3	1	5
Pekanbaru	1	5	4
Centroid-2	2,00	3,00	4,50

Setelah nilai *centroid* pada iterasi kedua diperoleh dengan menggunakan nilai rata-rata data setiap parameter tiap kota pada setiap klaster yang diperoleh pada iterasi pertama. Didapatkan bahwa pada klaster pertama nilai *centroid* pertama didapatkan nilai (P1, P2, P3) = (4,00; 2,00; 2,50) dan pada klaster kedua didapatkan nilai (P1, P2, P3) = (2,00; 3,00; 4,50). Dengan nilai tersebut, maka digunakan cara yang sama dengan perhitungan iterasi pertama. Perhitungan untuk iterasi kedua diperoleh hasil pada tabel (lihat **Tabel 12**).

Tabel 12. Hasil Algoritma *K-Means* untuk iterasi kedua.

No	X	Kabupaten/Kota	P1	P2	P3	d (Xi, C1)	d (Xi, C2)	d(n)	Klaster terdekat
1	X1	Makassar	4	1	4	1,80	2,87	1,80	C1
2	X2	Denpasar, Bali	4	1	3	1,12	3,20	1,12	C1
3	X3	Yogyakarta	3	1	1	2,06	4,15	2,06	C1
4	X4	Semarang	4	1	1	1,80	4,50	1,80	C1
5	X5	Palopo	5	5	4	3,50	3,64	3,50	C1
6	X6	Poso	5	5	3	3,20	3,91	3,20	C1
7	X7	Surabaya	4	1	3	1,12	3,20	1,12	C1
8	X8	Jakarta Pusat	3	1	5	2,87	2,29	2,29	C2
9	X9	Bandung	3	1	1	2,06	4,15	2,06	C1
10	X10	Pekanbaru	1	5	4	4,50	2,29	2,29	C2
		Centroid-1	4,00	2,00	2,50				
		Centroid-2	2,00	3,00	4,50				

Pada iterasi kedua, data yang diperoleh pada klaster pertama jarak terdekat dengan *centroid*

adalah 1,12 yaitu Denpasar dan Surabaya. Jarak terjauh adalah 3,50 yaitu Palopo. Dari data tersebut untuk klaster pertama iterasi kedua, jarak ke *centroid* pertama dapat dituliskan sebagai $1{,}12 \leq d(X^i, c_1) \leq 3{,}50$ dengan daerah terpilih sama dengan iterasi pertama, yaitu ada 8 kota atau kabupaten. Sedangkan pada klaster kedua diperoleh jarak terdekat dengan *centroid* kedua adalah $d(X^i, c_2)$=2,29 yaitu Jakarta Pusat dan Pekanbaru.

Dari iterasi pertama dan kedua diperoleh informasi akurasi yang sama. Klaster pertama adalah Makassar, Denpasar, Yogyakarta, Semarang, Palopo, Poso, Surabaya dan Bandung. Sedangkan klaster kedua adalah Jakarta Pusat dan Pekanbaru. Dengan demikian, potensi ancaman terorisme di ibukota negara terdapat pada dua klaster utama. Dengan potensi yang berasal dari kedua klaster tersebut, dan potensi terbesar ada di klaster pertama. Hal ini dilihat dari jumlah kota yang didapat dan rentang jarak yang lebih dekat. Namun tidak menutup kemungkinan potensi besar datang dari klaster kedua.

KESIMPULAN

Potensi ancaman terorisme yang menjadi perhatian bagi IKN menjadi hal yang patut diwaspadai. Hal ini disebabkan oleh IKN masih dalam tahap pembangunan yang direncanakan akan selesai pada tahun 2045. Pada penelitian ini, peneliti menemukan bahwa terdapat dua klaster yang memiliki potensi ancaman terorisme yang diuji dengan menggunakan algoritma *K-Means*. Hasil yang diperoleh pada iterasi pertama bahwa untuk klaster pertama yaitu Denpasar sebagai *centroid*, data yang nilainya mendekati *centroid* sebanyak tujuh kota, yaitu Makassar, Denpasar, Yogyakarta, Semarang, Palopo, Poso, Surabaya, dan Bandung dengan batas terkecil adalah 1,00. Sedangkan untuk *cluster* dua yaitu Jakarta Pusat sebagai *centroid*. Data yang paling dekat dengan *centroid* hanya satu data yaitu Minggu Baru dengan jarak 4,58. Kemudian untuk membandingkan penempatan data pada kedua klaster tersebut dilakukan uji kembali pada iterasi kedua dengan *centroid* klaster pertama adalah 4,00; 2,00; dan 2,50 serta *centroid* klaster kedua adalah 2,00; 3,00; dan 4,50. Dengan pengujian yang sama, ditemukan bahwa jarak ke *centroid* tetap sama dengan hasil pada iterasi pertama. Oleh karena itu, wilayah dengan potensi ancaman terorisme dalam IKN terbagi menjadi dua klaster. Klaster pertama adalah Makassar, Denpasar, Yogyakarta, Semarang, Palopo, Poso, Surabaya, dan Bandung. Klaster kedua adalah Jakarta Pusat dan Pekanbaru. Dengan demikian, potensi ancaman terorisme di ibukota negara terdapat di dua klaster utama. Dengan potensi yang berasal dari kedua klaster tersebut, dan potensi terbesar berada pada klaster pertama. Hal ini dilihat dari jumlah kota yang didapat dan rentang jarak yang lebih dekat. Namun tidak menutup kemungkinan potensi besar datang dari klaster kedua.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh dosen Program Studi Teknologi Penginderaan Universitas Pertahanan. Khususnya kepada ayah, kakak, dan teman-teman yang telah mendukung baik secara moral maupun doa.

DAFTAR PUSTAKA

Adelaja, A., & George, J. (2019). Terrorism and Land Use in Agriculture: The case of Boko Haram in Nigeria. *Land Use Policy*, *88*. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104116

Ahenkorah, I., Rahman, M. M., Karim, M. R., & Beecham, S. (2023). Unconfined Compressive Strength of MICP and EICP Treated Sands Subjected to Cycles of Wetting-drying, freezing-thawing and elevated Temperature: Experimental and EPR modelling. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *15*(5), 1226–1247. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.08.007

Ahmed, M., Seraj, R., & Islam, S. M. S. (2020). The k-means Algorithm: A Comprehensive Survey and Performance Evaluation. *Electronics (Switzerland)*, *9*(8), 1–12. https://doi.org/10.3390/electronics9081295

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal*

of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, *13*, 5326–5350. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052

Ariyaningsih, & Shaw, R. (2022). Integration of SETS (Social–Ecological–Technological Systems) Framework and Flood Resilience Cycle for Smart Flood Risk Management. *Smart Cities*, *5*(4), 1312–1335. https://doi.org/10.3390/smartcities5040067

Bardwell, H., & Iqbal, M. (2021). The Economic Impact of Terrorism from 2000 to 2018. *Peace Economics, Peace Science and Public Policy*, *27*(2), 227–261. https://doi.org/10.1515/peps-2020-0031

Dhumad, S., Candilis, P. J., Cleary, S. D., Dyer, A. R., & Khalifa, N. (2020). Risk Factors for Terrorism: A Comparison of Family, Childhood, and Personality Risk Factors Among Iraqi Terrorists, Murderers, and Controls. *Behavioral Sciences of Terrorism and Political Aggression*, *12*(1), 72–88. https://doi.org/10.1080/19434472.2019.1591481

Dias, L. A., Ferreira, J. C., & Fernandes, M. A. C. (2020). Parallel Implementation of K-Means Algorithm on FPGA. *IEEE Access*, *8*, 41071–41084. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2976900

Ding, B., Wen, G., Zhong, J., Ma, C., & Yang, X. (2017). A Robust Similarity Measure for Attributed Scattering Center Sets With Application to SAR ATR. *Neurocomputing*, *219*(September), 130–143. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.09.007

Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F. M., & Trigo, I. F. (2020). Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sensing*, *12*(9), 1–21. https://doi.org/10.3390/RS12091471

Golose, P. R. (2022). A Comparative Analysis of the Factors Predicting Fears of Terrorism and Cyberterrorism in a Developing Nation Context. *Journal of Ethnic and Cultural Studies*, *9*(4), 106–119. https://doi.org/10.29333/ejecs/1372

Hackbarth, T. X., & de Vries, W. T. (2021). An Evaluation of Massive Land Interventions for the Relocation of Capital Cities. *Urban Science*, *5*(1), 1–17. https://doi.org/10.3390/urbansci5010025

Helbling, M., & Meierrieks, D. (2022). Terrorism and Migration: An Overview. *British Journal of Political Science*, *52*(2), 977–996. https://doi.org/10.1017/S0007123420000587

Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., & Coops, N. C. (2022). Land cover classification in an era of big and open data: Optimizing localized implementation and training data selection to improve mapping outcomes. *Remote Sensing of Environment*, *268*, 112780. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112780

Koldobskaya, N. A. (2022). Environmental Consequences of the Capital Relocation in the Republic of Kazakhstan. *Geography, Environment, Sustainability*, *15*(1), 150–158. https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-110

Korotayev, A., Vaskin, I., & Tsirel, S. (2021). Economic Growth, Education, and Terrorism: A Re-Analysis. *Terrorism and Political Violence*, *33*(3), 572–595. https://doi.org/10.1080/09546553.2018.1559835

Liang, J., Xie, Y., Sha, Z., & Zhou, A. (2020). Modeling urban growth sustainability in the cloud by augmenting Google Earth Engine (GEE). *Computers, Environment and Urban Systems*, *84*(March), 101542. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101542

Malik, M. S. A., Sandholzer, M., Khan, M. Z., & Akbar, S. (2015). Identification of risk factors generating terrorism in pakistan. *Terrorism and Political Violence*, *27*(3), 537–556. https://doi.org/10.1080/09546553.2013.820184

Moradi Fard, M., Thonet, T., & Gaussier, E. (2020). Deep k-Means: Jointly *cluster*ing with k-Means and learning representations. *Pattern Recognition Letters*, *138*, 185–192. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.07.028

Nasiri, V., Deljouei, A., Moradi, F., Sadeghi, S. M. M., & Borz, S. A. (2022). Land Use and Land Cover Mapping Using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A Comparison of Two Composition Methods. *Remote Sensing*, *14*(9). https://doi.org/10.3390/rs14091977

Nussio, E., Bove, V., & Steele, B. (2019). The consequences of terrorism on migration attitudes across Europe. *Political Geography*, *75*. https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2019.102047

Okabe, M., & Yamada, S. (2018). *Cluster*ing using boosted constrained k-Means Algorithm. *Frontiers Robotics AI*, *5*(MAR). https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00018

Perliger, A., & Palmieri, M. (2022). Mapping Connections and Cooperation between Terrorist and Criminal Entities. *Studies in Conflict and Terrorism*, *45*(5–6), 335–347. https://doi.org/10.1080/1057610X.2019.1678874

Peter, B. G., Cohen, S., Lucey, R., Munasinghe, D., Raney, A., & Brakenridge, G. R. (2022). Google Earth Engine Implementation of the Floodwater Depth Estimation Tool (FwDET-GEE) for Rapid and Large Scale Flood Analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *19*, 1–5. https://doi.org/10.1109/LGRS.2020.3031190

Polyxeni, K., & Theodore, M. (2019). An empirical investigation of FDI inflows in developing economies: Terrorism as a determinant factor. *Journal of Economic Asymmetries*, *20*(July), e00125. https://doi.org/10.1016/j.jeca.2019.e00125

Potapov, P., Hansen, M. C., Kommareddy, I., Kommareddy, A., Turubanova, S., Pickens, A., Adusei, B., Tyukavina, A., & Ying, Q. (2020). Landsat analysis ready data for global land cover and land cover change mapping. *Remote Sensing*, *12*(3). https://doi.org/10.3390/rs12030426

Raeisi, M., & Sesay, A. B. (2022). A Distance Metric for Uneven *Cluster*s of Unsupervised K-Means *Cluster*ing Algorithm. *IEEE Access*, *10*, 86286–86297. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3198992

Ren, Q., zhang, H., Zhang, D., Zhao, X., Yan, L., & Rui, J. (2022). A novel hybrid method of lithology identification based on k-means++ algorithm and fuzzy decision tree. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *208*. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109681

Shen, X. (2023). E-commerce User Recommendation Algorithm Based on Social Relationship Characteristics and Improved K-Means Algorithm. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, *16*(1). https://doi.org/10.1007/s44196-023-00321-7

Shrifan, N. H. M. M., Akbar, M. F., & Isa, N. A. M. (2022). An adaptive outlier removal aided k-means *cluster*ing algorithm. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, *34*(8), 6365–6376. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.07.003

Sinaga, K. P., & Yang, M. S. (2020). Unsupervised K-means *cluster*ing algorithm. *IEEE Access*, *8*, 80716–80727. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988796

Sutoyo, E., & Almaarif, A. (2020). Twitter sentiment analysis of the relocation of Indonesia's capital city. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, *9*(4), 1620–1630. https://doi.org/10.11591/eei.v9i4.2352

Syachrul Arief. (2022). Use of GIS to Discover the Existence of Terrorism. *International Journal of Engineering and Management Research*, *12*(6), 172–182. https://doi.org/10.31033/ijemr.12.6.24

Tassi, A., Gigante, D., Modica, G., di Martino, L., & Vizzari, M. (2021). Pixel-vs. Object-based landsat 8 data classification in google earth engine using random forest: The case study of maiella national park. *Remote Sensing*, *13*(12). https://doi.org/10.3390/rs13122299

Teluguntla, P., Thenkabail, P., Oliphant, A., Xiong, J., Gumma, M. K., Congalton, R. G., Yadav, K., & Huete, A. (2018). A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *144*(February), 325–340. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.017

Wayan Gede Krisna Arimjaya, I., & Dimyati, M. (2022). Remote sensing and geographic information systems technics for spatial-based development planning and policy. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *12*(5), 5073–5083. https://doi.org/10.11591/ijece.v12i5.pp5073-5083

Yang, L., Driscol, J., Sarigai, S., Wu, Q., Chen, H., & Lippitt, C. D. (2022). Google Earth Engine and Artificial Intelligence (AI): A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, *14*(14). https://doi.org/10.3390/rs14143253

Younas, J., & Sandler, T. (2017). Gender Imbalance and Terrorism in Developing Countries. *Journal of Conflict Resolution*, *61*(3), 483–510. https://doi.org/10.1177/0022002715603102

Yu, S. S., Chu, S. W., Wang, C. M., Chan, Y. K., & Chang, T. C. (2018). Two improved k-means algorithms. *Applied Soft Computing Journal*, *68*, 747–755. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.08.032

Zhang, G., Zhang, C., & Zhang, H. (2018). Improved K-means algorithm based on density Canopy. *Knowledge-Based Systems*, *145*, 289–297. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.01.031

SURVEI DAN PEMBUATAN PETA TOPONIMI GUNA MENUNJANG PERSIAPAN IBU KOTA NEGARA MENGUNAKAN *ARCGIS* DAN APLIKASI SAKTI

Studi Kasus: Kelurahan Handil, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

(Survey and Creation of Toponymy Map to Support The Preparation of The Nation's Capital Using ArcGIS and Sakti Application. Case Study: Handil Village, Loa Janan District, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province)

Muhamad Aria Rivaldy[1], Diah Kirana Kresnawati[1], Dessy Apriyanti[3], R Danoe Soeryamihardja[2], Ronald D Micheal[2], Rudie R. Atmawijaya[1]

[1]Universitas Pakuan,
[2]Badan Informasi Geospasial,
[3]Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

Jl. Pakuan, RT.02/RW.06, Tegallega, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat
Email: dessy.apriyanti22@gmail.com

ABSTRAK

Dalam rangka persiapan Ibu Kota Negara Baru dilakukan beberapa persiapan salah satunya menyiapkan informasi geospasial dasar yang dilengkapi dengan toponim atau nama-nama geografis/nama tempat melalui survei toponimi. Oleh sebab itu peran toponim sangat penting dalam informasi geospasial dasar untuk membantu persiapan pembangunan ibu kota negara baru, serta pemberian nama tempat dan rupabumi (toponimi) tidak bisa dilakukan secara sembarangan. Toponimi dan standarisasi penamaan sangat penting untuk dilakukan ketika sebuah peta yang mengandung toponimi menjadi sebuah alat untuk berkomunikasi secara nasional maupun internasional, dan sebagai sumber informasi untuk pengambilan keputusan serta membantu kerjasama di antara organisasi lokal utamanya dalam perkembangan ekonomi. Sebagai upaya untuk menunjang proses pengumpulan data tersebut, maka pada tahun 2016 yang lalu, BIG membangun aplikasi berbasis android bernama SAKTI yang merupakan akronim dari Sistem Akuisisi data Toponim Indonesia. Langkah yang dilakukan yaitu pengambilan data dan foto langsung di lapngan, melakukan Inventarisasi data Nama Rupabumi dapat berupa data titik, garis dan atau area**, dan** melakukan editing. Editing dapat dilakukan di web gis sakti (sakti.big.go.id) atau hasil plot di aplikasi di download, kemudian editing dilakukan menggunakan softwere ArcGIS sehingga menjadi sebuah peta. Data hasil pengolahan survei toponimi ini menghasilkan sebuah peta toponimi yang memiliki informasi geospasial berupa unsur generik yang berada di daerah Kelurahan Handil, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, sehingga diharapkan keseluruhan proses pembakuan nama rupabumi sebagai bagian dari informasi geospasial dapat diselenggarakan dengan maksimal, lebih cepat, tepat, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Kata kunci: Toponimi, Aplikasi SAKTI, Peta, Provinsi Kalimantan Timur

ABSTRACT

In preparation for the New National Capital, several preparations were carried out, one of which was preparing basic geospatial information equipped with toponyms or geographical names/place names through a toponymy survey. Therefore, the role of toponyms is very important in basic geospatial information to help prepare for the construction of a new national capital, and naming places and landforms (toponymy) cannot be done haphazardly. Toponymy and naming standardization are very important when a map containing toponymy becomes a tool for communicating nationally and internationally, and as a source of information for decision making and assisting cooperation between local organizations, especially in economic development. As an effort to support the data collection process, in 2016, BIG built an Android-based application called SAKTI which is an acronym for Indonesian Toponym Data Acquisition System. The steps taken are taking data and photos directly in the field,

carrying out an inventory of topographic name data which can be in the form of point, line and/or area data, and doing editing. Editing can be done on the Sakti GIS website (sakti.big.go.id) or download the plot results in the application, then editing is done using ArcGIS software so that it becomes a map. Data from the processing of this toponymy survey produces a toponymy map which has geospatial information in the form of generic elements in the Handil Village area, Loa Janan District, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province, so it is hoped that the entire process of standardizing topographic names as part of geospatial information can be carried out maximally, more quickly, precisely, efficiently and responsibly.

Keywords: *Toponymy, SAKTI Application, Map, East Kalimantan Province*

PENDAHULUAN

Undang-Undang Nomor 4 tahun 2011 tentang Informasi Geospasial bertujuan untuk menjamin ketersediaan dan akses terhadap Informasi Geospasial (IG) yang dapat dipertanggungjawabkan untuk mewujudkan penyelenggaraan IG yang berdaya guna dan berhasil guna melalui kerjasama, koordinasi, integrasi dan sinkronisasi serta mendorong penggunaan IG dalam penyelenggaraan pemerintahan dan berbagai aspek kehidupan masyarakat. Maka segenap Warga Negara Indonesia memiliki kebebasan untuk berkontribusi secara aktif dalam penyelenggaraan IG, serta mengakses dan memperoleh Informasi Geospasial Dasar (IGD) dan sebagian besar Informasi Geospasial Tematik (IGT).

Dalam rangka persiapan Ibu Kota Negara Baru dilakukan beberapa persiapan salah satunya menyiapkan informasi geospasial dasar yang dilengkapi dengan toponim atau nama-nama geografis/nama tempat melalui survei toponimi. Rizal (2022:83) mengatakan bahwa toponimi adalah bahasan ilmiah tentang nama tempat, asal-usul arti, dan tipologinya. Kata itu berasal dari bahasa Yunani, topos yang berarti tempat, dan ónoma yang berarti nama. Secara harfiah, toponimi berarti juga nama tempat. Toponimi sering kali memiliki banyak makna yang juga menyimpan nilai-nilai budaya di dalamnya. Masyarakat biasa memberikan nama yang berkaitan dengan sebuah kejadian, cerita, dan tokoh. Nilai yang terkadung dari latar belakang penamaan tempat melalui folklore di dalamnya juga dapat menjadi bagian dalam pembelajaran generasi muda. Oleh sebab itu peran toponim sangat penting dalam informasi geospasial dasar untuk membantu persiapan pembangunan ibu kota negara baru, serta pemberian nama tempat dan rupabumi (toponimi) tidak bisa dilakukan secara sembarangan. Iicka dan Marahayu (2019) menjelaskan bahwa toponimi merupakan salah satu cabang ilmu kebumian yang mengkaji dan mempelajari permasalahan penamaan unsur geografi baik alami maupun buatan manusia.

Toponimi memiliki hubungan erat dengan kondisi fisik geografis, masyarakat yang menghuninya, dan kebudayan yang tumbuh di wilayah tersebut. Ikhwal nama maknanya sangat luas, tidak hanya secara fisik seperti kondisi lokasi geografisnya saja, tetapi meliputi asal usul, kondisi dan sosial budaya, serta agama masayarakat, nilai-nilai yang terkandung di dalam sistem kebudayaan yang memiliki secara sosial itu akan tampak dalam wujud simbol pemberian nama dan perilaku suatu masyarakat. Menurut Pertiwi, dkk. (2020:331), toponimi sering kali memiliki banyak makna kultural yang juga menyimpan nilai-nilai budaya di dalamnya. Masyarakat biasa memberikan nama yang berkaitan dengan sebuah kejadian, cerita, dan tokoh. Banyak tempat menyimpan latar belakang cerita tersendiri yang biasanya dapat memberikan suatu pembelajaran pada masyarakatnya. Dengan demikian inventarisasi unsur-unsur geografis dapat dilakukan dengan lebih mudah. Banyak manfaat yang diperoleh dari penamaan unsur-unsur geografis, contohnya untuk jasa pos, pengiriman barang, telekomunikasi, transportasi, pariwisata, survey pemetaan, dan tertib administrasi pemerintahan serta survei toponim ini sangat membantu dalam berbagai aspek kehidupan seperti dalam aspek ekonomi, politik, social, budaya, dan kebencanaan yang dimana toponim ini sangat penting peran nya dalam rangka persiapan Ibu Kota Negara Baru.

Salah satu tugas pokok Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim (PPRT) Badan Informasi Geospasial (BIG) adalah mengumpulkan dan mengelola data Toponim seluruh Indonesia kedalam suatu sistem basis data geospasial (Geospatial Database Management System – GDBMS). Hal ini sejalan dengan peran BIG dalam pembakuan nama rupabumi yang pada pelaksanaannya turut melibatkan pemerintah daerah. Pada pelaksanaannya masih terdapat beberapa kendala di

lapangan, salah satunya adalah belum tersedianya perangkat yang membantu proses pengumpulan nama rupabumi (toponim).

Sebagai upaya untuk menunjang proses pengumpulan data tersebut, maka pada tahun 2016 yang lalu, BIG membangun aplikasi berbasis android bernama SAKTI yang merupakan akronim dari Sistem Akuisisi data Toponim Indonesia. Aplikasi SAKTI pada mulanya dikembangkan sebagai sebuah sistem pada perangkat android yang digunakan untuk melakukan akuisisi data toponim yang dimana metode kerja akusisi toponimi nya adalah sebagai berikut (SNG 2, 2018): (1) Pengambilan nama rupabumi semua unsur rupabumi yang bernama baik unsur alami atau buatan (unsur buatan yang tidak permanen tidak diambil. contoh: warung kecil; (2) Menggunakan aplikasi SAKTI; (3) Geometri hasil pengambilan dapat berupa (titik, garis, dan area); (4) Untuk titik plot di tengah bangunan; (5) Untuk line plot di garis tengah sepanjang segmen jalan atau Sungai; (6) Untuk area plot di area yang memiliki kesamaan nama; (7) Editing dapat dilakukan di web gis sakti (sakti.big.go.id) atau hasil plot di aplikasi di download kemudian editing dilakukan menggunakan softwere ArcGIS sehingga menjadi sebuah peta.

Dengan semakin berkembangnya teknologi dan informasi yang kian cepat telah memberikan kemudahan dalam penyelenggaraan pembakuan nama rupabumi mulai dari pengumpulan data, penelaahan, hingga pembakuan, sehingga diharapkan keseluruhan proses pembakuan nama rupabumi sebagai bagian dari informasi geospasial dapat diselenggarakan dengan maksimal, lebih cepat, tepat, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan. Dari paparan diatas, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui kegiatan survei toponimi dan juga mengetahui penggunaan aplikasi SAKTI serta proses pada pemetaan toponimi didaerah Kelurahan Handil, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.

METODE

Pada Bab ini dibahas tentang rangkaian kegiatan dan tahapan pelaksanaan dalam survei toponimi menggunakan aplikasi SAKTI sampai dengan hasil berupa peta toponimi yang berisikan informasi geospasial dengan menggunakan ArcGIS 10.3. Berikut diagram alir dari rangkaian pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alir pekerjaan.

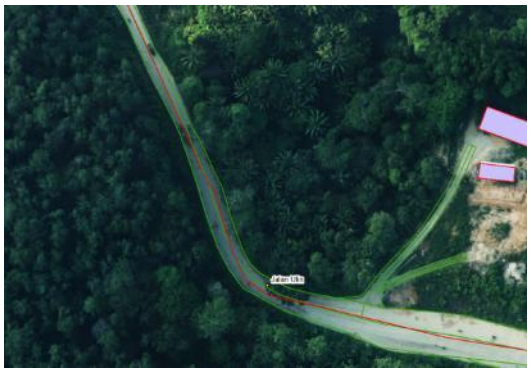
Inventarisasi data Nama Rupabumi dapat berupa data titik, garis dan atau area (kawasan). Langkah-langkah yang dilakukan pada aplikasi SAKTI dijelaskan sebagai berikut:

1. Inventarisasi berupa data titik
   a. Pada halaman utama, pilih ikon posisi sekarang untuk menunjukkan posisi saat ini.
   b. Kemudian Tap pada ikon Tandai
   c. Tap pada ikon Titik
   d. Secara default, tanda Posisi akan muncul pada posisi Anda saat ini.
   e. Selama berada dalam mode edit titik toponim, tanda dapat dipindahkan dengan cara tap dan tekan agak lama pada lokasi yang diinginkan. Atau dihapus dengan tap pada tanda dan pilih hapus.
   f. Jika tanda Posisi telah berada di lokasi yang sesuai, tap ikon selesai
   g. Tap pada ikon tambah data untuk mengisi formulir.



Gambar 2. Akusisi toponimi titik.

2. Inventarisasi data berupa garis
   a. Pada halaman utama, pilih ikon posisi sekarang untuk menunjukkan posisi saat ini.
   b. Tap pada ikon tandai
   c. Tap pada ikon garis
   d. Tap dan tekan lama di suatu lokasi untuk tandai ujung garis ke-1 sebagai koordinat awal. Pastikan muncul tanda Posisi di lokasi yang Anda pilih.
   e. Selama berada dalam mode edit garis, tanda Posisi dapat dihapus dengan tap pada tanda dan pilih hapus.
   f. Tap ikon selesai
   g. Isi formulir.
   h. Pada bagian akhir formulir, pilih lanjutkan
   i. Pada saat berada di ujung garis ke-2, ulangi langkah a-c.
   j. Pilih atau tap pada data nama yang telah tersimpan sebelumnya.
   k. Tandai pada ujung garis ke-2 sebagai koordinat akhir.
   l. Tap ikon selesai
   m. Lengkapi formulir jika diperlukan. Pada bagian akhir formulir, pilih Simpan jika koordinat tersebut merupakan titik akhir dari data yang diambil. Pilih Lanjutkan jika koordinat tersebut hanya titik hubung atau bukanlah titik akhir dari data yang diambil.



Gambar 3. Akusisi toponimi garis

3. Inventarisasi data beruapa area (Kawasan)
   Data berupa area (kawasan) dapat di identifikasi dengan tahap-tahap sebagai berikut ini:
   a. Pada halaman utama, pilih ikon posisi sekarang untuk menunjukkan posisi Anda saat ini.
   b. Tap pada ikon tandai
   c. Tap pada ikon area
   d. Tap untuk tandai pada area. Tandai kawasan dengan sejumlah titik (minimal tiga titik) untuk membentuk area.
   e. Tap ikon selesai
   f. Tap pada ikon tambah data untuk mengisi formulir.



Gambar 4. Akusisi toponimi area

Pengolahan Data

Pada pengolahan data dimulai dari export data hasil survei toponimi pada aplikasi sakti ke WebGIS dan di lanjutkan pada ArcGIS 10.3, berikut merupakan tahapan pengolahan data tersebut:

Export Data SAKTI

Data hasil inventarisasi dapat terlihat pada fitur Daftar Toponim. Sebelum mengunggah data, export data terlebih dahulu sebagai *backup* jika data gagal masuk ke sistem. Untuk mengunggah data, ikuti langkah berikut ini:

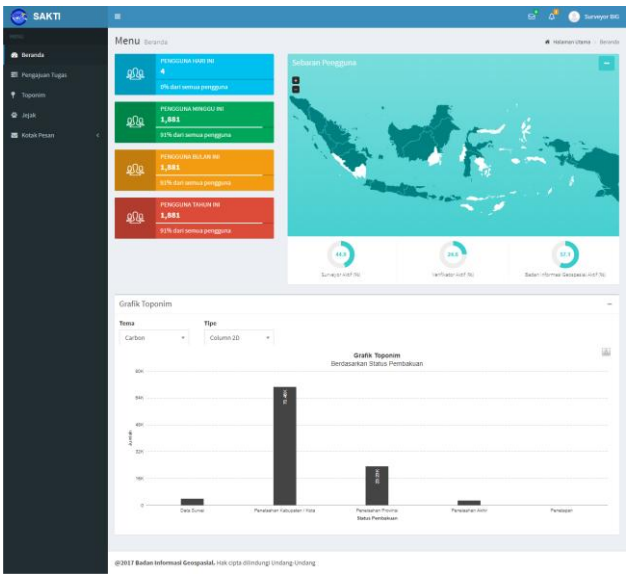
a. Pada halaman utama SAKTI, klik ikon Menu
b. Pilih menu Data Toponim.
c. Pilih Daftar Toponim.
d. Pilih data dari daftar dengan cara *tap* pada *check box* yang tersedia.
e. Klik pada ikon menu ( ).
f. Pilih unggah Toponim.
g. Klik OK.

h. Tunggu hingga proses unggah selesai dilakukan.

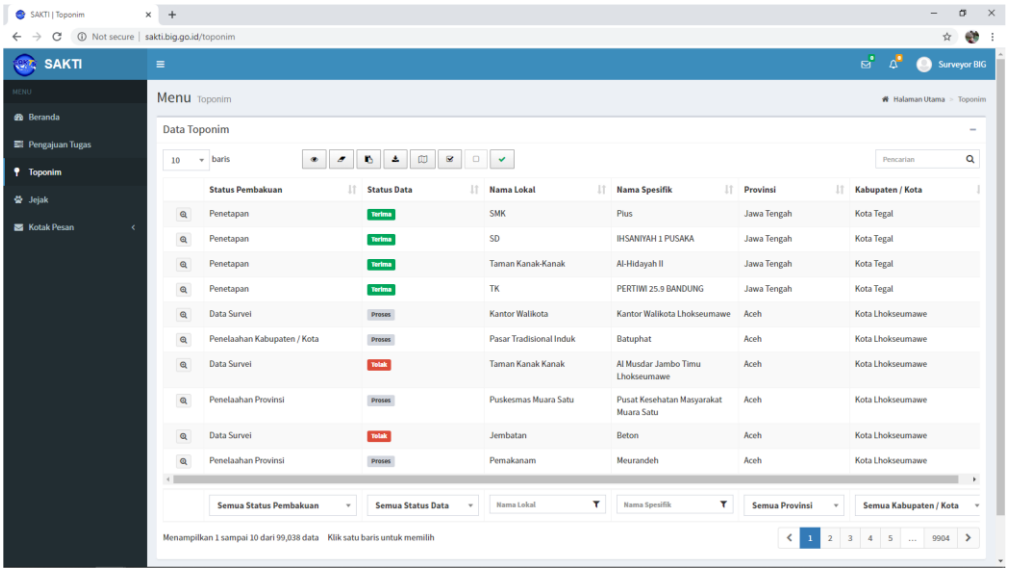
WebGIS

Setelah data diunggah, selanjutnya pengguna dapat melakukan pengelolaan data seperti menelaah data toponim (spasial dan atribut), mengajukan, menghapus, mengunduh, dan sebagainya. Daftar toponim dapat diakses melalui halaman Toponim, dengan mengikuti langkah berikut ini:

a. Masuk ke akun Anda melalui WebGIS SAKTI.
b. Klik menu Toponim.
c. ada bagian daftar toponim, pengguna hanya dapat mengubah data yang sesuai dengan hak aksesnya seperti data hasil inventarisasinya sendiri (untuk surveyor) serta data yang memang menjadi tugasnya dalam penelaahan (untuk verifikator dan BIG). Data yang dapat diubah akan ditandai dengan munculnya *button* pada ujung kiri di setiap baris data.
d. Pada kotak saring di kolom status pembakuan, pilih status pembakuan sesuai jenis pengguna atau ketik nama anda pada kotak saring di kolom Nama Surveyor.

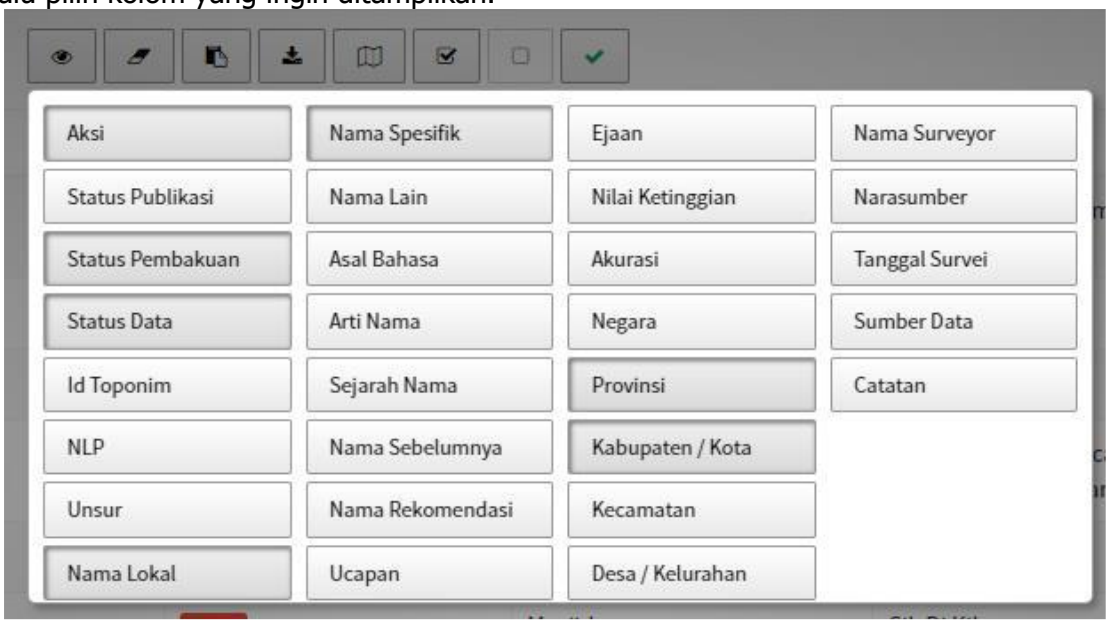


Gambar 5. Halaman beranda WebGIS.



Gambar 6. Halaman toponim.

e. Tampilkan kolom sesuai dengan kebutuhan anda dengan cara klik pada ikon lom lalu pilih kolom yang ingin ditampilkan.



Gambar 7. Pilihan kolom toponim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penggunaan Aplikasi SAKTI

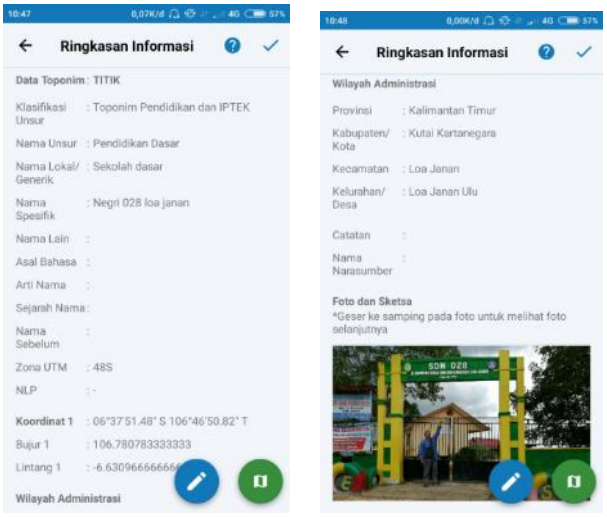
Dalam pengambilan data dilakukan terlebih dahulu pengaturan peta dasar Sebelum melakukan pengumpulan, yaitu mengatur terlebih dahulu peta dasar yang akan digunakan. Secara *default,* peta dasar yang akan ditampilkan adalah *service* Peta Rupabumi Indonesia (RBI). Peta dasar dapat berasal dari *online basemap* maupun *offline basemap*. *Online basemap* yang dapat dipilih diantaranya Peta RBI, *Open Street Map* (OSM), dan Citra/Foto Udara. Sedangkan untuk *offline basemap* dapat berupa *file* dengan ekstensi *.tpk yang dimasukkan kedalam perangkat pengguna. Selain itu, *file* dengan format *.kml/*.kmz juga dapat ditampilkan dan digunakan sebagai data bantuan pada saat inventarisasi.



Gambar 8. Pengaturan peta dasar.

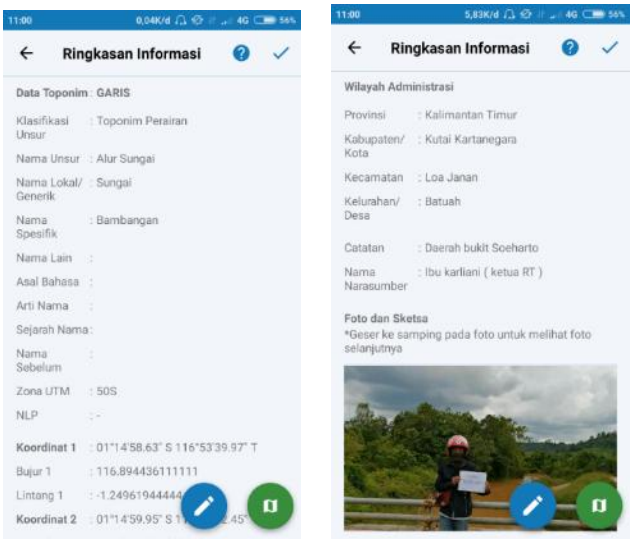
Dan maka untuk hasil dari penggunaan aplikasi SAKTI ini akan menghasilkan berupa informasi – informasi sebagai berikut:

1. Data inventarisasi titik



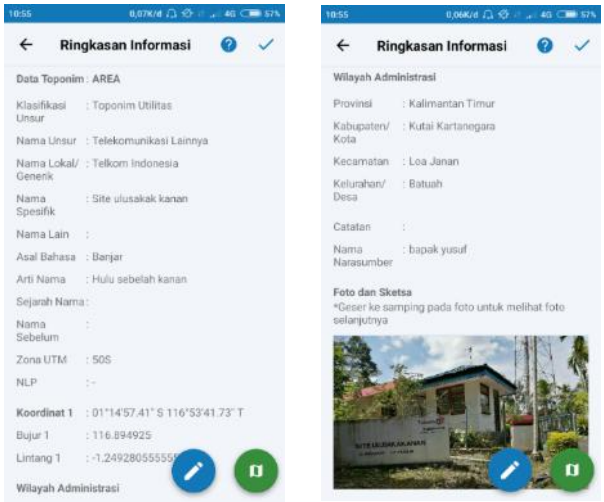
Gambar 9. Data toponimi titik

2. Data inventarisasi garis



Gambar 10. Data toponimi garis.

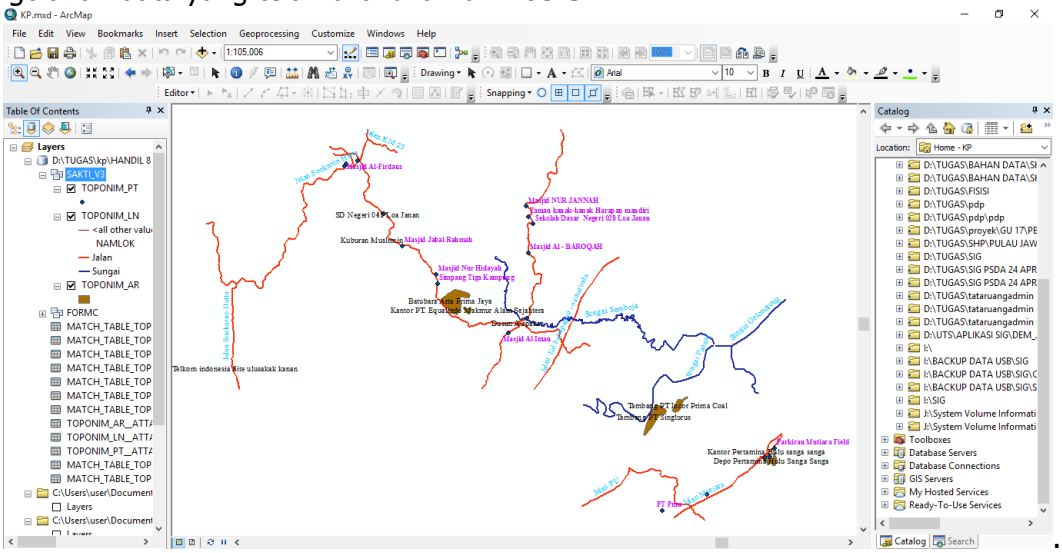
3. Data inventarisasi area (kawasan)



Gambar 11. Data toponimi area.

Hasil Pengolahan Data

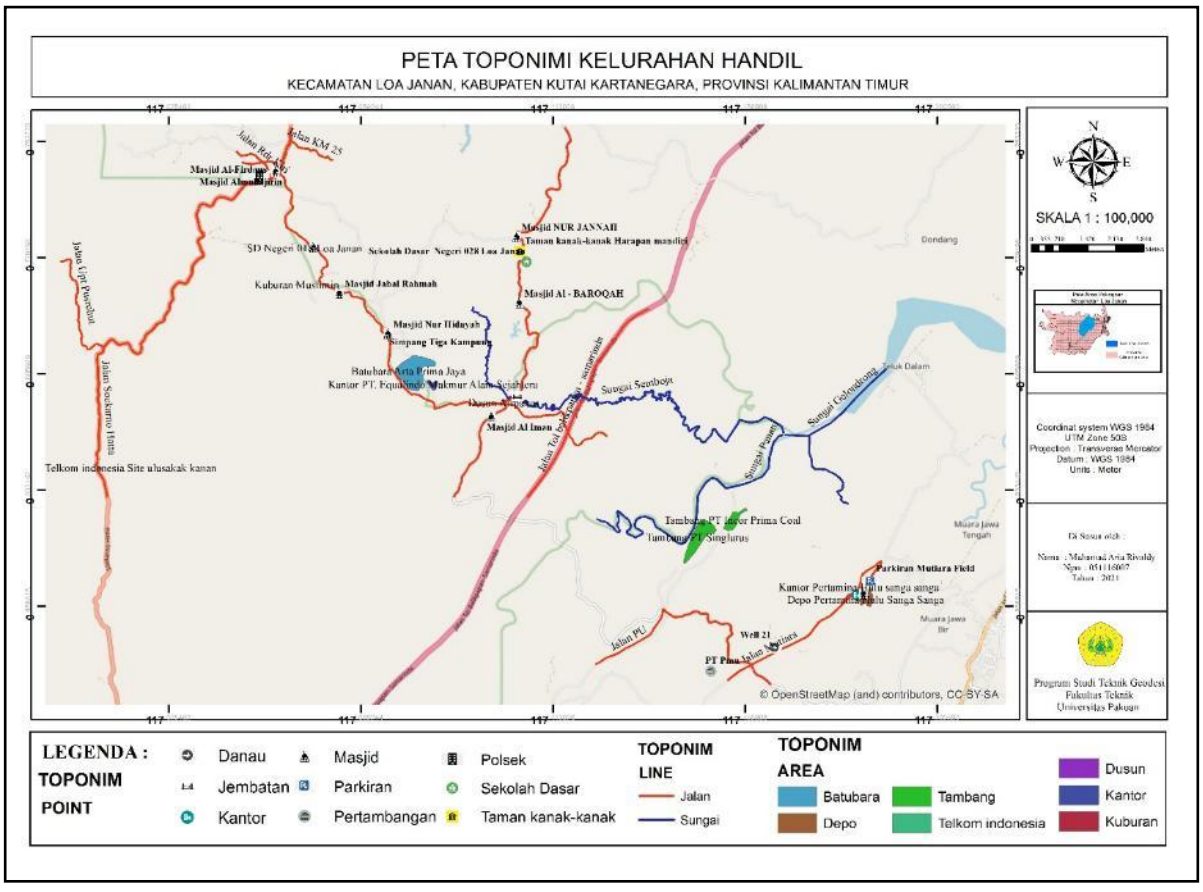
Hasil pengolahan data yang telah dilakukan di ArcGIS



Gambar 12. Data *view.*

Hasil Akhir

Pada penyajian informasi ini yang dihasilkan dari semua proses berupa, peta toponimi yang berisikan informasi-informasi data baik berupa generik maupun spesifik di Kelurahan Handil, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan timur.



Gambar 13. *Layout* peta.

KESIMPULAN

Survei toponimi mempunyai peran penting dalam persiapan ibu kota negara salah satunya adalah untuk mewujudkan tertib adminitrasi pemerintahan khususnya tertib penamaan rupabumi (Generik dan Spesifik) oleh sebab itu pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk melakukan survei toponimi yang baik ada beberapa hal yang harus di perhatikan yaitu mengetahui arti sejarah penamaan, cara penulisan, cara pengucapan serta persiapan data pendukung seperti kode unsur, daftar nama dan peta dasarnya. Hasil dari pekerjaan kali ini telah memberikan kemudahan dan tahapan – tahapan dalam melakukan survei toponimi dan untuk penyelenggaraan pembakuan nama rupabumi mulai dari pengumpulan data, penelaahan, hingga pembakuan serta sangat membantu dan efektifnya penggunaan aplikasi SAKTI dalam proses survei toponimi ini. Data hasil pengolahan survei toponimi ini menghasilkan sebuah peta toponimi yang memiliki informasi geosapasial berupa unsur generik atau spesifik yang berada di daerah Kelurahan Handil, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, sehingga diharapkan keseluruhan proses pembakuan nama rupabumi sebagai bagian dari informasi geospasial dapat diselenggarakan dengan maksimal, lebih cepat, tepat, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan dan penyusunan penelitian ini. Kepada Universitas Pakuan, Badan Informasi Geospasial yang telah memberikan data untuk dibuat penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Ardianto, A., & Ardianto, A. E. B. A. (2016). Rancang Bangun Aplikasi Pariwisata Malang Berbasis Android. Jurnal Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi, 1(2).

Budiyanto, E. 2002. Sistem Informasi Geografis Menggunakan ARC VIEW GIS. Yogyakarta : Andi Offset.

Charter, Denny, dan Irma Agtrisari. 2003. Desain dan Aplikasi Geographics Information System. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.

Hamidi, Sistem Informasi Geografi Berbasis Web Penyebaran Dana Bantuan Operasional Sekolah, Jurnal Masyarakat Informatika, Volume 2, Nomor 3, ISSN 2086 – 4930

Santosa, Budi. dkk. 2008, Sistem Informasi Geografis Penyebaran Penduduk Berdasarkan tingkat Usia di Kabupaten Sleman Berbasis Web, Seminar Nasional Informatika (semnas IF 2008), UPN "VETERAN"Yogyakarta, ISSN: 1979-2328.

Santoso, S., Ilamsyah, I., & Abilaji, R. (2019). Pandu Lokasi Wisata Kota Tangerang Dengan Sistem Informasi Geografis Berbasis Web. Jurnal Sistem Informasi dan Informatika (Simika), 2(1), 91–101. Https://Doi.Org/10.47080/Simika.V2i1.335

Santynawan, Archita Permana, Sdarsono, B., & Firdaus, Hana Sugiast. (2020). Perancangan Aplikasi Wisata dan City Tourism Berbasis Webgis Guna Meningkatkan Daya Saing Wisata Kota (Studi Kasus: Kota Semarang). Jurnal Geodesi Undip, 9(1), 364–372. Sari, R., Webgis, I., Penyebaran, U., Dikota, A., Prapat, R., Rasyid Munthe, I., Pane, R., & Penulis, E. (2019). Implementasi Webgis Untuk Penyebaran Apotek Dikota Rantau Prapat. Jurnal Media Informatika, 01, 9–17.

Tjiptanata Agus, Ricky. dkk. 2011, Sistem Informasi Geografis Rumah Sakit Berbasis Web. Seminar Nasional dan Ekspo, Teknik Elektro, Depok, Indonesia, ISSN : 2088-9984

Triwardhani, D., & Zaidiah, A. (2020). Pemetaan Obyek Wisata di Kabupaten Lebak Menggunakan Gis (Geografi Informasi Sistem). Informatik : Jurnal Ilmu Komputer, 15(3), 123. Https://Doi.Org/10.52958/Iftk.V15i3.1297

VISUALISASI DATA RELIEF BUMI, BATAS LEMPENG TEKTONIK, PATAHAN AKTIF, DAN KEGEMPAAN TERELOKASI DI INDONESIA PERIODE 2009 HINGGA 2021 SECARA DUA DIMENSI

(*Visualization of Earth Relief Data, Tectonic Plate Boundaries, Active Faults, and Seismicity Relocated in Indonesia for the period 2009 to 2021 in Two Dimensions*)

Bambang Sugiarto
Pusat Riset Kebencanaan Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Kawasan Sains Teknologi Samaun Samadikun, Jl. Sangkuriang Cisitu Bandung 40135
E-mail: bamb059@brin.go.id

ABSTRAK

Visualisasi data relief bumi, batas lempeng tektonik, patahan aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 2009 hingga 2021 secara dua dimensi belum diungkapkan secara jelas dan terperinci. Studi ini dimaksudkan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan cara mengungkapkan daftar *script* pemrograman yang dapat dijalankan menggunakan perangkat lunak/program komputer yang bersifat terbuka (*open source*) untuk memvisualisasikan data relief bumi, batas lempeng tektonik, patahan aktif, dan kegempaan terelokasi dalam bentuk tabel menjadi gambar dua dimensi. Hasil studi ini membuat *script* program komputer yang dapat ditemukan dengan mudah secara online, dapat diakses, dapat dioperasikan, dan dapat digunakan ulang untuk pengembangan program komputer lain yang terkait maupun untuk pembelajaran bagi periset, pelajar, mahasiswa, dan masyarakat kebumian di lembaga penelitian dan pengembangan maupun universitas.

Kata kunci: gempabumi terelokasi, program terbuka, visualisasi

ABSTRACT

The visualization of data on earth relief, tectonic plate boundaries, active faults, and seismicity relocated in Indonesia for the period 2009 to 2021 in two dimensions has not been disclosed clearly, and in detail. This study is intended to overcome the problems raised above by revealing a list of programming scripts that can be run using open-source software/computer programs to visualize data on the relief of the earth, tectonic plate boundaries, active faults, and seismicity relocated in the form of tables into two-dimensional images. The results of this study create computer program scripts that can be found easily online, can be accessed, can be operated, and can be reused for the development of other related computer programs as well as for learning for researchers, students, students, and the earth community in Research and Development institutions and universities.

***Keywords**: Earthquake relocated, open source program, visualization*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak di wilayah Cincin Api Pasifik, sebuah kawasan yang dikenal karena aktivitas seismik dan vulkaniknya yang tinggi. Dengan topografi yang beragam dan kompleksitas geologisnya, Indonesia sering menjadi pusat perhatian dalam studi tentang relief bumi, lempeng tektonik, patahan aktif, dan kegempaan. Program komputer untuk visualisasi data relief bumi (*earth relief*), batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi belum diungkapkan secara jelas dan terperinci.

Data relief bumi dapat diperoleh dengan mudah melalui aplikasi open source *Generic Mapping Tools* (Wessel *et al.*, 2019). Data batas lempeng tektonik dapat diperoleh pada publikasi (Bird, 2003). Data sesar aktif di Indonesia dapat diperoleh melalui publikasi ilmiah (Irsyam *et al.*, 2020). Data kegempaan terelokasi dapat diperoleh dengan mudah melalui akses ke website Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dengan melakukan pemilihan parameter *Data Interval* (UTC) *Magnitude Interval*, Depth (km), dan Batas *Geographic Region*: *North*, *South*, *West*,

dan *East*, serta memasukkan *Advance Options* dan memilih *Event Type*: *Final Earthquake Catalog* (*Relocated Event*), untuk selanjutnya diekstrak dalam bentuk tabel.

Namun demikian data relief bumi, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi yang tersebut di atas masih mempunyai kelemahan dan keterbatasan antara lain belum ada *script* pemrograman yang dapat dijalankan pada perangkat lunak/program komputer yang bersifat terbuka (*open source*) untuk memvisualisasikan data *earth relief*, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi dalam bentuk tabel menjadi gambar dua dimensi. Selanjutnya makalah ini dimaksudkan untuk mengatasi permasalahan yang dikemukakan di atas dengan cara mengungkapkan daftar *script* pemrograman yang dapat dijalankan menggunakan perangkat lunak/program komputer yang bersifat terbuka (*open source*) untuk memvisualisasikan data relief bumi, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi dalam bentuk tabel menjadi gambar dua dimensi.

METODE

Teknik visualisasi dataset kebumian seperti ini pernah disampaikan oleh (Sugiarto, 2022a; 2022b) menggunakan perangkat lunak Generic Mapping Tools (GMT). GMT adalah perangkat lunak yang sangat populer di kalangan geosains untuk membuat berbagai jenis peta dan grafik. GMT sangat fleksibel karena menggunakan bahasa *scripting* yang mirip dengan bahasa *shell* seperti *bash*. Ini artinya, sintaksnya cenderung sederhana dan mudah dipahami, terutama bagi mereka yang sudah familiar dengan lingkungan Unix atau Linux. memilih pendekatan yang efisien untuk menjalankan program GMT melalui file .bat di Visual Studio Code. Kombinasi ini memungkinkan untuk mengotomatiskan proses, meningkatkan produktivitas, dan menjaga konsistensi dalam proyek pembuatan peta.

File .bat adalah singkatan dari "batch file". Ini merupakan file teks sederhana yang berisi serangkaian perintah yang akan dieksekusi secara berurutan oleh sistem operasi Windows. dalam konteks GMT, file .bat dapat digunakan untuk: [1] Mengatur lingkungan kerja: Menentukan lokasi instalasi GMT, library tambahan, dan variabel lingkungan yang diperlukan. [2] Memanggil perintah GMT: Menjalankan perintah-perintah GMT secara otomatis, seperti membuat peta, melakukan analisis spasial, atau mengonversi data. [3] Mengotomatiskan tugas berulang: Memudahkan Anda dalam menjalankan serangkaian tugas pemetaan yang sama berulang kali.

Eksekusi file .bat dilakukan menggunakan Visual Studio Code. Visual Studio Code (VS Code) adalah editor kode yang sangat populer dan fleksibel. Beberapa alasan mengapa VS Code cocok untuk menjalankan file .bat: [1] Integrasi terminal: VS Code menyediakan terminal bawaan yang memungkinkan Anda menjalankan perintah-perintah sistem operasi secara langsung, termasuk menjalankan file .bat. [2] Ekstensi: Ada banyak ekstensi yang dapat memperkaya pengalaman Anda dalam menggunakan VS Code, seperti ekstensi untuk GMT yang dapat membantu dalam penulisan skrip dan debugging. [3] Kustomisasi: VS Code sangat dapat dikustomisasi, sehingga Anda dapat menyesuaikan tampilan dan perilakunya sesuai dengan preferensi Anda.

Penelitian ini memiliki batas lokasi yang didefinisikan pada -R95/141/-11/6 yaitu antara koordinat 95 hingga 141 derajat Bujur Timur dan antara koordinat -11 hingga 6 derajat Lintang Selatan. Data relief bumi diambil secara online dan otomatis oleh program GMT melalui remote server. Data batas lempeng tektonik, data sesar aktif, dan data kegempaan terelokasi telah disiapkan/di download sebelumnya dan disimpan pada folder kerja GMT. Seluruh data yang dibutuhkan serta list program scripting disertakan dalam lampiran link google drive (Sugiarto, 2024). Melalui pendekatan ini, diharapkan informasi yang penting ini dapat diakses dengan lebih mudah dan dipahami oleh berbagai pihak yang membutuhkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Program komputer untuk visualisasi data earth relief dan batas lempeng tektonik secara dua dimensi dalam format *batch* yang dapat dijalankan pada perangkat kartografi modern Generic Mapping Tools (GMT yang bersifat terbuka (*open source*) ditampilkan pada **Script 1** berikut:

```
gmt begin Sugiarto2024_A jpg,png,pdf,eps,ps
    gmt set MAP_FRAME_TYPE=fancy
    gmt grdimage @earth_relief_15m -Rg -JK120/24c -Cglobe -I -Ba60f30g60 -Bafg -BNSWE+t"Visualisasi Data
Relief Bumi dan Batas Lempeng Tektonik" -U+c+o0c/-1c
    gmt colorbar -Bxa2500 -By+l"Elevation (m)" -DjCR+o-2c/0c
    gmt plot trench.gmt -W0.5,red
    gmt plot transform.gmt -W0.5,blue
    gmt plot ridge.gmt -W0.5,purple
    echo 95 -11 a > kotak_id
    echo 95 6 a >> kotak_id
    echo 141 6 a >> kotak_id
    echo 141 -11 >> kotak_id
    echo 95 -11 >> kotak_id
    gmt plot -W2 kotak_id
gmt end show
```

Script 1. Program komputer untuk visualisasi data *earth relief* dan batas lempeng tektonik secara dua dimensi dalam format *batch* yang dapat dijalankan pada perangkat kartografi modern *Generic Mapping Tools* (GMT yang bersifat terbuka (*open source*).

Program komputer untuk visualisasi batas lempeng tektonik dan sesar aktif secara dua dimensi dalam format batch yang dapat dijalankan pada perangkat kartografi modern Generic Mapping Tools (GMT yang bersifat terbuka (open source) ditampilkan pada **Script 2** berikut.

```
gmt begin Sugiarto2024_B jpg,png,pdf,eps,ps
    gmt grdimage @earth_relief_01m -R95/141/-11/6 -JM24c -Cgeo -I -Ba5f5 -BNseW+t"Visualisasi Batas Lempeng
Tektonik dan Sesar Aktif" -U+c+o0c/-0.6c --MAP_FRAME_TYPE=plain
    gmt colorbar -Bxa2500 -By+l"Elevation (m)" -DjCR+o-2c/0c
    gmt plot pusgen_1.gmt -W0.75,black
    gmt plot trench.gmt -W1,red
    gmt plot transform.gmt -W1,blue
    gmt plot ridge.gmt -W1,purple
    gmt basemap -LjBR+c-7+w800k+f+o2c/0.45c+l"km"
    gmt basemap -TdjBR+w1.2c+l+o2c/1c
gmt end show
```

Script 2. Program komputer untuk visualisasi batas lempeng tektonik dan sesar aktif secara dua dimensi dalam format batch yang dapat dijalankan pada perangkat kartografi modern *Generic Mapping Tools* (GMT yang bersifat terbuka (*open source*).

Program komputer untuk visualisasi data earth relief, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi sesuai dengan kekayaan intelektual ini berupa *script* program komputer dalam format *batch* yang dapat dijalankan pada perangkat kartografi modern Generic Mapping Tools (GMT yang bersifat terbuka (*open source*) ditampilkan pada **Script 3** berikut.

```
gmt begin Sugiarto2024_C jpg,png,pdf,eps,ps
    gmt set MAP_FRAME_TYPE=fancy
    gmt grdimage @earth_relief_01m -RID -JM24c -Cgeo -I -Ba5f5 -BNseW+t"Visualisasi Data Kegempaan Terelokasi
di Indonesia Periode 2009-2021" -U+c+o0c/-0.6c
    gmt colorbar -Bxa2500 -By+l"Elevation (m)" -DjCR+o-2c/0c
    gmt plot trench.gmt -W1,red -l"Trench"
    gmt plot transform.gmt -W1,blue -l"Transform"
    gmt plot ridge.gmt -W1,purple -l"Ridge"
    gmt plot pusgen_1.gmt -W0.75,black -l"Active Fault"
    gmt makecpt -Cred,yellow,green,blue,darkblue -T0,15,71,301,541,700 -N
    gawk "$4>8 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.4 -W0.01 -t50 -l"M>8"
    gawk "$4>7 && $4<=8 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.3 -W0.01 -t55 -
l"M7-M8"
    gawk "$4>6 && $4<=7 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.25 -W0.01 -t60 -
l"M6-M7"
    gawk "$4>5 && $4<=6 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.2 -W0.01 -t65 -
l"M5-M6"
    gawk "$4>4 && $4<=5 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.15 -W0.01 -t70 -
l"M4-M5"
    gawk "$4>3 && $4<=4 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.1 -W0.01 -t75 -
l"M3-M4"
    gawk "$4<=3  {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.05 -W0.01 -t80 -l"M<3"
    gawk "$4>8 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.4 -W0.01 -C -t30
    gawk "$4>7 && $4<=8 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.3 -W0.01 -C -t35
    gawk "$4>6 && $4<=7 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.25 -W0.01 -C -t40
    gawk "$4>5 && $4<=6 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.2 -W0.01 -C -t45
    gawk "$4>4 && $4<=5 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.15 -W0.01 -C -t50
```

```
    gawk "$4>3 && $4<=4 {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.1 -W0.01 -C -t65
    gawk "$4<=3  {print $3, $2, $6, $4}" bmkg_eq_reloc_2009_2021.txt | gmt plot -Sc0.05 -W0.01 -C -t60
    gmt psscale -C -Bx+l"EQ depth (km)" -DjBR+w4c/0.2c+h+o-0.6c/-0c+ml -F+p0.5p+gwhite+s -t10
    gmt basemap -LjBR+c-7+w500k+o4c/0.7c+l"km"
    gmt basemap -TdjBR+w1.2c+l+f2+o2c/1c
    gmt plot pusgen_1.gmt -W0.75,black
    gmt plot trench.gmt -W1,red
    gmt plot transform.gmt -W1,blue
    gmt plot ridge.gmt -W1,purple
gmt end show
```

Script 3. Program komputer untuk visualisasi data *earth relief*, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi sesuai dengan kekayaan intelektual ini berupa *script* program komputer dalam format batch yang dapat dijalankan pada perangkat kartografi modern *Generic Mapping Tools* (GMT yang bersifat terbuka (*open source*).

Mengacu pada ***Script* 1**, ***Scipt 2***, dan ***Script 3*** yang memperlihatkan detail secara lengkap program komputer untuk visualisasi data relief bumi, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi merupakan *script* program komputer dalam format *batch* yang dapat dijalankan pada perangkat kartografi modern buatan Wessel et al (2019) Generic Mapping Tools (GMT) yang bersifat terbuka (*open source*). Script program komputer pada kekayaan intelektual ini berekstensi batch (.bat) dan diberikan nama BSpaten1.bat. File program komputer diupload pada *google drive* (Sugiarto, 2024).

Script program komputer terdiri baris-baris perintah (*command*) dengan kombinasi beberapa jenis perintah diantaranya: gmt begin, gmt grdimage, gmt plot, gmt colorbar, gmt basemap, gmt makecpt, gawk, dan gmt end.

Baris perintah gmt begin digunakan untuk memulai sesi mode modern gmt baru; pada baris ini setelah gmt begin ditambahkan nama file output yang akan tersimpan serta format output. Pada program komputer hasil penelitian ini diberikan nama output yaitu: BSpaten1 dengan beberapa format output diantaranya .jpg, .png, .pdf, dan .eps. Baris perintah gmt grdimage digunakan untuk membaca file kisi 2-D dan menghasilkan peta berbayang abu-abu (atau berwarna) dengan membuat gambar persegi panjang dan menetapkan piksel dengan bayangan abu-abu (atau warna) berdasarkan nilai-z dan file CPT.

Gambar 1 berikut memperlihatkan tangkapan layar detail tabel data kegempaan terelokasi kompilasi data hasil relokasi (analisis/*review*) oleh ahli gempa bumi/seismologis sejak tanggal 1 Januari 2009 sampai dengan tanggal 31 Desember 2021 sebagai input untuk visualisasi terdiri dari 74.135 (tujuh puluh empat ribu seratus tiga puluh lima) buah baris data gempabumi berekstensi .txt terdiri dari:

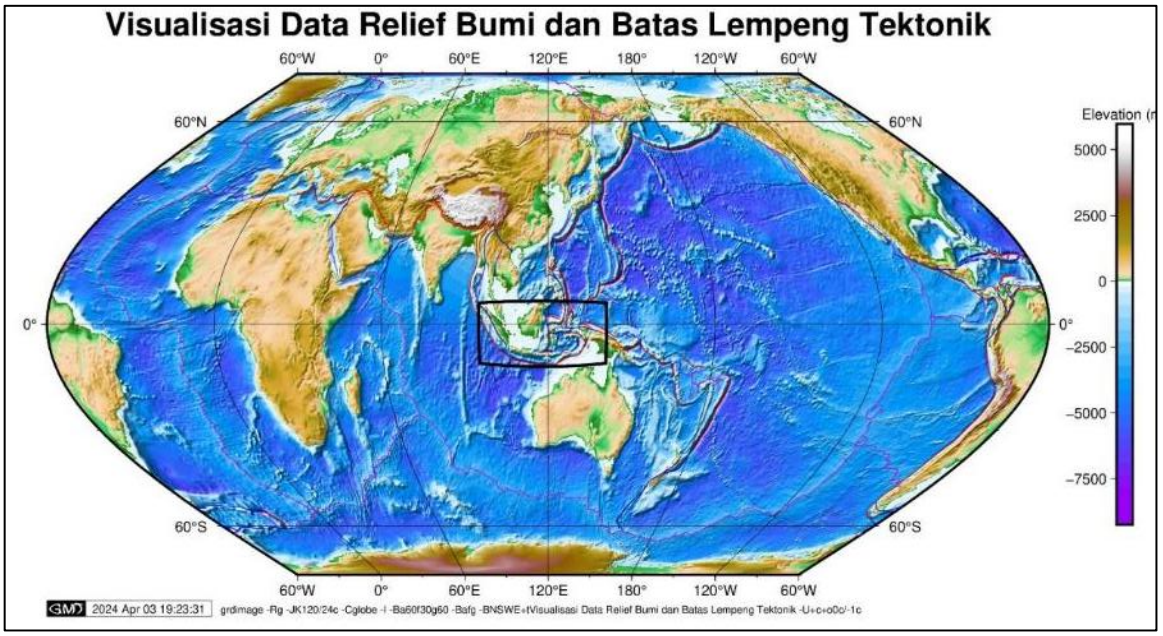
- Kolom pertama menunjukkan ID
- Kolom kedua menunjukkan *longitude*
- Kolom ketiga menunjukkan *latitude*
- Kolom keempat menunjukkan *Magnitude*
- Kolom kelima menunjukkan *Depth* (kedalaman)
- Kolom keenam menunjukkan RMS
- Kolom keenam menunjukkan *Err. Vertical*
- Kolom ketujuh menunjukkan *Err. Horizontal*
- Kolom kedelapan menunjukkan Jenis *Magnitudes*

	ID	Latitude	Longitude	Magnitude	RMS Err	Depth	ErrVertical	ErrHorizontal
1	1	-7.4756	107.8755	2.7	0.001	103.81	0.04	0.04
2	2	-6.1026	102.2078	4.4	0	36.34	0.05	0.05
3	3	-3.2605	100.218	5.5	0.004	32.96	0.02	0.02
4	4	-3.2953	100.262	6.4	0.004	28.69	0.03	0.04
5	5	-3.1399	100.2923	4.7	0.002	13.19	0.02	0.03
6	6	-3.4571	100.266	3.9	0.003	2.97	0.02	0.03
7	7	-3.6117	100.1274	4.6	0.003	14	0.03	0.03
8	8	-6.7943	102.6664	4.5	0.002	7.44	0.04	0.04
9	9	-3.3719	100.2221	4.9	0.004	5.55	0.04	0.04
10	10	-3.3682	100.2781	5.2	0.004	35.35	0.02	0.02
11	11	-4.4255	102.2796	3.1	0.001	90.61	0.03	0.04
12	12	-4.7146	102.1719	3.8	0.002	2.68	0.03	0.03
13	13	-1.5048	99.3683	4.2	0.002	3.21	0.03	0.03
14	14	-1.52	100.0837	3.9	0.001	23.61	0.03	0.03
15	15	-6.3399	104.6536	3.8	0.003	24.2	0.02	0.03
16	16	-1.0706	99.5585	3.4	0.001	58.27	0.04	0.03
17	17	-8.0861	107.8866	4.1	0.002	16.33	0.02	0.02
18	18	-8.1482	107.85	2.9	0.002	65.22	0.04	0.04
19	19	-4.6341	102.7225	4.2	0.002	46.75	0.02	0.03
20	20	-5.347	103.2877	5	0.004	22.39	0.04	0.04
21	21	-5.2066	103.3811	3.5	0.002	65.18	0.04	0.03
22	22	-4.6711	103.1482	3.8	0.002	31.46	0.04	0.04
23	23	-4.6735	104.0838	4.1	0	52.31	0.04	0.04
24	24	-8.4576	108.5476	3.4	0	40.56	0.03	0.02
25	25	-8.1489	108.4121	4	0.003	49.5	0.03	0.03
26	26	-8.9111	106.1336	4.4	0.002	14.64	0.03	0.04
27	27	-8.4344	107.5751	3.5	0.001	82.33	0.04	0.06
28	28	-7.2403	105.9982	4.5	0.003	62.59	0.03	0.03
29	29	-8.3852	108.9869	4.9	0.004	18.23	0.04	0.02
30	30	-1.7055	100.1628	4.3	0.002	49.14	0.03	0.03
31	31	-5.5009	101.2428	5.1	0.002	27.33	0.04	0.04
32	32	-8.4349	108.8877	3.3	0.002	33.89	0.03	0.02
33	33	-8.343	107.9868	4.5	0.003	39.77	0.02	0.03
34	34	-6.8305	108.8518	3.8	0	28.73	0.08	0.07
35	35	-8.3752	109.9217	3.8	0.003	70.39	0.04	0.03

74103	75512	-1.4253	133.8842	3.5	0.025	8.01	0.4	0.35
74104	75513	-0.6249	131.545	4	0.022	7.49	0.28	0.32
74105	75514	-0.629	131.3492	3.1	0.019	27.52	0.48	0.48
74106	75515	-0.7093	131.5171	3.2	0.014	6.44	0.23	0.28
74107	75516	-0.6403	131.5345	3.6	0.017	5.07	0.27	0.28
74108	75517	-3.4724	131.3464	4.8	0.017	16.48	0.35	0.22
74109	75518	-0.7996	131.2839	4	0.011	27.47	0.45	0.51
74110	75521	-0.638	131.4725	3.9	0.03	4.23	0.34	0.35
74111	75522	-0.6298	131.4406	4.1	0.021	9.15	0.25	0.41
74112	75523	-0.6294	131.5402	3.9	0.007	9.58	0.34	0.38
74113	75524	-0.6777	131.5633	4.2	0.017	5.8	0.25	0.29
74114	75525	-4.9723	130.051	4.3	0.008	8.12	0.48	0.55
74115	75526	-0.726	131.4393	3.9	0.014	17.57	0.33	0.36
74116	75527	-0.5949	131.5233	3.9	0.017	9.08	0.25	0.32
74117	75528	-6.0413	146.8197	4.4	0.01	197.94	1.16	1.09
74118	75529	-0.6182	131.5598	4.4	0.019	4.99	0.38	0.38
74119	75530	-0.5678	131.494	3.1	0.014	19.82	0.31	0.41
74120	75531	-6.4804	130.033	4.4	0.03	180.72	0.24	0.27
74121	75532	-0.5758	131.4929	3.2	0.013	13.11	0.3	0.38
74122	75533	-6.0635	142.3289	4.9	0.007	36.7	1.01	0.95
74123	75534	-4.2814	142.5008	4.2	0.009	126.76	1.04	1.13
74124	75535	-4.8039	130.7876	4.2	0.022	83.02	0.4	0.36
74125	75536	-2.9324	135.9994	3.8	0.011	16.89	0.42	0.39
74126	75537	-6.6377	130.4857	3.9	0.034	108.13	0.33	0.39
74127	75538	-1.025	136.6336	3.9	0.007	29.39	0.72	0.86
74128	75539	-4.652	134.0429	4.8	0.024	65.34	0.22	0.3
74129	75540	-2.9353	140.5196	2.2	0.016	29.85	0.5	0.5
74130	75541	-0.6298	131.3627	3.4	0.009	26.17	0.38	0.46
74131	75542	-0.6199	131.5077	2.7	0.005	11.12	0.31	0.45
74132	75543	-0.9757	134.2725	3.4	0.038	13.02	0.71	0.51
74133	75544	-3.6014	139.3819	3.4	0.02	25.48	0.4	0.45
74134	75545	-3.1337	135.2192	3.9	0.022	19.37	0.35	0.38
74135	75546	-5.357	130.1902	4.1	0.03	186.29	0.77	0.59
74136	75547	-6.0729	148.181	4.9	0.012	127.07	0.52	0.36
74137								

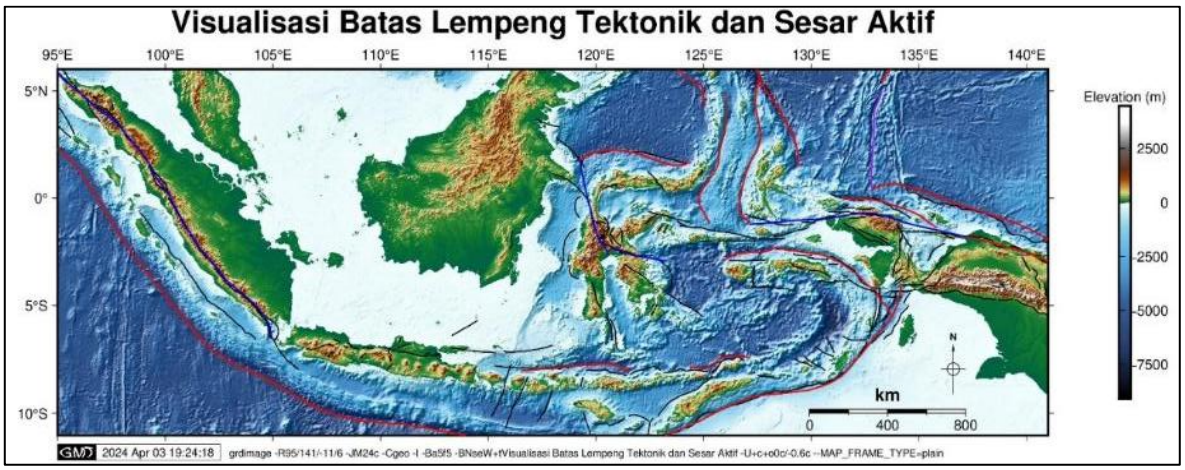
Gambar 1. Tangkapan layar (*screenshoot*) dari tabel data kegempaan terelokasi kompilasi data hasil relokasi (analisis/review) oleh ahli gempa bumi/*seismologist* semenjak tanggal 1 Januari 2009 sampai dengan tanggal 31 Desember 2021 sebagai input untuk visualisasi.

Gambar 2 menunjukkan visualisasi data earth relief dan batas lempeng tektonik. Baris perintah yang digunakan yaitu: *gmt grdimage @earth_relief_15m -Rg -JK120/24c -Cglobe -I -Ba60f30g60 -Bafg -BNSWE+t"VISUALISASI DATA EARTH RELIEF dan BATAS LEMPENG TEKTONIK" -U+c+o0c/-1c.*



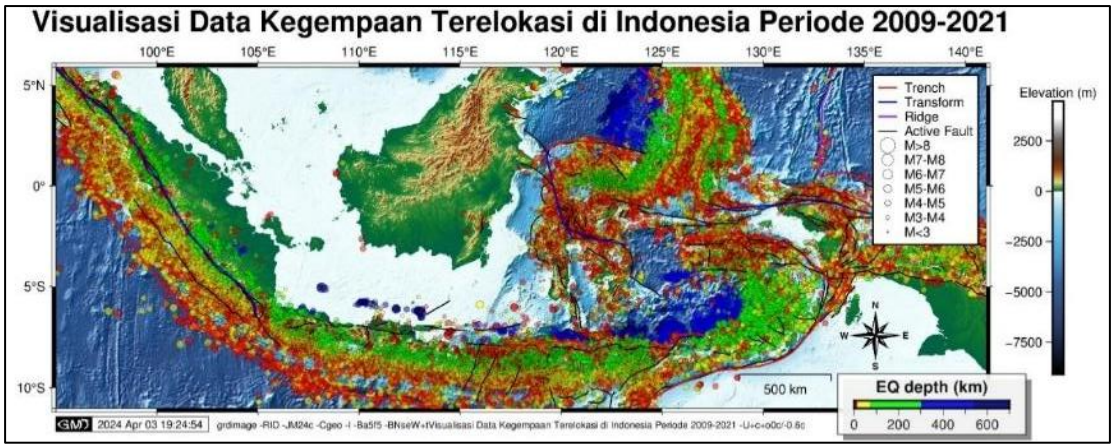
Gambar 2. Hasil visualisasi data earth relief, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi, yang dicirikan dengan batas area yang dilakukan visualisasi berupa koordinat lintang dan koordinat bujur yaitu antara 95° sampai dengan 141° Bujur Timur dan antara 11° Lintang Selatan sampai dengan 6° Lintang Utara.

Gambar 3 menunjukkan visualisasi batas lempeng tektonik dan sesar aktif. Baris perintah yang digunakan yaitu: *gmt grdimage @earth_relief_01m -R95/141/-11/6 -JM24c -Cgeo -I -Ba5f5 -BNseW+t"VISUALISASI BATAS LEMPENG TEKTONIK dan SESAR AKTIF" -Y-12c -U+c+o0c/-0.6c --MAP_FRAME_TYPE=plain.*



Gambar 3. Hasil visualisasi data earth relief, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi, yang dicirikan dengan batas area yang dilakukan visualisasi berupa koordinat lintang dan koordinat bujur yaitu antara 95° sampai dengan 141° Bujur Timur dan antara 11° Lintang Selatan sampai dengan 6° Lintang Utara.

Gambar 4 menunjukkan visualisasi data kegempaan terelokasi di indonesia periode 2009-2021. Baris perintah yang digunakan yaitu: *gmt grdimage @earth_relief_01m -RID -JM24c -Cgeo -I -Ba5f5 -BNseW+t"VISUALISASI DATA KEGEMPAAN TERELOKASI di INDONESIA PERIODE 2009-2021" -Y-11.5c -U+c+o0c/-0.6c --MAP_FRAME_TYPE=fancy.*



Gambar 4. Hasil visualisasi data earth relief, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi, yang dicirikan dengan batas area yang dilakukan visualisasi berupa koordinat lintang dan koordinat bujur yaitu antara 95° sampai dengan 141° Bujur Timur dan antara 11° Lintang Selatan sampai dengan 6° Lintang Utara.

Pada penelitian ini proyeksi yang digunakan ada dua yaitu -JK untuk **Gambar 2** dan -JM untuk **Gambar 3** dan **Gambar 4**; *palette* yang digunakan yaitu -Cglobe untuk **Gambar 2** dan -Cgeo untuk **Gambar 3** dan **Gambar 4**; resolusi *earth image* yang digunakan yaitu 1m untuk **Gambar 2** dan 1m untuk **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Baris perintah gmt plot digunakan untuk membuat plot garis, poligon, dan simbol dalam 2-D. Baris perintah gmt *colorbar* digunakan untuk plot *gray scale* atau *color scale bar*. Baris perintah gmt *basemap* digunakan untuk mem-plot peta dan bingkai dasar. Baris perintah gmt makecpt digunakan untuk membuat tabel palet warna gmt. Baris perintah gawk/awk adalah bahasa khusus domain yang dirancang untuk pemrosesan teks dan biasanya digunakan sebagai alat ekstraksi dan pelaporan data. Baris perintah gmt end digunakan untuk menghentikan sesi mode modern gmt dan hasilkan grafik opsional sesuai tipe file yang telah ditentukan pada baris pertama gmt begin; apabila tipe file tidak diisi maka akan dihasilkan output dalam format default yaitu pdf.

Besaran lingkaran pusat gempabumi pada **Gambar 4** sudah merepresentasikan besaran magnitudo gempa. Serta skala warna lingkaran gempabumi merah, kuning, hijau, biru, dan biru tua merepresentasikan kedalaman dari pusat gempabumi. Lingkaran warna merah untuk gempabumi kedalaman 0-14 km, lingkaran warna kuning untuk gempabumi kedalaman 15-70 km, lingkaran warna hijau untuk gempabumi kedalaman 71-300 km, lingkaran warna biru untuk gempabumi kedalaman 301-349 km, dan lingkaran warna biru tua untuk gempabumi kedalaman 350-700 km.

Mengacu pada **Gambar 2** hingga **Gambar 4** program komputer untuk visualisasi data *earth relief*, batas lempeng tektonik, sesar aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021 secara dua dimensi dijalankan menggunakan data-data kebumian di antaranya data relief bumi (*earth relief*), data batas lempeng tektonik, data sesar aktif, dan data kegempaan terelokasi dengan perangkat kartografi modern buatan Wessel et al (2019) Generic Mapping Tools (GMT) yang bersifat terbuka (*open source*). Hal ini tentu saja akan memudahkan pengguna untuk memanfaatkan data kebumian dan mengaplikasikannya dalam kegiatan riset dan inovasi serta menghilangkan ketergantungan kepada perangkat lunak yang memerlukan lisensi dan berbayar.

Hasil penelitian pada **Gambar 2**, **Gambar 3**, dan **Gambar 4** memberikan hasil visualisasi data relief bumi, batas lempeng tektonik, patahan aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 2009 hingga 2021 dalam bentuk dua dimensi yang sangat baik dan presisi. Untuk keperluan riset lanjutan pengguna dapat memodifikasi *script* sesuai kebutuhan dan tujuan penelitiannya. Lokasi penelitian dapat dimodifikasi dengan merubah batas utara, selatan, barat, dan timur dari script -R. Warna palet dan *colorbar* dapat disesuaikan sesuai selera dan kebutuhan pengguna. Pengguna dapat lebih lanjut mengembangkan *script* program ini serta menambahkan data-data kebumian lain yang relevan sesuai tujuan penelitian. Modifikasi lanjut dapat diperdalam menambahkan modul-modul lain pada aplikasi GMT (Wessel *et al.*, 2019).

KESIMPULAN

Studi ini menghadirkan sebuah solusi terbuka dan terperinci untuk visualisasi data relief bumi, batas lempeng tektonik, patahan aktif, dan kegempaan terelokasi di Indonesia periode 2009 hingga 2021 dalam bentuk dua dimensi. Dengan mengungkapkan daftar *script* pemrograman yang dapat dijalankan menggunakan perangkat lunak *open source*, studi ini bertujuan untuk memfasilitasi pemahaman yang lebih baik tentang kompleksitas geologi Indonesia serta meningkatkan aksesibilitas informasi bagi berbagai pihak.

Melalui penerapan metode yang telah diuraikan, visualisasi data geologi Indonesia dapat dibuat dengan jelas dan akurat. Hasil dari studi ini adalah pengembangan *script* program komputer yang dapat diakses secara *online*, dioperasikan, dan digunakan ulang oleh periset, pelajar, mahasiswa, dan masyarakat umum. Visualisasi yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pemahaman pola distribusi dan karakteristik gempa bumi di wilayah Indonesia, serta membantu upaya mitigasi risiko bencana alam.

Dalam kesimpulan ini, kami menekankan pentingnya aksesibilitas dan kegunaan solusi yang dihasilkan untuk berbagai kepentingan, termasuk riset ilmiah, pendidikan, dan mitigasi bencana. Studi ini menjadi langkah awal dalam upaya menyediakan sumber daya yang berguna dan mudah diakses bagi pemahaman dan pengelolaan sumber daya alam serta mitigasi risiko bencana di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Dr. Adrin Tohari, M.Eng. selaku Kepala Pusat Riset Kebencanaan Geologi dan Koordinator Kegiatan Rumah Program Kebencanaan Geologi. Riset ini merupakan salah satu bagian dari kegiatan Rumah Program Kebencanaan Geologi, Organisasi Riset Kebumian dan Maritim, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tahun Anggaran 2023 dan 2024 pendanaan riset diberikan kepada Bambang Sugiarto sebagai *Principal Investigator* (PI).

DAFTAR PUSTAKA

Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 4(3). https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2001GC000252 Link dataset: http://peterbird.name/oldFTP/PB2002/PB2002_boundaries.dig.txt).

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG): https://repogempa.bmkg.go.id/eventcatalog

Irsyam, M., Cummins, P. R., Asrurifak, M., Faizal, L., Natawidjaja, D. H., Widiyantoro, S., Meilano, I., Triyoso, W., Rudiyanto, A., Hidayati, S., Ridwan, M., Hanifa, N. R., & Syahbana, A. J. (2020). Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia. Earthquake Spectra, 36(1_suppl), 112–136. https://doi.org/10.1177/8755293020951206 Link Dataset: https://doi.org/10.25384/SAGE.12906655.v1).

Sugiarto, B. (2022a). Kelurusan gunungapi di pulau jawa bagian barat, fokus area: kabupaten Bandung, dan sekitarnya. Jurnal MIPA dan Pembelajarannya (JMIPAP), 2(3), 217–222.

Sugiarto, B. (2022b). Tinjauan Geofisika Kabupaten Malang, Jawa Timur, Indonesia (Aplikasi Kartografi Modern dan Geokomputasi Sederhana). Jurnal MIPA dan Pembelajarannya (JMIPAP), 2(4), 241–247.

Sugiarto, B. (2024). Dataset Paper: VISUALISASI DATA RELIEF BUMI, BATAS LEMPENG TEKTONIK, PATAHAN AKTIF, dan KEGEMPAAN TERELOKASI di INDONESIA PERIODE 2009 HINGGGA 2021 SECARA DUA DIMENSI. https://drive.google.com/drive/folders/1n6f_IRn3TLPmlzmeGToGC94ERGDVXT-I?usp=sharing

Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. (2019). The Generic Mapping Tools Version 6. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20(11), 5556–5564. https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2019GC008515 https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019GC008515; Link datasets: https://www.generic-mapping-tools.org/remote-datasets/earth-relief.html.

PENGUKURAN TINGGI POHON BERDASARKAN VARIASI KETINGGIAN TERBANG *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV)

Studi Kasus Pulau Mansinam

(Tree Height Measurement Based on Unmanned Aerial Vehicle Flight Altitude Variations: A Case Study of Mansinam Island)

Futri Isma R., Francina F. Kesaulija, Zulfikar Mardiyadi
Fakultas Kehutanan, Universitas Papua

Jalan Gunung Salju, Amban, Manokwari, Papua Barat, 98314, Indonesia
E-mail: z.mardiyadi@gmail.com

ABSTRAK

Pengukuran tinggi pohon dengan menggunakan UAV masih sangat sedikit dilakukan terutama pada daerah pulau-pulau kecil dan alat ukur tinggi pohon juga mempunyai ketelitian paling rendah rata-rata 1 m dan sulit diukur di lapangan serta memerlukan waktu yang lebih lama. Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur tinggi pohon dari data DSM dan membandingkan hasil pengukuran dari data DSM pada tiga variasi ketinggian terbang UAV yang berbeda yaitu 50, 75, dan 100 m. Pengukuran tinggi pohon dari data DSM UAV pada variasi tinggi terbang UAV yaitu 50, 75, dan 100 m dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Global Mapper* 23.0 dengan hasil pengukuran tinggi pohon sampel pada tinggi terbang UAV 50 m dengan rata-rata nilai 4,31 m, ketinggian terbang UAV 75 m dengan nilai rata-rata 4,22 m, dan pada ketinggian terbang UAV 100 m dengan nilai rata-rata 3,79 m. Hasil perbandingan pengukuran dari data UAV DSM pada ketinggian terbang UAV 50 m dengan rata-rata selisih pengukuran 0,01 m, ketinggian terbang UAV 75 m dengan rata-rata selisih pengukuran 0,11 m, dan pada ketinggian terbang UAV 0,11 m. 100 m dengan nilai rata-rata selisih pengukuran sebesar 0,53 m.

Kata kunci: UAV, DSM, tinggi pohon.

ABSTRACT

Measurement of tree height using UAV is still very little done, especially in the area of small islands and tree height measuring tools also have the lowest average accuracy of 1 m and are difficult to measure in the field and require longer time. The purpose of this study was to measure tree height from DSM data and compare the measurement results from DSM data at three different UAV flight altitude variations, namely 50, 75, and 100 m. Tree height measurements from DSM UAV data at variations in UAV flight heights, namely 50, 75, and 100 m were carried out using the Global Mapper 23.0 application with the results of measuring sample tree heights at 50 m UAV flight altitude with an average value of 4.31 m, the UAV flying altitude is 75 m with an average value of 4.22 m, and at a UAV flying altitude of 100 m with an average value of 3.79 m. The results of the comparison of measurements from DSM UAV data at a UAV flying altitude of 50 m with an average measurement difference of 0.01 m, UAV flying altitude of 75 m with an average measurement difference of 0.11 m, and at a UAV flying altitude of 100 m with the average value of the measurement difference is 0.53 m.

***Keywords**: UAV, DSM, tree height.*

PENDAHULUAN

Pemetaan pulau kecil menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk menilai kondisi biofisik pulau masih sangat relatif baru atau sedikit di Indonesia (Ramadhani dan Susanti, 2015). Hal ini tentu memberikan gambaran bahwa banyak pulau-pulau di Indonesia yang belum diteliti secara spesifik termasuk pulau-pulau di Papua. Pulau Mansinam merupakan pulau peradaban orang Papua dimana pemberitaan injil di tanah Papua pertama kali di mulai dari pulau ini. Dengan terjadinya sejumlah peristiwa penting dan letaknya yang strategis maka, Pulau Mansinam merupakan salah satu pulau bersejarah sekaligus memilki potensi pariwisata religi. Beberapa faktor yang meningkatkan potensi pariwisata di Pulau Mansinam adalah keindahan pantai pasir putih, air laut yang jernih, dan didukung tarian adat serta situs bersejarah di pulau tersebut

(Agapa & Widyastuty, 2014). Letak yang strategis serta memiliki potensi pariwisata membuat Pulau Mansinam diberikan perhatian khusus dalam pengelolaannya termasuk pengembangan wilayah. Pengembangan wilayah pulau dan pertambahan penduduk akan memberikan dampak terhadap keberadaan hutan.

Hutan di Pulau Mansinam tergolong hutan tropis dataran rendah yang tentunya memiliki keanekaragaman hayati flora dan fauna. Keberadaan hutan di Pulau Mansinam perlu dipandang sebagai aset penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan lingkungan dengan tetap memperhatikan aspek pembangunan wilayah. Perpaduan pembangunan dan ekosistem wilayah perlu didukung dengan informasi penting terkait potensi dan kondisi terkini sehingga dapat menghasilkan solusi pembangunan wilayah yang ramah lingkungan. Untuk mendapatkan informasi terkait potensi perlu di lakukan inventarisasi hutan sebagai salah satu instrumen dengan tujuan untuk mendapatkan nilai rata-rata dan total dari suatu area hutan yang di nilai (Grznarova et al., 2019).

Sejauh ini hasil penelitian mengenai perhitungan tinggi pohon terutama di pulau kecil belum banyak di lakukan. Banyak penelitian berbasis teresterial di lakukan di pulau-pulau besar dengan beberapa faktor pendorong seperti aksesibilitas, keamanan, dan keunikan pulau sehingga informasi biofisik kawasan dari pulau- pulau kecil sangat kurang. Untuk mengatasi masalah-maslah tersebut, banyak teknologi yang telah dikembangkan untuk melakukan pemantauan dan pendugaan objek di permukaan bumi secara luas, tepat, dan cepat. Salah satu teknologi yang terus berkembang adalah dengan menggunakan UAV atau pesawat udara tanpa awak.

Penggunaan teknologi foto udara sebenarnya bukan merupakan teknologi yang baru berkembang saat ini namun teknologi ini sudah mulai digunakan dalam bidang militer yaitu saat perang dunia pertama dan kedua (Banu et al., 2016). Penggunaan UAV untuk penginderaan jauh memiliki banyak manfaat seperti mengurangi biaya, waktu, memiliki resolusi tinggi, dan mudah di gunakan dalam waktu dan tempat dimana saja (Zhang et al., 2019).

Kemajuan dalam bidang teknologi dan pengembangan kendaraan pesawat tanpa awak atau UAV memungkinkan penggunaan yang lebih luas dari UAV dalam bidang inventarisasi hasil hutan. Tinggi pohon merupakan salah satu karakteristik pohon yang mempunyai arti penting dalam inventarisasi hasil hutan. Tinggi pohon merupakan hal yang penting dalam pendugaan potensi pohon dan tegakan. Data tinggi bukan hanya diperlukan untuk menghitung nilai luas bidang dasar suatu tegakan melainkan juga dapat digunakan untuk menentukan volume pohon dan tegakan, yang berguna untuk mengetahui struktur suatu tegakan hutan.

Pada saat sekarang ini, pesawat tanpa awak telah digunakan dalam berbagai bidang. Pada bidang kehutanan telah digunakan untuk memperkirakan tinggi pohon menggunakan sensor kamera. Suatu citra yang berada didalam sebuah kamera atau lensa merupakan hasil penggambaran dari suatu objek nyata. Pembentukan citra didalam sebuah kamera dapat membantu untuk melakukan suatu pengukuran tinggi objek, sehingga dapat menggantikan alat ukur yang sudah ada sebelumnya.

Pengukuran tinggi pohon dengan menggunakan UAV masih sangat sedikit dilakukan terutama di daerah pulau-pulau kecil dan alat-alat ukur ketinggian pohon juga rata-rata memiliki akurasi paling rendah yaitu 1 m dan susahnya mengukur saat dilapangan serta memerlukan waktu lebih lama. Untuk itu penulis ingin melakukan penelitian untuk melihat pendekatan teknologi UAV dalam pengukuran tinggi pohon berdasarkan variasi ketinggian UAV di Pulau Mansinam.

Tujuan penelitian ini antara lain untuk mengukur tinggi pohon dari data DSM serta membandingkan hasil pengukuran dari data DSM pada tiga variasi ketinggian terbang UAV yang berbeda, yaitu ketinggian 50, 75, dan 100 m.

Sedangkan hipotesis yang dapat digunakan adalah hasil pengukuran tinggi pohon berdasarkan variasi ketinggian terbang menggunakan wahana UAV sama dengan tinggi pohon sebenarnya atau pengukuran tinggi secara manual pada tingkat kepercayaan 95%. Secara matematis, hipotesis yang digunakan sebagai berikut:

$H0 : \mu1 = \mu2 = \mu3 = 0$

$H1 : \mu1 \neq \mu2 \neq \mu3 \neq 0$

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2022 - November 2023 yang bertempat di Pulau Mansinam distrik Manokwari Timur Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat dan Laboratorium Perencanaan dan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan UNIPA.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan di gunakan dalam penelitian ini berupa peralatan survei lapangan, perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*) serta bahan sekali pakai. Rincian alat dan bahan dapat di lihat sebagai berikut :

- 1 unit Drone *DJI Mavic 2 Pro.*
- 1 unit ipad pro dilengkapi *Pix4D Capture* dan *DJI Go4.*
- Kabel data, Kamera handphone, Papan lapangan, Alat tulis menulis.
- Laptop dilengkapi Windows 2010 64 bit, Ms 2016, Agisoft Metashape, Riot, Arcmap 10.8, *Global Mapper* 23.0, dan *Pix4D Mapper*.
- Alat ukur stick/rambu ukur.
- Handphone dilengkapi Aplikasi *Avenza Maps* dan *Mobile Topographer.*
- Hasil foto udara menggunakan Drone *DJI Mavic 2 Pro.*

Metode dan Teknik Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental dengan melakukan uji coba menerbangkan drone dengan tinggi terbang 50, 75, dan 100 m serta melakukan pengukuran dengan teknik penginderaan jauh dan pengukuran tinggi pohon. Metode penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan dengan pendekatan uji coba dengan menggunakan dua set variabel. Set pertama bertindak sebagai konstanta, yang digunakan untuk mengukur perbedaan dari set kedua. Penginderaan jauh adalah ilmu untuk memperoleh informasi fenomena alam pada objek (permukaan bumi) yang diperoleh tanpa kontak langsung dengan objek permukaan bumi, tetapi melalui pengukuran pantulan (*reflection*) ataupun pancaran (*emission*) oleh media gelombang elektromagnetik (Surgawa *dalam* Lubis, 2017).

Variabel Penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah tinggi pohon dan variasi tinggi terbang UAV. Tinggi pohon adalah jarak terpendek antara suatu titik pada puncak pohon (atau titik lain pada pohon tersebut) dengan titik proyeksinya pada bidang datar (permukaan tanah).

Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis statistik deskriptif dengan menggunakan uji beda dua nilai rata-rata untuk melihat hubungan antara model dari hasil pengukuran tinggi pohon berdasarkan variasi ketinggian terbang menggunakan UAV dan pengukuran manual di lapangan menggunakan alat ukur *stick*/rambu ukur. Uji dua nilai rata-rata digunakan untuk mengetahui ada atau tidak adanya perbedaan (kesamaan) antara dua buah data. Salah satu teknik analisis statistik untuk menguji dua nilai rata-rata ini ialah uji t (t test) karena rumus yang digunakan disebut rumus t. Rumus t adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\overline{X1} - \overline{X2}}{\sqrt{\frac{\sum D^2 - ((\sum D)^2 / n))}{n(n-1)}}} \quad \text{..... (1)}$$

Keterangan:

$\overline{X1}$: Rata-rata data X1

$\overline{X2}$: Rata-rata data X2

D^2 : Selisih X1 dengan X2

n : Banyaknya Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria Pohon Sampel

Pohon sampel yang dipilih adalah pohon yang berukuran 2–7 m, pemilihan pohon dilakukan dengan mempertimbangkan keberadaan tajuk pohon sampel yang mudah di identifikasi pada saat interpretasi tajuk lewat foto udara yang telah di lakukan ortofoto dengan pohon sampel yang diukur berjumlah 100 pohon.

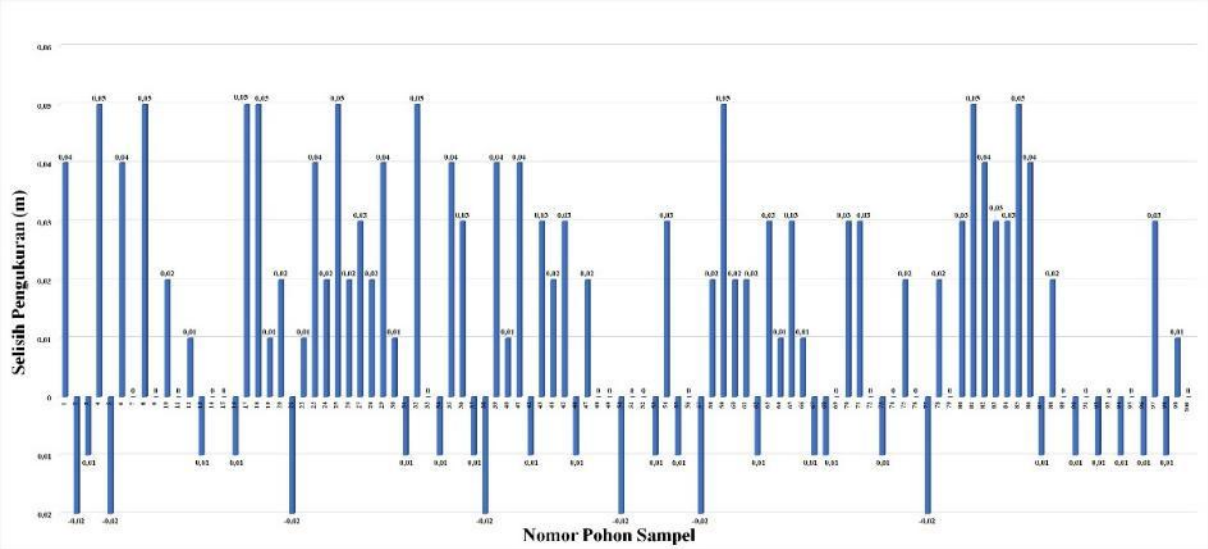
Tata cara pengukuran tinggi pohon dilapangan dengan menggunakan alat ukur *stick*/rambu ukur yang berukuran 7 m yaitu meletakkan rambu ukur pada pohon sampel yang ingin diukur kemudian tarik ujung rambu ukur hingga sampai ke pucuk tertinggi pohon dengan bantuan seorang teman untuk melihat alat rambu ukur telah pas dengan pucuk tertinggi pohon.

Perbandingan Pengukuran Pohon Sampel di Lapangan dan DSM

Hasil perbandingan pengukuran seluruh tinggi pohon sampel di lapangan dan menggunakan data DSM UAV pada berbagai ketinggian sebagai berikut:

1. 50 m

Hasil perbandingan pengukuran seluruh tinggi pohon sampel di lapangan dan menggunakan data DSM UAV pada ketinggian terbang drone 50 m yang diolah menggunakan *Microsoft Office Excel* disajikan pada dan **Gambar 1.**

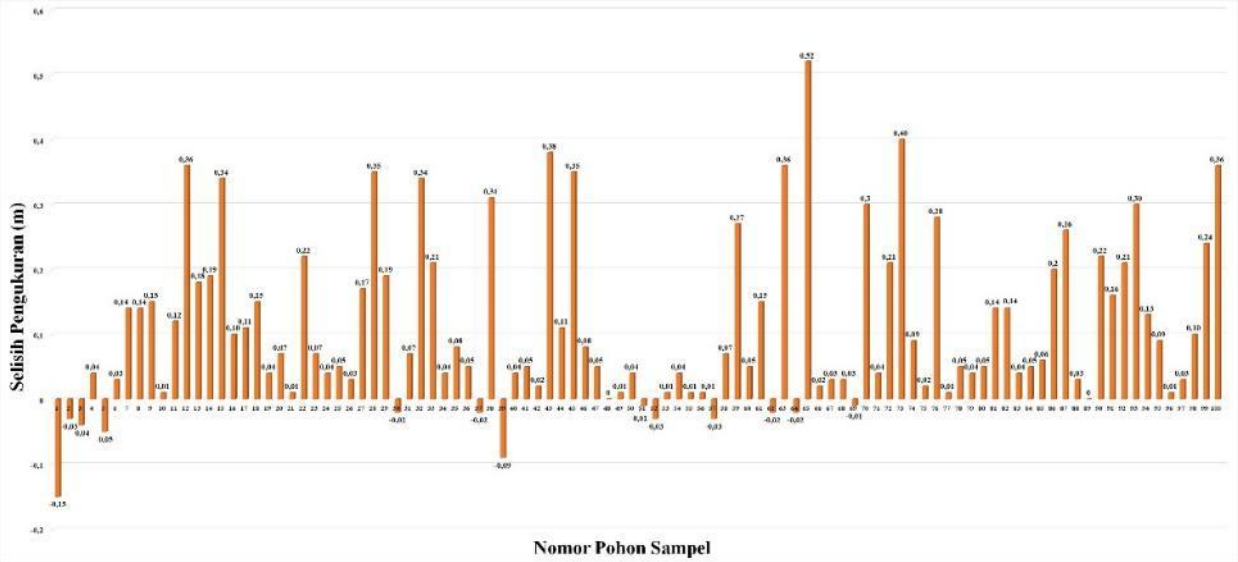


Gambar 1. Selisih pengukuran tinggi pohon sampel di lapangan dan DSM ketinggian 50 m.

Pada **Gambar 1** menunjukkan bahwa selisih pengukuran tinggi pohon di lapangan dan tinggi pohon menggunakan data DSM UAV ketinggian 50 m paling kecil yaitu 0 m pada pohon sampel 007, 009, 011, 014, 015, 033, 048, 049, 051, 052, 056, 069, 072, 074, 076, 079, 089, 091, 093, 095, dan 100. Sedangkan selisih pengukuran paling besar yaitu 0,05 m pada pohon sampel 004, 008, 017, 018, 025, 032, 059, 081, dan 085. Dari hasil perhitungan statistik deskriptif pada ketinggian terbang drone 50 m diperoleh standar eror sebesar 0,21 cm dan rata-rata selisih sebesar 1,2 cm yang berkisar antara 0,78-1,62 cm.

2. 75 m

Hasil perbandingan pengukuran seluruh tinggi pohon sampel di lapangan dan menggunakan data DSM UAV pada ketinggian terbang drone 75 m yang diolah menggunakan *Microsoft Office Excel* disajikan pada **Gambar 2.**

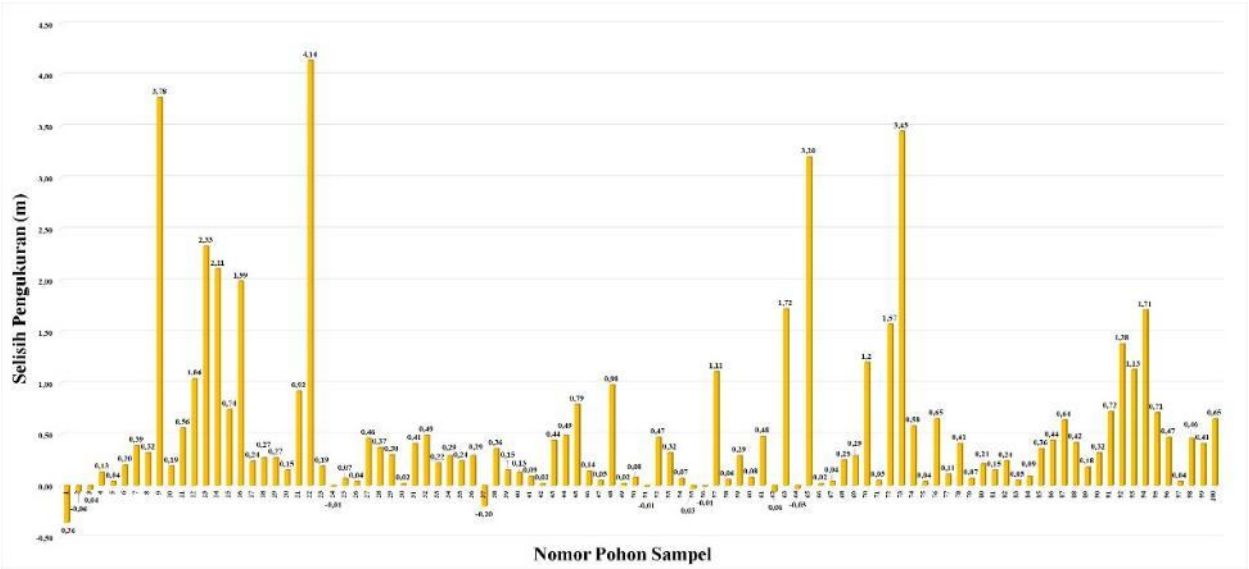


Gambar 2. Selisih pengukuran tinggi pohon sampel di lapangan dan DSM ketinggian 75 m.

Gambar 2 menunjukkan bahwa selisih pengukuran tinggi pohon di lapangan dan tinggi pohon menggunakan data DSM UAV ketinggian 75 m paling kecil yaitu 0 m pada pohon sampel 048 dan 089. Sedangkan selisih pengukuran paling besar yaitu 0,52 m pada pohon sampel 065. Dari hasil perhitungan statistik deskriptif pada tinggi terbang drone 75 m diperoleh standar eror sebesar 1,27 cm dan rata-rata selisih sebesar 10,84 cm yang berkisar antara 8,32 cm – 13,36 cm.

3. 100 m

Hasil perbandingan pengukuran seluruh tinggi pohon sampel di lapangan dan menggunakan data DSM UAV pada ketinggian terbang drone 100 m yang diolah menggunakan Microsoft Office Excel disajikan pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Selisih pengukuran tinggi pohon sampel di lapangan dan DSM ketinggian 100 m.

Gambar 3 menunjukkan bahwa selisih pengukuran tinggi pohon di lapangan dan tinggi pohon menggunakan data DSM UAV ketinggian 100 m paling kecil yaitu 0,02 m pada pohon sampel 030, 042, 049, dan 066. Sedangkan selisih pengukuran paling besar yaitu 4,14 m pada pohon sampel 022. Dari hasil perhitungan statistik deskriptif pada ketinggian terbang drone 100 m diperoleh standar eror sebesar 8,10 cm dan rata-rata selisih sebesar 53,44 cm yang berkisar antara 37,37-69,51 cm.

Analisis Deskriptif

Berikut ini adalah data tinggi pohon sampel yang didapat dari pengukuran tinggi pohon sampel di lapangan dan pengukuran tinggi pohon sampel menggunakan data DSM UAV pada ketinggian 50, 75, dan 100 m.

Tabel 1. Pengukuran Tinggi Pohon Sampel di Lapangan dan DSM pada Tiga Variasi Ketinggian Terbang UAV.

No	No Pohon Sampel	Tinggi Menggunakan Rambu Ukur	Tinggi Menggunakan DSM UAV (m)			Selisih Pengukuran (m)		
		Tinggi (m)	50 M	75 M	100 M	50 M	75 M	100 M
1	001	5,37	5,33	5,52	5,73	0,04	-0,15	-0,36
2	002	3,73	3,75	3,76	3,79	-0,02	-0,03	-0,06
3	003	4,15	4,16	4,19	4,19	-0,01	-0,04	-0,04
4	004	3,79	3,74	3,75	3,66	0,05	0,04	0,13
5	005	2,79	2,81	2,84	2,75	-0,02	-0,05	0,04
6	006	2,28	2,24	2,25	2,08	0,04	0,03	0,20
7	007	3,16	3,16	3,02	2,77	0	0,14	0,39
8	008	4,10	4,05	3,96	3,78	0,05	0,14	0,32
9	009	4,32	4,32	4,17	0,54	0	0,15	3,78
10	010	4,45	4,43	4,44	4,26	0,02	0,01	0,19
11	011	2,71	2,71	2,59	2,15	0	0,12	0,56
12	012	2,23	2,22	1,87	1,19	0,01	0,36	1,04
13	013	3,61	3,62	3,43	1,28	-0,01	0,18	2,33
14	014	3,33	3,33	3,14	1,22	0	0,19	2,11
15	015	3,76	3,76	3,42	3,02	0	0,34	0,74
16	016	3,76	3,77	3,66	1,77	-0,01	0,10	1,99
17	017	3,65	3,60	3,54	3,41	0,05	0,11	0,24
18	018	3,50	3,45	3,35	3,23	0,05	0,15	0,27
19	019	4,70	4,69	4,66	4,43	0,01	0,04	0,27
20	020	4,43	4,41	4,36	4,28	0,02	0,07	0,15
21	021	4,20	4,22	4,19	3,28	-0,02	0,01	0,92
22	022	4,46	4,45	4,24	0,32	0,01	0,22	4,14
23	023	4,10	4,06	4,03	3,91	0,04	0,07	0,19
24	024	5,17	5,15	5,13	5,18	0,02	0,04	-0,01
25	025	4,97	4,92	4,92	4,90	0,05	0,05	0,07
26	026	3,80	3,78	3,77	3,76	0,02	0,03	0,04
27	027	5,90	5,87	5,73	5,44	0,03	0,17	0,46
28	028	3,15	3,13	2,80	2,78	0,02	0,35	0,37
29	029	2,83	2,79	2,64	2,53	0,04	0,19	0,30
30	030	4,79	4,78	4,81	4,77	0,01	-0,02	0,02
31	031	3,97	3,98	3,90	3,56	-0,01	0,07	0,41
32	032	3,98	3,93	3,64	3,49	0,05	0,34	0,49
33	033	5,78	5,78	5,57	5,56	0	0,21	0,22
34	034	6,31	6,32	6,27	6,02	-0,01	0,04	0,29
35	035	6,69	6,65	6,61	6,45	0,04	0,08	0,24
36	036	3,91	3,88	3,86	3,62	0,03	0,05	0,29
37	037	6,13	6,14	6,15	6,33	-0,01	-0,02	-0,20
38	038	3,10	3,12	2,79	2,74	-0,02	0,31	0,36
39	039	2,68	2,64	2,77	2,53	0,04	-0,09	0,15
40	040	5,93	5,92	5,89	5,80	0,01	0,04	0,13
41	041	6,67	6,63	6,62	6,58	0,04	0,05	0,09
42	042	6,53	6,54	6,51	6,51	-0,01	0,02	0,02
43	043	3,00	2,97	2,62	2,56	0,03	0,38	0,44
44	044	4,83	4,81	4,72	4,34	0,02	0,11	0,49
45	045	4,08	4,05	3,73	3,29	0,03	0,35	0,79
46	046	4,03	4,04	3,95	3,89	-0,01	0,08	0,14
47	047	6,54	6,52	6,49	6,49	0,02	0,05	0,05
48	048	6,51	6,51	6,51	5,53	0	0	0,98
49	049	5,06	5,06	5,05	5,04	0	0,01	0,02
50	050	3,55	3,57	3,51	3,47	-0,02	0,04	0,08
51	051	5,53	5,53	5,54	5,54	0	-0,01	-0,01
52	052	4,44	4,44	4,47	3,97	0	-0,03	0,47
53	053	5,55	5,56	5,54	5,23	-0,01	0,01	0,32
54	054	6,28	6,25	6,24	6,21	0,03	0,04	0,07
55	055	5,48	5,49	5,47	5,51	-0,01	0,01	-0,03
56	056	4,05	4,05	4,04	4,06	0	0,01	-0,01
57	057	3,42	3,44	3,45	2,31	-0,02	-0,03	1,11
58	058	4,97	4,95	4,90	4,91	0,02	0,07	0,06
59	059	5,18	5,13	4,91	4,89	0,05	0,27	0,29
60	060	4,30	4,28	4,25	4,22	0,02	0,05	0,08
61	061	2,95	2,93	2,80	2,47	0,02	0,15	0,48
62	062	3,40	3,41	3,42	3,46	-0,01	-0,02	-0,06

No	No Pohon Sampel	Tinggi Menggunakan Rambu Ukur	Tinggi Menggunakan DSM UAV (m)			Selisih Pengukuran (m)		
		Tinggi (m)	50 M	75 M	100 M	50 M	75 M	100 M
63	063	2,43	2,40	2,07	0,71	0,03	0,36	1,72
64	064	4,66	4,65	4,68	4,69	0,01	-0,02	-0,03
65	065	5,45	5,42	4,93	2,25	0,03	0,52	3,20
66	066	6,16	6,15	6,14	6,14	0,01	0,02	0,02
67	067	6,05	6,06	6,02	6,01	-0,01	0,03	0,04
68	068	4,41	4,42	4,38	4,16	-0,01	0,03	0,25
69	069	3,55	3,55	3,56	3,26	0	-0,01	0,29
70	070	3,52	3,49	3,22	2,32	0,03	0,3	1,2
71	071	4,17	4,14	4,13	4,12	0,03	0,04	0,05
72	072	2,72	2,72	2,51	1,15	0	0,21	1,57
73	073	5,13	5,14	4,73	1,68	-0,01	0,40	3,45
74	074	2,25	2,25	2,16	1,67	0	0,09	0,58
75	075	6,81	6,79	6,79	6,77	0,02	0,02	0,04
76	076	2,00	2,00	1,72	1,35	0	0,28	0,65
77	077	2,83	2,85	2,82	2,72	-0,02	0,01	0,11
78	078	6,63	6,61	6,58	6,22	0,02	0,05	0,41
79	079	7,00	7,00	6,96	6,93	0	0,04	0,07
80	080	3,33	3,30	3,28	3,12	0,03	0,05	0,21
81	081	4,47	4,42	4,33	4,32	0,05	0,14	0,15
82	082	3,78	3,74	3,64	3,54	0,04	0,14	0,24
83	083	6,00	5,97	5,96	5,95	0,03	0,04	0,05
84	084	6,22	6,19	6,17	6,13	0,03	0,05	0,09
85	085	4,19	4,14	4,13	3,83	0,05	0,06	0,36
86	086	3,15	3,11	2,95	2,71	0,04	0,20	0,44
87	087	5,61	5,62	5,35	4,97	-0,01	0,26	0,64
88	088	3,42	3,40	3,39	3,00	0,02	0,03	0,42
89	089	3,43	3,43	3,43	3,25	0	0	0,18
90	090	2,52	2,53	2,30	2,20	-0,01	0,22	0,32
91	091	2,93	2,93	2,77	2,21	0	0,16	0,72
92	092	2,43	2,44	2,22	1,05	-0,01	0,21	1,38
93	093	2,63	2,63	2,33	1,50	0	0,30	1,13
94	094	3,09	3,10	2,96	1,38	-0,01	0,13	1,71
95	095	2,52	2,52	2,43	1,81	0	0,09	0,71
96	096	5,00	5,01	4,99	4,53	-0,01	0,01	0,47
97	097	5,03	5,00	5,00	4,99	0,03	0,03	0,04
98	098	4,48	4,49	4,38	4,02	-0,01	0,10	0,46
99	099	4,93	4,92	4,69	4,52	0,01	0,24	0,41
100	100	5,57	5,57	5,21	4,92	0	0,36	0,65
Rata-rata		4,33	4,31	4,22	3,79	0,01	0,11	0,53

Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa data tinggi pohon sampel yang didapat dari pengukuran tinggi pohon sampel di lapangan dan pengukuran tinggi pohon sampel menggunakan data DSM UAV pada ketinggian 50, 75, dan 100 m kemudian dilakukan analisis statistik deskriptif dengan menggunakan uji t (*t test*) yang menggunakan rumus t. Perhitungan uji t pada ketinggian 50, 75, dan 100 m sebagai berikut:

1. 50 m

$$t = \frac{\overline{X1} - \overline{X2}}{\sqrt{\frac{\sum D^2 - ((\sum D)^2/n))}{n(n-1)}}}$$

$$t = \frac{4{,}33 - 4{,}31}{\sqrt{\frac{0{,}06 - ((0{,}01)^2/100))}{100(100-1)}}}$$

$$t = \frac{0{,}02}{\sqrt{\frac{0{,}06 - (0{,}0001/100)}{100(99)}}}$$

$$t = \frac{0{,}02}{\sqrt{\frac{0{,}06 - 0{,}000001}{9900}}}$$

$$t = \frac{0{,}02}{\sqrt{\frac{0{,}059999}{9900}}}$$

$$t = \frac{0{,}02}{\sqrt{0{,}00000606051}}$$

$$t = \frac{0{,}02}{0{,}002461809}$$

$$t = 8{,}124106106$$

t_{tabel} = 1,66023

Dari nilai thitung dan ttabel yang telah didapatkan seperti di atas maka hasil pengukuran tinggi pohon sampel pada ketinggian terbang drone 50 m menunjukkan bahwa thitung > ttabel maka menerima H1 artinya bahwa hasil pengukuran tinggi pohon di lapangan dan hasil pengukuran tinggi pohon menggunakan data DSM UAV pada ketinggian 50 m yang diuji secara statistik berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%.

2. 75 m

$$t = \frac{\overline{X1} - \overline{X2}}{\sqrt{\frac{\sum D^2 - ((\sum D)^2/n))}{n(n-1)}}}$$

$$t = \frac{4{,}33 - 4{,}22}{\sqrt{\frac{2{,}78 - ((0{,}11)^2/100))}{100(100-1)}}}$$

$$t = \frac{0{,}11}{\sqrt{\frac{2{,}78 - (0{,}0121/100)}{100(99)}}}$$

$$t = \frac{0{,}11}{\sqrt{\frac{2{,}78 - 0{,}000121}{9900}}}$$

$$t = \frac{0{,}11}{\sqrt{\frac{2{,}779879}{9900}}}$$

$$t = \frac{0{,}11}{\sqrt{0{,}000280796}}$$

$$t = \frac{0{,}11}{0{,}016756964}$$

$$t = 6{,}564434754$$

t_{tabel} = 1,66023

Dari nilai thitung dan ttabel yang telah didapatkan seperti di atas maka hasil pengukuran tinggi pohon sampel pada ketinggian terbang drone 75 m menunjukkan thitung > ttabel maka menerima H1 artinya bahwa hasil pengukuran tinggi pohon di lapangan dan hasil pengukuran tinggi pohon menggunakan data DSM UAV pada ketinggian 75 m yang diuji secara statistik berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%.

3. 100 m

$$t = \frac{\overline{X1} - \overline{X2}}{\sqrt{\frac{\sum D^2 - ((\sum D)^2/n))}{n(n-1)}}}$$

$$t = \frac{4{,}33 - 3{,}79}{\sqrt{\frac{93{,}52 - ((0{,}53)^2/100))}{100(100-1)}}}$$

$$t = \frac{0{,}54}{\sqrt{\frac{93{,}52 - (0{,}2809/100)}{100(99)}}}$$

$$t = \frac{0{,}54}{\sqrt{\frac{93{,}52 - 0{,}002809}{9900}}}$$

$$t = \frac{0{,}54}{\sqrt{\frac{93{,}517191}{9900}}}$$

$$t = \frac{0{,}54}{\sqrt{0{,}009446181}}$$

$$t = \frac{0{,}54}{0{,}097191465}$$

$$t = 5{,}556043412$$

t_{tabel} = 1,66023

Dari nilai thitung dan ttabel yang telah didapatkan seperti di atas maka hasil pengukuran tinggi pohon sampel pada ketinggian terbang drone 100 m menunjukkan thitung > ttabel maka menerima H1 artinya bahwa hasil pengukuran tinggi pohon di lapangan dan hasil pengukuran tinggi pohon menggunakan data DSM UAV pada ketinggian 100 m yang diuji secara statistik berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 95%.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data, maka dapat disimpulkan bahwa pengukuran tinggi pohon dari data DSM UAV pada variasi ketinggian terbang UAV yaitu ketinggian 50, 75, dan 100 m dilakukan menggunakan Aplikasi *Global Mapper* 23.0 dengan hasil pengukuran tinggi pohon sampel pada ketinggian terbang UAV 50 m dengan nilai rata-rata 4,31 m, ketinggian terbang UAV 75 m dengan nilai rata-rata 4,22 m, dan pada ketinggian terbang UAV 100 m dengan nilai rata-rata 3,79 m.

Hasil perbandingan pengukuran dari data DSM UAV pada ketinggian terbang UAV 50 m dengan nilai rata-rata selisih pengukuran 0,01 m, ketinggian terbang UAV 75 m dengan nilai rata-rata selisih pengukuran 0,11 m, dan pada ketinggian terbang UAV 100 m dengan nilai rata-rata selisih pengukuran 0,53 m. Jadi dalam penelitian ini ketinggian terbang UAV yang direkomendasikan adalah ketinggian terbang 100 m, karena hasil pengukuran pohon sampel menggunakan data DSM hanya menghasilkan selisih pengukuran 0,53 m dan waktu yang dibutuhkan pada saat flight mapping hanya 37’ 49” serta waktu pengolahan data di komputer pun cepat yaitu ± 5 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada *Indonesia Mapping Community* dan *Papua Mapping Center* atas kontribusi berharga dalam menyediakan materi pemetaan yang bermanfaat bagi kami.

DAFTAR PUSTAKA

Academia. Pengukuran tinggi Pohon. https://www.academia.edu/12389185/Pengukuran_tinggi_pohon (diakses tanggal 26 Agustus 2022).

Banu, T.P., Gheorghe Florian Borlea, & Constantin Banu. (2016). The use of drones in Forestry. Journal of Environmental Science and Engineering B, 5(11), 557–562. https://doi.org/10.17265/2162-5263/2016.11.007.

Grznarova, A., Mokros, M., Surovy, P., Slavik, M., Pondelik, M., & Mergani, J. (2019). The crown diameter estimation from fixed wing type of uav imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42(2/W13), 337–341. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII2-W13-337-2019.

Zhang, Y., Wu, H., & Yang, W. (2019). Forests growth monitoring based on tree canopy 3D reconstruction using UAV aerial photogrammetry. Forests, 10(12), 1–16. https://doi.org/10.3390/f10121052.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

EFEKTIVITAS PEMETAAN TUTUPAN LAHAN MENGGUNAKAN *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV) BERDASARKAN VARIASI *OVERLAP*

Studi Kasus Pulau Mansinam

(The Effectiveness of Land Cover Mapping Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based on Overlap Variation: A Case Study of Mansinam Island)

Regi Vokelman Sarapung, Max J. Tokede, Zulfikar Mardiyadi
Fakultas Kehutanan, Universitas Papua

Jalan Gunung Salju, Amban, Manokwari, Papua Barat, 98314, Indonesia
E-mail: z.mardiyadi@gmail.com

ABSTRAK

Efektivitas pemetaan penutup lahan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) berdasarkan variasi *overlap* dilakukan untuk mengetahui efektivitas variasi *overlap* terhadap pemetaan tutupan lahan di Pulau Mansinam. Tutupan lahan dipengaruhi oleh tinggi terbang dan tumpang tindih. UAV merupakan teknologi yang membantu memperoleh data foto udara yang kemudian foto udara tersebut diolah menggunakan Agisoft Metashape sehingga menghasilkan ortomosaik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas pemetaan tutupan lahan berdasarkan variasi *overlap* minimal 60% dan *overlap* maksimal 90%. Jumlah foto udara dari tiap variasi *overlap* berbeda-beda. Berdasarkan hasil penelitian yang saya lakukan, jika variasi *overlap* semakin tinggi maka foto udara yang dihasilkan akan semakin banyak, dan sebaliknya jika *overlap* semakin rendah maka foto udara yang dihasilkan akan semakin sedikit. Luas tutupan lahan bervariasi menurut kombinasi *Front Overlap* dan *Side Overlap* pada ketinggian 250 m di atas datum. Kombinasi *Front Overlap* 90% *Side Overlap* 90% mengcover tutupan lahan terluas yaitu 465 hektare, dan kombinasi *Side Overlap* 80% tersempit yaitu 347 hektare. Variasi *Front Overlap* 70% *Side Overlap* 80% pada ketinggian 250 meter mengcover luasan 418 berdasarkan laporan pengolahan pada aplikasi Agisoft Metashape dan luas *overlap* ≥ 9 foto seluas 305 hektare, dengan total 833 foto udara.

Kata kunci: UAV, *Overlap*, foto udara

ABSTRACT

The effectiveness of land cover mapping using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based on Overlap variations was determined to determine the effectiveness of overlapping variations on land cover mapping on Mansinam Island. Land cover is affected by flight altitude and overlap. UAV is a technology that helps to obtain aerial photo data from which aerial photographs are processed using Agisoft Metashape to produce orthomosaics. This study aimed to determine the effectiveness of land cover mapping based on a minimum overlap variation of 60% and a maximum overlap of 90%. The number of aerial photos from each variation of overlap varies. Based on the results of my research, if the overlap variation is higher, more aerial photos are produced, and vice versa; if the overlap is lower, fewer aerial photos are produced. The wide coverage of land cover varies according to the combination of Front Overlap and Side Overlap at an altitude of 250 m above the datum. The combination of Front Overlap 90% and Side Overlap 90% has the widest land cover area coverage of 465 hectares, and the narrowest combination of Front Overlap 60% and Side Overlap 80%, which is 347 hectares. Variation Front Overlap 70% Side Overlap 80% at an altitude of 250 meters resulted in an Agisoft Metashape application report coverage area of 418 hectares and an overlap area of ≥ nine photos 305 hectares, totaling 833 aerial photos.

***Keywords**: UAV, Overlap, Aerial Photo*

PENDAHULUAN

Pengumpulan data secara *real time*, cepat dan akurat dari informasi perubahan lahan dan sumber daya merupakan salah satu elemen terpenting dari pemantauan sumber daya darat. Saat ini, metode penginderaan jauh digunakan untuk mengumpulkan data geospasial. Siklus mendapatkan citra satelit penginderaan jauh biasanya panjang, sehingga mungkin tidak terjamin,

dan juga akurasi akan terpengaruh karena resolusi citra satelit penginderaan jauh yang lebih rendah. Gambar resolusi lebih tinggi dapat diperoleh dengan metode penginderaan jauh udara, tetapi ada beberapa keterbatasan pada pesawat udara seperti kontrol lalu lintas udara, kondisi cuaca dan tinggi biaya. Selain itu, jika misi mendesak, persiapan tidak dapat dilakukan tepat waktu (Xu, 2013).

Kebutuhan data penginderaan jauh resolusi tinggi semakin meningkat dan Lapan memiliki kewajiban untuk menyediakan data tersebut. Hal ini tertuang dalam UU Nomor 21 Tahun 2013 tentang Keantariksaan. Citra Ikonos dan Quickbird adalah salah satu contoh citra satelit resolusi tinggi yang akhir-akhir ini banyak digunakan untuk pemetaan skala besar (Rudianto, 2010). Kelebihan utama dari atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV, dibandingkan dengan pesawat berawak adalah bahwa UAV dapat digunakan pada situasi dengan resiko tinggi, tanpa perlu membahayakan nyawa manusia, dan pada area yang tidak dapat diakses. Pemotretan udara dengan menggunakan pesawat tanpa awak) merupakan salah satu teknologi alternatif untuk mendapatkan data lebih detil, *real time*, dalam waktu relatif cepat, biaya relatif rendah dan aman dalam berbagai kondisi cuaca (Shofiyati, 2011).

Keunggulan pemetaan menggunakan UAV biaya lebih terjangkau, pengopreasian UAV tidak sulit, ukurannya kecil, mudah di bawa kemana saja, data citra yang didapatkan sesuai waktu perekaman, tidak memakan waktu yang lama, dan resolusi spasial tinggi. Kekurangan pemetaan UAV tidak dapat terbang terlalu jauh dengan kontrol sistemnya (maksimal jarak 7 km), jika tegakan yang lebat resiko sinyal pada remote control akan hilang (*Lost contact*), dan memiliki energi/baterai tidak bertahan lama. Pada dasarnya penggunaan *overlap* ketika menerbangkan UAV tergantung dari data yang di butuhkan dan penutup lahan tersebut, jika data yang dibutuhkan adalah tingkat resolusi yang lebih tinggi maka *overlap* yang di gunakan lebih tinggi, catatan jika pada areal yang dipetakan daerah dengan banyak objek pohon dan berlereng maka nilai *overlap* ditambah 5%, jika areal yang dipetakan merupakan perairan dangkal maka nilai *overlap* ditambah 10%.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pemetaan tutupan lahan berdasarkan variasi *overlap* minimal 60% dan *overlap* maksimal 90%. Selain itu, diharapkan dapat memberikan informasi dan menghasilkan persamaan regresi berganda yang mempermudah perhitungan luas tutupan lahan berdasarkan variasi *overlap*.

METODE

Waktu dan Tempat

Waktu Agustus 2022-Januari 2023. Penelitian ini di laksanakan pada kawasan Pulau Mansinam Distrik Manokwari Timur Kabupaten Manowari Provinsi Papua Barat, dan Laboratorium Perencanaan dan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan.

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah hasil foto udara menggunakan UAV DJI Mavic 2 Pro. Alat-alat yang digunakan antara lain, UAV DJI Mavic 2 Pro, IPad Pro dilengkapi Pix4d, DJI Go4, *Global Positioning System* (GPS), tripod, alat tulis, *stopwatch*, *landing pad,* Telepon seluler dilengkapi dengan *Mobile Topographer, Avenza Maps,* serta Laptop dilengkapi Windows 10 64 bit, Microsoft Office 2010, Agisoft Metashape, Arcmap 10.8, Pix4DMapper Enterprice, dan Riot

Metode Penelitian dan Teknik Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (*treatment*/perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan. Kondisi dikendalikan agar tidak ada variabel lain (selain varibel treatment) yang mempengaruhi variabel dependen. Variabel yang diamati adalah Y yaitu jumlah foto dan luas penutup lahan, X1 yaitu *Front Overlap*, X2 yaitu *Side Overlap*. Efektivitas pemetaan tutupan lahan

berdasarkan variasi *overlap* sangat berkaitan dengan jumlah foto udara, waktu pengambilan data di lapangan/flight mapping, dan pengolahan di depan komputer.

Penginderaan jauh adalah ilmu untuk memperoleh informasi fenomena alam pada objek (permukaan bumi) yang diperoleh tanpa kontak langsung dengan objek permukaan bumi, tetapi melalui pengukuran pantulan (*reflection*) ataupun pancaran (*emission*) oleh media gelombang elektromagnetik (Surgawa dalam Lubis, 2017).

Prosedur Penelitian

Penelitian menggunakan UAV dengan cara membuat misi di IPad yang dilengkapi dengan software Pix4D Capture, menentukan *overlap* dan ketinggian pada pembuatan misi sangat berpengaruh terhadap lama pengambilan data di lapngan, jika *overlap*nya tinggi kemudian ketinggian terbang UAV rendah maka waktu yang di butuhkan di lapangan dan pengolahan di depan komputer akan lebih lama karena data foto yang di hasilkan sangat banyak, berbanding terbalik jika *overlap*nya rendah kemudian tinngi terbang lebih tinggi maka waktu yang dibutuhkan dilapangan dan pengolahan di depan komputer akan lebih cepat.

Penentuan *overlap* dalam pemetaan sangat penting, *overlap* standar atau default yang paling umum digunakan adalah *Front Overlap* 80%, *Side Overlap* 70%. Pada dasarnya penggunaan *overlap* ketika menerbangkan UAV tergantung dari data yang dibutuhkan dan penutup lahan tersebut, jika data yang di butuhkan adalah tingkat resolusi yang lebih tinggi maka *overlap* yang di gunakan lebih tinggi, penggunaan *overlap* yang tinggi bisa memakan waktu yang cukup lama pada saat pengambilan data di lapangan maupun waktu pemrosesan mengolah data di depan komputer karena data foto udara yang dihasilkan sangat banyak.

Tabel 1. Perlakuan *Flight Mapping* berdasarkan variasi *overlap*.

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)
1	90	90
2	90	80
3	90	70
4	90	60
5	80	90
6	80	80
7	80	70
8	80	60
9	70	90
10	70	80
11	70	70
12	70	60
13	60	90
14	60	80
15	60	70
16	60	60

Front Overlap adalah pertampalan gambar-gambar yang diambil searah dengan jalur penerbangan. *Side Overlap* adalah pertampalan gambar-gambar yang diambil dari suatu jalur terbang terhadap jalur terbang yang lain.

Analisis Data

Analisis data dilakukan secara stastistik deskriptif mengikuti preosedur analisis regresi korelasi untuk mengetahui hubungan pengaruh antara variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y) dan parameter statistik yang di uji adalah koefisien determinasi (R2) dan koefisien korelasi (r). Untuk tujuan pengesahan persamaan hubungan regresi yang dibentuk digunakan analisis co-varians (Ankova) pada tingkat kepercayaan 95%. Analisis data yang digunakan adalah regresi linier berganda faktornya yaitu Y adalah jumlah foto atau luas penutup lahan, X1 adalah *Front Overlap*, X2 adalah *Side Overlap*. Untuk tujuan pengesahan persamaan hubungan regresi yang dibentuk, digunakan analisis Co-Varians (Anova) pada tingkat kepercayaan 95%.

$$Y = \alpha + \beta 1\ X1 + \beta 2\ X2 + e \quad \text{..... (1)}$$

Keterangan:
Y = Jumlah Foto/ Luas Penutup lahan
X1 = *Front Overlap*
X2 = *Side Overlap*
α = Konstanta.
β = Vektor dari parameter yang akan kita estimasi
e = Eror

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah Foto Udara

Jumlah foto udara dari setiap variasi *overlap* berbeda-beda. Berdasarkan hasil dari penelitian yang kami lakukan jika variasi *overlap* lebih tinggi maka foto udara yang di hasilkan lebih banyak, berbanding terbalik jika *overlap* lebih rendah maka foto udara yang dihasilkan lebih sedikit. Jika foto lebih banyak maka pada saat pengolahan akan menghasikan data foto udara yang lebih baik, karena pada saat pengolahan foto udara menjadi lebih rapat namun membutuhkan waktu yang lebih lama. Foto udara biasanya disajikan dalam skala yang detil sehingga mampu menampilkan kenampakan permukaan bumi secara rinci, meskipun terbatas pada area yang lebih sempit jika dibandingkan foto udara.

Tabel 2. Tabel jumlah foto udara.

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Jumlah Foto
1	90	90	4.693
2	90	80	2.464
3	90	70	1.632
4	90	60	1.287
5	80	90	2.402
6	80	80	1.255
7	80	70	873
8	80	60	660
9	70	90	1.609
10	70	80	833
11	70	70	564
12	70	60	448
13	60	90	1.256
14	60	80	640
15	60	70	434
16	60	60	339

Total foto udara yang dihasilkan pada saat pengambilan data di lapangan yaitu 21.389 foto. Pada **Tabel 2** dapat lihat bahwa foto udara terbanyak pada variasi *Front Overlap* 90% *Side Overlap* 90% dengan total foto udara 4.693 dan yang paling sedikit pada variasi *Front Overlap* 60% *Side Overlap* 60 % dengan total foto udara 339.

Luas Cakupan Tutupan Lahan

Cakupan luas tutupan lahan bervasiasi menurut kombinasi *Front Overlap* dan *Side Overlap* pada tinggi terbang 250 m di atas datum. Kombinasi *Front Overlap* 90% *Side Overlap* 90% memiliki cakupan luas penutup lahan yang paling luas yaitu 465 ha, dan tersempit pada kombinasi *Front Overlap* 60% *Side Overlap* 80% yaitu seluas 347 hektare seperti disajikan pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Cakupan luas penutup lahan pada berbagai kombinasi Front Overlap dan Side Overlap dengan tinggi terbang 250 m.

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Luas Penutup Lahan (hektare)
1	90	90	465
2	90	80	418
3	90	70	407
4	90	60	408
5	80	90	455
6	80	80	419

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Luas Penutup Lahan (hektare)
7	80	70	416
8	80	60	411
9	70	90	435
10	70	80	418
11	70	70	405
12	70	60	407
13	60	90	452
14	60	80	347
15	60	70	395
16	60	60	394

Total Waktu *Flight Mapping* Aplikasi Pix 4D Capture

Flight mapping dari setiap variasi *overlap* dengan total waktu pada aplikasi Pix 4D Capture 1.530,80, waktu *fligth mapping* terlama pada variasi *Front Overlap* 90% *Side Overlap* 90% dengan total waktu 243,15 menit, dan waktu flight mapping tercepat pada variasi *Front Overlap* 60% *Side Overlap* 60% dengan total waktu 45,57 menit, seperti yang disajikan pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Total waktu *Flight Mapping* aplikasi *Pix4D Capture.*

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Waktu (menit)
1	90	90	243,15
2	90	80	135,30
3	90	70	97,03
4	90	60	77,70
5	80	90	159,10
6	80	80	85,30
7	80	70	57,83
8	80	60	47,93
9	70	90	136,53
10	70	80	74,97
11	70	70	54,77
12	70	60	45,47
13	60	90	138,92
14	60	80	76,53
15	60	70	54,70
16	60	60	45,57
Total			1.530,80

Total Waktu *Flight Mapping* (*Real* di lapangan)

Flight mapping dari setiap variasi *overlap* dengan total waktu *real* dilapangan 1.645,93 menit, waktu *fligth mapping* terlama pada variasi *Front Overlap* 90% *Side Overlap* 90% dengan total waktu 242,13 menit, dan waktu *flight mapping* tercepat pada variasi *Front Overlap* 60% *Side Overlap* 60% dengan total waktu 54,98 menit, seperti yang disajikan pada **Tabel 5.**

Tabel 5. Total waktu *Flight Mapping Real* di lapangan.

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Waktu (menit)
1	90	90	242,13
2	90	80	133,52
3	90	70	99,60
4	90	60	82,67
5	80	90	166,03
6	80	80	94,42
7	80	70	64,72
8	80	60	56,58
9	70	90	143,12
10	70	80	88,47
11	70	70	67,10
12	70	60	56,45

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Waktu (menit)
13	60	90	147,57
14	60	80	83,62
15	60	70	64,95
16	60	60	54,98
	Total		1.645,93

Total Waktu Pengolahan Foto Udara

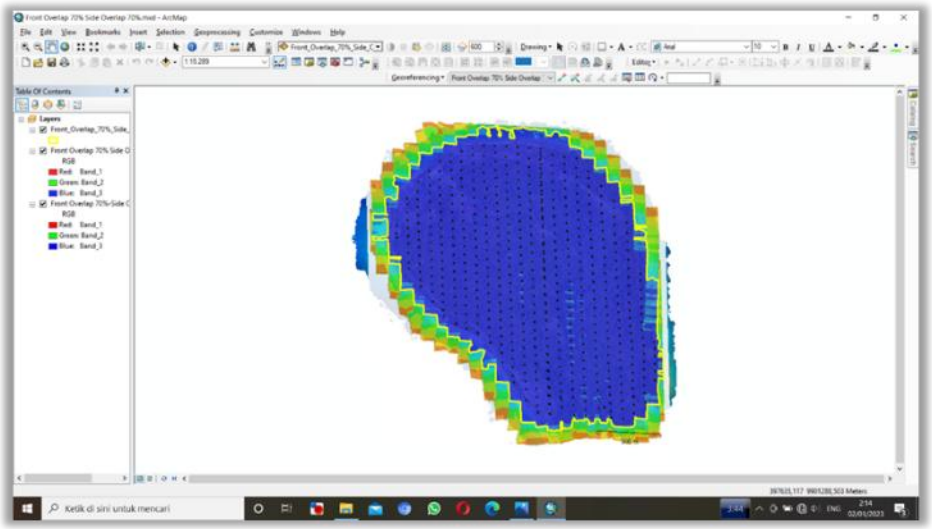
Pada pengolahan data foto udara dari setiap variasi *overlap* dengan total waktu 12.794,59 menit, waktu pengolahan data foto udara terlama pada variasi *Front Overlap* 90% *Side Overlap* 90% dengan total waktu 3.635,85 menit, dan waktu pengolahan data foto udara tercepat pada variasi *Front Overlap* 60% *Side Overlap* 60% dengan total waktu 125,48 menit, seperti yang disajikan pada **Tabel 6.**

Tabel 6. Total waktu pengolahan data foto udara.

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Waktu (menit)
1	90	90	3.635,85
2	90	80	1.627,98
3	90	70	1.074,62
4	90	60	731,90
5	80	90	1.460,37
6	80	80	669,70
7	80	70	421,83
8	80	60	311,07
9	70	90	942,93
10	70	80	374,37
11	70	70	225,05
12	70	60	180,50
13	60	90	608,12
14	60	80	254,92
15	60	70	149,90
16	60	60	125,48
	Total		12.794,59

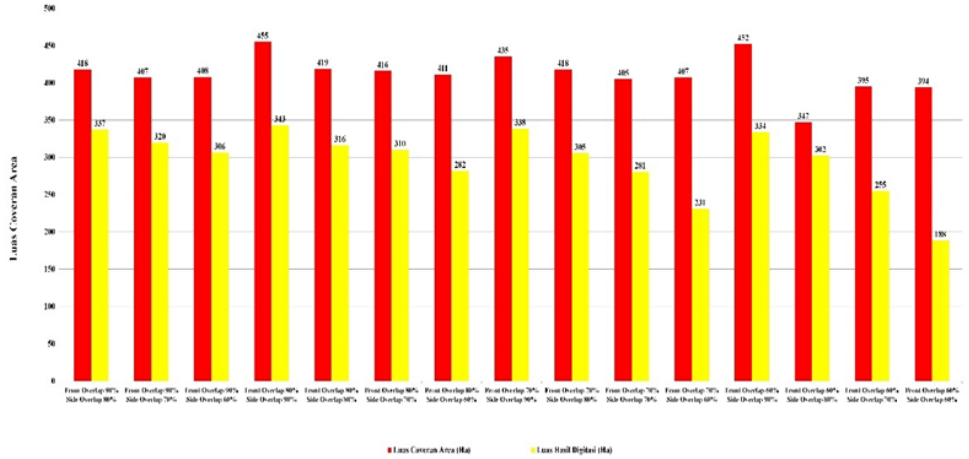
Luas Areal Digitasi *Overlap* ≥9 Foto

Digitasi *On Screen* dilakukan untuk mengetahui luas cakupan area yang memiliki *overlap* 9 foto yang ditandai dengan warna biru dan biru tua dapat dilihat pada **Gambar 1**, dimana secara teori fotogrametri foto yang lebih dari 9 adalah yang paling bagus, artinya penampakan objeknya utuh. Untuk hasil digitasi secara keseluruhan dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Tabel 7**.



Gambar 1. Digitasi *on screen* area *overlap* ⩾9 foto.

Luas berdasarkan *report* aplikasi Agisoft Metashape digitasi area yang termasuk dalam *overlap* ≥ 9 foto yang di tandai dengan warna biru dan biru tua.



Gambar 2. Perbandingan hasil luas cakupan area dan luas digitasi pada *orthomosaic*.

Tabel 7. Perbandingan hasil luas cakupan area dan luas digitasi pada orthomosaic.

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Luas Cakupan Area (hektare)	Luas Hasil Digitasi (hektare)
1	90	90	465	362
2	90	80	418	337
3	90	70	407	320
4	90	60	408	306
5	80	90	455	343
6	80	80	419	316
7	80	70	416	310
8	80	60	411	282
9	70	90	435	338
10	70	80	418	305
11	70	70	405	281
12	70	60	407	231
13	60	90	452	334
14	60	80	347	302
15	60	70	395	255
16	60	60	394	188

Luas berdasarkan report aplikasi agisoft metashape digitasi area yang termasuk dalam *overlap* ≥9 foto yang ditandai dengan warna biru dan biru tua.

Tabel 8. Presentase antara hasil luas digitasi dan luas cakupan area *report* Agisoft Metashape.

No	*Front Overlap* (%)	*Side Overlap* (%)	Presentase (%)
1	90	90	78
2	90	80	81
3	90	70	79
4	90	60	75
5	80	90	75
6	80	80	75
7	80	70	75
8	80	60	69
9	70	90	78
10	70	80	73
11	70	70	69
12	70	60	57
13	60	90	74
14	60	80	87
15	60	70	65
16	60	60	48

Persamaan Regresi Linier Berganda

Hubungan Front Overlap dan Side Overlap dengan Luas Cakupan Tutupan Lahan

Secara statistik kombinasi *Front Overlap* dan *Side Overlap* berkorelasi relativf kuat (r = 0.676) dengan luas penutup lahan mengikuti persamaan linier berganda:

$$Y = 245{,}875 + 0.379\ X1 + 0.559\ X2$$

$$r = 0.676;\ R2\ 0.373$$

Dimana: Y = Luas Penutup Lahan
X1 = *Front Overlap*
X2 = *Side Overlap*

Koefisien determinasi (R2) persamaan hubungan tersebut sebesar 0.373 artinya bahwa secara statistik bahwa keragaman kombinasi *Front* dan *Side Overlap* mampu menerangkan sebesar 37,3% keragaman cakupan luas tutupan lahan pada ketinggian terbang 250 m, sedangkan 66,27% keragaman cakupan luas tutupan lahan ditentukan oleh factor lain di luar factor kombinasi *Front Overlap* dan *Side Overlap*. Persamaan hubungan linier berganda yang dibentuk tersebut secara statistik sah digunakan untuk menerangkan hubungan antara cakupan luas tutupan lahan berdasarkan faktor penduga *Front Overlap* dan *Side Overlap*, seperti yang ditunjukan oleh Uji keberartian persamaan regresi pada **Tabel 9.**

Tabel 9. Uji keberartian persamaan regresi berganda antara *Front Overlap* dan *Side Overlap.*

ANCOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5319.450	2	2659.725	5.459	.019[b]
	Residual	6333.550	13	487.196		
	Total	11653.000	15			

a. Dependent Variable: Luas Penutup lahan(Y)
b. Predictors: (Constant), *Side Overlap* (X2), *Front Overlap* (X1)

Tabel 9 tersebut menunjukkan bahwa secara statistik persamaan regresi linier berganda yang terbentuk tersebut sah dalam menyatakan hubungan antara variabel yang dihubungkan. Sedikit berbeda dengan uji koefisien regresi, hanya *Side Overlap* yang secara statistik dapat menerangkan keragaman luas penutup lahan pada selang kepercayaan 95% karena peluangnya lebih kecil dari 0,05%, yaitu 0,017%. Seperti disajikan pada **Tabel 10.**

Tabel 10. Uji keberartian koefisien regresi luas penutup lahan.

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	245.875	52.640		4.671	.000
	Front Overlap (X1)	.915	.494	.379	1.854	.087
	Side Overlap (X2)	1.350	.494	.559	2.735	.017

a. Dependent Variable: Luas Tutupan Lahan(Y)

Tabel 10 di atas menunjukkan bahwa secara parsial hanya koefisien regresi *Side Overlap* yang secara nyata mampu menerangkan keragaman cakupan luas tutupan lahan, sedangkan *Front Overlap* belum mampu secara nyata menerangkan keragaman cakupan luas tutupan lahan, Namun secara Bersama-sama mampu menerangkan secara nyata keragaman luas cakupan tutupan lahan pada selang kepercayaan 95% (uji keberartian persamaan regresi). Untuk menginterpretasikan koefisien parameter variabel independen dapat menggunakan *Unstandardized Coefficients*.

Hubungan Antara Front Overlap dan Side Overlap dengan Jumlah Foto Udara

Secara statistik kombinasi *Front Overlap* dan *Side Overlap* berkorelasi relatif kuat (r = 0.871) dengan luas tutupan lahan mengikuti persamaan linier berganda:

$$Y = - 7536{,}437 + 623X1 + 608\ X2;$$

$$r = 0{,}871\ R2 = 0{,}721$$

Dimana: Y = Jumlah Foto
X1 = *Front Overlap*
X2 = *Side Overlap*

Koefisien determinasi (R2) persamaan hubungan tersebut sebesar 0.721 artinya bahwa secara statistik bahwa keragaman kombinasi *Front Overlap* dan *Side Overlap* mampu menerangkan sebesar 72,1% keragaman jumlah foto udara pada ketinggian terbang 250 m, sedangkan 27,9% keragaman jumlah foto udara ditentukan oleh factor lain di luar factor kombinasi *Front Overlap* dan *Side Overlap*.

Persamaan hubungan linier berganda yang dibentuk tersebut secara statistik sah digunakan untuk menerangkan hubungan antara jumlah foto udara berdasarkan faktor penduga *Front Overlap* dan *Side Overlap*, seperti yang ditunjukan oleh Uji keberartian persamaan regresi pada **Tabel 11.**

Tabel 11. Uji keberartian persamaan regresi berganda antara *Front Overlap* dan *Side Overlap*.

ANCOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	13999431.725	2	6999715.863	20.416	.000[b]
	Residual	4457164.712	13	342858.824		
	Total	18456596.438	15			

a. Dependent Variable: Jumlah Foto (Y)
b. Predictors: (Constant), *Side Overlap* (X2), *Front Overlap* (X1)

Tabel 11 tersebut menunjukkan bahwa secara statistik persamaan regresi linier berganda yang terbentuk tersebut sah dalam menyatakan hubungan antara variabel yang dihubungkan. Sedikit berbeda dengan uji koefisien regresi, hanya *Side Overlap* yang secara statistik dapat menerangkan keragaman jumlah foto udara pada selang kepercayaan 95% karena peluangnya lebih kecil dari 0,05%, yaitu 0,017%. Seperti disajikan pada **Tabel 12.**

Tabel 12. Uji keberartian koefisien regresi jumlah foto udara.

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-7536.437	1396.427		-5.397	.000
	Front Overlap (X1)	59.893	13.093	.623	4.574	.001
	Side Overlap (X2)	58.418	13.093	.608	4.462	.001

a. Dependent Variable: Jumlah Foto (Y)

Tabel 12 di atas menunjukkan bahwa secara parsial hanya koefisien regresi *side overlap* yang secara nyata mampu menerangkan keragaman jumlah foto udara, sedangkan *front overlap* belum mampu secara nyata menerangkan keragaman jumlah foto udara, Namun secara bersama-sama mampu menerangkan secara nyata keragaman luas cakupan tutupan lahan pada selang kepercayaan 95% (uji keberartian persamaan regresi).

Untuk menginterpretaartian persasikan koefisien parameter variabel independen dapat menggunakan *Unstandardized Coefficients*. Hasil uji coba dari persamaan regresi yang dihasilkan dari penlitian ini selanjutnya dilakukan uji coba dengan memasukan nilai X1 dan X2 dan diperoleh hasil seperti pada **Tabel 13** dan **Tabel 14.**

Tabel 13. Hasil perbandingan regresi luas penutup lahan.

No	*Front Overlap* (X_1)	*Side Overlap* (X_2)	Luas Penutup lahan (hektare)	Regresi (hektare)	Selisih (hektare)
1	90	90	465	449,73	15,28
2	90	80	418	436,23	-18,23
3	90	70	407	422,73	-15,73
4	90	60	408	409,23	-1,23
5	80	90	455	440,58	14,43
6	80	80	419	427,08	-8,07
7	80	70	416	413,58	2,43
8	80	60	411	400,08	10,93
9	70	90	435	431,43	3,57
10	70	80	418	417,93	0,07
11	70	70	405	404,43	0,57
12	70	60	407	390,93	16,08
13	60	90	452	422,28	29,73
14	60	80	347	408,78	-61,78
15	60	70	395	395,28	-0,27
16	60	60	394	381,78	12,23

Tabel 14. Hasil perbandingan regresi jumlah foto.

No	*Front Overlap* (X1)	*Side Overlap* (X2)	Jumlah Foto	Regresi	Selisih
1	90	90	4.693	3.111,55	1.581,45
2	90	80	2.464	2.527,37	-63,37
3	90	70	1.632	1.943,19	-311,19
4	90	60	1.287	1.359,01	-72,01
5	80	90	2.402	2.512,62	-110,62
6	80	80	1.255	1.928,44	-673,44
7	80	70	873	1.344,26	-471,26
8	80	60	660	760,08	-100,08
9	70	90	1.609	1.913,69	-304,69
10	70	80	833	1.329,51	-496,51
11	70	70	564	745,33	-181,33
12	70	60	448	161,15	286,85
13	60	90	1.256	1.314,76	-58,76
14	60	80	640	730,58	-90,58
15	60	70	434	146,40	287,60
16	60	60	339	-437,78	776,78

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpukan bahwa *overlap* yang paling efektif adalah variasi *Front Overlap* 70% *Side Overlap* 80% pada ketinggian terbang 250 m dengan lama waktu flight mapping 88,47 menit dan lama waktu pengolahan data foto udara di komputer 374,37 menit, dengan menghasilkan luasan cakupan area *report* aplikasi Agisoft Metashape 418 hektare dan luas area *overlap* ≥9 foto 305 hektare, dengan total foto udara sebanyak 833 foto.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada *Indonesia Mapping Community* dan *Papua Mapping Center* atas kontribusi berharga dalam menyediakan materi pemetaan yang bermanfaat bagi kami.

DAFTAR PUSTAKA

Aerotas. Tumpang Tindih & Pola Penerbangan. https://www.aerotas.com/*overlap*-flight-pattern (diakses tanggal 25 Agustus 2022)

Agus Hadi Pranata, Ahmad Jauhari, dan Abdi Fithria. 2020. Analisis Akurasi Luas Tutupan Lahan Menggunakan Uav (*Unmanned Aerial Vehicle*) di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (Khdtk) Ulm di Mandiangin. Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat.

Delair. Cara menerbangkan drone pertanian Anda untuk mendapatkan data plot yang akurat. https://delair.aero/agriculture (diakses tanggal 28 Agustus 2022).

Eka Selvandi Putri. 2021. Pemetaan Tutupan Lahan dan Kemiringan Lereng di Pulau Mansinam Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) . Fakultas Kehutanan Universitas Papua.

Jakarta School of Photography. 2020. Pengertian dan Sejarah Perkembangan Drone di Dunia. https://jsp.co.id/ (diakses tanggal 28 Agustus 2022)

Liu Purnomo. 2019. Penyebab Foto Tidak Terolah di Agisoft. https://liupurnomo.com (diakses tanggal 28 Agustus 2022).

Muchlisin Riadi. 2020. Drone (Sejarah, Jenis-jenis, Prinsip Kerja dan Komponen). https://www.kajianpustaka.com (diakses tanggal 28 Agustus 2022)

Wolf P., R. 1993. Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh, Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Yaming Xu. 2013. *Overlap* Analysis of the Images from *Unmanned Aerial Vehicle*s. School of Geodesy and Geomatics Wuhan University.

Zonaspasial. 2018. Apa itu Ground Control Points dan Bagaimana Menggunakannya. https://zonaspasial.com/artikel-geospasial (diakses tanggal 25 Agustus 2022)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMETAAN TUTUPAN LAHAN DAN KEMIRINGAN LERENG DI PULAU MANSINAM KABUPATEN MANOKWARI PROVINSI PAPUA BARAT MENGGUNAKAN *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV)

(Mapping of Land Cover and Slope in Mansinam Island, Manokwari District, West Papua Province Using Unmanned Aerial Vehicle)

Eka Febi Selvandy Putri, Zulfikar Mardiyadi, Francina F. Kesaulija
Fakultas Kehutanan, Universitas Papua

Jl. Gunung Salju, Amban, Kec. Manokwari Barat, Kabupaten Manokwari, Papua Barat 98314
E-mail: ekap27607@gmail.com

ABSTRAK

Pulau Mansinam merupakan ikon pariwisata di Manokwari. Perencanaan spasial diperlukan dalam pembangunan yang lebih baik di Pulau Mansinam. dalam perencanaan spasial ini diperlukan data terbaru mengenai tutupan lahan dan kemiringan dengan resolusi spasial yang sangat tinggi. Studi ini dilakukan untuk mengidentifikasi jumlah dan luas kelas penutup lahan serta kelas kemiringan. Analisis dilakukan menggunakan metode penginderaan jauh dan digitasi pada layar. Penelitian menunjukkan bahwa Pulau Mansinam memiliki 72 kelas penutup lahan dan terbagi menjadi tujuh kelas kemiringan. Hasil penelitian ini menunjukan bahwa pada Pulau Mansinam terdapat 72 kelas penutup lahan yang dikelompokkan menjadi lima kelas besar tutupan lahan yaitu area terbuka, lahan terbangun, hutan, perairan dan pertanian. Tutupan lahan "area terbuka" terdiri dari 11 kelas tutupan lahan. Tutupan lahan "lahan terbangun" terdiri dari 46 kelas tutupan lahan. Tutupan lahan "hutan" terdiri dari 2 kelas tutupan yaitu hutan lahan kering sekunder kerapatan sedang dengan luas 1.895.768,60 m^2 (62,33%) dan hutan lahan kering sekunder kerapatan tinggi dengan luas 1.145.927,81 m^2 (37,67%). Tutupan lahan "perairan" terdiri dari tujuh kelas tutupan lahan. Tutupan lahan "pertanian" terdiri dari enam kelas tutupan lahan. Dengan kemiringan lereng yang terbagi ke dalam tujuh kelas kemiringan lereng yaitu datar (0-3%) dengan luas 69,60 hektare (17,16%), landai atau berombak (3-8%) dengan luas 135,52 hektare (33,40%), agak miring atau bergelombang (8-15%) dengan luas 113,13 hektare (27,88%), miring atau berbukit (15-30%) dengan luas 71,64 hektare (15,66%), agak curam (30-45%) dengan luas 13,18 hektare (3,25%), curam (45-65%) dengan luas 2,47 hektare (0,61%) dan sangat curam (>65%) dengan luas 0,18 hektare (0,04%).

Kata Kunci: Pulau Mansinam, tutupan lahan, kemiringan lereng, pemetaan, UAV

ABSTRACT

Mansinam Island represents the icon of tourism on Manokwari. Spatial planning is needed to construct a better Mansinam Island. Spatial planning requires the latest data on the land cover and slopes at a very high resolution. The study was conducted to identify the number and extent of the land cover and learning classes. The analysis is performed using remote sensing techniques and digitized on screen. Research indicates that Mansinam Island has 72 land cover classes divided into seven slope classes. The research findings indicate that on Mansinam Island, 72 land cover classes are grouped into five major Islands: open areas, built-up areas, forests, water bodies, and agricultural areas. The "open areas" land cover consists of 11 land cover classes. The "built-up areas" land cover consists of 46 land cover classes. The "forest" land cover consists of 2 classes, namely secondary dry land forests with medium density covering an area of 1,895,768.60 m^2 (62.33%) and secondary dry land forests with high density covering an area of 1,145,927.81 m^2 (37.67%). The "water bodies" land cover consists of 7 land cover classes. The "agricultural" land cover consists of 6 land cover classes. With slope inclinations divided into seven slope classes: flat (0-3%) covering an area of 69.60 hectare (17.16%), gently undulating (3-8%) covering an area of 135.52 hectare (33.40%), moderately undulating (8-15%) covering an area of 113.13 hectare (27.88%), hilly (15-30%) covering an area of 71.64 hectare (15.66%), moderately steep (30-45%) covering an area of 13.18 hectare (3.25%), steep (45-65%) covering an area of 2.47 hectare (0.61%), and very steep (>65%) covering an area of 0.18 hectare (0.04%).

***Keywords**: Mansinam Island, land cover, slope, mapping, UAV*

PENDAHULUAN

Pulau Mansinam merupakan titik awal penyebaran agama Kristen ke seluruh Tanah Papua. Dengan nilai sejarah dan keindahan alam yang dimiliki Pulau Mansinam membuat pulau ini menjadi salah satu ikon wisata di Kota Manokwari. Pulau Mansinam secara geografis terletak di Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat yang memiliki luas wilayah 410,97 hektare, dengan posisi geografis 0° 54'24,39" LS dan 134° 04'58,91" BT.

Penutup lahan adalah kenampakan material fisik permukaan bumi. Tutupan lahan dapat menggambarkan keterkaitan antara proses alami dan proses sosial (Liang, 2008). Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2019, menunjukkan bahwa terdapat tiga kelas tutupan lahan pada Pulau Mansinam yaitu: hutan lahan kering sekunder, semak belukar dan permukiman.

Pemotretan udara dengan menggunakan pesawat tanpa awak/ Unmanned Aerial Vehicle (UAV) merupakan salah satu teknologi alternatif untuk mendapatkan data lebih detil, *real time*, dalam waktu relatif cepat, biaya relatif rendah dan aman dalam berbagai kondisi cuaca (Shofiyati, 2011). Kemiringan lereng merupakan salah satu aspek tambahan yang sangat penting dalam perencanaan pengelolaan wilayah. Lereng sendiri merupakan permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal.

Data tutupan lahan skala 1:250.000 tahun 2019 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa pada Pulau Mansinam terdapat 3 klasifikasi tutupan lahan. Jika dilihat dari data tersebut masih belum sesuai dengan kondisi riil dilapangan. Berdasarkan data diatas maka agar perencanaan pembangunan dapat terlaksana secara tepat dan akurat sangat diperlukan ketersediaan data berskala besar dan detail yaitu data peta skala 1:1000. Bagaimana menjawab ketersediaan data spasial berskala besar (detail) di Pulau Mansinam dan dilakukan dengan biaya yang relatif murah. Oleh sebab itu penelitian ini perlu dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu: (1) Untuk melakukan klasifikasi dan perhitungan luas tutupan lahan pada Kawasan Pulau Mansinam menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV); (2) Untuk mengetahui kelas kemiringan lereng pada Kawasan Pulau Mansinam; dan (3) Untuk membantu adanya ketersediaan data berupa peta tutupan lahan dan peta kemiringan lereng terkini Pulau Mansinam.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Kawasan Pulau Mansinam distrik Manokwari Timur Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat yang dilakukan selama 2 bulan.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah hasil foto udara menggunakan UAV DJI Mavic 2 Pro. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1 unit UAV (DJI Mavic 2 Pro), 1 unit ipad pro dilengkapi pix4d, DJI Go4; Laptop dilengkapi Windows 2010 64 bit, Ms 2016 dan dilengkapi aplikasi pemetaan; dan telepon seluler dilengkapi aplikasi *Avenza Maps* dan *Mobile Topographer*

Metode dan Teknik Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan teknik penginderaan jauh dan *digitasi on screen*.

Variabel

Dalam penelian ini variabel yang diamati adalah tutupan lahan dan kemiringan lereng yang berada pada Pulau Mansinam. Penutupan lahan adalah perwujudan secara fisik (*visual*) dari vegetasi, benda alam dan unsur-unsur budaya yang ada dibumi tanpa memperhatikan kegiatan manusia terhadap objek tersebut (Townshed & Justice, 1981). Kemiringan lereng adalah sudut

yang dibentuk oleh perbedaan tinggi permukaan lahan (relief), yaitu antara bidang datar tanah dengan bidang horizontal dan pada umumnya dihitung dalam persen (%).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Control Point* (ICP)

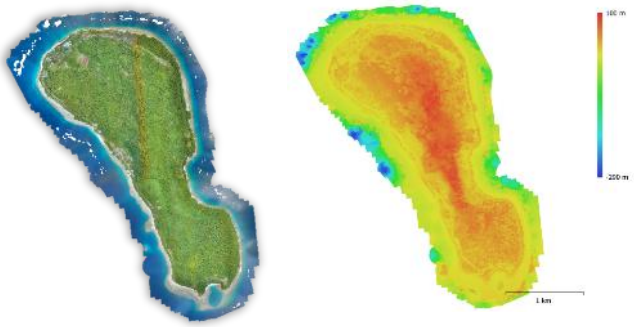
Pengukuran titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Control Point* (ICP) dilakukan selama 3 hari dengan menggunakan aplikasi *Mobile Topographer*. Pembuatan titik GCP dan ICP dilakukan dengan mengacu pada Petunjuk Teknis Pembuatan Peta Kerja Dengan Menggunakan Pesawat Nirawak/Drone Nomor 02/JUKNIS-300/2017 tanggal 21 Juni 2017 (Kementerian ATR/BPN, 2017). Titik GCP dan ICP yang dibuat sebanyak 8 titik GCP dan 8 titik ICP, menyebar pada seluruh bagian pulau dapat dilihat pada gambar 10. Pengukuran dilakukan pada setiap titik dengan lama waktu pengamatan berkisar antara 30 menit - 1,5 jam. Selain dilakukan pengukuran titik juga dilakukan pengukuran tinggi alat (*handphone*) di atas permukaan tanah. Hasil pengukuran 8 titik GCP dan 8 titik ICP yang nantinya akan digunakan untuk uji akurasi ketelitian geometris disajikan pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Titik koordinat *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Control Point* (ICP).

Titik	Koordinat		Ketinggian (m)
	X	Y	
GCP 01	134,09389	-0,89310	22,37
GCP 02	134,09088	-0,89157	2,57
GCP 03	134,09864	-0,89428	54,31
GCP 04	134,09880	-0,90562	4,62
GCP 05	134,10798	-0,92026	4,65
GCP 06	134,11100	-0,91461	9,76
GCP 07	134,10529	-0,90695	5,86
GCP 08	134,10399	-0,89359	5,27
ICP 01	134,09428	-0,89247	20,33
ICP 02	134,09093	-0,89152	2,99
ICP 03	134,09893	-0,89473	55,42
ICP 04	134,09912	-0,90598	3,81
ICP 05	134,10818	-0,92011	5,46
ICP 06	134,11086	-0,91409	10,79
ICP 07	134,10520	-0,90655	5,86
ICP 08	134,10206	-0,89215	5,27

Pemotretan Foto Udara

Proses akuisisi foto udara pada lokasi penelitian dilakukan pada 3 titik lokasi terbang sebagaimana disajikan pada **Gambar 9**. Pemotretan foto udara dilakukan menggunakan drone DJI Mavic 2 Pro dengan aplikasi DJI GO 4 untuk pengaturan kompas, kamera dan GPS serta aplikasi *Pix4D Capture* untuk melakukan proses akuisisi data secara *auto pilot* dengan misi *polygon* dan *front overlap* 75%, *side overlap* 80%, ketinggian 250-255 m. Proses akuisisi data dilakukan dengan 4 misi terbang dengan menghasilkan jumlah foto 2.691 dan dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi *Agisoft Metashape Profesional* 1.6.1. Proses pengolahan data membutuhkan waktu ±14 jam dengan perangkat laptop Dell XPS 15 i7-7700 (Ram 32 GB) menghasilkan *Orthomosaic* Pulau Mansinam dengan resolusi *Ground Sampling Distance (GSD*) 5,56 cm/pix dan DEM (*Digital Elevation Model*) dengan resolusi 22,2 cm/pix (**Gambar 1**). Pengolahan data foto udara dilakukan dengan koreksi GCP yang dilakukan dengan cara input GCP setelah tahapan *align photo*. *Input* GCP dilakukan untuk memberikan referensi koordinat 3D (XYZ) terhadap hasil proses *align photo*, sehingga 3D yang terbentuk dapat diperbaiki kualitas geometrisnya dan pada akhirnya mampu menghasilkan DEM dan *Orthomosaic* yang akurat sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan.



Gambar 1. Hasil orthomosaik dan DEM Pulau Mansinam.

Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan metode *Digitasi On Screen* berpedoman pada standar klasifikasi penutupan lahan SNI 7645-1 tahun 2014 dan Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan Nomor P.1/VII-IPSDH/2015 tentang pedoman pemantauan penutupan lahan. Penambahan kelas tutupan lahan disesuaikan dengan kondisi riil di lapangan yang diperoleh dari hasil pengecekan di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada Pulau Mansinam terdapat 5 kelas besar tutupan lahan yang terindentifikasi yaitu area terbuka, lahan terbangun, hutan, perairan, dan pertanian dengan total luasan 4.057.160,53 m^2 (405,71 hektare) dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi tutupan lahan.

No	Tutupan Lahan	Luas (m^2)	Persentase (%)
1	Area Terbuka	393.182,58	9,69
2	Lahan Terbangun	98.772,12	2,43
3	Hutan	3.041.696,42	74,97
4	Perairan	87.056,33	2,15
5	Pertanian	436.453,08	10,76
	Total	4.057.160,53	100,00

Data pada **Tabel 2** di atas menunjukkan bahwa tutupan lahan dengan luasan tertinggi pada Pulau Mansinam adalah hutan dengan luasan 3.041.696,42 m^2 (74,97%) sedangkan luasan terendah adalah Perairan dengan luasan 87.056,33 m^2 (2,15%). Berdasarkan analisis yang dilakukan tutupan lahan Pulau Mansinam didominasi oleh tutupan lahan Hutan dengan persentase 74,97%. Hasil klasifikasi tutupan lahan 5 kelas besar di Pulau Mansinan terbagi lagi pada beberapa kelas, yaitu : Area Terbuka (10 kelas), Lahan Terbangun (10 kelas dengan 46 sub kelas), Hutan (2 kelas), Perairan (7 kelas) dan Pertanian (6 kelas), sehingga didapatkan total klasifikasi tutupan lahan pada Pulau Mansinam adalah 72 kelas tutupan lahan.

Penelitian dengan metode yang sama banyak telah dilakukan pada lokasi lain seperti penelitian "Pemetaan Tutupan Lahan Menggunakan Drone dan Perhitungan Koefisien Limpasan di Sub Sub DAS Karangasam Besar" dari Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman menghasilkan 52 kelas tutupan lahan dan "Pemanfaatan Drone Untuk Pemetaan Tutupan Lahan dan Kondisi Hidrologi Sub-Sub DAS Sempaja Samarinda Kalimantan Timur" dari Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman menghasilkan 42 kelas tutupan lahan (Akbar, 2020, Pradhana, 2020).

Klasifikasi Tutupan Lahan "Area Terbuka"

Tutupan lahan "area terbuka" terbagi menjadi 11 kelas tutupan lahan yaitu Halaman Gereja, Halaman Makam, Halaman Sekolah, Lapangan, Padang Rumput, Pekarangan, Permukaan Diperkeras, Semak, Taman, Tanah Terbuka, Tangga. Dimana masing-masing memiliki pengertian serta luasan yang berbeda-beda. Hasil klasifikasi tutupan lahan "area terbuka" disajikan pada **Tabel 3**.

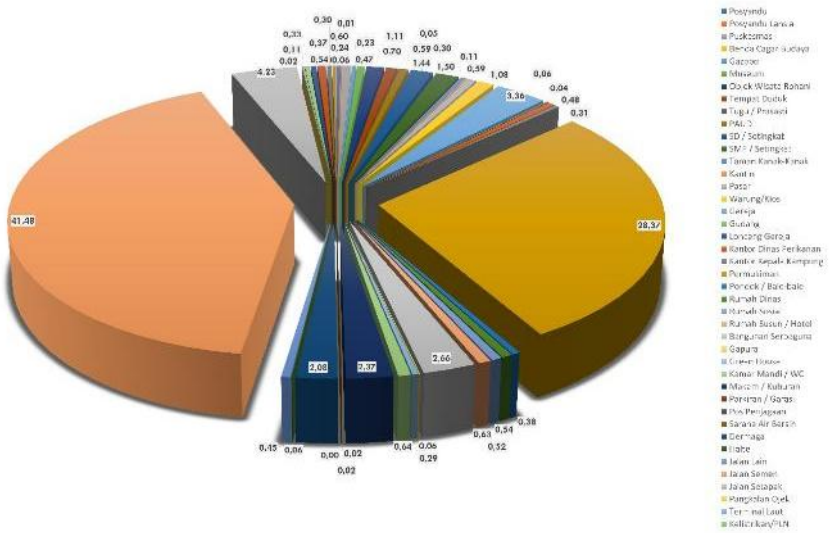
Tabel 3. Klasifikasi tutupan lahan "Area Terbuka".

No	Tutupan Lahan	Luas (m²)	Persentase (%)
1	Halaman Gereja	4.135,56	1,05
2	Halaman Makam	3.830,24	0,97
3	Halaman Sekolah	3.348,14	0,85
4	Lapangan	5.424,73	1,38
5	Padang Rumput	19.194,30	4,88
6	Pekarangan	112.437,39	28,60
7	Permukaan Diperkeras	13.370,82	3,40
8	Semak	145.487,58	37,00
9	Taman	11.875,83	3,02
10	Tanah Terbuka	74.012,81	18,82
11	Tangga	65,19	0,02
	Total	393.182,58	100,00

Tutupan lahan "area terbuka" memiliki total luasan 393.182,58 m^2 (**Tabel 3**) dengan persentase 9,96% yang merupakan kelas dengan luasan tertinggi ke-3 setelah hutan dan Pertanian. Tutupan lahan "area terbuka" yang memiliki luasan tertinggi adalah Semak dengan luasan 145.487,58 m^2 (37%) dan luasan terendah adalah Tangga dengan luasan 65,19 m^2 (0,02%).

Klasifikasi Tutupan Lahan "Lahan Terbangun"

Lahan terbangun merupakan area yang telah mengalami substitusi penutupan lahan alami ataupun semi alami dengan penutupan lahan buatan yang biasanya bersifat kedap air dan relatif permanen (SNI 7645, 2010). Tutupan lahan "lahan terbangun" dengan total luasan 98.772,12 m^2 dan persentase 2,43%. Tutupan lahan "lahan terbangun" terbagi menjadi 10 kelas tutupan lahan dengan 46 sub kelas yaitu Bangunan Kesehatan (Posyandu, Posyandu Lansia, Puskesmas), Bangunan Pariwisata (Benda Cagar Budaya, Gazebo, Museum, Objek Wisata Rohani, Tempat Duduk, Tugu/Prasasti), Bangunan Pendidikan (PAUD, SD / Setingkat, SMP / Setingkat, Taman Kanak-Kanak), Bangunan Perdagangan Jasa (Kantin, Pasar, Warung/Kios), Bangunan Peribadatan (Gereja, Gudang, Lonceng Gereja), Bangunan Perkantoran (Kantor Dinas Perikanan, Kantor Kepala Kampung), Bangunan Permukiman (Permukiman, Pondok/Bale-Bale, Rumah Dinas, Rumah Social, Rumah Susun/Hotel), Bangunan Sosial (Bangunan Serbaguna, Gapura, Green House, Kamar Mandi/WC, Makam/Kuburan, Parkiran/Garasi, Pos Penjagaan, Sarana Air Bersih), Bangunan Transportasi (Dermaga, Halte, Jalan Lain, Jalan Semen, Jalan Setapak, Pangkalan Ojek, Terminal Laut) dan Bangunan Utilitas (Kelistrikan/PLN, Panel Surya, Rumah Mesin, Tembok Laut, Tempat Pembakaran Sampah). Dimana masing-masing memiliki defenisi serta luasan yang berbeda-beda. Hasil klasifikasi tutupan lahan "bangunan" disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Persentase klasifikasi tutupan lahan "Lahan Terbangun".

Tutupan lahan "lahan terbangun" yang memiliki luasan tertinggi adalah Jalan Semen dengan luasan 40.972,10 m^2 (41,48%) dan luasan terendah adalah Sarana Air Bersih dengan luasan 3,42 m^2 (0,003%).

Klasifikasi Tutupan lahan "Hutan"

Hutan atau area bervegetasi alami merupakan areal yang tertutup oleh liputan vegetasi yang berkembang secara alami atau semi-alami, baik berupa pepohonan rapat maupun vegetasi lainnya termasuk semak dan rumput dengan tingkat ketinggian dan kerapatan yang lebih rendah (SNI 7645-1:2014). Hutan adalah areal yang ditumbuhi oleh pepohonan yang tajuk pohonnya dapat saling menutupi atau bergesekan.

Tutupan lahan Hutan merupakan kelas tutupan yang mendominasi areal Pulau Mansinam dengan luasan 3.041.696,42 m^2 (74,97%). Tutupan lahan hutan terbagi menjadi 2 kelas tutupan lahan yaitu Hutan Lahan Kering Sekunder Kerapatan Sedang dan Hutan Lahan Kering Sekunder Kerapatan Tinggi. Dimana masing-masing memiliki pengertian serta luasan yang berbeda-beda. Hasil klasifikasi tutupan lahan "hutan" disajikan pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Klasifikasi tutupan lahan "Hutan".

No	Tutupan Lahan	Luas (m^2)	Persentase (%)
1	Hutan Lahan Kering Sekunder Kerapatan Sedang	1.895.768,60	62,33
2	Hutan Lahan Kering Sekunder Kerapatan Tinggi	1.145.927,81	37,67
	Total	3.041.696,42	100,00

Data pada diatas menunjukkan bahwa tutupan lahan "hutan" yang memiliki luasan tertinggi adalah Hutan lahan kering sekunder kerapatan sedang dengan luasan 1.895.768,60 m^2 dengan persentase 62,33% sedangkan Hutan lahan kering sekunder kerapatan tinggi memiliki luasan 1.145.927,81 m^2 dengan persentase 37,67%.

Klasifikasi Tutupan lahan "Perairan"

Perairan adalah suatu kumpulan massa air pada suatu wilayah tertentu, baik yang bersifat dinamis (bergerak atau mengalir) seperti laut dan sungai maupun statis (tergenang) seperti danau. Perairan ini dapat merupakan perairan tawar, payau, maupun asin (laut). Perairan darat meliputi sungai, rawa, danau, payau atau muara sungai (Brotowidjoyo et al., 1995). Hasil peneltian menunjukkan total luasan tutupan lahan perairan yaitu 87.056,33 m^2 dengan persentase 2,15%. Tutupan lahan "perairan" terbagi menjadi 7 kelas tutupan lahan yaitu Kolam, Kolam Ikan, Penampungan Air, Pesisir Pantai, Rawa Pesisir, Sumur dan Terumbu Karang. Dimana masing-masing memiliki pengertian serta luasan yang berbeda-beda. Hasil klasifikasi tutupan lahan "perairan" disajikan pada **Tabel 5.**

Tabel 5. Klasifikasi Tutupan Lahan "Perairan"

No	Tutupan Lahan	Luas (m^2)	Persentase (%)
1	Kolam	74,29	0,09
2	Kolam Ikan	685,41	0,79
3	Penampungan Air	73,76	0,08
4	Pesisir Pantai	52.997,29	60,88
5	Rawa Pesisir	11.484,40	13,19
6	Sumur	33,10	0,04
7	Terumbu Karang	21.708,06	24,94
	Total	87.056,33	100,00

Pada tutupan lahan "perairan" yang memiliki luasan tertinggi adalah Pesisir Pantai dengan luasan 52,997,29 m^2 (60,88%) sedangkan tutupan yang memiliki luasan terendah adalah Sumur dengan luasan 33,10 m^2 (0,04%).

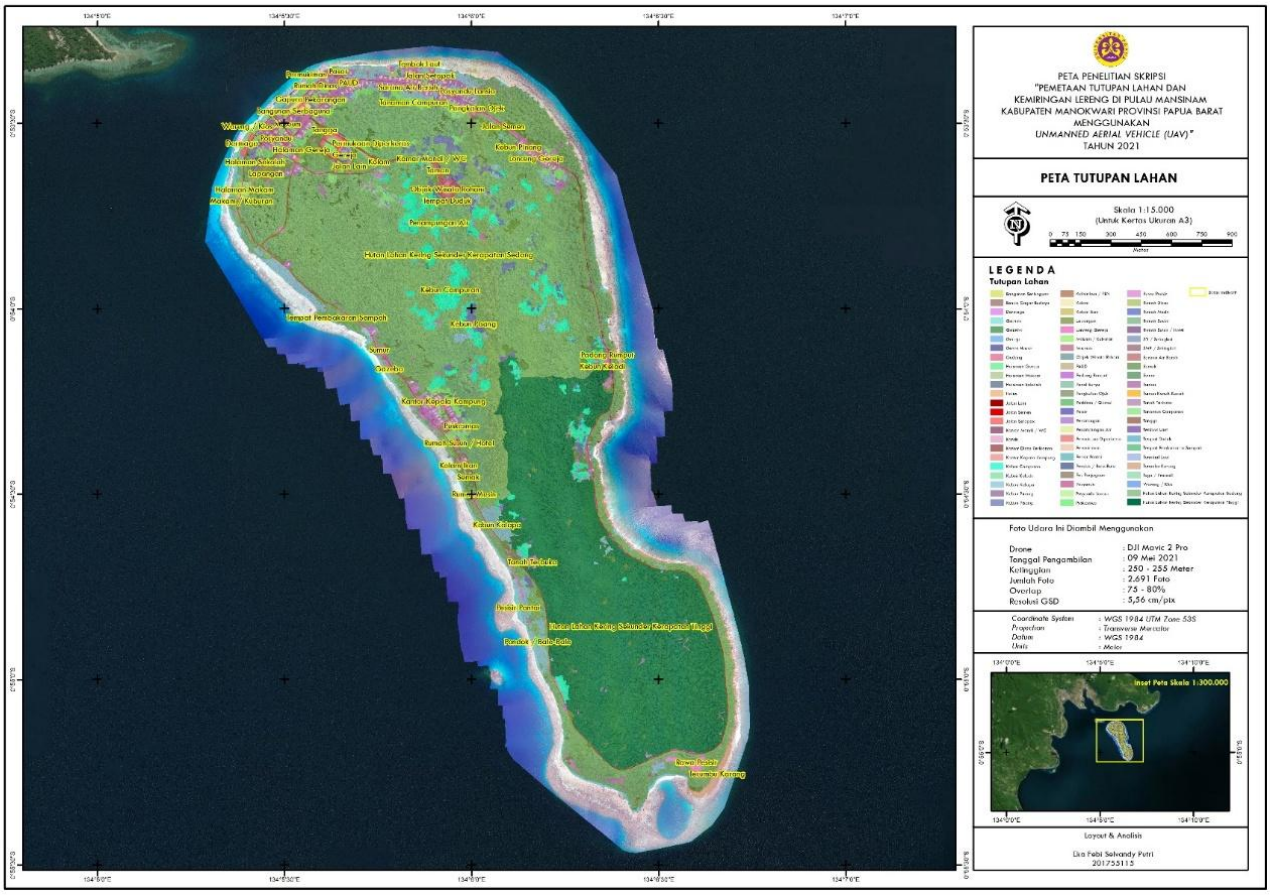
Kelas Klasifikasi Tutupan lahan "Pertanian"

Pertanian adalah areal yang diusahakan untuk budi daya tanaman pangan, perkebunan dan holtikultura (SNI 7645, 2010). Hasil penelitian menunjukkan bahwa total luasan tutupan lahan "Pertanian" yaitu 436.453,08 m^2 dengan persentase 10,76%. Tutupan lahan "pertanian" terbagi menjadi 6 kelas tutupan lahan yaitu Kebun Campuran, Kebun Keladi, Kebun Kelapa, Kebun Pinang, Kebun Pisang, Tanaman Campuran. Dimana masing-masing memiliki pengertian serta luasan yang berbeda-beda. Hasil klasifikasi tutupan lahan "Pertanian" disajikan pada **Tabel 6.**

Tabel 6. Klasifikasi Tutupan Lahan "Pertanian"

No	Tutupan Lahan	Luas (m^2)	Persentase (%)
1	Kebun Campuran	156.694,98	35,90
2	Kebun Keladi	6.101,40	1,40
3	Kebun Kelapa	124.135,90	28,44
4	Kebun Pinang	516,00	0,12
5	Kebun Pisang	55.137,72	12,63
6	Tanaman Campuran	93.867,09	21,51
	Total	436.453,08	100,00

Data pada di atas menunjukkan bahwa tutupan lahan Pertanian yang terluas adalah Kebun Campuran dengan luasan 156.694,98 m^2 (35,90%) sedangkan tutupan yang dengan luasan terendah adalah Kebun Pinang dengan luasan 516,00 m^2 (0,12%).



Gambar 3. Peta tutupan lahan 72 kelas.

Klasifikasi Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan ukuran kemiringan lahan relatif terhadap bidang datar yang secara umum dinyatakan dalam persen atau derajat. Proses pengklasifikasian kelas lereng dalam

penelitian ini menggunakan klasifikasi menurut (Arsyad, 2010) yang terbagi menjadi 7 kelas yaitu: Datar (0-3%), Landai atau Berombak (3-8%), Agak Miring atau Bergelombang (8-15%), Miring atau Berbukit (15-30%), Agak Curam (30-45%), Curam (45-65%), dan Sangat Curam (>65%).

Kemiringan lereng diperoleh dari data DEM (*Digital Elevation Model*). Pengertian DEM adalah data digital yang mengambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefisinikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat.

Dari data DEM diperoleh data DSM (*Digital Surface Model*) yang merupakan model digital yang menampilkan model elevasi tanah dan elevasi permukaan dan kemudian dilakukan *filtering* menggunakan aplikasi PCI Geomatica 14 untuk mendapatkan data DTM (Digital Terrain Model) yang merupakan model digital yang menampilkan model elevasi tanah, data DTM inilah yang kemudian digunakan untuk menghasilkan data kemiringan lereng yang dianalisis menggunakan aplikasi ArcGIS. Hasil klasifikasi kemiringan lereng disajikan pada **Tabel 7.**

Tabel 7. Klasifikasi Kemiringan Lereng Pulau Mansinam

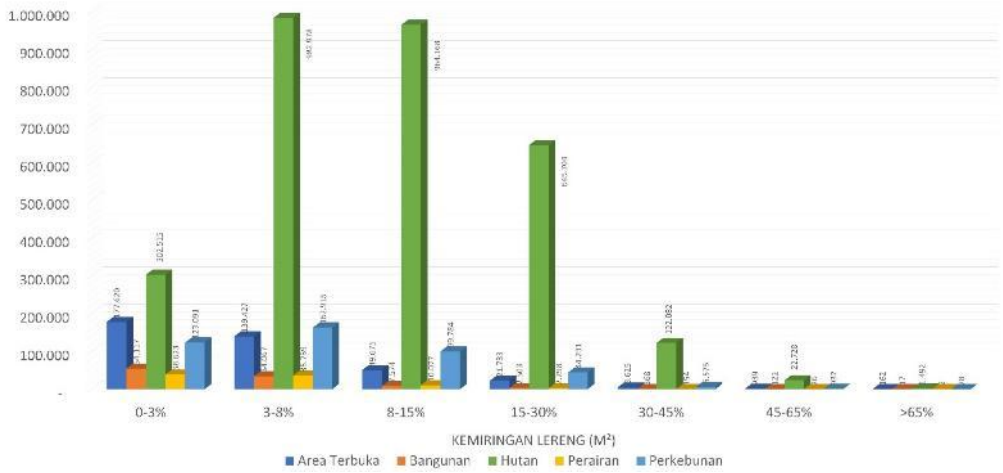
No	Kemiringan	Keterangan	Luas (hektare)	Persentase (%)
1	0-3%	Datar	69,60	17,16
2	3-8%	Landai atau Berombak	135,52	33,40
3	8-15%	Agak Miring atau Bergelombang	113,13	27,88
4	15-30%	Miring atau Berbukit	71,64	17,66
5	30-45%	Agak Curam	13,18	3,25
6	45-65%	Curam	2,47	0,61
7	>65%	Sangat Curam	0,18	0,04
		Total	405,72	100,00

Hasil analisis data kemiringan lereng Pulau Mansinam diperoleh kelas kemiringan Datar dengan persentase kemiringan 0-3% memiliki luasan 69,60 hektare (17,16%), kelas kemiringan Landai atau Berombak dengan persentase kemiringan 3-8% memiliki luasan 135,52 hektare (33,40%) yang merupakan kemiringan dengan luasan tertinggi, kelas kemiringan agak miring atau bergelombang dengan persentase kemiringan 8-15% memiliki luasan 113,13 hektare (27,88%), kelas kemiringan Miring atau Berbukit dengan persentase kemiringan 15-30% memiliki luasan 71,64 hektare (17,66%), kelas kemiringan Agak Curam dengan persentase kemiringan 30-45% memiliki luasan 13,18 hektare (3,25%), kelas kemiringan Curam dengan persentase kemiringan 45-65% memiliki luasan 2,47 hektare (0,61%) dan kelas kemiringan Sangat Curam dengan persentase kemiringan >65% memiliki luasan 0,18 hektare (0,04%) yang merupakan kemiringan dengan luasan terendah.

Overlay Tutupan Lahan dan Kemiringan Lereng

Teknik *overlay* sering digunakan pada aplikasi Sistim Informasi Geografis untuk menganalisis peta. Defenisi overlay adalah suatu proses pada data spasial, yang terjadi pada suatu layer yang berisi peta tematik tertentu lalu "ditumpangkan dan disusun" dengan berbagai peta tematik lain dan akhirnya membentuk layer peta tematik baru dengan poligon yang baru dari hasil perpotongan bidang-bidang pada proses "penumpukan dan penyusunan" tersebut. Sudut pada poligon yang baru merupakan hasil perpotongan sisi poligon-poligon lama yang telah "ditumpangkan atau disusun". Seluruh titik dan garis yang berada di peta-peta lama, kini ditampilkan bersama-sama dengan titik dan garis lain dengan perpotongan, dan topologi serta tabel atribut baru yang disesuaikan dengan hasil *overlay* poligon.

Untuk dapat melakukan overlay, maka peta-peta tematik itu harus mempunyai satu patokan dan sisterm koordinat yang sama, sehingga peta tematik baru dihasilkan dengan baik. Hasil overlay tutupan dan kelas kemiringan lereng disajikan pada **Gambar 4.**



Gambar 4. Ovelay Tutupan Lahan dan Kelas Lereng

Data pada **Gambar 4** di atas menunjukkan bahwa tutupan lahan "area terbuka" mayoritas berada pada kemiringan lereng datar (0-3%) seluas 177.619,92 m^2 dan sebagian kecil berada pada kemiringan lereng sangat curam (>65%) seluas 162,10 m^2. Tutupan lahan "lahan terbangun" mayoritas berapa pada kemiringan lereng datar (0-3%) seluas 54.116,90 m^2 dan sebagian kecil berada pada kemiringan lereng sangat curam (>65%) seluas 17,43 m^2. Tutupan lahan "hutan" mayoritas terletak pada kemiringan lereng landai (3-8%) dengan luasan 982.977,83 m^2 dan minoritas terletak pada kemiringan lereng sangat curam (>65%) dengan luasan 1.491,56 m^2. Tutupan lahan "perairan" mayoritas berada pada kemiringan lereng datar (0-3%) seluas 38.622,96 m+ dan minoritas berada pada kemiringan lereng sangat curam (>65%) seluas 2,04 m^2. Tutupan lahan "pertanian" mayoritas berapa pada kemiringan lereng landai (3-8%) dengan luasan 162.915,07 m^2 dan sebagian kecil berada pada kemiringan lereng sangat curam (>65%) dengan luasan 77,80.

Uji Ketelitian Planimetrik Jarak

Pengujian planimetrik dilakukan dengan cara mengkomparasi hasil digitasi peta foto udara dengan hasil pengukuran situasi di lapangan. Adapun obyek yang digunakan dalam pengujian ketelitian planimetric adalah sampel bidang-bidang tanah baik bidang permukiman maupun lahan kosong yang mudah di identifikasi pada Orthomosaic. Pada penelitian ini digunakan 2 sampel bidang tanah untuk pengujian ketelitian planimetric jarak. Proses pengujian planimetrik jarak.

Standar pengujian ketelitian planimetrik berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Agraria / Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 3 Tahun 1997 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar Pendaftaran. Menghitung nilai RMS jarak menggunakan rumus **Persamaan 1**.

$$\text{RMS jarak} = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta D - \Delta D\ rata - rata)^2}{n}} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan : ΔD = selisih jarak di foto dengan lapangan
n = jumlah sampel jarak

Jarak yang digunakan diambil dari 2 sampel bidang tanah yang sudah ditentukan. Kemudian dilakukan perhitungan toleransi kelasahan planimetrik jarak seperti pada rumus. RMS jarak ≤0,3 mm pada skala peta.

Jika nilai toleransi RMS jarak sudah diketahui maka pengujian ketelitian planimetrik jarak dapat dilakukan dengan mengecek apakah nilai RMS jarak yang sudah dihitung memenuhi toleransi atau tidak. Pengujian ketelitian planimetric dilakukan dengan menghitung selisih dari sampel jarak maupun luas antara digitasi Orthomosaic dengan data pengukuran di lapangan. Banyak sampel bidang adalah 2 sampel. Dari hasil selisih jarak tersebut kemudian dihitung nilai RMS jarak dengan rumus, sehingga didapatkan nilai RMS jarak sebesar 0,045 m.

Setelah menghitung RMS jarak, kemudian diuji dengan standar pengujian ketelitian planimetris yang mengacu pada Peraturan Menteri Negara Agraria/Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 3 Tahun 1997 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar Pendaftaran, dimana kesalahan planimetrik (RMS jarak) harus ≤ 0.3 mm pada skala peta yang diinginkan. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan untuk peta skala 1:1.000, sehingga dengan menggunakan rumus didapatkan nilai toleransi RMS jarak sebesar 0.30 m.

Dari hasil perhitungan RMS jarak, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan memenuhi toleransi ketelitian planimetrik jarak sesuai Peraturan Menteri Negara Agraria/Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 3 Tahun 1997 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar Pendaftaran, karena nilai RMS jarak ≤0,30 m.

Uji Ketelitian Geometri (*RMS Error*)

Pada pengujian ketelitian geometri digunakan data pengukuran GCP (*Ground Control Point*) sebagai titik kontrol lapangan dalam proses orthorektifikasi serta ICP (*Independent Control Point*) sebagai titik uji setelah dilakukan orthorektifikasi. Ketelitian titik-titik GCP dilihat dari besar RMS (Root Mean Square) maupun elips kesalahan yang dihasilkan dari setiap titik.

Dari hasil pengukuran GPS yang telah dilakukan di lapangan adalah koordinat titik GCP dan ICP yang kemudian akan dilakukan pengujian ketelitian geometri. Pengujian ketelitian geometri berpedoman pada Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Pengujian dilakukan dengan cara menghitung nilai CE90 terlebih dahulu menggunakan rumus **Persamaan 2**.

$$CE90 = 1.5175 \times RMSE_r \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan:
$RMSE_r$ = Root Mean Square Error pada posisi x dan y (horizontal)
CE90 = nilai ketelitian posisi horizontal dengan tingkat kepercayaan 90%

Perhitungan nilai CE90 pada titik ICP dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8. Hasil perhitungan nilai CE90 dalam satuan meter.

NO	Titik ICP	Jarak ke titik GPS yang bersesuaian (m)	Koordinat ICP GPS *Mobile Topographer*		Koordinat ICP (Interpretasi)		$(X_{GPS}-X_{CP})^2$	$(Y_{GPS}-Y_{CP})^2$	$(X_{GPS}-X_{CP})^2 + (Y_{GPS}-Y_{CP})^2$
			X	Y	X	Y			
1	ICP01	0,395	399224,028	9901342,570	399223,653	9901342,447	0,141	0,015	0,156
2	ICP02	0,066	398850,932	9901447,211	398850,997	9901447,227	0,004	0,000	0,004
3	ICP03	0,335	399741,696	9901092,545	399741,855	9901092,840	0,025	0,087	0,112
4	ICP04	0,162	399762,552	9899849,708	399762,706	9899849,659	0,024	0,002	0,026
5	ICP05	1,016	400771,012	9898287,903	400771,928	9898287,463	0,838	0,193	1,032
6	ICP06	0,247	401069,942	9898953,148	401069,878	9898953,386	0,004	0,057	0,061
7	ICP07	0,531	400439,380	9899786,857	400439,737	9899786,465	0,128	0,154	0,282
8	ICP08	0,822	400089,307	9901378,707	400089,926	9901378,167	0,384	0,292	0,675
						Jumlah			2,349
						Rata-rata			0,294
						RMSEr			0,542
						Akurasi Horisontal 90 %			0,822

Nilai $RMSE_r$ yang diperoleh adalah 0,542 m dan nilai CE90 atau akurasi horizontal 90% yang diperoleh adalah 0,822 m dan kemudian disesuaikan dengan pedoman Ketelitian Geometri dari Badan Informasi Geospasial untuk mengetahui masuk dalam skala dan kelas *Orthomosaic* yang dihasilkan dari penelitian ini.

Berdasarkan hasil pengujian ketelitian geometris yang telah dilakukan data Orthomosaic yang dihasilkan dari pengolahan menggunakan aplikasi Agisoft Metashape Profesional 1.6.1 memenuhi klasifikasi ketelitian geometri peta RBI skala 1:1.000 kelas 3 sesuai dengan Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat 72 kelas tutupan lahan yang kemudian dikelompokkan menjadi 5 kelas besar tutupan lahan yang terdiri dari area terbuka dengan luasan 393.182,85 m^2 (9,69%) yang memiliki 11 kelas tutupan lahan, lahan terbangun dengan luasan 98.772,12 m^2 (2,43%) yang memiliki 46 kelas tutupan lahan, hutan dengan luasan 3.041.696,42 m^2 (74,97%) yang memiliki 2 kelas tutupan lahan, perairan dengan luasan 87.056,33 m^2 (2,15%) yang memiliki 7 kelas tutupan lahan dan pertanian dengan luasan 436.453,08 m^2 (10,76%) yang memiliki 6 kelas tutupan lahan. Selain itu, terdapat 7 kelas kemiringan lereng dengan rincian: datar (0-3%) seluas 69,60 hektare (17,16%), landai atau berombak (3-8%) seluas 135,52 hektare (33,40%), agak miring atau bergelombang (8-15%) seluas 113,13 hektare (27,88%), miring atau berbukit (71,64) hektare (17,66%), agak curam (30-45%) seluas 13,18 hektare (3,25%), curam (45-65%) seluas 2,47 hektare (0,61%) dan sangat curam dan(>65%) seluas 0,18 hektare (0,04%). Hasil analisis dan klasifikasi tutupan lahan serta kemiringan lereng dapat menghasilkan peta tutupan lahan dan peta kelas lereng dengan skala besar yang dilakukan koreksi *Ground Control Point* memenuhi klasifikasi ketelitian geometri peta RBI skala 1:1000 pada kelas 3 dan menghasilkan sebanyak 70 lembar peta skala 1:1.000.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada *Indonesia Mapping Community* dan *Papua Mapping Center* atas kontribusi berharga dalam menyediakan materi pemetaan yang bermanfaat bagi kami.

DAFTAR PUSTAKA

Akbar R. 2020. Pemanfaatan Drone Untuk Pemetaan Tutupan Lahan dan Kondisi Hidrologis Sub-Sub DAS Sempaja Samarinda Kalimantan Timur Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman. Samarinda

Arsyad (2010). Konservasi Tanah dan Air. (edisi kedua) Bogor: Serial Pustaka IPB Press.

Badan Standar Indonesia. 2010. Klasifikasi Penutup Lahan SNI 7645:2014. Badan Standar Nasional. Jakarta

Badan Standar Indonesia. 2014. Klasifikasi Penutup Lahan SNI 7645-1:2014. Badan Standar Nasional. Jakarta

Brotowidjoyo, D.M., Tribowo, D., Eko. M.1995. Pengantar Lingkungan Perairan dan Budidaya Air. Liberty, Yogyakarta. 87 hal.

Kementerian ATR/BPN. 2017. Petunjuk Teknis Pembuatan Peta Kerja Dengan Menggunakan Pesawat Nirawak/Drone. Direktorat Jenderal Infrastruktur Keagrariaan Kementrian Agraria dan Tata Ruang. Jakarta

Liang, S. 2008. Advances in land remote sensing. System, modeling, inversion and application. – Dordrecht.

Pradhana R, R. 2020. Pemetaan Tutupan Lahan Menggunakan Drone dan Perhitungan Koefisien Limpasan di Sub DAS Karangasam Besar .Skripsi. Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman. Samarinda

Shofiyanti R, 2011. Teknologi Pesawat Tanpa Awak Untuk Pemetaan dan Pemantauan Tanaman dan Lahan Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya lahan pertanian. BogorTownshend, J.R.G.& C.O. Justice. 1981. Image Processing of Remotely Sensed Data a user view. International Journal of Remote Sensing, 2, 313-330.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMANFAATAN METODE MOSAIK CITRA UNTUK EKSTRAKSI DATA KEDALAMAN MENGGUNAKAN METODE *SATELLITE DERIVED BATHYMETRY* DI PERAIRAN WAKATOBI, SULAWESI TENGGARA

(*Utilization of The Mosaic Method for Depth Data Extraction Using Satellite Derived Bathymetry Method in Wakatobi, Southeast Sulawesi)*

Sri Windari, Anggi Tiarasani, Nadya Oktaviani
Badan Informasi Geospasial

Jalan Raya Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong, 16911
E-mail: sri.windari@big.go.id

ABSTRAK

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh berbasis optik untuk pendugaan kedalaman perairan, terutama di area perairan dangkal, saat ini mengalami perkembangan pesat. Penentuan kedalaman perairan yang memanfaatkan citra satelit atau dikenal dengan metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) menjadi fokus dalam penelitian ini. Citra Satelit Sentinel 2A dipilih untuk pendugaan perairan dangkal di wilayah Perairan Wakatobi. Data kedalaman yang digunakan sebagai data *training* merupakan hasil akuisisi menggunakan *singlebeam echosounder.* Proses pendugaan kedalaman perairan dangkal di Perairan Wakatobi memerlukan 2 (dua) *scene* Citra Sentinel yang bersebelahan, sedangkan data *training* hanya ada di salah satu *scene* citra sehingga untuk memperoleh nilai kedalaman perairan dangkal di seluruh wilayah Perairan Wakatobi harus dilakukan mozaik citra. Hasil dari ekstraksi data kedalaman menggunakan Metode SDB pada mozaik Citra Sentinel 2 dapat diperoleh data DEM yang relatif baik untuk proses penentuan garis pantai surut terendah *(Lowest Astronomical Tide)*. Pengolahan SDB menggunakan algoritma *random forest* menghasilkan nilai RMSe 0,325 m dan koefisien determinasi (R^2) 0,728 m.

Kata kunci: Citra Sentinel, garis pantai, kedalaman perairan dangkal, *Satellite Derived Bathymetry*

ABSTRACT

The utilization of optical remote sensing technology for estimating water depth, particularly in shallow water areas, is currently experiencing rapid development. Determining water depth using satellite imagery, known as Satellite Derived Bathymetry (SDB), is the focus of this research. Sentinel 2A satellite imagery was chosen for estimating shallow water in the Wakatobi Waters. The depth data used as training data was acquired using a single-beam echosounder. Estimating shallow water depth in the Wakatobi Waters requires two adjacent Sentinel image scenes; at the same time, the training data is only available in one scene, thus necessitating an image mosaic to obtain shallow water depth values across the entire Wakatobi waters. The results of depth data extraction using the SDB method on Sentinel 2 mosaic imagery give a good result DEM data for determining the Lowest Astronomical Tide shoreline. The SDB processing using the random forest algorithm produced an RMSE value of 0.325 m and a coefficient of determination (R^2) of 0.728.

***Keywords**: Sentinel Imagery, coastline, shallow water depth, Satellite Derived Bathymetry*

PENDAHULUAN

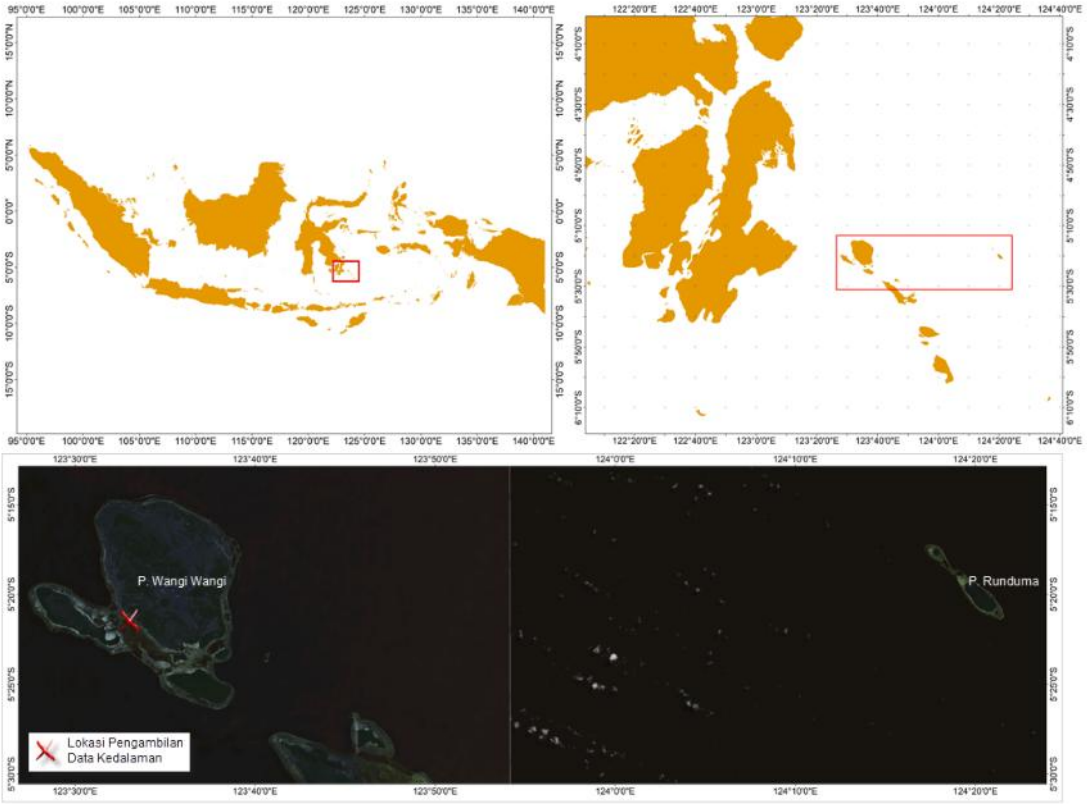
Pengukuran kedalaman perairan, terutama pada perairan dangkal menjadi sangat penting karena daerah ini rentan mengalami perubahan yang cepat akibat erosi dan sedimentasi. Perairan dangkal menimbulkan masalah yang sulit bagi pemetaan menggunakan kapal konvensional karena kesulitan navigasi dan tingginya tingkat pengambilan sampel spasial yang diperlukan (Lyzenga *et al.,* 2006). Selain keterbatasan navigasi, metode penentuan kedalaman dengan pemeruman menggunakan kapal konvensional biasanya mahal dan memerlukan waktu yang cukup lama untuk area yang luas. Teknologi penginderaan jauh dapat mengatasi kendala-kendala ini, memungkinkan pengukuran di perairan yang luas dimana pengukuran menggunakan kapal konvensional cenderung terbatas (Rodrigues *et al.,* 2020).

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh berbasis optik untuk pendugaan kedalaman perairan, terutama di area perairan dangkal, saat ini mengalami perkembangan pesat. Teknologi penginderaan jauh sangat efektif dan efisien dimanfaatkan untuk menyusun informasi sumber daya alam yang dimanfaatkan untuk perencanaan dan manajemen sumber daya (Manessa *et al.,* 2016). Metode dan algoritma pendugaan kedalaman berbasis citra satelit atau yang dikenal sebagai *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) menjadi salah satu fokus penelitian ini. *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pemodelan empiris, di mana pemodelan ini memerlukan data sampel kedalaman untuk merepresentasikan nilai-nilai piksel pada citra satelit.

Indonesia sebagai salah satu negara kepulauan terbesar, memiliki beberapa wilayah administrasi yang merupakan gugusan kepulauan, salah satunya adalah Kabupaten Wakatobi. Pulau Wangi-wangi dan Pulau Runduma di Kabupaten Wakatobi terletak pada *scene* yang berbeda, sedangkan data sampel kedalaman hanya ada di Pulau Wangi-wangi sehingga untuk memperoleh nilai pendugaan kedalaman perairan dangkal di Pulau Runduma perlu dilakukan proses mosaik citra. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui ketelitian hasil pendugaan kedalaman perairan dangkal pada Mosaik Citra Sentinel 2A di Pulau Wangi-wangi dan Pulau Runduma.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Pulau Wangi-wangi dan Pulau Runduma di Perairan Kabupaten Wakatobi di wilayah Provinsi Sulawesi Tenggara. Wilayah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1.**



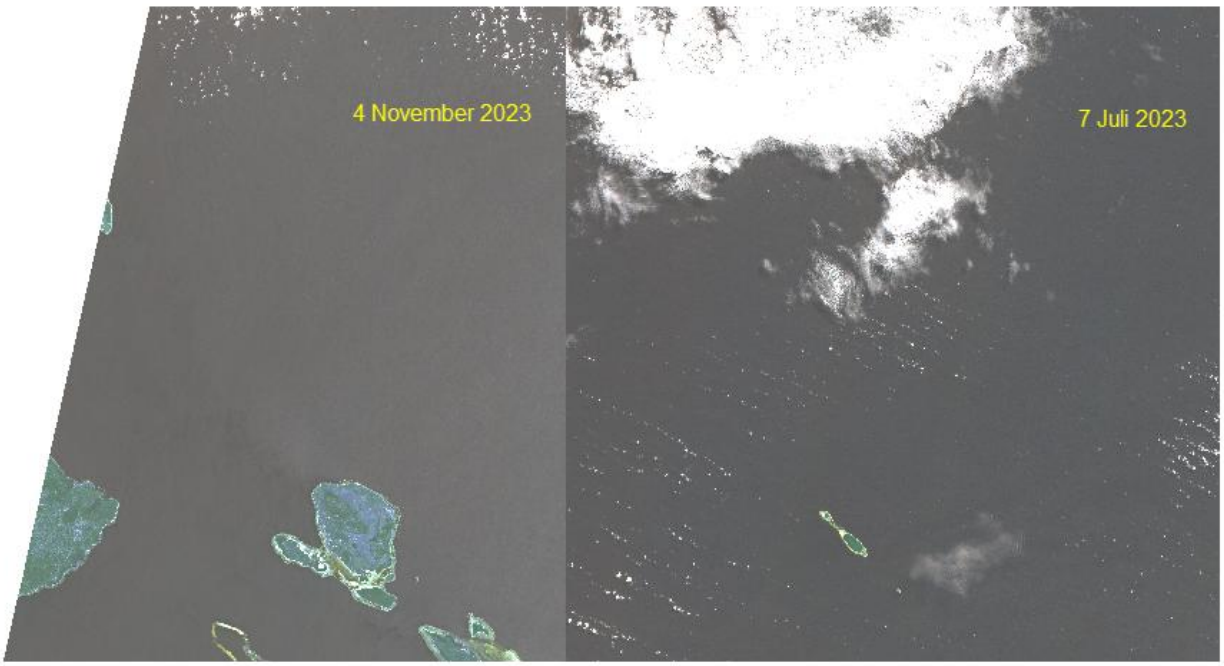
Gambar 1. Lokasi penelitian.

Pengambilan data kedalaman yang akan digunakan sebagai data sampel telah dilaksanakan pada tanggal 21 Agustus 2023. Data kedalaman di survei menggunakan alat perum *singlebeam* yang dipasang pada wahana *Unmanned Survei Vehicle* (USV). Referensi ketinggian pengukuran data kedalaman di lapangan mengacu pada elipsoid. Data garis pantai yang akan diekstraksi pada penelitian ini adalah garis pantai surut terendah yang mengacu pada datum *Lowest Astronomical Tide* (LAT). Datum pasang surut yang digunakan sebagai acuan merupakan Datum Pasang Surut BIG.



Gambar 2. Tampilan nilai kedalaman yang sudah tereferensi pada datum pasang surut terendah (LAT).

Untuk memetakan kedalaman perairan dangkal sekitar Perairan Wakatobi tepatnya di sekitar Pulau Wangi-wangi dan Pulau Runduma, diperlukan 2 *scene* Citra Sentinel yang memiliki tutupan awan yang minimal. Data Citra Sentinel diunduh gratis melalui *website open access* dari *European Space Agency* (ESA) Copernicus https://dataspace.copernicus.eu/. Data citra sentinel yang diunduh merupakan citra sentinel-2A dengan format SENTNEL.SAFE yang merupakan citra satelit optis dengan ketelitian spasial 10 meter. Adapun 2 *scene* citra sentinel-2A yang dipilih memiliki tutupan awan <30% dengan kondisi wilayah pantai tidak tertutup oleh awan. Dengan kriteria tersebut maka diperoleh 2 *scene* Citra Sentinel-2A yang memiliki perekaman waktu yang berbeda yaitu 4 November 2023 dan 7 Juli 2023.



Gambar 2. Dua *Scene* Citra Sentinel 2A di Perairan Wakatobi dengan perekaman waktu yang berbeda.

Nilai reflektansi Citra Sentinel-2A merupakan nilai reflektansi *Bottom of Atmosphere* (BOA) dikarenakan sudah dilakukan koreksi radiometrik (Gatti dan Bertolini, 2015), sehingga dapat langsung dilakukan proses *masking dan* penajaman rona citra (*pansharpening*). *Masking* citra bertujuan untuk memisahkan wilayah darat dan laut sehingga proses SDB hanya spesifik dilakukan

di wilayah perairan. Penajaman citra dilakukan untuk memberikan tampilan citra yang lebih tajam. Pengambilan data kedalaman sebagai data *trainer* dilakukan di perairan Pulau Wangi-wangi yang hanya berada di salah satu *scene* citra sehingga untuk dapat melakukan prediksi kedalaman pada perairan Pulau Runduma perlu dilakukan mozaik citra. Mosaik citra merupakan suatu tahapan yang dilakukan untuk menggabungkan citra yang bersebelahan agar mampu menghasilkan gambaran menyeluruh wilayah penelitian.

Tahapan perolehan data kedalaman dari Mozaik Citra tersebut menggunakan metode SDB dengan model algoritma *Random Forest*. Proses ekstrasi data kedalaman menggunakan metode SDB, memanfaatkan *software* Github Harrys R, 2022. SDB GUI. https://github.com/rifqiharrys/sdb_gui/tree/v3.3.2 diunduh pada tanggal 22 Januari 2024 pukul 13.00 WIB. Metode *Random Forest* dilakukan melalui pembentukan pohon (*tree*) yang bergantung pada proses *training* terhadap nilai acak sampel data yang dimiliki yang akan terdistribusi sama untuk semua pohon di hutan (Breiman, 2001). Jumlah data *training* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah 75% dari jumlah seluruh data kedalaman, sedangkan yang akan digunakan untuk melakukan uji ketelitian model (data *testing*) adalah 25% dari jumlah seluruh data diluar data *training*. DEM hasil pembentukan dengan metode SDB yang sudah di referensi terhadap datum *Lowest Astronomical Tide* (LAT) akan diekstrak nilai kontur 0 (nol) untuk keperluan proses penentuan garis pantai surut terendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mozaik Citra

Hasil dari mosaik dua *scene* Cita Sentinel 2A Pulau Wangi-wangi dan Pulau Runduma menghasilkan hasil yang cukup baik dan rona yang homogen. Citra hasil *mosaic* ini yang akan digunakan untuk melakukan prediksi pendugaan kedalaman perairan dangkal pada menggunakan *software* Github GUI SDB.



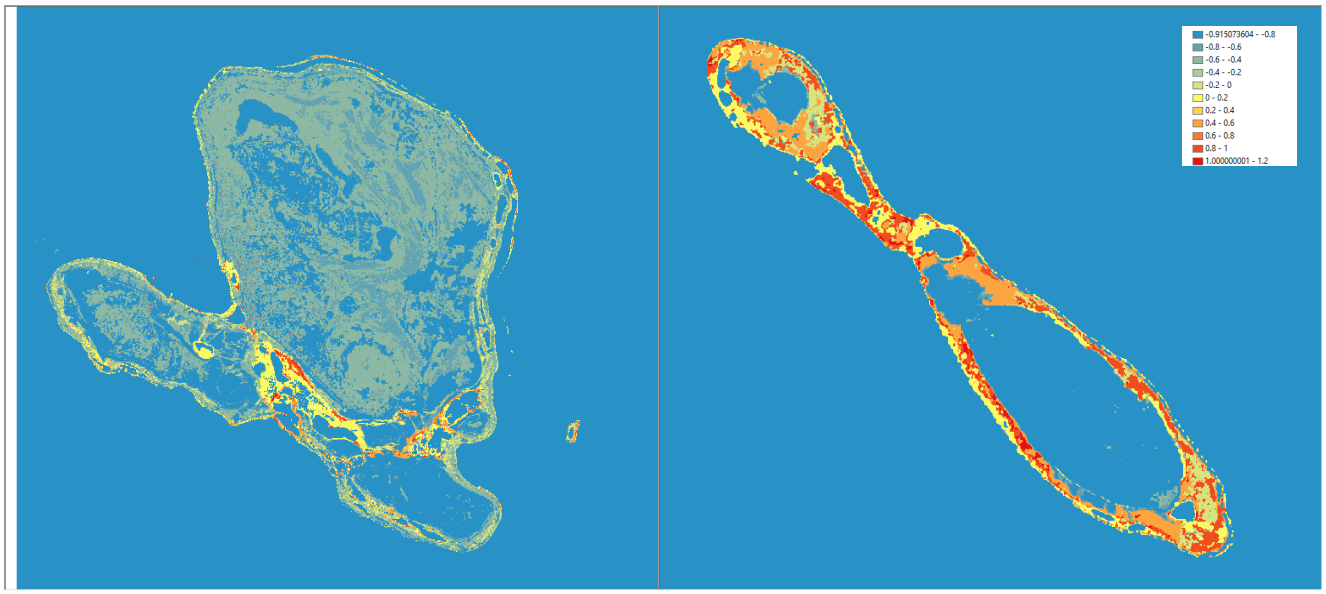
Gambar 3. Mosaik dua *scene* citra sentinel di Perairan Wakatobi.

Hasil Pengolahan SDB

Pengolahan Data SDB dari mosaik citra tersebut dilakukan menggunakan algoritma *random forest* dengan pembagian data sampel kedalaman sebagai *data training* sebanyak 4281 titik kedalaman dan *data testing* sebanyak 1428 titik kedalaman atau dengan perbandingan antara data *training* dan *testing* yang setara 75%:25%. *Digital elevation model* (DEM) hasil pengolahan SDB menghasilkan nilai RMSe 0,325 m dan koefisien determinasi (R^2) 0,728 seperti yang terlihat pada **Gambar 4**.



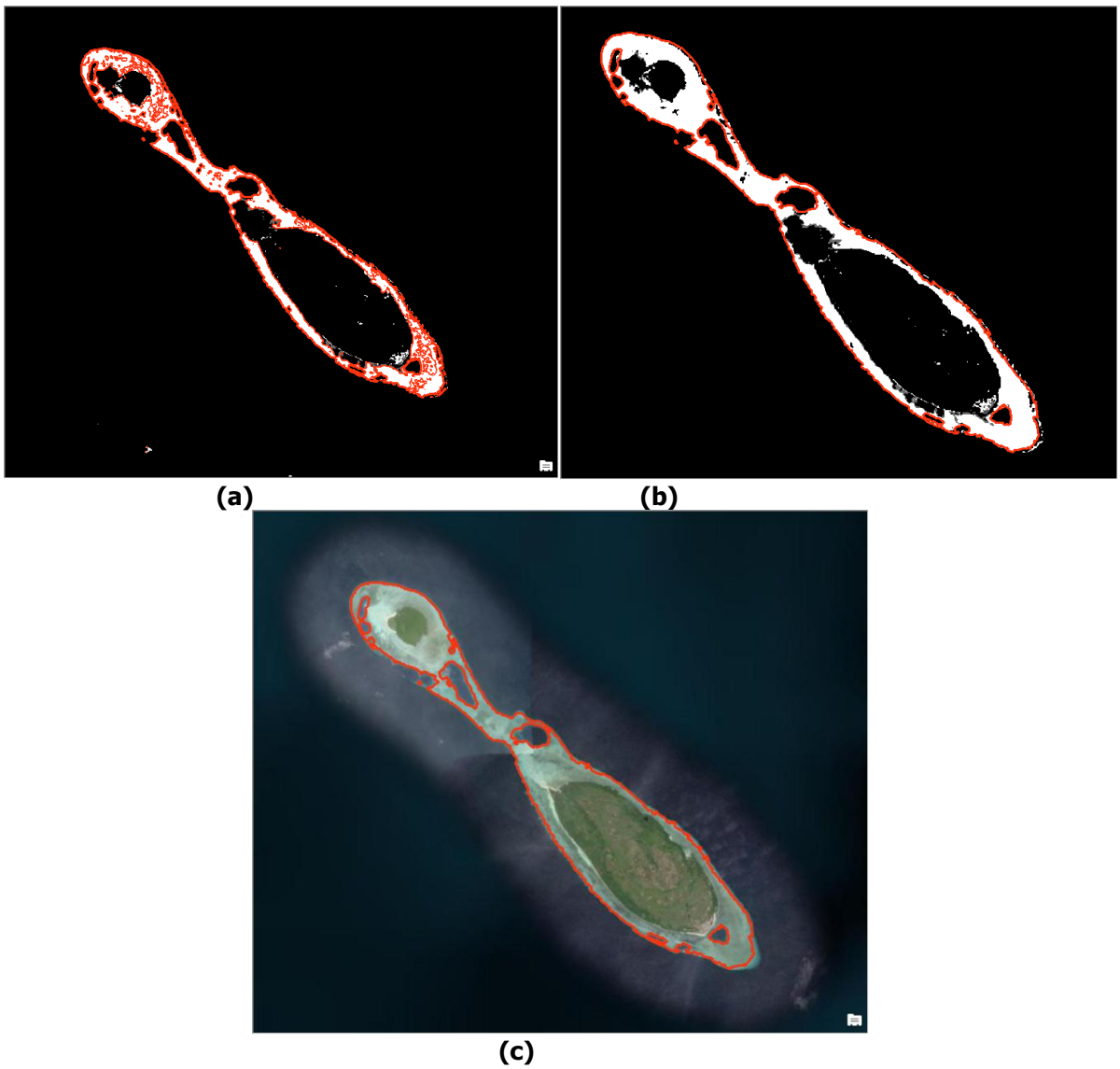
(a)



(b) **(c)**

Gambar 4. Data DEM hasil pengolahan SDB menggunakan Github SDB GUI.

DEM hasil pengolahan SDB menghasilkan rentang nilai kedalaman antara -0,91 m hingga 1,02 meter. DEM ini mampu memberikan hasil ekstraksi garis kontur nol yang akan dipakai untuk penentuan garis pantai surut terendah (LAT). Garis kontur nol yang dihasilkan dari ekstraksi menggunakan DEM hasil SDB menunjukkan hasil representatif saat dibandingkan dengan citra satelit seperti dapat dilihat pada **Gambar 5.** Perairan jernih dan landai seperti di Perairan Wakatobi memiliki surut yang cukup jauh yang ditunjukan pada batas tubir pantai yang pada citra satelit terlihat sebagai batas dari perairan dangkal dan perairan dalam. **Gambar 5** menunjukkan data garis pantai surut terendah pada Pulau Runduma terletak pada batas tubir secara visual.



Gambar 5. **(a)** Tampilan hasil ekstraksi kontur nol , **(b)** Tampilan hasil *cleaning noise* kontur nol, **(c)** Tampilan hasil pembentukan garis pantai surut terendah (LAT) disandingkan dengan *Online Satellite Imagery.*

KESIMPULAN

Proses pendugaan kedalaman perairan dangkal dapat dilakukan pada dua lokasi yang berada pada *scene* citra yang bersebelahan, meskipun titik sampel hanya ada pada salah satu *scene* citra. Proses mosaik dua *scene* citra Sentinel 2A yang bersebelahan dengan kondisi wilayah pantai yang bersih dari awan, menggunakan algoritma random forest menghasilkan nilai yang baik ditunjukkan dari nilai RMSE 0.325 m dan R^2 0,728. Data kedalaman dalam bentuk DEM menghasilkan ekstraksi kontur nol yang cukup baik dan representatif untuk sebagai garis pantai surut terendah dalam hal ini *Lowest Astronomical Tide* (LAT)

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih disampaikan kepada Pusat Pemetaan Kelautan dan Lingkungan Pantai - Badan Informasi Geospasial yang telah menyediakan data pemeruman wilayah penelitian. Selanjutnya ucapan terima kasih disampaikan kepada Rifqi Muhammad Harrys yang telah menyediakan aplikasi pengolahan SDB yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Breiman, L. (2001). *Random Forests. Machine Learning*. 45(1), 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

ESA. 2015. Sentinel-2 User Handbook. https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook. page 51/64.

Gatti, A. & Bertolini, A. 2015. *Sentinel-2 Products Specification Document*. Diunduh dari https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2-Product-SpecificationsDocument.

Harrys R. (2022). SDB GUI. https://github.com/rifqiharrys/sdb_gui/tree/v3.3.2. Diunduh pada 22 Januari 2024, pukul 13.00.

Lyzenga, D. R., Malinas, N. P., & Tanis, F. J. (2006). *Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm*. IEEE. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(8), 2251– 2259. https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872909

RI (Republik Indonesia). (2020). Peraturan Presiden Republik Indonesia No 18 Tahun 2020 Tentang RPJMN 2020-2024, penyediaan peta skala besar, Kemenkumham 2271 (2020).

RI (Republik Indonesia). (2021). Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 18 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial

RI (Republik Indonesia). (2023). Undang-undang (UU) Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang

Rodrigues G, Potes M, Costa M J, Novais M H, Penha A M, Salgado R and Morais M M 2020 Temporal and Spatial Variations of Secchi Depth and Diffuse Attenuation Coefficient from Sentinel-2 MSI over a Large Reservoir *Remote Sens.*

Manessa MDM., Kanno A., & Sekine M. (2016). *Lyzenga Multispectral Bathymetry Formula for Indonesian Shallow Coral Reef: Evaluation and Proposed Generalized Coefficient. In: Bostater CH, Neyt X, Nichol C, Aldred O (eds) Proc*. Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2016. SPIE, Edinburgh, UK, 99990O

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PERBANDINGAN HASIL PENENTUAN GARIS PANTAI SURUT TERENDAH DARI HASIL EKSTRAKSI DEM MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 DAN FOTO UDARA NON METRIK DI PERAIRAN PULAU BUTON, SULAWESI TENGGARA

(*Comparison the Results of Determining the Lowest Tide Coastline from DEM Extraction Results using Sentinel 2 Imagery and Non-Metric Aerial Photos in Buton Island, Southeast Sulawesi*)

Sri Windari, Nadya Oktaviani, Anggi Tiarasani
Badan Informasi Geospasial
Jalan Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong
E-mail: sri.windari@big.go.id

ABSTRAK

Penentuan garis pantai khususnya garis pantai surut terendah dapat dilakukan dengan berbagai cara di antaranya dengan memanfaatkan sumber data citra satelit maupun pengukuran langsung di lapangan. Penentuan garis pantai surut terendah membutuhkan analisa pasang surut untuk mendapatkan hasil pemodelan garis pantai yang lebih akurat. Untuk memodelkan garis pantai surut terendah dibutuhkan data ketinggian topografi dasar laut (DEM) yang salah satunya bisa dibentuk menggunakan sumber data Citra Satelit Sentinel-2 dengan metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) pada band hijau,biru, merah, NIR atau menggunakan data foto udara Non Metrik dengan metode *Structure from Motion* (*SfM Photogrammetry*) pada perairan jernih. Data ketinggian topografi dasar laut hasil pemodelan menggunakan data foto udara diyakini memiliki tingkat resolusi lebih baik dibandingkan menggunakan sumber data citra satelit. Penelitian ini melakukan perbandingan hasil ekstraksi pembentukan garis pantai surut terendah menggunakan dua metode dan sumber data tersebut. Hasilnya menunjukan bahwa pada kondisi perairan jernih metode SDB mampu memberikan hasil ekstraksi garis pantai surut terendah yang mendekati pola garis pantai surut terendah yang dibentuk dengan metode SfM yaitu perbedaan jarak terkecil sebesar 0,03 m dan terbesar 46,50 m.

Kata kunci: garis pantai, surut terendah, SDB, foto udara non-metrik

ABSTRACT

Determining the coastline, especially the lowest low tide coastline, can be accomplished through various methods, including the utilization of satellite image data sources or direct measurements in the field. Determining the lowest low-tide coastline requires tidal analysis to obtain more accurate coastline modeling results. To model the lowest low-tide coastline, seabed topography (DEM) height data is necessary, which can be acquired using the Sentinel-2 Satellite image data source through the Satellite Derived Bathymetry method in bands green, blue, red, and NIR, or by employing aerial photography data in Non-Metric using the Structure from Motion (SfM Photogrammetry) method in clear waters. DEMs formed using SFM from aerial photography boast higher resolution compared to those derived from satellite imagery. This study compares the extraction of the lowest low-tide coastline using these two methods. The results indicate that the SDB method can provide extraction results for the lowest low tide coastline that closely aligns with the coastline pattern formed using the SfM method, namely, the shortest distance difference is 0.03 m and the longest is 46.50 m.

Keywords*: coastline, lowest tide, SDB, Non metric aerial photo*

PENDAHULUAN

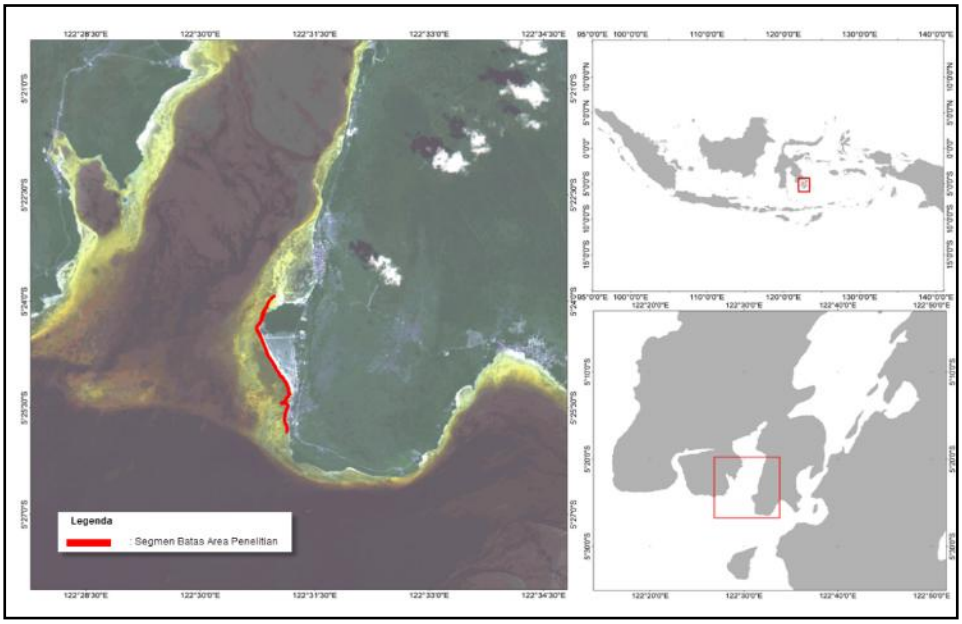
Teknologi pemetaan semakin berkembang pesat sebagai salah satu wujud bahwa semakin majunya ilmu pengetahuan. Salah satunya memanfaatkan wahana pesawat tanpa awak untuk melakukan pemetaan 3 (tiga) dimensi. Pemanfaatan wahana pesawat tanpa awak yang dikenal dengan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) ini dimaksudkan untuk meminimalisir biaya dan risiko

terhadap sumber daya manusia. Metode ini yang kemudian diadopsi pula untuk pemetaan wilayah pesisir khususnya garis pantai (Gularso *et al.*, 2020). Dahulu garis pantai masih diukur secara konvensional dan dideliniasi secara manual. Metode tersebut terbatas pada kondisi pantai tertentu, membutuhkan banyaknya tenaga manusia dan waktu survei yang berdampak pada penggunaan biaya survei (Morton *et al.*, 1993). Sementara itu, kebutuhan akan garis pantai sebagai bagian dari peta dasar terus menjadi hal yang mendesak agar terpetakan seluruh Indonesia. Apalagi tren pemetaan saat ini lebih diarahkan untuk penyediaan data geospasial dasar skala besar. Hal ini selaras dengan Peraturan Presiden (Perpres) No.18 tahun 2020 tentang RPJMN 2020-2024 terkait penyediaan peta skala besar.

Badan Informasi Geospasial (BIG) memiliki wewenang penuh dalam hal penyediaan Informasi Geospasial Dasar berdasarkan Peraturan BIG Nomor 18 tahun 2021 dan Undang-undang (UU) Nomor 6 Tahun 2023. Salah satu unsur geospasial dasar adalah garis pantai. Berdasarkan amanat UU, garis pantai meliputi garis pantai pasang tertinggi, muka laut rata-rata, dan surut terendah. BIG sendiri telah menerapkan berbagai metode antara lain melalui survei hidrografi, *shoreline transect, Structure from Motion* (SfM) menggunakan data foto udara, *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) dan akuisisi LiDAR. Berdasarkan banyak metode tersebut, maka penelitian ini disusun untuk membandingkan garis pantai hasil pengolahan menggunakan dua metode di antaranya yaitu garis pantai dari data SfM dengan garis pantai hasil pengolahan data SDB. Garis pantai yang dibandingkan adalah garis pantai surut terendah (*Lowest Astronomical Tide*/LAT) dikarenakan salah satu data yang digunakan dalam perbandingan hanya menghasilkan model kedalaman perairan dangkal saja.

METODE

Lokasi penelitian sesuai dengan **Gambar 1** berada di Pantai Katembe, Buton Tengah, Provinsi Sulawesi Tenggara sepanjang 4 kilometer. Jenis pantai ini adalah berpasir dengan tipe perairan jernih. Perbandingan garis pantai berfokus pada garis pantai surut terendah.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

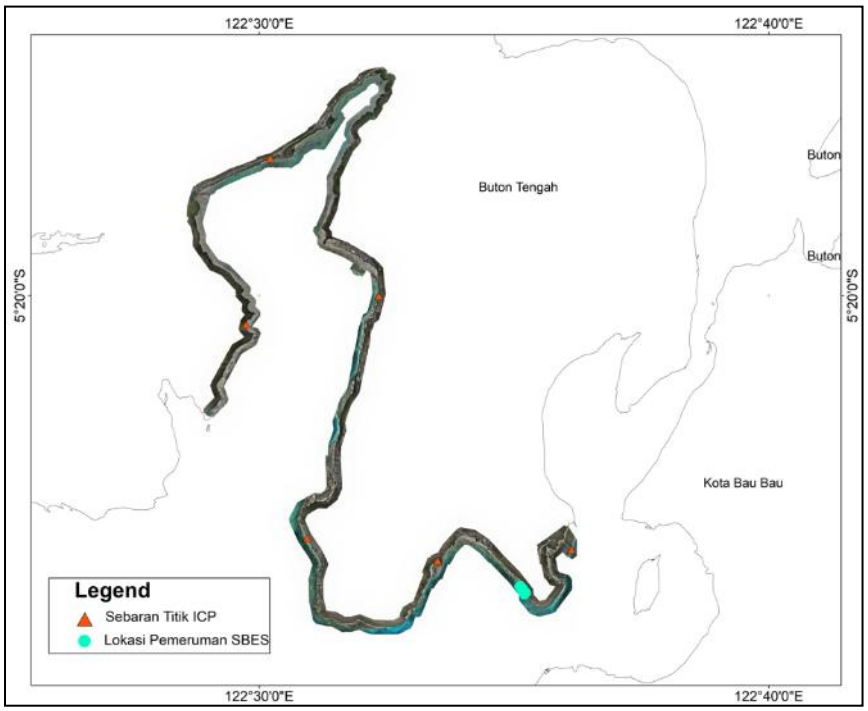
Penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode yaitu dengan metode *Structure from Motion* (SfM) fotogrametri dan metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB).

Metode *Structure From Motion* (SFM) Fotogrametri

Metode ini menggunakan foto udara kamera non-metrik yang didapatkan dari hasil pemotretan UAV. Hasil pemotretan tersebut diolah menggunakan *software* Agisoft Metashape menghasilkan output data berupa *point cloud* (Aji & Djurdjani, 2022). Data pengukuran

menggunakan UAV untuk kebutuhan pembentukan garis pantai didukung dengan beberapa survei lainnya antara lain pengukuran GNSS untuk mengukur titik kontrol lapangan (*Ground Control Point* (GCP), *Independent Check Point* (ICP), dan *base station*), serta survei batimetri menggunakan SBES. Data GCP digunakan sebagai titik kontrol di tanah dalam satu blok pengolahan foto udara sementara data ICP dan data pemeruman hasil survei SBES digunakan untuk validasi vertikal DEM hasil pembentukan SfM fotogrametri.

Pengukuran menggunakan kamera non-metrik dengan wahana pesawat nirawak ini tidak mudah. Namun uji coba dalam penggunaan kamera non metrik untuk pemetaan skala besar dapat memenuhi standar berdasarkan SNI 9135:2022 dengan syarat titik GCP mencukupi dan tersebar merata (Gularso, 2015).

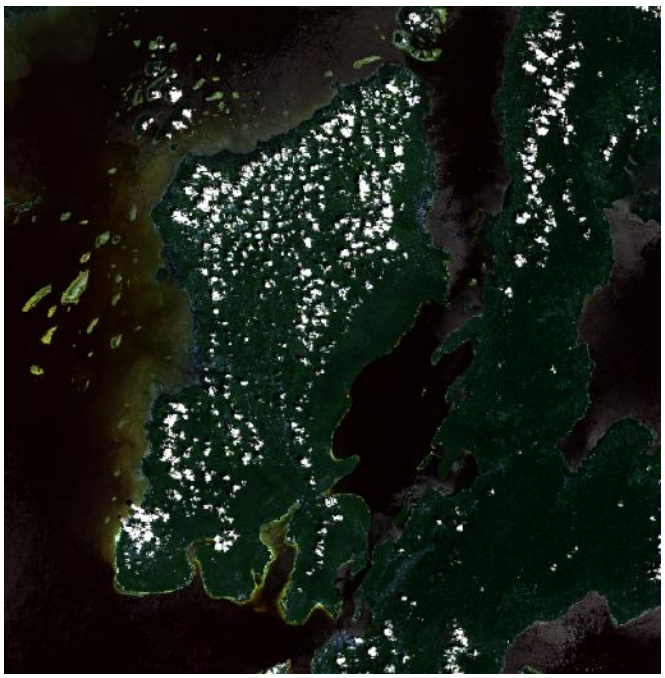


Gambar 2. Sebaran ICP dan lokasi SBES dalam satu Blok Pengolahan Data Pemotretan UAV.

Pengukuran menggunakan UAV mencakup wilayah darat dan laut dengan pertampalan *side overlap* 75% dan *forward overlap* 80%. Data yang digunakan dalam penelitian ini direkam pada tanggal 23 September 2023. Jendela waktu untuk pemotretan dilakukan mengikuti zona waktu setempat atau arah datang sinar matahari untuk meminimalisir adanya *sunspot* pada hasil foto terutama pada area perairan dangkal. Metode *dense image matching* digunakan dalam pembentukan *dense point cloud* hasil pemotretan dan dilanjutkan dengan melakukan koreksi indeks bias. *Dense point cloud* terkoreksi indeks bias ini yang kemudian dibentuk *Digital Surface Model* (DSM) dan dilakukan uji akurasi agar nilai DEM hasil pengolahan merepresentatifkan kondisi lapangan dengan referensi tinggi di atas elipsoid. Tahapan akhir adalah mereferensikan model DSM ke datum pasang surut (pasut). DSM yang telah tereferensi pasut kemudian dijadikan dasar dalam penarikan garis pantai. Model datum pasut milik BIG dapat diakses melalui laman http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/ipasut/data.

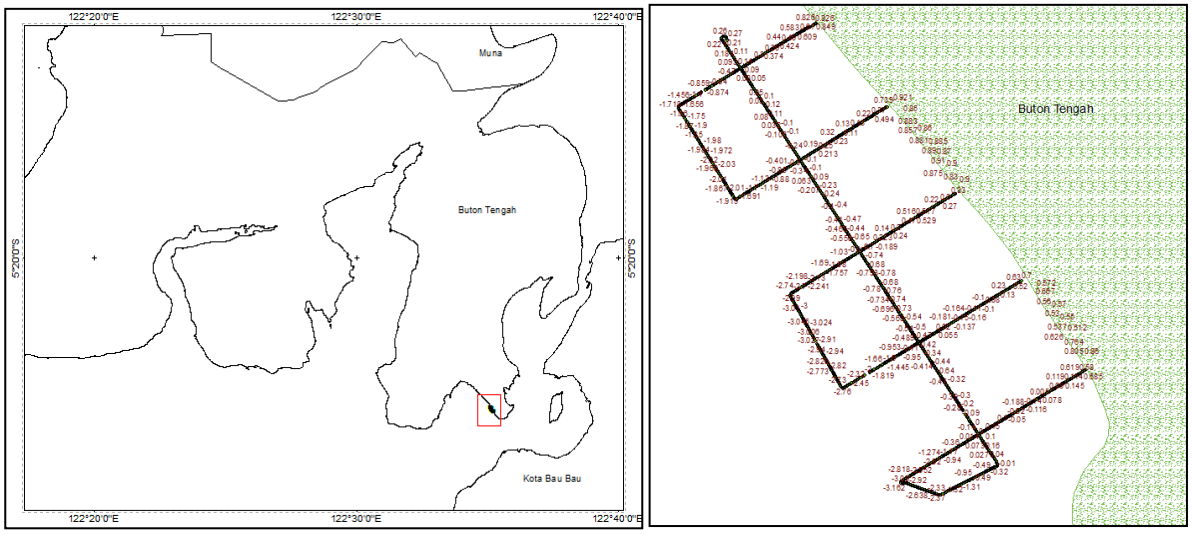
Metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB)

Metode ini menggunakan data citra Satelit Sentinel 2A di wilayah Pulau Buton yang dapat diunduh melalui laman European Space Acency (ESA) Copernicus https://dataspace.copernicus.eu/. Data Sentinel 2A yang digunakan memiliki waktu perekaman data tanggal 7 Desember 2022. Citra Sentinel 2A seperti pada Gambar 3 yang dipilih merupakan citra sentinel dengan tutupan awan <30% terutama untuk wilayah pesisir hingga perairan dangkal.



Gambar 3. Citra Sentinel 2A.

Citra Sentinel 2A sudah terkoreksi secara geometrik maupun radiometrik, sehingga dalam pemrosesan ini tidak dilakukan proses koreksi geometrik dan radiometrik (Gatti & Bertolini, 2015). Citra ini memiliki nilai reflektansi *Bottom of Atmosphere* (BoA). Selanjutnya, dilakukan proses komposit *band* citra menggunakan *band* biru (0.49 µm), hijau (0,56 µm), merah (0,665 µm), dan NIR (0,842 µm) dengan resolusi spasial 10 meter. Proses pengolahan SDB dilakukan dengan metode regresi *Random Forest* (RF) dengan perbandingan *data training* dan *data testing* 75: 25 serta dijalankan pada GUI SDB (Harrys R, 2022). Komposisi data tersebut dinilai memberikan nilai RMSE yang paling baik (Safi'i & Dewi, 2020). Selain itu metode regresi RF bergantung pada data *insitu* berupa sampel data kedalaman pada lokasi penelitian (Dewi *et al.*, 2020). Sampel data kedalaman bersumber dari data hasil pemeruman menggunakan sensor *singlebeam echosounder* yang telah dipasang dalam wahana kapal tanpa awak yang disebut *Unmanned Survei Vehicle* (USV). Pengukuran dengan wahana USV tersebut dilakukan pada tanggal 15 Agustus 2023 dengan 5 (lima) lajur utama dan 1 (satu) lajur silang seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4**.



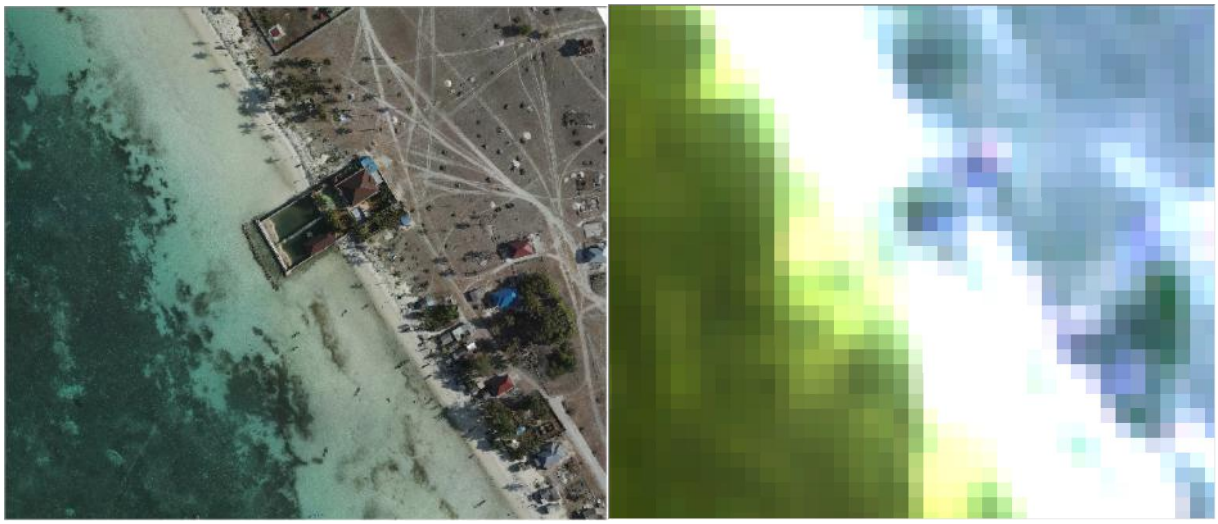
Gambar 4 . Hasil Pengukuran USV.

Data kedalaman hasil pengukuran dengan wahana USV tersebut direferensikan terhadap datum pasut BIG yaitu datum LAT. Organisasi Hidrografi Internasional (IHO) menyatakan bahwa nilai LAT dapat diperoleh dari prediksi pasang surut terendah yang terjadi karena faktor kondisi

rata-rata meteorologi dan astronomis lainnya. Prediksi yang dimaksud dilakukan perhitungan menggunakan data yang direkam dalam kurun waktu minimal 19 tahun dengan menggunakan konstanta harmonik dari data pengamatan minimal satu tahun atau dengan metode lain yang terbukti memberikan hasil yang dapat diandalkan (FIG, 2016). Data Citra Satelit Sentinel 2A dan data kedalaman yang direferensikan terhadap datum LAT selanjutnya diolah hingga menghasilkan DEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

DEM pesisir yang direferensikan dengan datum pasut dapat digunakan untuk mengekstrak garis pantai sesuai dengan datum pasut yang dimaksud (Oktaviani *et al.*, 2023). Penelitian ini membandingkan garis pantai LAT dari DEM hasil pembentukan dengan metode SfM dengan SDB. Metode SFM menggunakan sumber data melalui hasil pemotretan udara di wilayah pesisir menggunakan kamera non metrik dengan resolusi *orthophoto* hasil pemotretan <10 cm. Sementara metode SDB menggunakan Citra Satelit Sentinel 2 dengan resolusi spasial 10 m. Adapun perbandingan tingkat kedetilan sumber data yang dihasilkan dari kedua metode seperti **Gambar 5**.

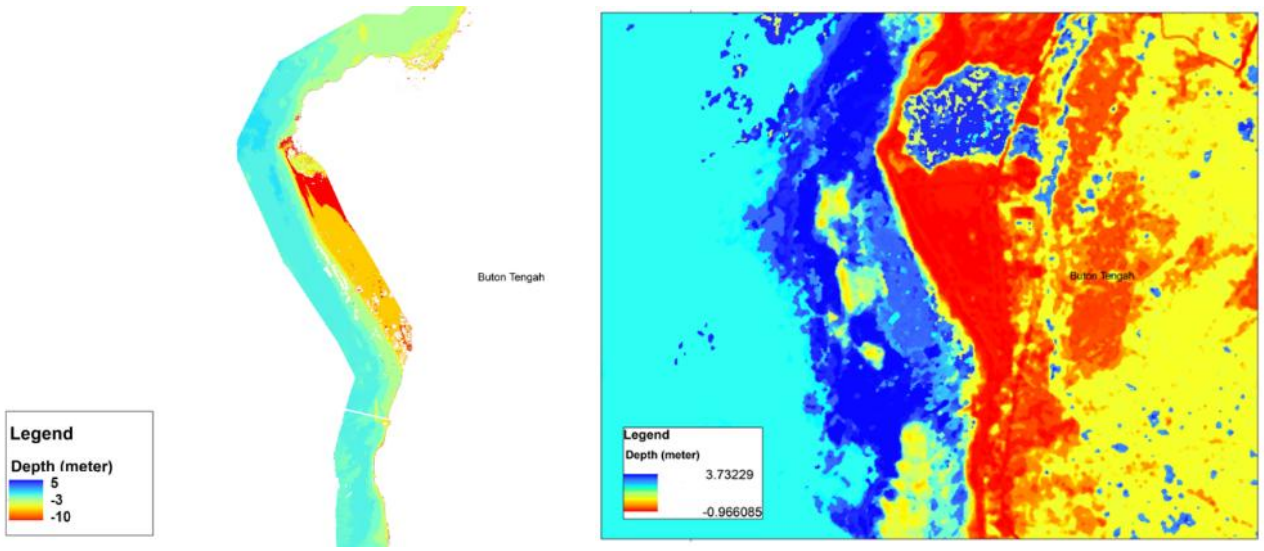


(a) **(b)**

Gambar 5. **a)** Hasil Foto Udara Non Metrik Metode SFM, **b)** Citra Satelit Sentinel pada Metode SDB.

Penggunaan sumber data dengan tingkat resolusi yang berbeda sangat mempengaruhi terhadap hasil pembentukan DEM untuk proses ekstraksi garis pantai. Meskipun resolusi *orthophoto* hasil pemotretan dengan UAV adalah <10 cm, namun DEM hasil pengolahan metode SfM dibuat dengan resolusi 0,25 m. Hal ini untuk mengoptimalkan pembentukan *point cloud* yang di ekstraksi dari foto udara (Syetiawan & Gularso, 2018; Rachma *et al.*, 2018). Nilai RMS hasil uji akurasi vertikal DEM SfM terhadap titik ICP adalah 0,008 m, sedangkan hasil uji akurasi terhadap pemeruman SBES sebesar 0,027 m.

Selanjutnya, DEM hasil pengolahan SDB memiliki resolusi 10 m. Menggunakan sampel data kedalaman sebanyak 7743 titik kedalaman. Adapun perbandingan jumlah titik kedalaman yang dijadikan sampel saat pengolahan (*training data*) dengan titik kedalaman untuk menguji hasil DEM (*testing data*) adalah 75%: 25% yaitu sebanyak 5807: 1936 titik. DEM hasil pengolahan SDB tersebut menghasilkan nilai RMSe sebesar 0,092 m dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,991 m.



(a) (b)

Gambar 6. a) DEM hasil pengolahan Metode SfM, b) DEM hasil pengolahan Metode SDB

Gambar 6 menunjukan hasil pembentukan DEM dari kedua metode pada penelitian ini. Kedalaman perairan digambarkan dengan nilai positif sedangkan nilai ketinggian digambarkan dengan nilai negatif. Kedua DEM tersebut sama-sama memiliki referensi vertikal terhadap datum pasut LAT. Garis pantai yang terbentuk dari ekstraksi DEM tersebut menunjukan bahwa garis pantai metode SfM lebih dominan terbentuk ke arah laut dibandingkan dengan metode SDB. Perbandingan garis pantai yang terbentuk dari kedua metode tersebut kemudian dibandingkan pada 352 sampel segmen garis pantai pada masing-masing metode. Hasilnya didapatkan bahwa deviasi jarak antara garis pantai surut terendah antara metode SfM dan SDB terkecil berjarak 0,03 m, sedangkan deviasi jarak terbesar berjarak 46,50 m. Rerata deviasi jarak keduanya sebesar 13,80 m.



Gambar 6. Pola bentukan garis pantai dengan metode SFM dan SDB.

Deviasi jarak dari kedua garis pantai yang terbentuk dipengaruhi oleh perbedaan kedetilan dari sumber data yang digunakan. Meskipun demikian, garis pantai yang terbentuk dari keduanya menunjukan pola yang mirip. Sehingga jika keterbatasan data dan perlu melakukan deliniasi posisi garis pantai LAT, khususnya pada perairan jernih dapat menggunakan metode SDB.

KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan garis pantai LAT dari hasil ekstrasi DEM yang terbentuk dengan metode SfM dan SDB. Menggunakan beberapa titik sampel untuk uji akurasi, menunjukan deviasi jarak antara kedua metode tersebut terkecil pada jarak 0,03 m dan terbesar 46,50 m. Meski terdapat deviasi antara hasil pembentukan SFM dan SDB, namun secara visual metode SDB masih membentuk pola garis pantai LAT yang hampir sama dengan garis pantai LAT dengan metode SfM. Perbedaan garis pantai pada kedua metode tersebut dikarenakan perbedaan resolusi data masukan sebagai pembentuk garis pantai. Data SfM merupakan data yang menjadi acuan karena memiliki resolusi lebih baik yaitu 0,25m. Apabila kondisi perairan jernih, data citra satelit yang bebas awan pada area perairan dangkal, maka data kedalaman minimun dapat dijadikan sampel untuk pengolahan SDB. Oleh karena itu, dalam hal tidak memiliki data hasil survei lapangan yang mencakup area luas, hasil pengolahan SDB dapat dijadikan alternatif untuk tersedianya data garis pantai surut terendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih disampaikan kepada Pusat Pemetaan Kelautan dan Lingkungan Pantai - Badan Informasi Geospasial yang telah menyediakan data di wilayah penelitian. Selanjutnya ucapan terima kasih disampaikan kepada Rifqi Muhammad Harrys yang telah menyediakan aplikasi pengolahan SDB yang digunakan dalam penelitian ini, berikut juga kepada Alm. Sukamdani (PT. Geosindo) yang telah membantu dan memberikan informasi terkait pengolahan foto udara dengan menggunakan metode SfM.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, A. R. S dan Djurdjani. (2022). Perbandingan Volume Stockpile Batu Bara Hasil UAV Fotogrametri dan UAV Lidar. JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering. 5. 70. 10.22146/jgise.78295.

Badan Standardisasi Nasional. (2022). SNI 9135:2022: Pengolahan data geospasial skala besar hasil akuisisi wahana udara nirawak – Bagian 1: Berbasis kamera nonmetrik.

Dewi RS, Hartanto P, Oktaviani N, Pujawati I, Nursugi N, Aditya S (2019) Satellite-derived bathymetry to ımprove bathymetric map of Indonesia, Proc. SPIE 11372, Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite, 113721N (24 December 2019). https://doi.org/10.1117/12.2540779

Dewi, Ratna dan Lumban-Gaol, Y. A. dan Safi'i, Ayu dan Rizaldy, A dan Syetiawan, Agung dan Rahadiati, Ati. (2020). Assessing the effect of various training and testing set ratios to model the satellite derived bathymetry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 500. 012032. 10.1088/1755-1315/500/1/012032.

ESA (2015). Sentinel-2 User Handbook. Diakses dar laman: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook. page 51/64.

Gatti, A. dan Bertolini, A. (2015). Sentinel-2 Products Specification Document, https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2-Product-SpecificationsDocument.

Gularso, H., Rianasari, H., dan Silalahi, F.E.S. (2015). Penggunaan Foto Udara Format Kecil Menggunakan Wahana Udara Nir-Awak dalam Pemetaan Skala Besar. Jurnal Ilmiah Geomatika, 21 (1), 37-44.

Gularso, Herjuno dan Parapat, Andri dan Sulistian, Teguh dan Atmaja, Alfian. (2021). Penentuan Garis Pantai Menggunakan Foto Udara Dari Wahana Tanpa Awak (Studi Kasus Pantai Ujong Batee Aceh). Seminar Nasional Geomatika. 707. 10.24895/SNG.2020.0-0.1185.

Greenland, A., dan Higgins, M. (2006). FIG Guide on the Development of a Vertical Reference Surface for Hydrography. International Federation of Surveyors (FIG).https://fig.net/resources/publications/figpub/pub37/figpub37.asp

Harrys R. (2022). SDB GUI. https://github.com/rifqiharrys/sdb_gui/tree/v3.3.2. diunduh pada 1 Oktober 2022, pukul 09.00.

Morton, R.A., Leach, M.P., Paine, J.G., Cardoza, M.A. (1993). Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. Journal of Coastal Research, 9, 702-720

Oktaviani, Nadya dan Hartanto, Prayudha dan Budi Susetyo, Danang dan Dewi, Ratna dan Aditya, Sandi dan Nahib, Irmadi dan Kusuma, Hollanda. (2023). Coastline Accuracy Assessment Developed By Using Multi Data Source. Journal of Applied Geospatial Information. 7. 762-768. 10.30871/jagi.v7i1.4761.

Rachma, Y. Savira dan Prasetyo, Yudo dan Yuwono, B. Darmo. (2018). Analisis Akurasi Ketelitian Vertikal Menggunakan Foto Udara Hasil Pemotretan Pesawat Tanpa Awak Untuk Pembentukan Digital Terrain

Model (DTM). Jurnal Geodesi UNDIP Volume (7), Nomor (4), Tahun 2018, (ISSN:2337-845X)

RI (Republik Indonesia). (2020). Peraturan Presiden Republik Indonesia No 18 Tahun 2020 Tentang RPJMN 2020-2024, penyediaan peta skala besar, Kemenkumham 2271 (2020).

RI (Republik Indonesia). (2021). Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 18 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial

RI (Republik Indonesia). (2023) Undang-undang (UU) Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang

Safi'i, Ayu dan Dewi, Ratna. (2020). Uji Akurasi Metode Berbasis Citra Satelit untuk Ekstraksi Data Batimetri. TEKNIK. 41. 142-151. 10.14710/teknik.v0i0.29516.

Syetiawan, Agung dan Gularso, Herjuno. (2018). Pembentukan Dsm Menggunakan Unmanned Aircraft System (UAS) dan Kamera Digital Non Metrik.

PEMETAAN AREA PENAMBANGAN EMAS SKALA KECIL (PESK)

Studi Kasus di Desa Kusubibi, Kecamatan Bacan Barat, Kabupaten Halmahera Selatan

(*Mapping of Small-Scale Gold Mining Area (PESK), Case Study in Kusubibi Village, West Bacan District, South Halmahera Regency*)

Amrih Halil dan Eka Putra Iskandar Alam
Universitas Khairun, Ternate

Jl. Pertamina Kampus II Unkhair Gambesi Kelurahan Gambesi
Kecamatan Ternate Selatan, Kota Ternate, 97719
E-mail: amrih@unkhair.ac.id

ABSTRAK

Penambangan Emas Skala kecil (PESK) adalah kegiatan yang umumnya dilakukan oleh masyarakat yang bertempat tinggal di areal pertambangan yang memiliki sumber daya alam skala kecil berupa emas. Munculnya kegiatan PESK ini memang sulit terelakkan, bagaimanapun juga pertambangan emas skala kecil adalah sektor industri penambangan yang dapat meningkat dengan pesat karena kebutuhan dan permintaan yang bersamaan dengan pertumbuhan dan kesejahteraan masyarakat. Desa Kusubibi merupakan salah satu desa yang memiliki kegiatan Penambangan Emas Skala Kecil di Kabupaten Halmahera Selatan. Pemetaan merupakan proses pembuatan peta yang melalui serangkaian kegiatan, seperti perencanaan, pengumpulan data, pengolahan data, dan penyajian data. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melakukan pemetaan batas dan mengetahui luas area serta kondisi morfologi dan topografi PESK di Desa Kusubibi Kecamatan Bacan Barat Kabupaten Halmahera Selatan. Metode yang digunakan dalam melakukan perhitungan luas yaitu metode koordinat. Alat yang digunakan dalam mengambil titik koordinat ini yaitu GPS Garmin 78s. Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu data titik koordinat (x, y, z), jarak antar titik koordinat, poligon hasil *trekking* GPS. Data Sekunder yang dibutuhkan yaitu data *shapefile* batas Kecamatan Bacan Barat dan Batas Kabupaten Halmahera Selatan yang dapat diunduh di InaGeoportal. Berdasarkan hasil lapangan, didapatkan 28 data berupa titik koordinat (x, y, z) dan didapatkan luas area sebesar 1,016 Ha. Secara morfologi daerah penelitian merupakan perbukitan terjal, bergelombang, curam, dan landai. Pengambilan data lapangan didasarkan pada area yang dilaksanakan kegiatan penambangan saat ini, dikarenakan daerah penelitian tidak memiliki batas yang sudah ditentukan sebelumnya sebagai acuan dalam menentukan pengambilan data titik koordinat.

Kata kunci: Desa Kusubibi, emas, pemetaan, penambangan emas skala kecil

ABSTRACT

Small-scale Gold Mining (PESK) is an activity generally carried out by people who live in mining areas that have small-scale natural resources of gold. The emergence of PESK activities is indeed inevitable, after all, small-scale gold mining is a mining industry sector that can increase rapidly due to the needs and demands that coincide with community growth and welfare. Kusubibi Village is one of the villages that has Small Scale Gold Mining activities in South Halmahera Regency. Mapping is the process of making maps through a series of activities, such as planning, data collection, data processing, and data presentation. The purpose of this study is to map boundaries and determine the area and morphological and topographic conditions of PESK in Kusubibi Village, West Bacan District, South Halmahera Regency. Mapping is the process of making maps through a series of activities, such as planning, data collection, data processing, and data presentation. The purpose of this study is to map boundaries and determine the area and morphological and topographic conditions of PESK in Kusubibi Village, West Bacan District, South Halmahera Regency. The tool used in taking these coordinates is the Garmin 78s GPS. The primary data needed in this study are coordinate point data (x, y, z), distance between coordinate points, and polygons from GPS trekking. The secondary data needed is the shapefile data of the West Bacan District boundary and South Halmahera Regency Boundary which can be downloaded at InaGeoportal. Based on field results, 28 data were obtained in the form of coordinate points (x, y, z) and an area of 1,016 Ha was obtained. Morphologically, the research area is a steep, undulating, steep, and sloping hill. Field data collection is based on the area carried out by current mining activities because the research area does not have predetermined boundaries as a reference in determining coordinate point data collection.

***Keywords**: Kusubibi Village, gold, mapping, small-scale gold mining*

PENDAHULUAN

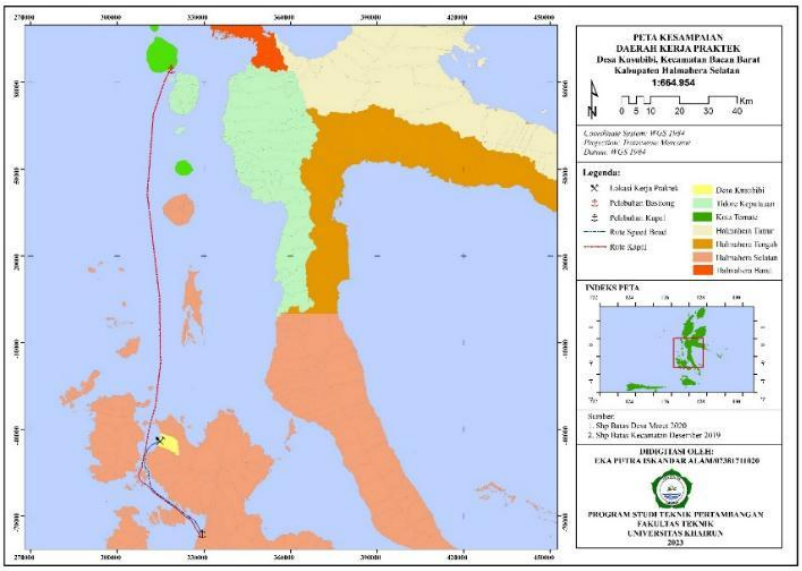
Penambangan Emas Skala kecil (PESK) adalah kegiatan yang umumnya dilakukan oleh masyarakat yang bertempat tinggal di areal pertambangan yang memiliki sumber daya alam skala kecil berupa emas. Emas merupakan golongan bahan galian yang dapat menjamin hajat hidup masyarakat. Emas digunakan masyarakat untuk dapat memenuhi kebutuhan hidup mereka. Munculnya kegiatan PESK ini memang sulit terelakkan, bagaimanapun juga pertambangan emas skala kecil adalah sektor industri penambangan yang dapat meningkat dengan pesat karena kebutuhan dan permintaan yang bersamaan dengan pertumbuhan dan kesejahteraan masyarakat.

Pemetaan merupakan proses pembuatan peta yang melalui serangkaian kegiatan, seperti perencanaan, pengumpulan data, pengolahan data, dan penyajian data. Tahap perencanaan diperlukan untuk mempersiapkan kegiatan pengumpulan data, penentuan produk akhir, dan pembuatan jadwal dan rencana biaya kegiatan pemetaan. Tahap pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data primer atau hasil pengukuran maupun data sekunder atau data turunan dari data primer atau pun data penunjang lainnya yang dibutuhkan dalam pembuatan sebuah peta (Soendjojo & Riqqi, 2012). Salah satu kegiatan dalam pemetaan adalah dengan melakukan survei. Survei merupakan sebuah kegiatan pengumpulan data yang berhubungan dengan perekaman bentuk permukaan bumi dan umumnya digambarkan dalam bentuk bidang datar (peta) atau model digital. Sedangkan pengukuran merupakan cara atau metode yang berhubungan dengan kelangsungan survei. Kegiatan survei tidak terlepas dari penggunaan alat, salah satu alat dalam melakukan kegiatan survei yaitu GPS (Krisdianto *et al.*, 2017).

Desa Kusubibi merupakan salah satu desa yang memiliki PESK di Kabupaten Halmahera Selatan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melakukan pemetaan batas dan mengetahui luas area serta kondisi morfologi dan topografi PESK di Desa Kusubibi Kecamatan Bacan Barat Kabupaten Halmahera Selatan. Penulis membatasi permasalahan pada pemetaan batas dan penentuan luas area serta kondisi morfologi dan topografi PESK di Desa Kusubibi Kecamatan Bacan Barat Kabupaten Halmahera Selatan dengan menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS) Garmin 78s.

METODE

Lokasi penelitian tambang rakyat berada di Desa Kusubibi, Kecamatan Bacan Barat, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara yang dilakukan selama dua bulan (Oktober-November 2023). Untuk mencapai lokasi penelitian dari Kota Ternate dapat dilakukan melewati jalur laut dan darat sebagai berikut yang ditampilakn pada peta kesampaian daerah (**Gambar 1**).



Sumber: Pengolahan Data (2023)

Gambar 1. Peta kesampaian daerah menuju lokasi penelitian dari Kota Ternate.

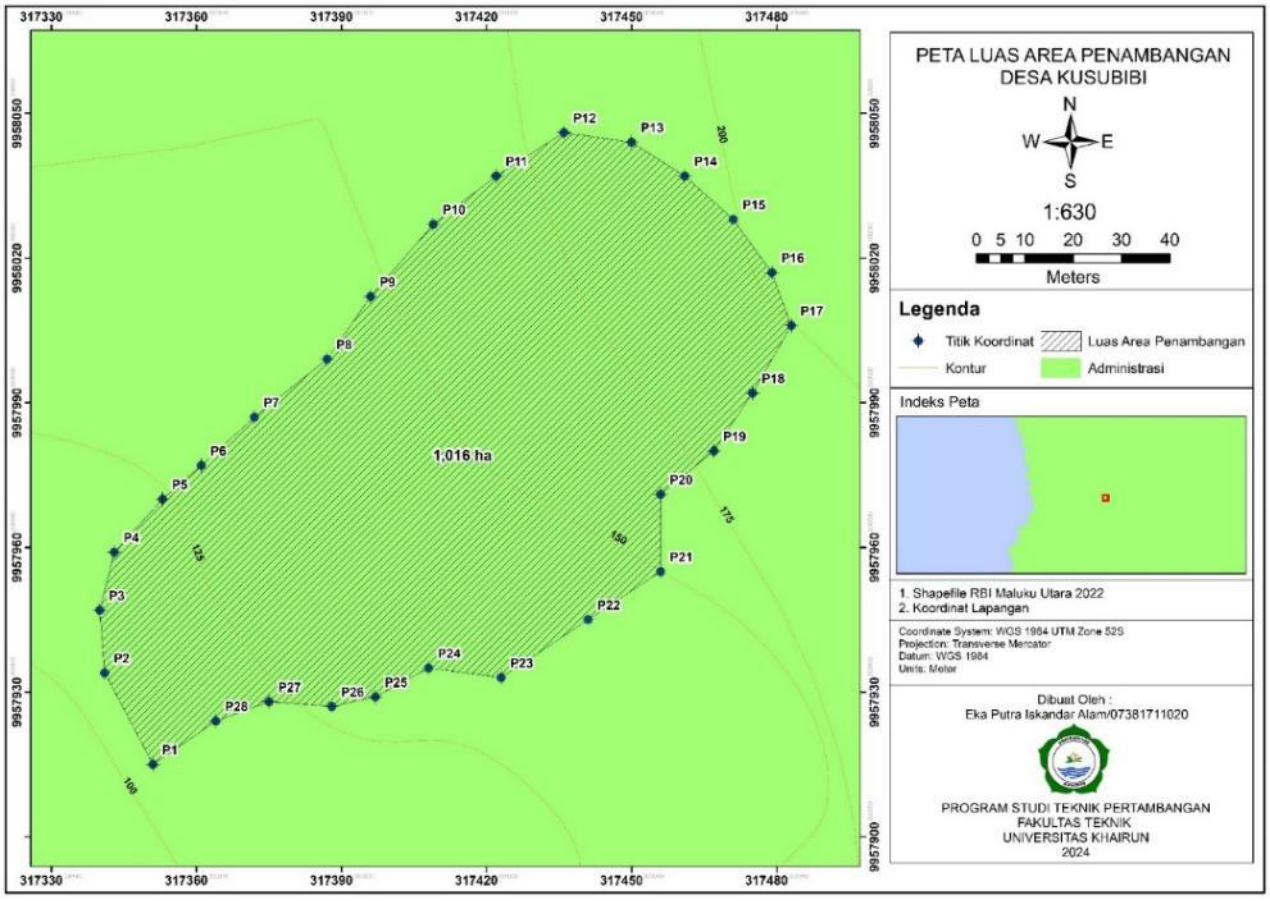
Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam pembuaatan peta luas area dan peta topografi. dalam penelitian ini ada dua sumber data yang diperlukan. Pertama merumuskan dari berbagai sumber untuk mendapatkan data primer dengan cara menentukan titik kordinat dari tempat lokasi penelitian yang diperoleh dari data GPS, yang nantinya data-data tersebut akan dimasukan ke dalam peta yang akan dibuat. Batas dan luas area serta peta topografi dan morfologi daerah PESK. Kemudian Data sekunder diambil dari beberapa sumber terkait diantaranya yaitu data *shapefile* peta dari Badan Informasi Geospasial (BIG) berupa: Batas Kecamatan, Batas Kabupaten, Sungai, Jalan. Peta geologi, Peta geomorfologi, Peta topografi, Peta lokasi kesampain daera

Menurut Andy (2009), Sistem Pemosisi Global atau *Global Positioning System* (GPS) adalah sistem untuk menentukan letak di permukaan bumi dengan bantuan dengan penyelarasan *(synchronization)* sinyal satelit. Berdasarkan sinyal-sinyal yang dipancarkan oleh kumpulan satelit tersebut, alat navigasi akan melakukan perhitungan-perhitungan, dan hasil akhirnya adalah koordinat posisi alat tersebut. Perhitungan luas tanah sangat penting. pembuatan aplikasi perhitungan luas menggunakan GPS ini bisa membantu developer tanah dalam melakukan proses perhitungan tanah menjadi lebih cepat dalam mendapatkan informasi.

$$L = \frac{\sqrt{(a_1 + a_2 \ldots + a_n)^2}}{\frac{x^2 y^1 - x^1 y^2}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\

Potok	X	Y	Z	Plus		Minus
p21	317456	9957955	195	3161063193155,00		3161209387920,00
p22	317441	9957945	187	3160880775735,00		3161056209453,00
p23	317423	9957933	178	3160727597664,00		3160877601505,00
p24	317408	9957935	172	3160618695195,00		3160726328032,00
p25	317397	9957929	166	3160527169452,00		3160616156019,00
p26	317388	9957927	163	3160397081625,00		3160526852064,00
p27	317375	9957928	158	3160287861792,00		3160396129500,00
p28	317364	9957924	156	3160157139324,00		3160283736060,00
			Total	88501572003290,00		88501571982977,00
			Selisih	20313,00	m^2	
			Luas Area	10156,50	m^2	
			Luas Area	1,016	Ha	

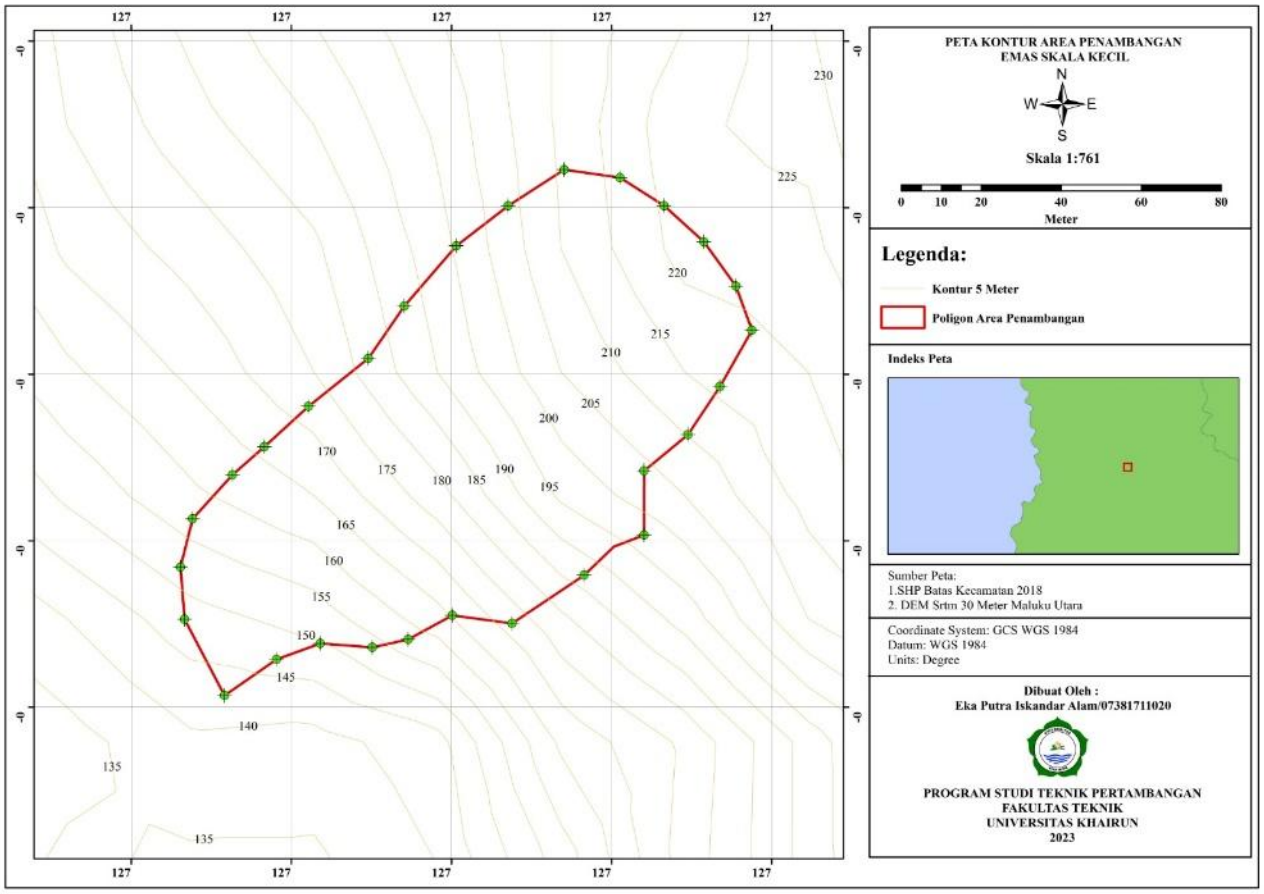
Sumber: Data Lapangan



Sumber: Pengolahan Data (2023)

Gambar 2. Peta poligon area penelitian.

Pada **Gambar 2** Perhitungan luas area dilakukan dengan menggunakan metode koordinat. Dasar pertimbangan dalam penggunaan metode koordinat dikarenakan metode tersebut mudah digunakan, cepat, dan memiliki hasil yang akurat. Selain itu, metode koordinat juga merupakan metode yang umum digunakan dalam perhitungan luas. Berdasarkan hasil digitasi dan perhitungan luas poligon dengan menggunakan metode koordinat daerah penelitian memiliki luas sebesar 1,016 Ha. Secara morfologi lokasi penelitian merupakan daerah perbukitan terjal dengan ketinggian 205 mdpl, perbukitan bergelombang dengan ketinggian 182 mdpl dan curam yang memiliki ketinggian 172 mdpl. Sedangkan perbukitan landai berada pada ketinggian 157 mdpl bagian tengah penelitian. Daerah Penelitian memiliki sebagian besar bukit-bukit yang didominasi oleh sebagian besar lereng curam, dan sebagian kecil lereng agak curam dan landai.



Sumber: Pengolahan Data (2023)

Gambar 3. Peta kontur area penelitian.

Ditinjau dari aspek topografi Desa Kusubibi daerah penelitian dapat di kategorikan menjadi 3 (tiga) jenis lahan, yaitu tanah landai dengan kelas lereng 8 – 15% tanah agak curam dengan kelas lereng 15 - 25 %, tanah curam dengan kelas lereng 25 – 45%. Topografi seperti ini rawan terhadap erosi lahan. kegundulan lahan yang akan diakibatkan oleh aktifitas penambangan akan melahirkan berbagai efek yang sangat merugikan, yaitu menurunnya kualitas lahan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan luas area yang diperoleh dari lokasi Penambangan Emas Skala Kecil (PESK) di Desa Kusubibi, Kecamatan Bacan Barat, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara adalah sebesar 1,016 Ha. Secara morfologi lokasi penelitian merupakan daerah perbukitan terjal dengan ketinggian 205 mdpl, perbukitan bergelombang dengan ketinggian 182 mdpl dan curam yang memiliki ketinggian 172 mdpl. Sedangkan perbukitan landai berada pada ketinggian 157 mdpl bagian tengah penelitian. Daerah penelitian memiliki sebagian besar bukit-bukit yang didominasi oleh sebagian besar lereng curam dan sebagian kecil lereng agak curam dan landai. Dengan medan seperti ini rawan terhadap erosi lahan. kegundulan lahan yang akan diakibatkan oleh aktivitas penambangan akan melahirkan berbagai efek yang sangat merugikan, yaitu menurunnya kualitas lahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Khairun dan Pemerintah Daerah Desa Kusubibi, Halmahera Selatan.

DAFTAR PUSTAKA

Andy. (2009). *GPS Receiver*. Penerbit Institut Teknologi Bandung. Bandung

Yasin, Aswan. (1980). *Peta Lembar Bacan, Maluku Utara*. Pusat Pengebangan Sumberdaya Bandung. Bandung

Krisdianto, B., Tistro, R., Putrawirawan, A. (2017). *Pengukuran dan Pemetaan Perumahan Pegawai Politeknik Negeri Samarinda di Kawasan Bukit Pinang Bahari Samarinda*. Jurnal Inersia. Vol.IX No.2

Saputro, F. (2017). *Penerapan K-Means Untuk Pemetaan Gugus Depan Kepramukaan Kwartir Ranting Kecamatan Gemolong*. Tesis. STMIK Sinar Nusantara Surakarta. Diakses dari laman https://eprints.sinus.ac.id/382/2/067C2017STI_13.5.00031_BAB_II.pdf

Soendjojo, H. dan Riqqi, A. (2012). *Kartografi*. Penerbit Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Mansur, S. (2007). *Peninggalan Arkeologis di Kepulauan Bacan Kapata.* Arkeologi Vol. 3 Nomor 4.

Sariyono, E. K. dan Nursa'ban, M. (2009). *Kartografi Dasar*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Sukandarrumidi. (2015*). Pemetaan Geologi*. Gadjah Mada University Press . Yogyakarta.

Surono, Simanjuntak, T.O., Situmorrang, L.R. (1993). *Peta Geologi Lembar Batui, Sulawesi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung

Widodo (2009). *Pengertian Global Positioning System (GPS*). Fakultas Teknik University UGM Yogyakarta. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

EFEKTIVITAS PENGGUNAAN JOSM DALAM *UPDATING* PETA RBI SKALA BESAR MEMANFAATKAN CITRA SATELIT RESOLUSI TINGGI

(The Effectiveness of Using JOSM *in Updating Large Scale RBI Maps Utilizing High Resolution Satellite Imagery)*

Aulia Putri Sabita[1], Hendy Fatchurohman[1], Fahmi Amhar[2]
[1]Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
[2]Badan Riset & Inovasi Nasional

Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta
E-mail: aulia.putri.s@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Perubahan pesat pada tutupan dan penggunaan lahan memerlukan pembaruan informasi geospasial secara teratur. Namun, pembaruan ini seringkali lamban karena kurangnya sumber daya manusia yang terampil dan kendala akses terhadap perangkat lunak yang digunakan. Artikel ini menguji efektivitas penggunaan Java OpenStreetMap (JOSM) dalam pemutakhiran Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:5.000 dengan memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi. JOSM, yang bersifat *open-source*, diuji perbandingannya dengan perangkat lunak komersial ArcGIS *Desktop*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan JOSM meningkatkan efisiensi waktu sebesar 9,956%. dibandingkan dengan ArcGIS *Desktop*. Selain itu, JOSM memiliki keunggulan dalam kemudahan akses, penggunaan *plugin*, dan pengunggahan data untuk pembaruan informasi geospasial. Kesimpulannya, penggunaan JOSM dapat menjadi alternatif yang efektif dalam memperbaharui data geospasial, terutama dalam skala 1:5.000, dengan memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi. Studi ini menyarankan untuk melibatkan responden dengan latar belakang geografi dan non-geografi dalam penelitian selanjutnya untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif atas tingkat kemudahan mempelajari JOSM dibandingkan dengan ArcGIS *Desktop*.

Kata kunci: pemetaan skala besar, OpenStreetMap, citra satelit resolusi tinggi

ABSTRACT

Rapid changes in land cover and land use necessitate regular updates of geospatial information. However, these updates are often slow due to a lack of skilled human resources and access constraints to the software used. This article examines the effectiveness of using Java OpenStreetMap *(*JOSM*) in updating the Indonesian Topographic Map (RBI) at a scale of 1:5.000 using high-resolution satellite imagery.* JOSM*, an open-source software, is compared to the commercial software ArcGIS Desktop. The research findings indicate that using JOSM improves time efficiency by 9,956%.compared to ArcGIS Desktop. Additionally,* JOSM *has advantages in terms of accessibility, plugin usage, and data uploading for geospatial information updates. In conclusion, the use of* JOSM *can be an effective alternative in updating geospatial data, especially at a scale of 1:5,000, utilizing high-resolution satellite imagery. This study suggests involving respondents with backgrounds in geography and non-geography fields in further research to obtain a more comprehensive understanding of the ease of learning* JOSM *compared to ArcGIS Desktop.*

Keywords: *large scale mapping,* OpenStreetMap*, high-resolution satellite imagery*

PENDAHULUAN

Informasi geospasial merupakan informasi yang berisikan objek yang berada di muka bumi secara fisik dan dapat diukur serta tidak berubah dalam jangka waktu yang lama (Basuki *et al.*, 2023). Informasi geospasial memudahkan dalam penerapan prinsip pelacakan setiap lokasi guna membantu perencanaan dan pengambilan keputusan secara efektif (Adams *et al.*, 2014). Informasi geospasial dapat diklasifikasi menjadi Informasi Geospasial Dasar (IGD) dan Informasi Geospasial Tematik (IGT). Penyajian IGD umumnya berupa peta dasar dengan berbagai skala. Peta dasar merupakan peta yang menyajikan berbagai unsur alam dan buatan yang berada di atas permukaan bumi, digambarkan pada bidang datar menggunakan skala, proyeksi, penomoran, dan

georeferensi tertentu (Pribadi *et al.*, 2017). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Informasi Geospasial, peta dasar terdiri atas garis pantai, hipsografi, perairan, nama rupabumi, batas wilayah, transportasi dan utilitas, bangunan dan fasilitas umum, serta penutup lahan. Peta dasar di Indonesia yang memuat seluruh informasi tersebut adalah Peta Rupabumi Indonesia (RBI). Peta Rupabumi Indonesia yang terbaru dan akurat menjadi peta dasar yang digunakan sebagai acuan pengambilan keputusan dalam perancangan dan pengembangan di suatu wilayah (Supriyanto & Cahyono, 2010).

Perkembangan kehidupan masyarakat modern saat ini sangat cepat dan dinamis. Hal tersebut menyebabkan perubahan yang sangat cepat pada tutupan dan penggunaan lahan. Tutupan lahan merupakan kenampakan dari material fisik di permukaan bumi yang dapat menggambarkan keterkaitan proses alami dan proses sosial (Sampurno & Thoriq, 2016). Penutup lahan sendiri menyediakan informasi yang dapat digunakan untuk keperluan permodelan dan pemahaman terhadap fenomena alam yang sedang, telah, atau akan terjadi di permukaan bumi (Liang, 2013). Data penutup lahan juga dapat digunakan untuk mempelajari keterkaitan perubahan iklim, aktivitas manusia, dan perubahan global (Jia *et al.*, 2014). Setiap tahunnya terdapat perubahan penutup dan penggunaan lahan yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti pertumbuhan penduduk yang menyebabkan peningkatan kebutuhan lahan (Wahyuni *et al.*, 2014). Sehingga terjadi adanya pergeseran fungsi dari penggunaan lahan tersebut. Pengaruh sosial ekonomi juga menjadi salah satu faktor pendorong perubahan penggunaan lahan, hal tersebut menjadikan terkonsentrasinya aktifitas, aksesibilitas, dan lingkungan hidup masyarakat di wilayah yang terhubung dengan pusat pelayanan dan transportasi (Noraini & Handayani, 2013).

Berbagai faktor pendorong terjadinya perubahan di atas memberikan dorongan untuk meningkatkan inventarisasi data geospasial, terutama peta dasar yang menjadi acuan utama untuk perencanaan serta pengembangan di suatu wilayah. Peningkatan inventarisasi data tersebut dapat dilakukan dengan cara melakukan *updating* atau pemutakhiran peta dasar, terutama Peta Rupabumi Indonesia (RBI). *Updating* data spasial merupakan proses yang penting yang harus dilakukan oleh pemerintah sebagai upaya untuk monitoring perkembangan wilayah di berbagai bidang seperti lingkungan, sosial, dan ekonomi.

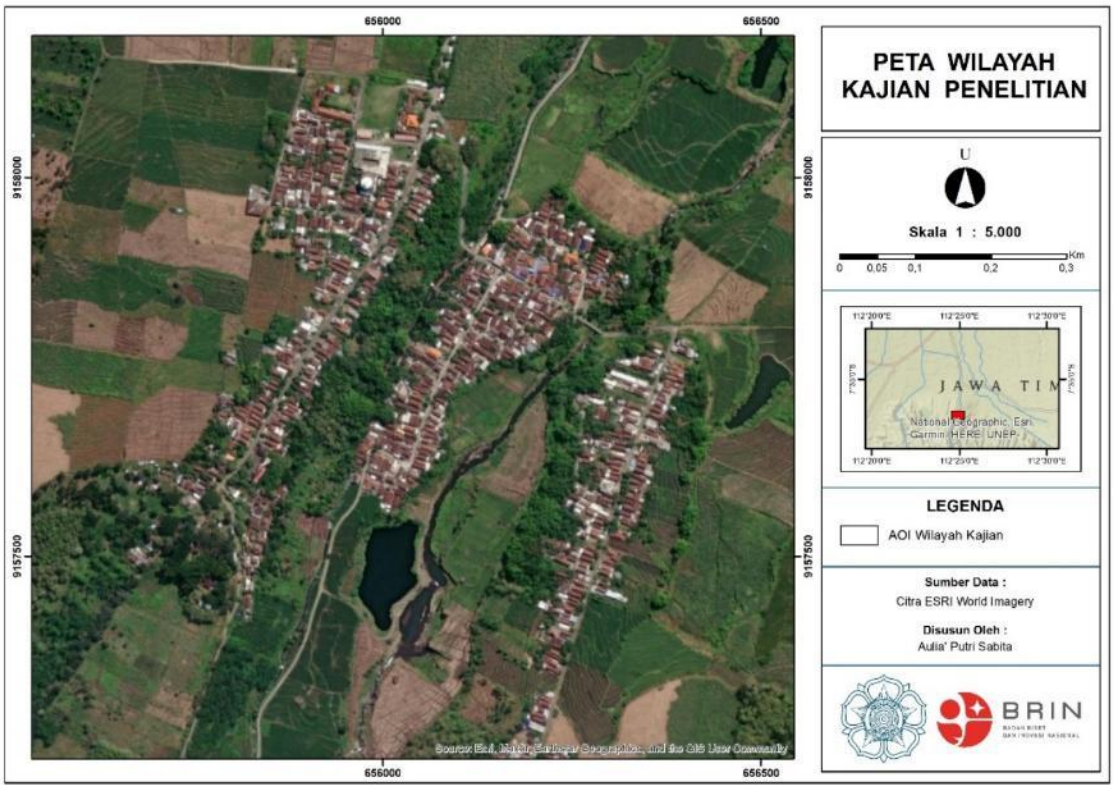
Wilayah Indonesia yang sangat luas tentu menjadi tantangan yang sangat besar untuk dapat melakukan *updating* data spasial. Pada tahun 2021 hingga 2024, Badan Informasi Geospasial (BIG) menargetkan pembuatan peta skala besar sebesar 400.000 kilometer persegi setiap tahunnya (Badan Informasi Geospasial, 2021). Hal tersebut mencakup seluruh wilayah Indonesia dengan luas 1.992.000 kilometer persegi. Dengan banyaknya data yang harus dilakukan *updating* tersebut, terdapat tantangan lainnya yaitu keterbatasan tenaga atau sumber daya manusia (SDM). Oleh karena itu, pemerintah dapat menggandeng masyarakat maupun pihak ketiga untuk dapat mempercepat proses pembaharuan data spasial melalui pemetaan partisipatif. Pemetaan partisipatif adalah kegiatan menggambarkan keadaan fisik di wilayah tertentu pada bidang datar menggunakan skala tertentu dengan melibatkan peran aktif dari masyarakat (Hidayatullah *et al.*, 2023). Pemetaan partisipatif juga dapat memaksimalkan pemanfaatan data dan informasi spasial oleh masyarakat luas (Amrin & Sopyan, 2023).

Pelaksanaan pembaharuan data dan informasi geospasial memerlukan adanya integrasi antara Sistem Informasi Geospasial (SIG) dan Penginderaan Jauh (PJ) untuk melakukan analisis keruangan (Gorelick *et al.*, 2017; Haokip *et al.*, 2021; Arimjaya & Wibowo, 2021). SIG digunakan sebagai alat utama untuk melakukan pengolahan data, sedangkan data penginderaan jauh digunakan sebagai bahan utama untuk melakukan pengamatan adanya perubahan penutup lahan. Terdapat beberapa perangkat lunak yang dapat mengintegrasikan kedua parameter tersebut, misalnya ArcGIS *Desktop* dan Java OpenStreetMap (JOSM). Kedua perangkat lunak tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan dalam melakukan pengolahan data spasial, terutama dalam pembaharuan data spasial. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perangkat lunak yang efektif digunakan oleh masyarakat dalam mempercepat pembaharuan data spasial melalui pemetaan partisipatif.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Dusun Jabung, Desa Lebakjabung, Kecamatan Jatirejo, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur dengan koordinat area 7° 37' 4,427" LS dan 112° 24' 53,202" BT. Area kajian berupa *area of interest* (AOI) berbentuk persegiempat dengan kawasan yang mencakup berbagai penutup/penggunaan lahan dalam skala peta 1:5.000. AOI dipilih karena dapat merepresentasikan berbagai penutup/penggunaan lahan seperti tubuh air (sungai dan waduk), lahan terbangun (pemukiman dan jalan), serta vegetasi (sawah, kebun, dan lahan lainnya).



Gambar 1. Peta wilayah kajian penelitian.

Data Penelitian

Penelitian ini berfokus pada efektivitas waktu untuk melakukan pembaharuan Informasi Geospasial Dasar dengan memanfaatkan penginderaan jauh. Data utama dalam melakukan penelitian digunakan data citra satelit penginderaan jauh yang tersedia pada perangkat lunak SIG. Citra penginderaan jauh yang digunakan yaitu Esri *World Imagery*, di mana *layer* ini menyajikan citra satelit resolusi rendah hingga resolusi tinggi dengan jangka waktu tiga hingga lima tahun (Esri, 2024). Esri *World Imagery* menyediakan Citra Maxar dengan resolusi 0,3 hingga resolusi 0,5 meter serta foto udara resolusi tinggi hingga 0,03 meter.

Metode Analisis

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode analisis deskriptif kuantitatif. Metode analisis deskriptif kuantitatif merupakan analisis yang mendeskripsikan, menjelaskan, dan meneliti sesuatu secara apa adanya dari fenomena yang dapat diamati menggunakan angka – angka (Listiani, 2014; Sulistyawati *et al.*, 2022). Analisis deskriptif kuantitatif didapatkan dari pengumpulan data secara observasi dan wawancara secara objektif, rasional, terukur, dan sistematis. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perangkat lunak SIG yang lebih efektif untuk melakukan pembaharuan data dan informasi geospasial, serta mudah digunakan oleh

khalayak luas. Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian dilakukan dengan menggunakan delapan responden baik dari latar belakang keilmuan geografi maupun keilmuan non geografi.

Perangkat lunak SIG yang dikomparasikan adalah perangkat lunak ArcGIS Desktop 10.8 dan Java OpenStreetMap. ArcGIS merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh perusahaan ESRI sebagai *platform* dengan kompilasi fungsi untuk menciptakan, berbagi, dan mengakses data geospasial dan pemetaan (Sukmawati & Rahmah, 2022). ArcGIS Desktop merupakan perangkat lunak SIG profesional dan komperhensif yang berjalan di perangkat *Personal Computer* (PC)/*Desktop* (Donya *et al.*, 2020). OpenStreetMap (OSM) merupakan *platform* yang digunakan untuk membuat dan membagikan informasi data spasial, di mana semua orang dapat berkontribusi melalui peta yang dapat diakses kapan pun dan oleh siapa pun secara gratis di internet. Sedangkan Java OpenStreetMap (JOSM) merupakan perangkat lunak dari *OSM* yang dapat diintalasi pada *PC/Desktop* dengan fungsi *editing*, manipulasi, serta menyimpan peta yang tersedia di OSM (Niam *et al.*, 2014).

Pelaksaan penelitian diawali dengan menyiapkan perangkat lunak yang akan digunakan, yaitu ArcGIS Desktop 10.8 dan JOSM *Editor*. Pada masing–masing perangkat lunak perlu dilakukan pengecekan terhadap *basemap* citra penginderaan yang tersedia serta *tools* dan fitur yang digunakan untuk melakukan digitasi. Hal tersebut dilakukan untuk memastikan perangkat lunak dapat berjalan di *PC/Desktop* pada masing–masing responden. Apabila perangkat lunak telah siap digunakan, maka selanjutnya menyiapkan data wilayah kajian. Data wilayah kajian menggunakan batasan data vektor *polygon* berbentuk persegi panjang dengan ukuran skala 1:5.000. Data *AOI* tersebut diambil di wilayah Dusun Jabung, Desa Lebakjabung, Kecamatan Jatirejo, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur dengan koordinat area 7° 37′ 4,427″ LS dan 112° 24′ 53,202″ BT.

Tahapan selanjutnya merupakan tahapan untuk melakukan pembaharuan data dan informasi geospasial dengan metode digitasi secara interpretasi citra penginderaan jauh. Digitasi dilakukan dengan menampilkan cita ESRI *World Imagery* yang disediakan oleh masing–masing perangkat lunak. Kemudian setiap responden melakukan digitasi dengan menggunakan kaidah interpretasi citra berdasarkan bentuk objek, ukuran, tekstur, pola, situs, bayangan, asosiasi, dan konvergensi. Hal tersebut dilakukan untuk membedakan setiap penutup/penggunaan lahan dalam pembaharuan data dan Informasi Geospasial Dasar. Penutup/penggunaan kemudian diklasifikasikan menjadi lahan tubuh air (sungai dan waduk), lahan terbangun (pemukiman dan jalan), serta vegetasi (sawah, kebun, dan lahan lainnya). Pada tahapan ini, masing–masing responden mencatat waktu pengerjaan digitasi mulai dari membuka *AOI* hingga selesai melakukan digitasi baik ketika menggunakan perangkat lunak ArcGIS Desktop 10.3 *dan* JOSM. Hal tersebut berguna untuk mengetahui perangkat lunak mana yang lebih cepat digunakan. Selain itu, untuk mengetahui efektivitas penggunaan, maka dilakukan wawancara dan pengisian kuesioner terhadap responden dengan memberikan pertanyaan terkait kemudahan penggunaan dan fitur yang dimiliki masing–masing perangkat lunak. Perbedaan waktu untuk melakukan digitasi dilakukan perhitungan secara rata–rata dengan rumus pada **Persamaan 1**.

$$\bar{X} = \frac{\sum f_i x_i}{\sum x_i} \quad \text{.....(1)}$$

di mana:
$\bar{X}$ = rata–rata/*mean*
f_i = jumlah nilai
x_i = jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini adalah analisis deskriptif dari beberapa indikator yang digunakan untuk menentukan efektivitas penggunaan perangkat lunak JOSM dibandingkan dengan perangkat lunak ArcGIS Desktop 10.8 untuk melakukan *updating* Peta RBI skala besar. Beberapa indikator tersebut antara lain, waktu pengerjaan digitasi pada wilayah kajian dengan skala 1:5.000, kemudahan penggunaan meliputi fitur dan *tools* yang disediakan oleh JOSM dan ArcGIS Desktop 10.8, kemudahan aksebilitas data, serta hasil dari digitasi peta skala besar. Observasi dan digitasi

dilakukan pada beberapa aspek poligon untuk penutup/penggunaan lahan sesuai dengan klasifikasinya yaitu poligon bangunan, penggunaan lahan, tubuh air berupa waduk dan garis sungai, serta garis jalan. Berdasarkan observasi dan digitasi yang telah dilakukan diperoleh hasil pencatatan waktu sebagai berikut.

Tabel 1. Data pencatatan waktu digitasi oleh responden.

Responden	Bidang Keilmuan	Waktu Pengerjaan JOSM	Waktu Pengerjaan ArcGIS Desktop 10.8
Responden 1	Geografi	1 Jam 47 Menit 31 Detik	2 Jam 1 Menit 51 Detik
Responden 2	Geografi	1 Jam 22 Menit 17 Detik	1 Jam 55 Menit 08 Detik
Responden 3	Geografi	1 Jam 31 Menit 48 Detik	1 Jam 58 Menit 29 Detik
Responden 4	Geografi	1 Jam 27 Menit 51 Detik	1 Jam 57 Menit 54 Detik
Responden 5	Non Geografi	2 Jam 25 Menit 21 Detik	2 Jam 56 Menit 29 Detik
Responden 6	Non Geografi	2 Jam 49 Menit 32 Detik	3 Jam 15 Menit 58 Detik
Responden 7	Non Geografi	2 Jam 45 Menit 47 Detik	3 Jam 22 Menit 46 Detik
Responden 8	Non Geografi	2 Jam 34 Menit 12 Detik	2 Jam 59 Menit 03 Detik

Berdasarkan data di atas dilakukan perhitungan rata–rata dan didapatkan hasil waktu pengerjaan digitasi peta skala 1:5.000 menggunakan JOSM oleh seluruh responden yaitu 2 jam 5 menit 39,87 detik. Sedangkan rata–rata hasil pengerjaan digitasi menggunakan ArcGIS 10.8 yaitu 2 jam 33 menit 27,25 detik. Sehingga efektivitas waktu *updating* peta skala besar 1:5.000 dari penggunaan JOSM dibandingkan dengan *ArcGIS 10.8* sebesar 9,956%.

Indikator penentuan efektivitas lainnya terkait dengan fitur, *tools*, kemudahan dalam pengaksesan data dari perangkat lunak JOSM dan ArcGIS Desktop 10.8, serta hasil dari digitasi. Indikator efektivitas tersebut berdasarkan dari hasil wawancara bersama seluruh responden yang telah melakukan digitasi. JOSM memiliki keunggulan dari segi kemudahan pengaksesan perangkat, data, dan *server* penyimpanan petanya. Hal tersebut dikarenakan JOSM bagian dari *OpenStreetMap* yang merupakan *platform open-source* dan tersedia bebas di internet. Kontributor JOSM dapat mengunduh peta dari *OSM* dan kemudian dilakukan *editing* data untuk melakukan pembaharuan maupun perbaikan dari data yang tersedia. Data geospasial tersebut nantinya akan diunggah kembali melalui server JOSM. Sedangkan ArcGIS 10.8 *Desktop* merupakan perangkat lunak milik ESRI yang penggunaannya melalui lisensi berbayar. Sehingga untuk dapat menggunakan perangkat lunak tersebut, pengguna harus membeli lisensi kepada ESRI. Oleh karena itu, dari segi kemudahan penggunaan dan pengaksesan JOSM lebih unggul dibandingkan dengan ArcGIS Desktop 10.8 di mana pemetaan partisipatif oleh khalayak umum lebih mudah menggunakan JOSM.



(a) (b)

Gambar 2. Tangkapan layar hasil digitasi (a) menggunakan JOSM dan (b) menggunakan Arcgis Desktop 10.8

Digitasi data geospasial memanfaatkan data penginderaan jauh menggunakan citra satelit ESRI *World Imagery* yang tersedia pada kedua perangkat lunak tersebut. Pemilihan citra tersebut dikarenakan kedua perangkat lunak memiliki jenis citra yang sama. Selain itu, resolusi spasial yang dimiliki termasuk ke dalam citra satelit resolusi tinggi. Pada ArcGIS citra satelit tersebut berada di bagian *basemap* yang dapat dimunculkan melalui fitur *add data*. Namun untuk membuka *basemap* tersebut, dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk memuat data. Hal tersebut karena ukuran data citra yang besar, sehingga membutuhkan waktu lama untuk menunggu *loading* data. Sedangkan pada JOSM, citra satelit termuat pada *tools images reference* yang memuat berbagai *basemap* citra. Citra yang ditampilkan dalam JOSM tidak membutuhkan waktu lama untuk memuatnya. Sehingga PC*/desktop* tidak bekerja terlalu berat untuk digunakan. Oleh karena itu, penggunaan JOSM dinilai lebih ringan dan memudahkan berbagai spesifikasi PC*/desktop* memanfaatkannya.

Dibandingkan dengan JOSM*,* ArcGIS Desktop 10.8 memiliki *tools* dan *plugin* lebih beragam dan lengkap. Hal tersebut menjadikan ArcGIS Desktop 10.8 lebih unggul dalam melakukan pengolahan data geospasial lanjutan. Namun, JOSM dinilai sudah cukup baik untuk melakukan pembaharuan data dan informasi geospasial yang hanya menggunakan *basic tools*. Pembaharuan data geospasial dilakukan dengan cara digitasi menggunakan metode interpretasi citra satelit. Digitasi penutup/penggunaan lahan pada JOSM memanfaatkan fitur *Draw Nodes* baik untuk data poligon maupun data garis. Digitasi objek bangunan pada JOSM memanfaatkan fitur *Draw Buildings*, di mana *tools* tersebut sangat berguna untuk membuat bentuk persegi, persegi panjang, hingga lingkaran secara presisi. Perbedaan hasil dari digitasi menggunakan JOSM dan ArcGIS *Desktop* tidak memiliki perbandingan yang besar. Namun objek yang paling terlihat jelas perbedaannya yaitu bangunan. Pada digitasi menggunakan JOSM bentuk dari bagunan tersebut terlihat lebih rapi dan presisi, karena penggunaan fitur *Draw Buildings* yang tersedia oleh JOSM. Pada beberapa ulasan di atas JOSM unggul di beberapa fitur dan *tools* dasar, namun perangkat lunak tersebut tetap memiliki kekurangan di beberapa aspek. Hal tersebut karena sifatnya yang terbuka (*open-source*) dan setiap orang dapat berkontribusi, dikhawatirkan terdapat beberapa pembaharuan data geospasial yang kurang akurat. Sehingga perlu adanya lembaga ataupun komunitas yang dapat memantau kualitas data yang dihasilkan dari kontribusi kegiatan pemetaan partisipatif tersebut.

KESIMPULAN

Pemanfaatan perangkat lunak JOSM untuk pembaharuan peta RBI skala besar 1:5.000 dinilai cukup efektif. Hal tersebut dibuktikan dengan waktu pengerjaan digitasi JOSM dapat meningkatkan waktu sebesar 9,956% dibandingkan dengan menggunakan ArcGIS *Desktop*. Selain itu, perangkat lunak JOSM bersifat *open-source*, sehingga mudah diakses dan digunakan oleh khalayak umum yang ingin berkontribusi dalam pemetaan partisipatif peta RBI skala besar tersebut. JOSM memiliki berbagai *tools* dasar yang cukup kompatibel untuk melakukan digitasi citra satelit untuk pembaharuan data geospasial. *Tools Draw Buildings* juga memudahkan dalam digitasi bangunan untuk peta detil dengan skala 1:5.000. Serta pengunggahan data untuk memperbaharui data spasial dapat dilakukan dengan mudah. Namun, untuk *uploading* data ke server JOSM sebaiknya terdapat komunitas maupun lembaga berwenang yang dapat membantu pemantauan kualitas data dan informasi geospasial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Pusat Riset Geospasial Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Program Studi (Prodi) Sistem Informasi Geografis Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), pembimbing program magang Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) BRIN, seluruh kelompok riset geomodeling, dan juga dosen pembimbing dan akademik Prodi SIG UGM yang telah mendukung dan memberikan berbagai arahan dalam penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada para responden yang bersedia menyediakan waktu dan pemikirannya, sehingga tercipta hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adams, B., Gahegan, M., Gupta P., *et al.* (2014). *Geographic Information Observatories for Supporting science*. Proceedings of the Workshop on Geographic Information Observatories 2014, Collocated with the 8th International Conference on Geographic Information Science (GIScience 2014). Austria: Vienna; 2014. pp.32-39.

Amrin, R. N., & Sopyan, A. A. P. (2023). Pemanfaatan Data Spasial Aplikasi Komputerisasi Kantor Pertanahan dalam Peningkatan Informasi Geospasial pada Aplikasi Petakita. *Kadaster: Journal of Land Information Technology*, *1*(1), 18–32.

Arimjaya, I. W. G. K., & Wibowo, A. (2021). Klasifikasi Tutupan Lahan Peta Rupabumi Indonesia dalam Identifikasi Kesesuaian Kawasan Permukiman di Kalimantan Tengah. *Indonesian Journal of Earth Sciences*, *1*(2), 63–73. https://doi.org/10.52562/injoes.v1i2.232

Badan Informasi Geospasial. (2021). Mengejar Pembuatan Peta Dasar Skala Besar Langkah Jitu KPBUMN. *Satu Peta Menyatukan Negeri: Geospasial Indonesia*, *8*(1), 9–11. www.big.go.id

Basuki, Apriyeni, B. A. R., Purnamasari, I., Rachman, H. A., Rahman, F. A., & Mubarokah, N. (2023). *Pengantar Informasi Geospasial*. Tahta Media Group.

Donya, M. A. C., Sasmito, B., & Nugraha, A. L. (2020). Visualisasi Peta Fasilitas Umum Kelurahan Sumurboto Dengan ArcGIS Online. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(4), 52–58.

ESRI. (2024). World Imagery. Diakses dari laman https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9. [31 Maret 2024]

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Haokip, P., Khan, M. A., Choudhari, P., Kulimushi, L. C., & Qaraev, I. (2021). Identification of Erosion-Prone Areas Using Morphometric Parameters, Land Use Land Cover and Multi-Criteria Decision-Making Method: Geo-Informatics Approach. Environment, Development and Sustainability, 1–31. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01452-7

Jia *et al.* (2014). Land Cover Classification Using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. *Geocarto International, 29*, 941-951.

Liang *et al.* (2013). Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover: First Mapping Results with Landsat TM and ETM+ Data. *International Journal of Remote Sensing, 3*, 2607-2654.

Listiani, N. M. (2014). Pengaruh Kreativitas dan Motivasi Terhadap Hasil Belajar Mata Pelajaran Produksi Pemasaran Pada Siswa Kelas XI SMK Negeri 2 Tuban. *Jurnal Ekonomi Pendidikan dan Kewirausahaan*, *2*(2), 264–276.

Niam, A., Suprayogi, A., & Awaluddin, M. (2014). Aplikasi OpenStreetMap Untuk Sistem Informasi Geografis Kantor Pelayanan Umum (Studi Kasus: Kota Salatiga). *Jurnal Geodesi Undip Oktober*, *3*(4).

Noraini, A., & Handayani, H. H. (2013). *Updating* Peta Tutupan Lahan Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi (Studi Kasus: Kecamatan Pakal, Kota Surabaya). *GEOID Journal of Geodesy and Geomatics*, *9*(1), 39–47.

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Informasi Geospasial. Jakarta.

Pribadi, C. B., Hariyanto, T., & Puspita, A. I. (2017). Pembuatan Peta Dasar Skala 1:5000 Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT) Pleiades 1-A Sebagai Acuan Pembuatan Peta RDTR Pada Bagian Wilayah Perkotaan (BWP) Lumajang, Kabupaten Lumajang. *GEOID*, *12*(2), 153–157.

Sampurno, R. M., & Ahmad Thoriq. (2016). Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) di Kabupaten Sumedang. *Jurnal Teknotan*, *10*(2), 61 – 70.

Sukmawati, K., & Rahmah, A. (2022). Pengembangan Geographic Information System (GIS) Guna Pengelelolaan Komoditas Tanaman Cabai. *Jurnal Informatika Terpadu*, *8*(2), 78–84. https://journal.nurulfikri.ac.id/index.php/JIT

Sulistyawati, W., Wahyudi, & Trinuryono, S. (2022). Analisis (Deskriptif Kuantitatif) Motivasi Belajar Siswa Dengan Model Blended Learning di Masa Pandemi COVID-19. *Kadikma*, *13*(1), 68–73.

Supriyanto, I., & Cahyono, A. B. (2010). *Updating* Peta RBI Purwodadi Kabupaten Grobongan Menggunakan Citra Satelit ALOS (Studi Kasus: RBI Lembar 1408-644). *GEOID*, *5*(2), 173–180.

Wahyuni, S., Guchi, H., & Hidayat, B. (2014). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Penutupan Lahan Tahun 2003 dan 2013 di Kabupaten Dairi. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, *2*(4), 1310–1315.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ROAD ANALYTICS IN MULTIRESOLUTION AERIAL IMAGES

(Analisis Jalan Pada Foto Udara Multiresolusi)

M. Ravanbakhsh[1], M. Ghorbani[2]
[1]PhD and Adjunct Professor Mapizy Pty Ltd & University of Western Australia
[2]AI Enginee Mapizy Pty Ltd

PO Box 534, Cloverdale WA 6985, Australia
E-mail: mehdi.r@mapizy.com

ABSTRACT

Accurate, detailed and up-to-date road networks are critical in many applications, autonomous driving being one of them. Currently, the existing road network data lacks sufficient detail and currency necessary to support various use cases such as asset management and monitoring as well as smart transport networks. This project has two main objectives. First, it has to be determined if ML/AI models can be developed to effectively and efficiently create derivative analytics about road network from high resolution aerial images. Second, these models could be applied to lower resolution satellite images to create similar quality road derivative products. Our quantitative analysis shows that over 95% accuracy of feature detection in aerial images across all features was achieved except for road surfaces where 92% accuracy was obtained. Transferring deep learning models from aerial to satellite images, around 15%-25% dropin accuracy was reported. However, technologies such as augmentation, super-resolution and transfer learning significantly improved the detection accuracy in satellite images at 7%-15%.

Keywords: road analytics, multiresolution, aerial images

ABSTRAK

Jaringan jalan yang akurat, terperinci, dan terkini sangat penting dalam banyak penggunaan, mengemudi secara otonom menjadi salah satunya. Saat ini, data jaringan jalan yang ada tidak memiliki detail yang cukup diperlukan untuk mendukung berbagai kasus penggunaan seperti manajemen dan pemantauan aset serta jaringan transportasi pintar. Proyek ini memiliki dua tujuan utama. Pertama, harus ditentukan apakah model ML/AI dapat dikembangkan untuk secara efektif dan efisien membuat analitik turunan tentang jaringan jalan dari citra udara resolusi tinggi. Kedua, model-model ini dapat diterapkan pada citra satelit resolusi rendah untuk membuat produk turunan jalan dengan kualitas yang sama. Analisis kuantitatif kami menunjukkan bahwa lebih dari 95% akurasi deteksi fitur dalam citra udara di semua fitur tercapai kecuali untuk permukaan jalan yang akurasinya diperoleh sebesar 92%. Mentransfer model pembelajaran mendalam dari citra udara ke citra satelit, sekitar 15%-25% akurasi dropin dilaporkan. Namun, teknologi seperti augmentasi, resolusi super, dan pembelajaran transfer secara signifikan meningkatkan akurasi deteksi pada citra satelit sebesar 7%-15%.

***Kata kunci**: analisis jalan, multiresolusi, foto udara*

PENDAHULUAN

Accurate, detailed and up-to-date road networks are critical in many applications, autonomous driving being one of them. The Queensland Department of Transport and Main Roads (TMR) is responsible for managing this important infrastructure asset. Currently, the existing road network data lacks sufficient detail and currency necessary to support various use cases such as asset management and monitoring as well as smart transport networks. TMR are looking at how they can leverage Machine Learning algorithms, and high-resolution imagery from a variety of sensors to improve their insights and understanding of their roads.

This project has two main objectives. First, it has to be determined if ML/AI models can be developed to effectively and efficiently create derivative analytics about road network and its surrounding environment from 10 cm-12cm resolution aerial images with three spectral bands.

Second, these models could be applied to lower resolution satellite images at 30 cm-50 cm resolution to create similar quality road derivative products.

Aerial image capture is costly and is not available for remote areas but satellite images can be captured on a more regular basis for both densely populated urban areas and rural areas. Although AI models can be developed for features extraction in certain aerial images, these models are not necessary transferable to other aerial and satellite images coming from different sensors. It is cost-effective to be able to apply AI models developed on a particular training data to other imagery data of differing spectral and resolution characteristics without significant loss of accuracy.

This project will examine the feasibility of developing AI models for road network feature extraction and how transferable those models are in other datasets. Those AI models will be trained on aerial image training data and applied to lower resolution satellite images. The focus will be on road surface, safety features like lane markings, divider and traffic islands as well as features from the surrounding environment such as trees and buildings. Our datasets for AI model training and testing are from QLD and WA which makes them applicable to a diverse geographical area in Australia.

APPROACH

The processing workflow proposed is shown in Figure 1. It includes four steps as follows. First, training samples representing various targeted road features, namely road surface, lane markings, traffic islands, divider, tree cover and turf, are collected. Mapizy has already created a database of training data of features around the road and in the road corridor which can be used with minimal preparation. Next, AI models will be created and target features will be detected. A range of features such as roads, buildings, vegetation, road width, traffic islands, dividers and marking lines will be extracted. This step requires intensive fine-tuning of deep learning optimisation parameters.

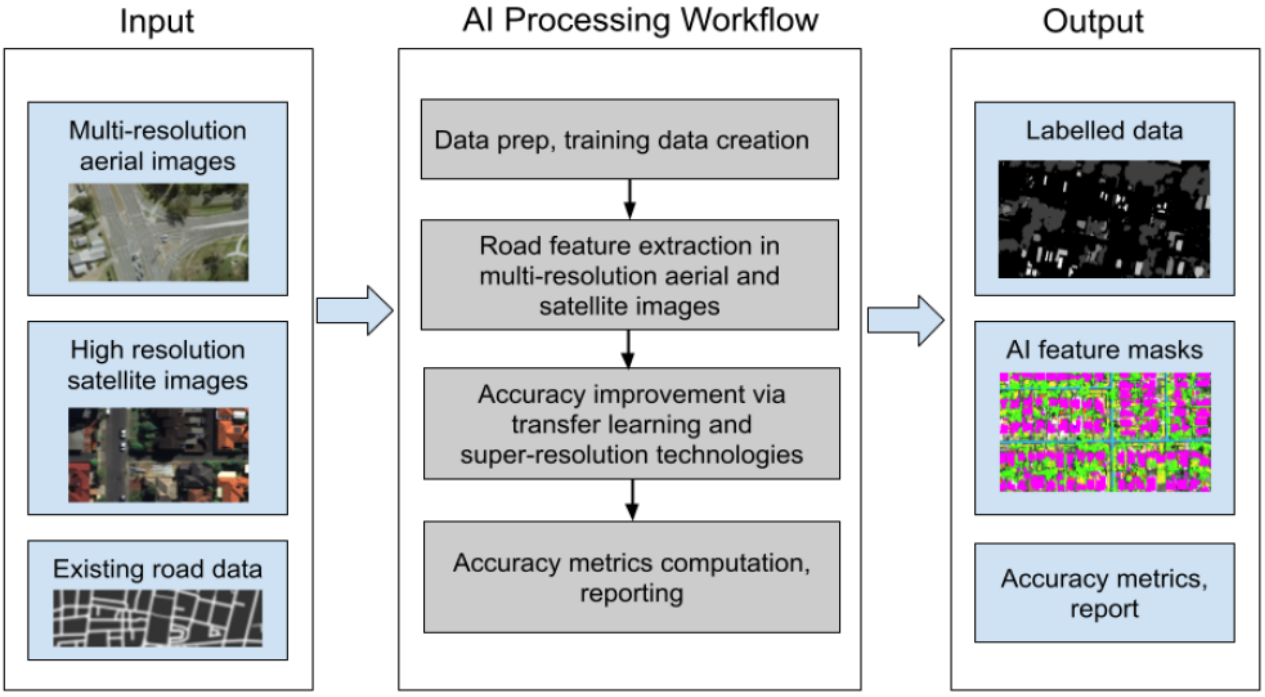


Figure 1. Project workflow

After that, the quality of deep learning results will be improved through utilisation of transfer learning, augmentation and super-resolution technologies. The result obtained through deep learning will be evaluated against reference data and quality metrics will be estimated for the selected areas. Further test areas will be visually assessed by human inspection. The outcome of this section will be quality metrics such as precision, recall and geometric accuracy.

Deep learning have been the technology of choice when it comes to man-made object detection (Choi *et al.*, 2021; Kang *et al.*, 2021; Diakogiannis *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022). Among various deep learning architectures developed in the literature, UNET has shown promising performance (Diakogiannis *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022) which was adopted in Mapizy and used in a range of projects in mapping man-made and natural objects in aerial and satellite images. The architecture of the model is shown in Figure 2. This model uses convolutional layers to extract features of a given image and output a semantic mask. In this project, we used two versions of UNET, namely light version or UNETv3 and a deeper version or UNETv4. Deeper version has more layers so it can extracted greater number of image features and its training takes more time as larger number of model parameters need to be optimised.

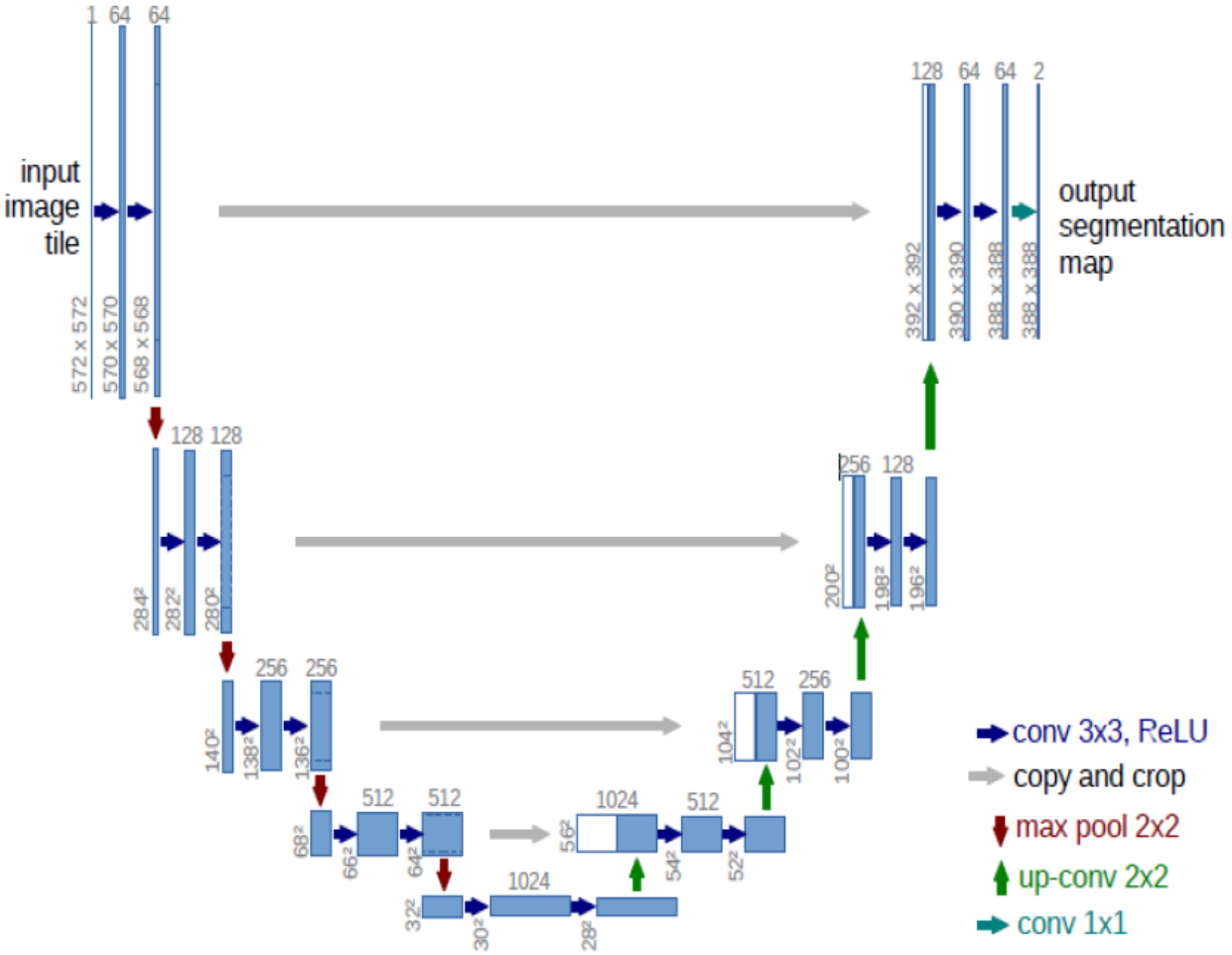


Figure 2. UNET architecture.

Each blue box in **Figure 2** corresponds to a multi-channel feature map. The number of channels is denoted on top of the box. The x and y size is provided at the lower left edge of the box. White boxes represent copied feature maps and arrows denote the operation performed.

AI models developed on training data coming from aerial images cannot be directly applied to other datasets like satellite images where resolution and spectral quality differs (see Figure 3). In the literature, there are a couple of technologies used to improve the accuracy of detection, these being augmentation, image super-resolution and transfer learning (Shorten & Khoshgoftaar, 2019; Liang *et al.*, 2021; Hoar *et al.*, 2021).



Figure 3. Aerial imagery (left). Satellite image of the same area (right).

Image augmentation is a technique that is used to artificially expand the training data. Sufficient training data is crucial for optimal deep learning model development. Otherwise, AI models overfit the training data resulting in poor performance when applied on unseen data. In augmentation, various geometric and spectral transformations are applied to the training data to accommodate variations often present in real world images. This helps deep learning models to learn the true underlying pattern in the data and thus create more accurate result when applied to new datasets.

In this study, we employed a range of image transformations such as resizing, spectral channel shift, HSV, etc. applied on labelled data collected in aerial images. These transformations make aerial deep learning models more transferable to satellite images (Shorten & Khoshgoftaar, 2019).

TEST DATA AND ASSUMPTIONS

Three data sources were provided by the TMR team and sourced through Mapizy. These are aerial images at 10 cm resolution, and Airbus Pleiades and Pleiades Neo images at 50 cm and 30 cm resolutions respectively. The TMR's data was from QLD only and Mapizy data covers Perth densely populated urban areas as well as two large areas in QLD. Figure 4 shows satellite images sourced by Mapizy covering Redland and Ipswich LGAs in QLD.

Test areas were chosen in WA and QLD for both accuracy metric quantification and visual assessment. In three WA test sites and one QLD test site as shown in Figure 5, reference data was created and used for quality metrics estimation.



Figure 4. Airbus Pleiades Neo at 30 cm resolution for Redland (left) and Ipswich (right) in QLD.



Figure 5. Outlines of the test areas in WA (left) and QLD, Ipswich (right) used for quantitative accuracy assessment.

RESULT AND EVALUATION

The collected labelled data was used to train and create deep learning models used for the detection of roads, line markings, traffic islands, dividers, buildings, trees and turf. Some sample results are shown in Figures 6, 7, 8 & 9.



Figure 6. Road detection result in 10 cm aerial (left) and 50 cm satellite (right) images.

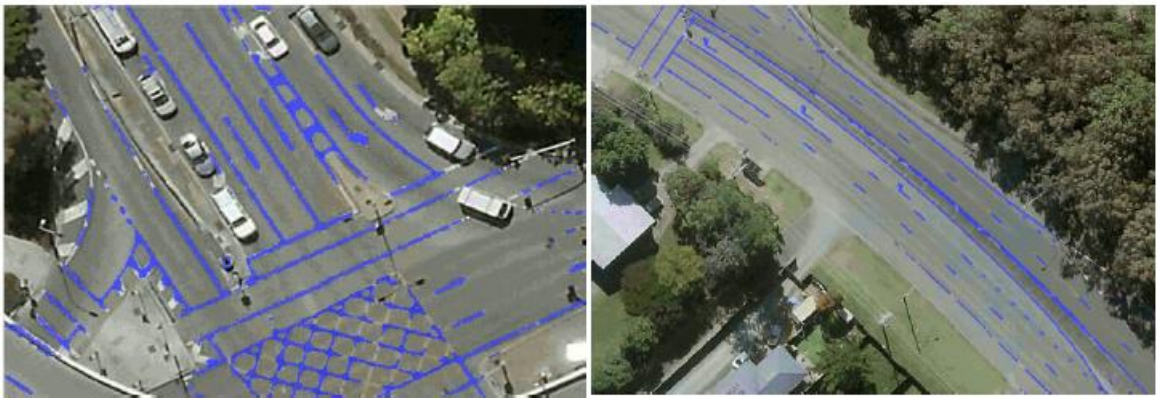


Figure 7. Line markings detection in 10 cm aerial images.



Figure 8. Building, tree and turf detection in 10 cm (left) and 50 cm (right) aerial images.

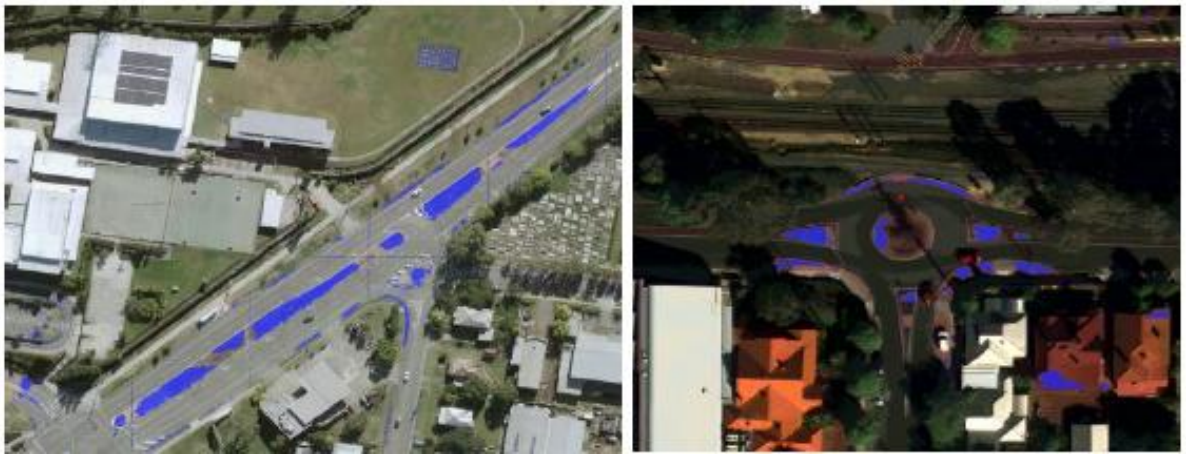


Figure 9. Traffic island detection in 10 cm aerial (left) and 50 cm satellite images (right).

Augmentation

Augmentation techniques were used to expand the training dataset, which included samples of varying resolutions and spectral characteristics. This increased the model's accuracy but required more resources and time. The models were tested on high-resolution (10 cm) and low-resolution (50 cm) aerial images, and low-resolution (50 cm) satellite images.

The result presented in Table 1 shows that augmentation has been effective in improving the detection accuracy across image resolutions. However, in the spectral space as can be seen in satellite images, the improvement wasn't observed.

Table 1. Accuracy assessment result estimated for road detection in test areas in Perth. Accuracy is shown in percentage %.

AI Model	UNET v3			UNETv3 + augmentations		
Image Data	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite High-resolution	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution
Test Area 1	95.59	90.77	68.97	95.21	93.10	69.30
Test Area 2	95.14	90.54	70.89	94.52	92.36	69.99
Test Area 3	97.71	88.58	78.19	94.98	92.10	77.90
Average	95.48	89.96	72.68	94.9	92.52	72.4

Two example results showing the effect of augmentation on satellite images are shown in Figures 10 & 11.



Figure 10. Detection of buildings in satellite images with and without augmentation shown in red and green colours respectively.



Figure 11. Detection of road network with augmentation in satellite images. Without augmentation no road was detected.

Super-Resolution

Super resolution was applied on satellite images to improve the spatial resolution creating more detailed information about the features. The quantitative result as presented in Table 2 shows that super-resolution has been effective in improving the detection accuracy across image resolutions. In addition to this, training time is shorter and less computational resources are required. In Figure 12, the effect of super-resolution for road surface detection is shown.

Table 2. Accuracy assessment result estimated for road detection in test areas in Perth. Accuracy is shown in percentage %.

AI Model	UNETv3			UNETv3 + Super-resolution		
Image Data	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution
Test Area 1	95.59	90.77	68.97	95.59	93.48	82.21
Test Area 2	95.14	90.54	70.89	95.14	94.27	82.59
Test Area 3	97.71	88.58	78.19	95.71	93.75	82.88
Average	95.48	89.96	72.68	95.48	93.83	82.56



Figure 12. Detection of roads with and without super-resolution in green and blue colours respectively.

Augmentation Plus Super-Resolution

Super-resolution transforms images into higher resolution datasets. As a result, augmentation transformations associated with the resolution such as zoom level isn't required. Instead, we extensively used spectral transformations, HSV being one of them, so that both geometric and spectral aspects are taken into account in a combined approach.

In Tables 3, and 4, the comparative performance of accuracy improvement technologies, these being super-resolution, augmentation and their combination.

The result of these experiments suggests that the combination of super-resolution and spectral augmentations can further improve the accuracy of deep learning models and that the performance of this combination is better than that of augmentation or super-resolution alone.

Table 3. Accuracy assessment result estimated for road surface detection in Ipswich test area using UNETv3 model. Accuracy is shown in percentage %.

AI Model	UNETv3			UNETv3 + Accuracy improvement		
Accuracy improvement approach	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution
Super Resolution	92.95	88.05	67.72	92.95	91.93	74.71
Augmentaion	92.95	88.05	67.72	92.95	88.46	73.24
Super Resolution + Augmentaion	92.95	88.05	67.72	92.95	92.04	77.35

Table 4. Accuracy assessment result estimated for road surface detection in Ipswich test area using UNETv4 model. Accuracy is shown in percentage %.

AI Model	UNETv4			UNETv4 + Accuracy improvement		
Accuracy improvement approach	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution
Super Resolution	92.24	89.98	77.46	92.24	92.51	80.76
Augmentaion	92.24	89.98	77.46	92.24	88.88	81.36
Super Resolution + Augmentaion	92.24	89.98	77.46	92.24	91.7	83.76

Transfer Learning

Transfer learning differs compared to other accuracy improvement technologies discussed previously. While transfer learning uses a modest amount of training data from satellite images to retrain the model trained on aerial images, others either make satellite images look like aerial images or improve the accuracy of deep learning models through augmentation. Tables 5 and 6 show the comparative performance of transfer learning and other technologies applied on road surface detection.

Table 5. Accuracy assessment result estimated for road surface detection in Ipswich test area using UNETv3 model. Accuracy is shown in percentage %.

AI Model	UNETv3			UNETv3 + Accuracy improvement		
Accuracy improvement approach	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution
Super Resolution	92.95	88.05	67.72	92.95	91.93	74.71
Augmentaion	92.95	88.05	67.72	92.95	88.46	73.24
Super Resolution + Augmentaion	92.95	88.05	67.72	92.95	92.04	77.35
Transfer Learning	92.95	88.05	67.72	92.95	91.57	77.94

Table 6. Accuracy assessment result estimated for road surface detection in Ipswich test area using UNETv4 model. Accuracy is shown in percentage %.

AI Model	UNETv4			UNETv4 + Accuracy improvement		
Accuracy improvement approach	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution	Aerial High-resolution	Aerial Low-resolution	Satellite Low-resolution
Super Resolution	92.24	89.98	77.46	92.24	92.51	80.76
Augmentaion	92.24	89.98	77.46	92.24	88.88	81.36
Super Resolution + Augmentaion	92.24	89.98	77.46	92.24	91.7	83.76
Transfer Learning	92.24	89.98	77.46	92.24	91.82	84.26

SUMMARY AND OUTLOOK

In this project, high-performing deep-learning models, computer vision methods and geospatial processing procedures were developed to identify and delineate features on and around roads as well as in road corridor. Seven different features, these being road surface, lane marking, traffic island, divider, tree, turf and buildings, were targeted and lane markings were further classified in three categories of broken, solid and double-solid lines.

Three different technologies were assessed to determine if these can improve the accuracy of AI models trained on aerial images to work on satellite images. The performance of these technologies in feature detection is shown in Figure 13. A computer vision solution was also developed to create road polygons in vector format from road surface detection masks.

Our quantitative analysis shows that we achieved over 95% accuracy of feature detection in aerial images across all features except for road surfaces where 92% accuracy was obtained. Transferring deep learning models from aerial to satellite images, around 15%-25% drop in accuracy was reported. However, technologies such as augmentation, super-resolution and transfer learning significantly improved the detection accuracy in satellite images at roughly 7%-15% (see Figure 26).

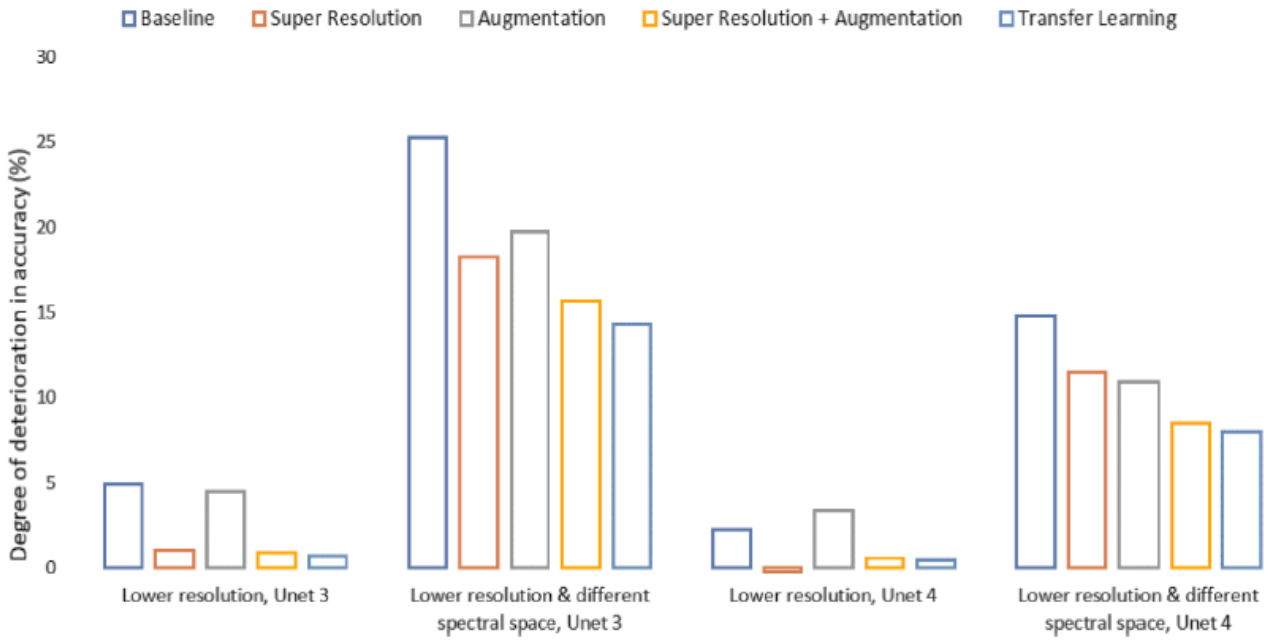


Figure 13. Comparative performance of AI accuracy improvement technologies.

RECOMMENDATIONS

In this project, we assessed the capability of AI technology to detect features on and around roads as well as in the road corridor in multi-resolution aerial and satellite images. Two example results showing how our solution performed are shown in Figures 14 and 15.



Figure 14. Sample result of all target features extracted in an aerial image for a large area.

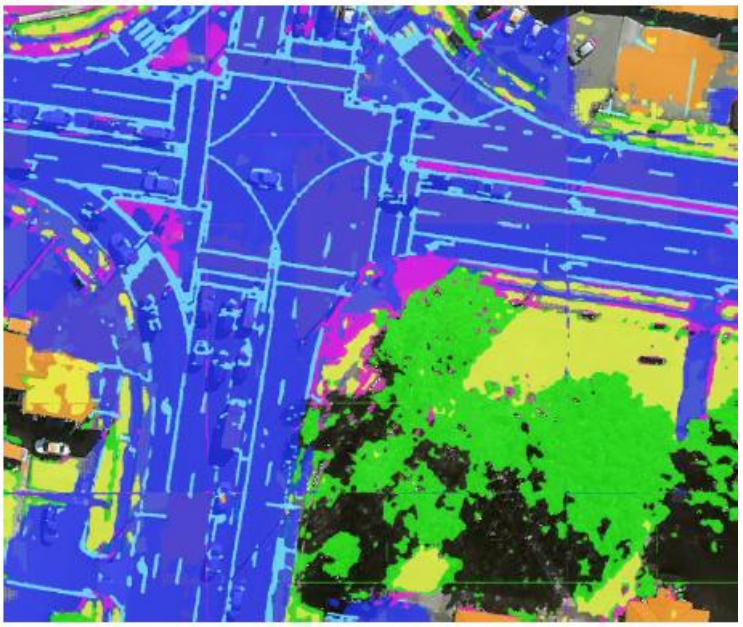


Figure 15. Close-up sample result of all target features extracted in an aerial image.

In order to improve the performance of the current solution, the following are recommended:

1. Our solution was developed with limited amount of training data. Although the results obtained for some features are satisfactory but features such as traffic islands were affected by lack of training data. More training data is needed to improve the accuracy across all features.
2. We adopted UNET architecture as industry standard model for feature extraction as it has shown excellent performance in various applications. However, the deep learning architecture could be further customised to create a better result. The impact of model architecture in feature extraction is an active research area and more work is required to assess variants of UNET and other similar architectures.
3. We used three technologies to improve the performance of models when transferring them from aerial image to satellite images. However, except for one case which is super resolution plus augmentation, we didn't assess the combination of these technologies for feature extraction. Various combinations and their impact on quality metrics of feature extraction in multi-source datasets are warranted.
4. Although it was not in the scope, we managed to develop a solution for the generation of road polygons in vector format. The initial result looks promising and by adding more diverse training data for road surface detection, high quality road vectors can be created for the QLD's extensive road network.
5. Accuracy assessment of our solution is limited to test areas in WA and QLD. This is because reference data creation used for accuracy assessment is time-consuming. Comprehensive accuracy assessment for various geographical areas such as NT and TAS states is recommended to rigorously quantify the model performance and identify improvement areas. Having a solution that performs equally well across different urban and rural landscapes increases its scalability and enhance the chance of commercialisation.

REFERENCE

Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. Journal of big data, 6(1), 1-48.

Liang, J., Cao, J., Sun, G., Zhang, K., Van Gool, L., & Timofte, R. (2021). Swinir: Image restoration using swin transformer. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 1833-1844).

Choi, W., Heo, J., & Ahn, C. (2021). Development of Road Surface Detection Algorithm Using CycleGAN-Augmented Dataset. Sensors, 21(22), 7769.

Kang, J., Fernandez-Beltran, R., Sun, X., Ni, J., & Plaza, A. (2021). Deep learning-based building footprint extraction with missing annotations. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 19, 1-5.

Diakogiannis, F.I., Waldner, F., Caccetta, P. and Wu, C. (2020). ResUNet-a: A deep learning framework for semantic segmentation of remotely sensed data. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 162, 94–114.

Zhang, Y., Lu, Z., Zhang, X., Xue, J. H., & Liao, Q. (2021). Deep learning in lane marking detection: a survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.

Zhang, X., Ma, W., Li, C., Wu, J., Tang, X. and Jiao, L. (2020). Fully convolutional network-based ensemble method for road extraction from aerial images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 17, no. 10, pp. 1777–1781.

Padilla, R., Netto, S. L., & Da Silva, E. A. (2020). A survey on performance metrics for object-detection algorithms. In 2020 international conference on systems, signals and image processing (IWSSIP) (pp. 237-242). IEEE.

Wang, Y. *et al.* (2022). DDU-Net: Dual-Decoder-U-Net for Road Extraction Using High-Resolution Remote Sensing Images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 60, pp. 1-12.

Hoar, D., Lee, P. Q., Guida, A., Patterson, S., Bowen, C. V., Merrimen, J. & Clarke, S. E. (2021). Combined transfer learning and test-time augmentation improves convolutional neural network-based semantic segmentation of prostate cancer from multi-parametric MR images. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 210, 106375.

SUBTEMA 2:
Ekologi Lanskap
(Landscape Ecology)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

IDENTIFIKASI DAN VERIFIKASI ZONA PEMANFAATAN TRADISIONAL DESA PARANG TAMAN NASIONAL KARIMUNJAWA

(*Identification and Verification of Traditional Utilization Zones in Parang Village, Karimunjawa National Park*)

Rohmani Sulisyati, Sunyoto, M. Mukmin, M. Nur Cahyadi, Kuswadi, M. S. J. Eko Mardiko, Nur Afendi
Balai Taman Nasional Karimunjawa

Jl. Sinar Waluyo Raya No.248, Kedungmundu, Kecamatan Tembalang,
Kota Semarang, Jawa Tengah
E-mail: syifa.ilyas@gmail.com

ABSTRAK

Nelayan Desa Parang secara turun menurun memanfaatkan Perairan Karimunjawa untuk aktivitas perikanan, bahkan sejak belum ditetapkannya Karimunjawa sebagai Kawasan Taman Nasional. Sentra Penyuluhan Kehutanan Pusat (SPKP) Prima Desa Parang ditunjuk sebagai perpanjangan tangan masyarakat Desa Parang untuk memenuhi syarat legal formal dalam pemanfaatan zona tradisional perikanan di Taman Nasional Karimunjawa. Tingginya ketergantungan sumber daya perikanan serta menurunnya hasil tangkapan yang bernilai ekonomis tinggi di wilayah Perairan Parang mendorong SPKP Prima Desa Parang mengajukan permohonan penambahan luasan akses. Lokasi yang diajukan untuk penambahan akses kemitraan konservasi Desa Parang meliputi Perairan Pulau Parang, Pulau Kumbang, Pulau Kembar hingga sebelah utara Pulau Katang seluas 13.637,89 hektar. Permohonan penambahan luasan adalah untuk pemanfatan perikanan secara tradisional, budidaya, dan wisata terbatas. Tujuan kegiatan adalah untuk memperoleh data potensi ekologi pada lokasi penambahan akses dari yang diajukan untuk pemanfaatan perikanan secara tradisional, budidaya, dan wisata terbatas. Metode melalui tatap muka/dialog dengan masyarakat, menentukan titik koordinat lokasi yang diajukan, *sampling,* dan pengambilan data. Metode survei disesuaikan dengan kondisi ekologi dan peruntukkan area. Hasil identifikasi menunjukkan potensi perairan lepas karang dimanfaatkan untuk mencari ikan permukaan dan penangkapan cumi-cumi dengan pancing dapat dijadikan atraksi wisata minat khusus. Lokasi budidaya di Sumur Bulung, Legon Boyo, dan Legon Sekoci secara ekologis ideal untuk budidaya menggunakan karamba. Terdapat bangkai kapal dapat dimanfaatkan untuk *wreck diving*. Sementara, Jeruk Wangi dan Barat Laut Kumbang sebagai lokasi pengamatan Kima memerlukan survei lebih lanjut.

Kata kunci: pemanfaatan, taman nasional, zonasi

ABSTRACT

Fishermen of Parang Village have traditionally used Karimunjawa waters even since Karimunjawa has not been designated as a national park area. Sentra Penyuluhan Kehutanan Pusat (SPKP) Prima is intended as an extension of the Parang Village community to get formal legal requirements in the use of Karimunjawa National Park traditional fishery zones. The high dependence on fishery resources and the decline in high economic catches prompted SPKP Prima Parang Village to apply for an increase in the access area. The proposed location covers the waters covering an area of 13,637.89 hectares. The application for additional area is for traditional fisheries utilization, aquaculture, and special interest tourism. The aim is to obtain data on ecological potential at the location of additional access from those requested for traditional fisheries utilization, aquaculture, and limited tourism. The method is through dialogue with the community, determining the coordinates of the requested location, sampling and data collection. The survei method is adjusted to ecological conditions and area designation. The potential of offshore coral waters can be utilized for surface fishing and squid fishing with fishing rods, making them special interest tourist attractions. Karamba/cage aquaculture sites in Sumur Bulung, Legon Boyo and Legon Sekoci are ecologically ideal for karamba aquaculture. Some shipwrecks can be used for wreck diving. Kima observation sites require a further survei . Based on these results, it should be considered to expand the area of access foor traditional use.

Keywords: *utilization, national park, zones*

PENDAHULUAN

Pemberdayaan masyarakat adalah upaya mengembangkan kemandirian dan kesejahteraan masyarakat dengan meningkatkan pengetahuan, sikap, keterampilan, perilaku, kemampuan, kesadaran, serta memanfaatkan sumber daya melalui penetapan kebijakan, program, kegiatan, dan pendampingan yang sesuai dengan esensi masalah dan prioritas kebutuhan masyarakat. Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2011 jo 108 Tahun 2015 menyebutkan bahwa pemerintah wajib melakukan pemberdayaan masyarakat di sekitar Kawasan Suaka Alam (KSA) dan Kawasan Pelestarian Alam (KPA). Diperkuat dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) Nomor 43 Tahun 2017 tentang Pemberdayaan Masyarakat di Sekitar KSA dan KPA, yang menyatakan bahwa pemberdayaan masyarakat di sekitar KSA dan KPA meliputi pengembangan desa konservasi, pemberian akses, fasilitasi kemitraan, pemberian izin pengusahaan jasa wisata alam, dan pembangunan pondok wisata (Palupi *et al.*, 2021).

Penunjukkan Sentra Penyuluhan Kehutanan Pusat (SPKP) Prima Desa Parang sebagai perpanjangan tangan masyarakat Desa Parang untuk memenuhi syarat legal formal dalam pemanfaatan zona tradisional perikanan. Nelayan Desa Parang secara turun menurun telah memanfaatkan Perairan Karimunjawa untuk aktivitas perikanan dan lainnya, bahkan sejak belum ditetapkannya Karimunjawa sebagai Kawasan Taman Nasional.

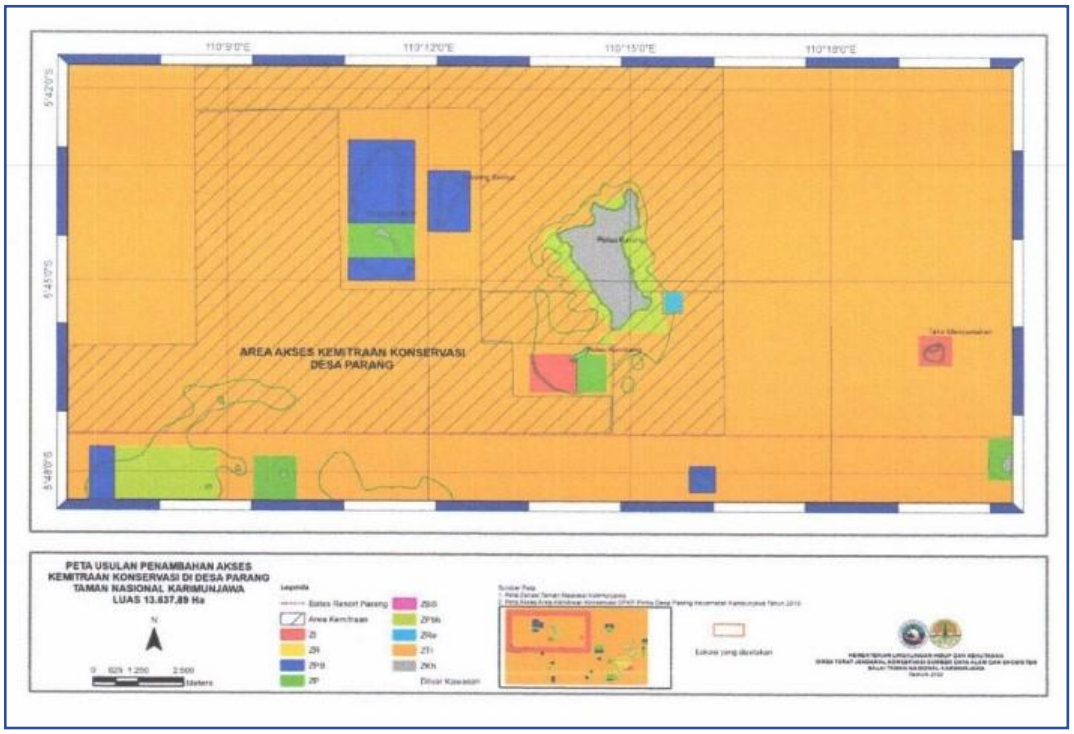
Selama ini Balai Taman Nasional Karimunjawa telah memiliki perjanjian kerja sama dengan SPKP Parang pada zona tradisional perikanan seluas 380 hektar. SPKP Prima Desa Parang bukan menjadi pemilik area akses, namun akses tersebut diberikan kepada seluruh warga Desa Parang. Akses area boleh dimanfaatkan oleh seluruh masyarakat Karimunjawa untuk mencari ikan dengan alat tangkap yang ramah lingkungan. Namun usaha budidaya di area Desa Parang hanya diperuntukkan bagi masyarakat Desa Parang.

SPKP Prima Desa Parang mengajukan permohonan untuk dapat menambah luasan pemberian akses area pemanfaatan pada zona tradisional perikanan dan zona budidaya Taman Nasional Karimunjawa lingkup Desa Parang atas nama warga Desa Parang. Lokasi yang diajukan untuk penambahan akses kemitraan konservasi Desa Parang meliputi perairan Pulau Parang, Pulau Kumbang, Pulau Kembar, hingga sebelah utara Pulau Katang seluas 13.637,89 hektar. Permohonan penambahan luasan adalah untuk pemanfatan perikanan secara tradisional, budidaya, dan wisata terbatas. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk memperoleh data potensi ekologi pada lokasi penambahan akses dari yang diajukan untuk pemanfaatan perikanan secara tradisional, budidaya, dan wisata terbatas.

METODE

Usulan penambahan akses meliputi Perairan Pulau Kumbang, Perairan Pulau Kembar, sebelah utara Karang Katang dan Perairan Pulau Parang. Permohonan penambahan luasan dimaksudkan untuk pemanfatan perikanan secara tradisional, budidaya, dan wisata terbatas sehingga metode yang digunakan menyesuaikan dengan tujuan tersebut.

Metode pencapaian tujuan melalui tahapan (1) tatap muka/dialog, dengan diskusi bersama anggota kelompok SPKP Prima Desa Parang terkait usulan penambahan akses; (2) menentukan titik koordinat lokasi yang diajukan pada lokasi pemanfaatan tradisional, lokasi budidaya dan lokasi wisata terbatas; (3) *sampling* , dengan mengambil data pada lokasi-lokasi yang ditentukan; (4) pengambilan data, disesuaikan dengan lokasi *sampling* hasil diskusi. Metode survei disesuaikan dengan kondisi ekologi dan peruntukan area.



Gambar 2. Peta usulan penambahan akses.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertemuan dan Diskusi

Pertemuan SPKP Prima dilaksanakan untuk memperoleh informasi terkait permohonan penambahan luasan akses kemitraan konservasi. Pada tahun 2019, Direktur Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem (KSDAE) Kementerian LHK memberikan arahan bahwa yang menjadi subjek dalam kemitraan konservasi adalah masyarakat sekitar zona tradisional. Lokasi areal kerja sama di Resort Parang seluas 380 hektar. Permohonan penambahan luas pemberian akses, dari 380 hektar menjadi 13.637,89 hektar diperlukan oleh masyarakat agar bisa memanfaatkan perairan sekitar Desa Parang untuk kepentingan tradisional perikanan setempat. Penambahan luasan akses tersebut harus benar-benar dipertimbangkan kesesuaiannya, agar tidak terjadi salah dalam pemanfaatannya. Diperlukan perencanaan dan kejelasan peruntukan dari luasan yang diajukan. Berdasarkan hasil diskusi dicatat beberapa poin penting, sebagai berikut:

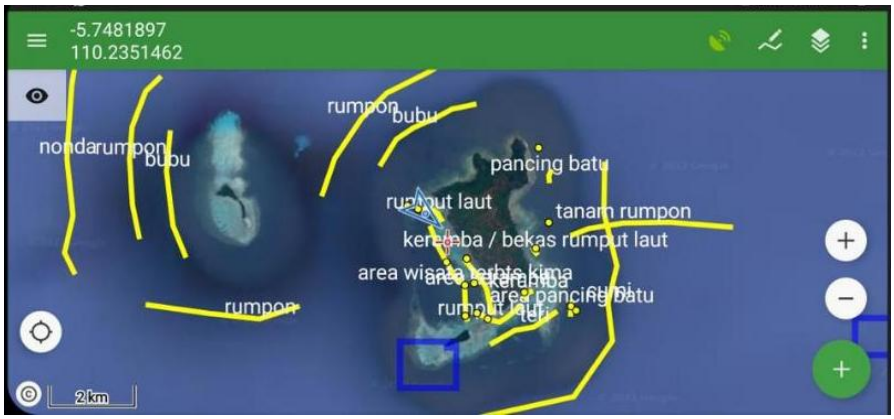
1. Kendala adanya musim paceklik selama hampir empat bulan, sekitar dua bulan di Musim Angin Timuran dan dua bulan di Musim Angin Baratan. Masyarakat setempat juga belum memiliki kalender musim untuk laut yang terdokumentasi. Kalender musim bisa dimanfaatkan sebagai pedoman perencanaan dalam perikanan tangkap, sebagai penanda untuk Bank Ikan. Karena dari kalender musim sebenarnya bisa untuk menandai masa-masa kritis yang menyangkut pemenuhan kebutuhan dasar dan terjadi berulang-ulang;
2. Terkait budidaya rumput laut, ada keinginan sebagian masyarakat untuk budidaya rumput laut tetapi terkendala hama. Lokasi di Jeruk Wangi dapat dicoba dilakukan pada perairan berarus kencang di Batu Mandi. Lokasi ini sebagai tempat pertemuan arus keluar masuk Perairan Pulau Kumbang. Lokasi lain adalah di Perairan Kunci sebagai lokasi lepas karang, namun ada kendala predator seperti penyu dan ikan samadar;
3. Untuk karamba biasanya dilakukan untuk ikan kerapu. Usaha budidaya kerapu selama ini berhasil, namun sejak pandemi COVID-19 kegiatan tersebut berhenti. Karamba biasanya diletakkan dekat dengan garis pantai untuk memudahkan pengawasan. Lokasi di perairan timur lebih terlindung karena ada karang tepi (*fringing reef*). Sementara pada sisi barat terkendala akses yang sulit sehingga pengawasan juga sulit dilakukan. Pada sisi barat perairan juga terkendala dengan angin besar seperti Angin Baratan. Lokasi selama ini terletak di Legon Ipik hingga Perairan Kunci, Perairan Timur Pulau Parang, dan depan dermaga barat;
4. Pemanfaatan wisata terbatas, Batu Merah sebagai lokasi wisata minat khusus *wreck dive*.

Perairan Gosong Kumbang ke arah Parang seringkali muncul lumba-lumba pada bulan Mei hingga Agustus;

5. Hampir semua lokasi Perairan Pulau Parang ditemukan komoditas cumi (April – Agustus), ikan tongkol (Agustus – Januari), ikan teri (setiap bulan antara tanggal 6 – 25 penanggalan hijriah), teripang (di atas gosongan), dan ikan tenggiri;
6. Rumpon, dipasang untuk menjebak ikan layang, kembung, tenggiri, kakap merah, dan badong. Lokasi pemasangan rumpon antara lain di Taka Besi, Katang, Kunci, Taka Selikur, dan Legon Gede; dan
7. *Speargun*, semua jenis ikan karang diambil dengan ukuran minimal sebesar telapak tangan, biasanya di Perairan Kunci, Batu Hitam, Ujung Karang, dan Kembar (memutar, kecuali di zona inti).

Survei Lokasi

Sesuai dengan hasil diskusi, dilakukan survei pada lokasi-lokasi yang menjadi rencana pemanfaatan jika diberikan penambahan luas akses pemanfaatan. **Gambar 2** merupakan penggambaran sementara dari hasil diskusi dengan anggota SPKP, melalui peta sederhana digambarkan oleh anggota SPKP. Warna kuning yang tertera dibuat berdasarkan keterangan hasil diskusi dan digambar langsung pada perangkat telepon genggam.



Gambar 3. Penggambaran sementara pola pemanfaatan dari hasil diskusi.

Sampling dan Pengambilan Data

Berdasarkan hasil survei dan *mapping* pola pemanfaatan ruang perairan, ditentukan pada lokasi mana yang akan dipergunakan sebagai lokasi *sampling* untuk setiap pola. Pola pemanfaatan ruang perairan tradisional menunjukkan kecenderungan: (1) titik karamba berada di sisi timur – selatan – barat Pulau Parang; (2) budidaya rumput laut pada sisi barat – selatan/tenggara Pulau Parang; dan (3) wisata pada sisi barat laut – selatan Pulau Parang.

Tabel 2. Penentuan lokasi dan metode yang digunakan.

No	Pola Pemanfaatan	Lokasi *Sampling*	Keterangan
1.	Karamba Ikan Kerapu	1. Sumur Bulung 2. Ujung Sarpah 3. Legon Boyo 4. Legon Sekoci 5. Ujung Bengkok	Metode *Point Intercept Transect* (PIT): 1. Untuk daerah yang direncanakan sebagai lokasi budidaya kerapu menggunakan keramba tancap. Transek dibuat tegak lurus garis pantai sepanjang 100 m dimulai dari pantai ke arah tubir.
2.	Wisata terbatas - Kima - *Wreck dive*	1. Jeruk Wangi 2. Barat Laut Kumbang Batu Merah (Kembang Gulo)	2. Untuk daerah yang direncanakan sebagai lokasi budidaya rumput laut, keramba apung, dan wisata terbatas, transek dibuat sejajar garis pantai sepanjang 50 m pada kedalaman 3-5 m. 3. Data tutupan substrat dasar dicatat pada setiap kelipatan 50 cm mulai dari angka 0 sampai 50 m atau 100 m.
3.	Budidaya rumput laut	1. Legon Ipik 2. Batu Mandi 3. Selat Buntung	*Belt Transect* ***Invalid source specified.***, untuk data *megabenthos*: 1. Untuk daerah yang direncanakan sebagai lokasi budidaya

No	Pola Pemanfaatan	Lokasi *Sampling*	Keterangan
4.	Pancing/ Pemanfaatan Perikanan Tradisional	Kondisional	kerapu menggunakan keramba tancap. Transek dibuat tegak lurus garis pantai sepanjang 100 m dimulai dari pantai ke arah tubir. Transek sabuk dengan pengamatan visual 1 m ke kiri dan 1 m ke kanan transek sehingga luas area yang diamati adalah 5 x 100 m^2 (500 m^2). 2. Untuk daerah yang direncanakan sebagai lokasi budidaya budidaya rumput laut, keramba apung dan wisata terbatas. Transek dibuat sejajar garis pantai sepanjang 50 m pada kedalaman 3-5 m. Transek sabuk dengan pengamatan visual 1 m ke kiri dan 1 m ke kanan transek sehingga luas area yang diamati adalah 5 x 50 m^2 (250 m^2).

Data Ekologi Berdasarkan Hasil Survei

Karamba

Metode *Underwater Photo Transect* (UPT) digunakan saat pengambilan data pada lokasi-lokasi yang tidak memungkinkan untuk dilakukan survei secara langsung karena kendala faktor alam. Visual sensus digunakan untuk survei ikan karang yang dilakukan bersamaan dengan survei karang dan transek yang digunakan adalah transek yang sama. Teknik pencatatan yang digunakan adalah teknik visual sensus, yaitu mencatat jenis dan jumlah ikan yang ditemukan. Pengamatan dilakukan dalam dua kali lintasan bolak-balik sepanjang transek (Marnane *et al.*, 2003).

Lokasi budidaya karamba di sekitar Perairan Parang yang selama ini dilakukan oleh masyarakat Desa Parang di Perairan Sumur Bulung, Legon Boyo, dan Legon Sekoci secara ekologis ideal untuk budidaya karamba. Pada ketiga lokasi ini substrat dasar perairan adalah substrat berpasir dan pecahan karang. Pada lokasi Ujung Bengkok substrat terdiri dari lamun dan berlumpur, namun pada lokasi ini memiliki kecepatan arusnya relatif cukup besar. Arus yang besar akan membantu pertukaran air dalam keramba, membersihkan timbunan sisa-sisa metabolisme ikan, dan membawa oksigen terlarut yang dibutuhkan ikan. Yang perlu diperhatikan pada lokasi Ujung Bengkok untuk budidaya karamba, substrat berlumpur akan membawa partikel dasar ke permukaan (*upwelling*) sehingga menyebabkan kekeruhan dan berpengaruh pada ketersediaan oksigen terlarut dalam karamba.

Tabel 3. Kondisi ekologis lokasi karamba ikan.

No	Lokasi	Substrat	Megabenthos	Ikan karang	Keterangan
1.	Sumur Bulung	Tutupan HC 47 %, pecahan karang 41%, karang mati, 8%, pasir 3%, dan alga 1 %	*T. squamosa, T. maxima*, oyster, bulu babi, kelinci laut	Apogonidae dan Pomacentridae	Jenis karang: *Acropora spp, Porites spp, Montipora spp, Anacropora sp,Sinularia sp, Turbinaria sp, Isopora sp, Millepora spp* makroalga: *Padina sp*
2.	Legon Boyo	Pasir 45%, Makroalga 25%, Lamun 22%, Pecahan karang 9%, Karang hidup 1%, Sponge 1%	Kerang kapak	Gobiidae	Jenis karang: *Acropora sp.* Jenis lamun: *Thalassia hemprichii, Halodule pinifolia, Enhalus acoroides* makroalga: *Padina spp, Sargassum sp, Caulerpa sp, Halimeda sp*
3.	Legon Sekoci	Pasir 77%, Lamun 20,9%, Pecahan karang 1,49%	Cent dollar Ceritium	Lobotidae	Jenis lamun: *Thalassia hemprichii, Enhalus acoroides, Cymodocea serrulata, Cymodocea rotundata*
4.	Ujung Bengkok	Pasir 41 %, Lamun 38,5%, Makroalga 10%, Karang hidup 3,5%	Holothuria atra Kerang kapak	Scaridae	Jenis karang: *Porites sp, Isopora sp* Jenis lamun: *Thalassia hemprichii, Halodule pinifolia, Enhalus acoroides, Halophila minor, Cymodocea serrulata, Halophila ovalis.* Jenis makroalga: *Padina spp, Sargassum sp, Caulerpa sp, Halimeda sp* Biota dijumpai: *Holothuria scabra*

Budidaya Rumput Laut

Pemilihan lokasi usaha budidaya rumput laut perlu mempertimbangkan jarak terhadap kawasan dengan aktivitas sosial yang sensitif dan berpotensi menjadi sumber polusi atau penyakit terhadap rumput laut (Mualam, 2022). Pemilihan lahan untuk budidaya merupakan salah satu hal yang sangat menentukan berhasil tidaknya suatu usaha budidaya rumput laut. Parameter yang berpengaruh terhadap pemilihan lahan budidaya rumput laut berdasarkan Agustina *et al.* (2027), yaitu:

(1) substrat sebagai parameter yang sangat berpengaruh dalam menentukan lokasi untuk lahan budidaya rumput laut. Substrat yang sangat tepat untuk budidaya rumput laut adalah karang berpasir;
(2) Gelombang sangat berpengaruh terhadap budidaya rumput laut, sebagai transportasi nutrien maupun kebersihan permukaan tanaman dari substrat yang menempel. Gelombang yang terlalu besar dapat menyebabkan kekeruhan perairan sehingga dapat menghambat fotosintesis, selain itu gelombang yang besar dapat menyulitkan proses budidaya rumput laut untuk menyerap nutrisi sehingga dapat menghambat pertumbuhan;
(3) Arus merupakan faktor yang harus diutamakan dalam pemilihan lokasi budidaya rumput laut karena arus yang kencang akan mempengaruhi sedimentasi dalam perairan, yang pada akhirnya mempengaruhi cahaya. Kecepatan arus yang sangat sesuai untuk penentuan lahan budidaya rumput laut adalah 0,25-0,40 m/s (Badan Standarisasi Nasional, 2011);
(4) Kecerahan, sedikit banyaknya sinar matahari yang menembus ke dalam perairan sangat bergantung dari kecerahan air. Semakin cerah perairan tersebut akan semakin dalam cahaya yang menembus ke dalam perairan dan semakin bagus untuk rumput laut melakukan fotosintesis;
(5) Kedalaman untuk penentuan lokasi budidaya rumput laut berkisar antara 2,9 – 4,1 m;
(6) Suhu sangat berpengaruh untuk pertumbuhan rumput laut dalam melakukan fotosintesis. Kenaikan suhu dapat menyebabkan *thallus* rumput laut menjadi pucat kekuning-kuningan;
(7) Spesies *Eucheuma cottonii* merupakan jenis rumput laut yang bersifat *stenohaline*. Tumbuhan ini tidak tahan terhadap fluktuasi salinitas yang tinggi karena dapat mempengaruhi proses *osmoregulasi* pada rumput laut. Kriteria yang cocok untuk budidaya rumput laut berkisar 28-37 ‰.

Tabel 4. Kondisi ekologis lokasi budidaya rumput laut.

No	Lokasi	Substrat	*Megabenthos*	Ikan karang	Keterangan
1.	Legon Ipik	Karang hidup 80%, karang mati 9%, pecahan karang 8%	*Tridacna squamosa, T. crocea,* oyster, teritip	*Pomacentridae*	Jenis karang: *Acropora spp, Porites spp, Fungia spp, Montipora spp, Pacyseris sp, Favia sp, Favites sp, Pavona cactus, Galaxea astreata*.
2.	Batu Mandi	Pasir 52%, karang hidup 20%, pecahan karang 9%, karang mati	Teritip, bulu babi, sea urchin, *T. maxima, T. crocea*	*Pomacentridae*	Jenis karang: *Acropora spp, Porites spp, Pavona cactus, Astreopora sp, Gardineroseris sp, Pachyseris sp, Favia sp, Favites sp, Pocillopora verrucosa*
3.	Selat Buntung	Karang hidup 45,5%, pecahan karang 27,7% dan karang mati 13%	*Tridacna crosea, T. squamosa, T. maxima*, oyster, sea urchin, bulu babi	*Pomacentridae*	Jenis karang: *Acropora spp, Porites spp, Montipora spp, Isopora sp, Anacropora sp, Astreopora sp*

Wisata Terbatas

Situs tenggelamnya kapal dapat dimanfaatkan untuk wisata minat khusus berupa wisata *wreck diving*. *Wreck diving* adalah salah satu tipe *diving* rekreasi di mana terdapat bangkai kapal tenggelam, lebih sering juga disebut dengan penyelamatan kapal tenggelam. Setiap *wreck* memiliki keunikan masing-masing dilihat dari jenis bangkai kapal, kondisi perairan, letak dan posisi tenggelam, kondisi lingkungan laut di mana kapal tenggelam, termasuk keunikan biota laut yang ada di dalamnya. di Perairan Pulau Parang terdapat bangkai kapal yang dikenal masyarakat setempat sebagai lokasi "*mbang gulo*", kemungkinan muatan kapal saat itu adalah kembang gula (permen).

Berdasarkan Laporan Inventarisasi dan Identifikasi *Wreck Dive Site* yang dilakukan oleh Balai Taman Nasional Karimunjawa pada tahun 2010 (Mulyadi *et al.*, 2010), diketahui bahwa kapal tersebut 90% dalam kondisi utuh kecuali ada beberapa bagian kapal yang hilang dan belum diketahui penyebabnya. Karang keras yang dijumpai di kapal tersebut adalah *Acropora spp, Porites spp, Astreopora sp, Favia sp, Favite sp, Pocilopora sp, Goniastrea sp, Plerogyra sp., Turbinaria sp, Fungia sp,* dan *Goniopora sp*. Karang yang menempel pada substrat kapal tenggelam tersebut sebagian besar mempunyai ukuran yang cukup besar terutama karang dengan koloni bercabang atau meja dan koloni berbentuk masif. Hal tersebut menandakan kondisi perairan sekitar kapal masih cukup baik dan menandakan usia kapal tersebut sudah cukup lama (Mulyadi *et al.*, 2010).

Lokasi Jeruk Wangi dan Barat Laut Kumbang diproyeksikan sebagai lokasi wisata minat khusus untuk pengamatan kima. Salah satu atraksi potensial pariwisata ini adalah keberadaan kima sebagai biota laut yang bersimbiosis dengan ekosistem terumbu karang, sehingga diharapkan atraksi wisata ini mampu memberikan dua manfaat, yaitu hadirnya perekonomian dan keberlanjutan biota kima sebagai biota yang berada di dalam *Appendix* II di daftar *Convention on International Trade in Endangered Species*|CITES (Lesmana & Wahyudin, 2016). Kima pada umumnya membutuhkan perairan yang dangkal pada daerah terumbu karang sebagai habitatnya. Kondisi perairan yang cocok untuk habitat kima adalah perairan yang jernih dengan salinitas yang tinggi, serta substrat yang cukup aman untuk menempelkan dirinya pada awal kehidupannya. Menurut cara hidupnya, *Tridacnidae* dibedakan ke dalam dua kelompok, yaitu kelompok yang meliputi kima yang hidup membenamkan tubuhnya pada karang, baik parsial ataupun seluruhnya, yaitu *T. crocea* dan *T. maxima*.

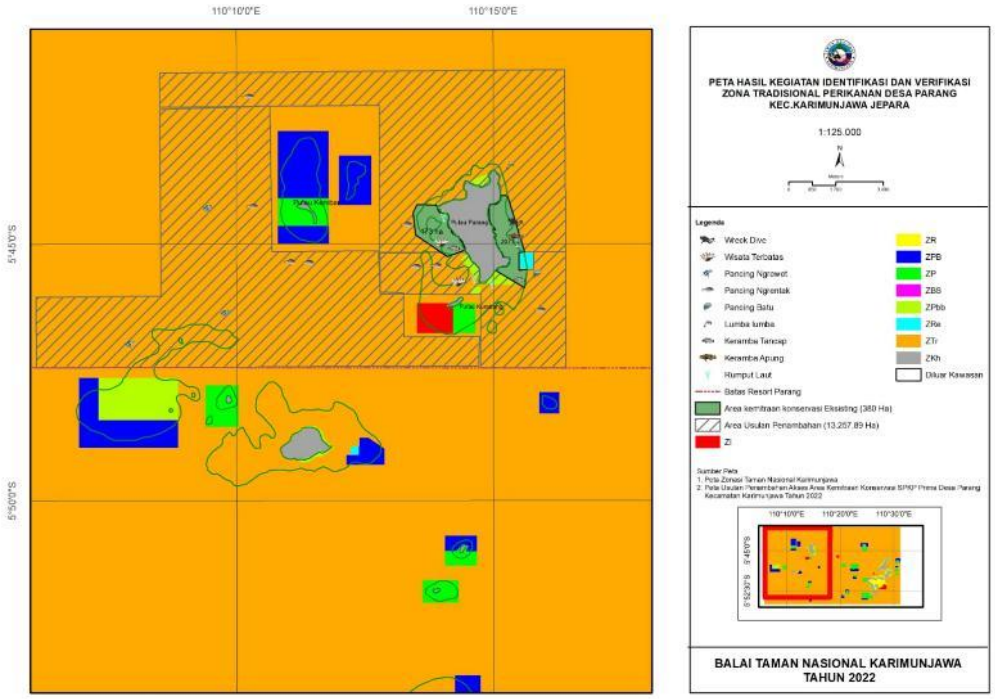
Sementara kelompok lainnya adalah kima yang hidup bebas, menempel atau bergeletak di atas batu karang atau dasar yang berpasir pada terumbu karang, yaitu *T. gigas, T. squamosa, Hippopus hippopus dan H. porsellanus*. Pada perairan Jeruk Wangi dan Barat Laut Kumbang dijumpai kima *T. crocea, T. maxima* dan T. *squamosa*. Laju pertumbuhan kima tidak sama tergantung spesiesnya. *Tridacna squamosa* dan *T. maxima* berukuran 35 – 40 cm dan yang terkecil ukurannya adalah *T. crocea* dengan ukuran terpanjang sekitar 15 cm. Kesesuaian wisata kima sebagai objek wisata selam dan *snorkeling* mempertimbangkan enam parameter yang mendukung yaitu: kepadatan kima, kecerahan perairan, kedalaman perairan, warna mantel kima, jumlah jenis kima, dan kecepatan arus (Rabiyanti, 2019). Penentuan lokasi Jeruk Wangi dan Barat Laut Kumbang sebagai lokasi wisata terbatas masih memerlukan survei lebih lanjut.

Pemanfaatan Tradisional Lainnya

Bidang pekerjaan yang digeluti beberapa warga Parang lainnya adalah sebagai pencari ikan permukaan khususnya teri. Mereka mencari ikan teri tak jauh dari bibir pantai pada malam hari. Peluang yang dimiliki adalah permintaan ikan teri cukup tinggi. Sedangkan ancamannya yaitu tergantung dengan cuaca, angina, dan penanggalan (purnama) sehingga tidak setiap hari mendapatkan hasil tangkapan yang bagus (Palupi *et al.*, 2021). Sebagian nelayan memasang rumpon di perairan lepas karang Parang. Rumpon dipasang untuk menjebak ikan-ikan layang, kembung, tengiri, kakap merah dan badong. Lokasi pemasangan rumpon antara lain Taka Besi, Katang, Kunci, Taka Selikur dan Legon Gede. Rumpon telah terbukti mampu mengumpulkan ikan yang tersebar di suatu daerah penangkapan tertentu sehingga lebih mudah untuk dimanipulasi tingkah lakunya dalam proses penangkapan (Prayitno, 2016). Manfaat penggunaan rumpon sebagai alat bantu penangkapan ikan adalah mengurangi waktu dan bahan bakar dalam

pengejaran kelompok ikan, meningkatkan hasil tangkapan per satuan upaya penangkapan, meningkatkan hasil tangkapan ditinjau dari spesies dan komposisi ukuran. Namun, kadangkala hilang karena dicuri oleh nelayan lain (Damayanti, 2019).

Pada saat dilakukan survei ekologi, pada perairan Pulau Parang keberadaan cumi-cumi sedang melimpah. Nelayan setempat biasa menangkap cumi menggunakan pancing cumi. Pancing cumi atau dikenal dengan *squid jigger* adalah pancing ulur yang berbentuk seperti cakar keliling dan bertingkat-tingkat, pancing cumi dihubungkan pada tali utama pancing dan tidak membuat cabang-cabang seperti pada pancing ulur lainnya. Satu unit alat tangkap pancing ini terdiri dari pancing dengan kail berbentuk seperti cakar atau menyerupai udang-udangan yang terbuat dari plastik dan kain yang mengkilap, tali utama atau *main line* menggunakan bahan nilon *monofilament*, *swivel* kecil dan penggulung tali utama. Alat ini digunakan oleh nelayan untuk menangkap cumi-cumi, selain biaya pembuatan yang murah, pancing cumi tergolong alat tangkap yang selektif (Sitompul, 2016). Waktu operasi penangkapan pancing ulur yang menggunakan umpan dapat dilakukan baik pada siang maupun malam hari. Sementara pancing ulur tanpa umpan harus dilakukan pada saat hari terang (Puspito, 2009). Hasil tangkapan dengan pancing ini bisa berupa ikan kurisi, ikan ekor kuning, kerong-kerong, manyung dan lain-lain.



Gambar 4. Peta potensi ekologi.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari kegiatan identifikasi dan verifikasi zona tradisional perikanan Desa Parang adalah data potensi ekologi pada lokasi penambahan akses dari yang diajukan untuk pemanfaatan perikanan secara tradisional perairan lepas karang dimanfaatkan untuk mencari ikan permukaan khususnya teri, memasang rumpon, dan pancing. Lokasi pemasangan rumpon antara lain di wilayah Taka Besi, Katang, Kunci, Taka Selikur, dan Legon Gede. Sementara, lokasi budidaya karamba di sekitar Perairan Parang yang selama ini dilakukan oleh masyarakat Desa Parang adalah di Perairan Sumur Bulung, Legon Boyo, dan Legon Sekoci secara ekologis ideal untuk budidaya karamba. Lokasi budidaya rumput laut di Legon Ipik, Batu Mandi, dan Selat Buntung substrat tersusun dari karang hidup, pecahan karang, karang mati, dan pasir. Terkait pemanfatan wisata terbatas, terdapat bangkai kapal yang dikenal masyarakat setempat sebagai lokasi "*mbang guld*" yang dapat dimanfaatkan untuk wisata minat khusus berupa wisata *wreck diving*. Selain itu, lokasi Jeruk Wangi dan Barat Laut Kumbang sebagai lokasi pengamatan kima masih memerlukan survei lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih untuk seluruh anggota tim atas kerja samanya mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga selesainya kegiatan. Kepada Kepala Balai Taman Nasional Karimunjawa beserta jajaran struktural Kepala Sub Bag Tata Usaha, Kepala Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN) I Kemujan serta Kepala SPTN II Karimunjawa atas dukungan anggaran, personil, dan fasilitasnya. Lebih khusus kepada Kepala Resort Parang, Supri, Fais, dan seluruh anggota SPKP Prima untuk semua bantuan informasi dan survei bersama.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, N.A., N.I. Wijaya, and V.D. Prasita. 2017. *Kriteria Lahan untuk Budidaya Rumput Laut (Eucheuma cottonii) di Pulau Gili Genting, Madura*. Surabaya: Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah.

Ardiwidjaja, R. 2017. *Pelestarian Tinggalan Budaya Bawah Air: Pemanfaatan Kapal Karam sebagai Daya Tarik Wisata Selam*. AMERTA, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Arkeologi 35 No.2: 75-148.

Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 7673.2:2011: *Produksi Bibit Rumput Laut Kotoni (Eucheuma cottonii)*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Damayanti, W. 2019. *Efektifitas Rumpon Portabel dalam Menciptakan Daerah Penangkapan Ikan bagi Perikanan Pancing Ulur*. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB.

Lesmana, D. & Wahyudin, Y. 2016. *Pemanfaatan Kima secara Berkelanjutan.* Jurnal Mina Sains 2 No.1 (2407-9030).

Mualam, A. 2022. *Optimalisasi Pemanfaatan Kawasan Budidaya Rumput Laut (Kappaphycus alvarezii) di Pesisir Kota BauBau*. Bogor: Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB.

Mulyadi, Rohman, E.A., Cahyadi, M.N., Sulisyati, R., & Abidin, Z. 2010. *Laporan Inventarisasi dan Identifikasi Wreck Dive Site di Taman Nasional Karimunjawa*. Semarang: Balai Taman Nasional Karimunjawa.

Palupi, A., Sulisyati, R., Ayunani, D.S., Mayranzah, D.F., Wibowo, A.A., Adriyanto, Y., Novimba, H., & Suyatno. 2021. *Laporan Identifikasi Sasaran Pemberdayaan Masyarakat Desa Parang*. Balai Taman Nasional Karimunjawa.

Prayitno, M.R.E. 2016. *Pemanfaatan Rummpon Laut dalam sebagai Daerah Penangkapan Ikan dan Dampaknya terhadap Keberlanjutan Sumber Daya Ikan*. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.

Puspito, G. 2009. *Pancing*. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB.

Rabiyanti, I. 2019. *Potensi Sumberdaya Wisata Bahari Berbasis Kima di Perairan Desa Morella, Maluku Tengah*. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.

Sitompul, M.M. 2016. *Hasil Tangkapan Cumi-cumi Berdasarkan Warna Lampu dan Waktu Penangkapan*. Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

MENGUKUR DAMPAK PERUBAHAN LANSKAP DAN KORELASINYA TERHADAP DAERAH POTENSI AIR DI KABUPATEN PENAJAM PASER UTARA

(*Measuring the Impact of Landscape Change and its Correlation to Potential Water Areas in Penajam Paser Utara District)*

Anjas Pramesti dan Reynalda Anindia Mawarni
PT Gerbang Inovasi Spasial

Jl. Griya Taman Asri, Grojogan, Pandowoharjo, Kec. Sleman, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
E-mail: anjaspramesti20@gmail.com

ABSTRAK

Kabupaten Penajam Paser Utara, seperti banyak daerah lainnya, tidak luput dari dampak perubahan lanskap yang terus berkembang. Kabupaten ini terletak di Provinsi Kalimantan Timur yang memiliki keanekaragaman lingkungan, termasuk sumber daya air yang penting bagi kehidupan dan keberlanjutan ekosistem. Salah satu dampak dari perubahan lanskap mulai dirasakan pada tahun 2023, menurut Pemerintah Daerah Penajam Paser Utara terdapat 2 desa yang mengalami krisis air bersih di Kecamatan Babulu. Berdasarkan laporan yang diterima terdapat 31 kepala keluarga (KK) dari 3 rukun tetangga (RT) di Desa Rintik dan 578 KK dari 16 RT di Desa Sumber Sari sehingga total 19 RT yang mengalami krisis air bersih. Hal ini menjadi dampak dari musim kemarau berkepanjangan dan kurangnya kemampuan suatu lahan untuk menyimpan air tanah. Penelitian tentang dampak perubahan lanskap menjadi semakin penting dalam konteks untuk memahami interaksi antara manusia dan lingkungan. Penelitian ini akan melibatkan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System* (GIS) dengan metode pengolahan data *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Data yang digunakan sebagai parameter penentuan zona potensi keterdapatan air tanah meliputi data geologi, geomorfologi, curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, lineament density, *topographic wetness index* (TWI), peta *topographic position* index (TPI), peta *topographic rugednessindex* (TRI), *curvature*, dan jenis tanah. Seluruh parameter tersebut diberi pembobotan dengan menggunakan metode AHP untuk menentukan potensi zona keterdapatan air tanah. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa potensi air tanah di Penajam Paser Utara berkorelasi dengan adanya perubahan penggunaan lahan yang pada akhirnya mempengaruhi daya serap suatu lahan untuk menyimpan air tanah.

Kata kunci: lanskap, daerah potensi air, perubahan tutupan lahan

ABSTRACT

Penajam Paser Utara Regency, like many other areas, is not immune to the ongoing impacts of landscape change. This regency is located in East Kalimantan Province, which boasts environmental diversity, including vital water resources crucial for life and ecosystem sustainability. One of the impacts of landscape change began to be felt in 2023, according to the Penajam Paser Utara Regional Government, with 2 villages experiencing a clean water crisis in the Babulu Subdistrict. Based on the received reports, there are 31 households (HH) from 3 neighborhoods (RT) in Rintik Village and 578 HH from 16 RT in Sumber Sari Village, totaling 19 RT experiencing a clean water crisis. This is a result of prolonged dry seasons and the land's inadequate ability to retain groundwater. Research on the impacts of landscape change is becoming increasingly important in the context of understanding the interaction between humans and the environment. This research will involve spatial analysis using Geographic Information Systems (GIS) with the Analytical Hierarchy Process (AHP) data processing method. Data used as parameters for determining potential groundwater availability zones include geological, geomorphological, rainfall, slope, land use, lineament density, topographic wetness index (TWI), topographic position index (TPI) map, topographic ruggedness index (TRI) map, curvature, and soil type. All of these parameters are weighted using the AHP method to determine the potential groundwater availability zones. From this research, it can be concluded that groundwater potential in Penajam Paser Utara correlates with changes in land use, ultimately affecting a land's ability to retain groundwater.

Keywords: *landscape, potential water areas, land cover change*

PENDAHULUAN

Dalam perkembangan era modern, perubahan lanskap merupakan fenomena yang tak terhindarkan. Pertumbuhan penduduk setiap tahun juga mengalami peningkatan yang berdampak pada sistem aktivitas penduduk, pembangunan infrastruktur, kebutuhan lahan hunian, dan perkembangan ekonomi suatu wilayah. Menurut Saldanela *et al.* (2015) peningkatan aktivitas penduduk berbanding lurus dengan perubahan lanskap dan dampak dari perubahan lanskap ini salah satunya mempengaruhi kondisi resapan air pada suatu wilayah.

Perubahan lanskap bisa disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah ekspansi perkotaan, pertanian intensif, hingga aktivitas industri. Kabupaten Penajam Paser Utara, seperti banyak daerah lainnya, tidak luput dari dampak perubahan lanskap yang terus berkembang. Perubahan lanskap yang berarti alih fungsi lahan, pada dasarnya peralihan lahan ini tidak bisa dihindari dalam proses Pembangunan (Eko & Rahayu, 2012; Lisdiyono, 2004). Kabupaten ini terletak di Provinsi Kalimantan Timur yang memiliki keanekaragaman lingkungan, termasuk sumber daya air yang penting bagi kehidupan dan keberlanjutan ekosistem.

Salah satu dampak dari perubahan lanskap mulai dirasakan pada tahun 2023, menurut Pemerintah Daerah Penajam Paser Utara terdapat 2 desa yang mengalami krisis air bersih di Kecamatan Babulu. Berdasarkan laporan yang diterima terdapat 31 kepala keluarga (KK) dari 3 rukun tetangga (RT) di Desa Rintik dan 578 KK dari 16 RT di Desa Sumber Sari sehingga total 19 RT yang mengalami krisis air bersih. Hal ini menjadi dampak dari musim kemarau berkepanjangan dan kurangnya kemampuan suatu lahan untuk menyimpan air tanah.

Penelitian tentang dampak perubahan lanskap menjadi semakin penting dalam konteks untuk memahami interaksi antara manusia dan lingkungan. Salah satu aspek yang penting terkait dengan perubahan lanskap adalah dampaknya terhadap daerah potensi air tanah. Menurut Saldanela *et al.* (2015), air tanah adalah air yang terdapat di dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan tanah yang berasal dari air hujan, salju ataupun sumber lainnya yang masuk ke dalam tanah dengan bantuan gravitasi. Air merupakan salah satu sumber daya alam yang tak ternilai harganya, berperan penting dalam mendukung kehidupan manusia, pertanian, industri, serta ekosistem secara keseluruhan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur dampak perubahan lanskap di Kabupaten Penajam Paser Utara dan mengkaji korelasinya dengan daerah potensi air di wilayah tersebut. Dengan memahami dampak perubahan lanskap terhadap daerah potensi air, diharapkan dapat diidentifikasi tantangan serta peluang dalam pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

Penelitian yang telah dilakukan telah dilakukan oleh Rafly *et al.* (2021) memanfaatkan Sistem Informasi Geografis untuk membantu pemetaan air tanah. Penggunaan SIG pada penelitian ini diterapkan untuk menentukan zona-zona potensi keterdapatan air tanah. Pada Penelitian ini kami juga melibatkan analisis spasial menggunakan *Geographic Information System (GIS)* serta pendekatan ilmiah untuk memahami hubungan antara perubahan lanskap dan kondisi daerah potensi air. Data-data seperti perubahan lanskap secara temporal dan berbagai parameter keterdapatan potensi air tanah akan dikumpulkan dan dianalisis guna memberikan pemahaman dampak perubahan lanskap di Kabupaten Penajam Paser Utara.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya pelestarian sumber daya alam, pembangunan berkelanjutan, serta pengelolaan yang efektif terhadap potensi air di wilayah ini. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengambilan kebijakan yang lebih terinformasi dan tepat sasaran dalam upaya menjaga keseimbangan ekologis dan ketersediaan sumber daya air.

METODE

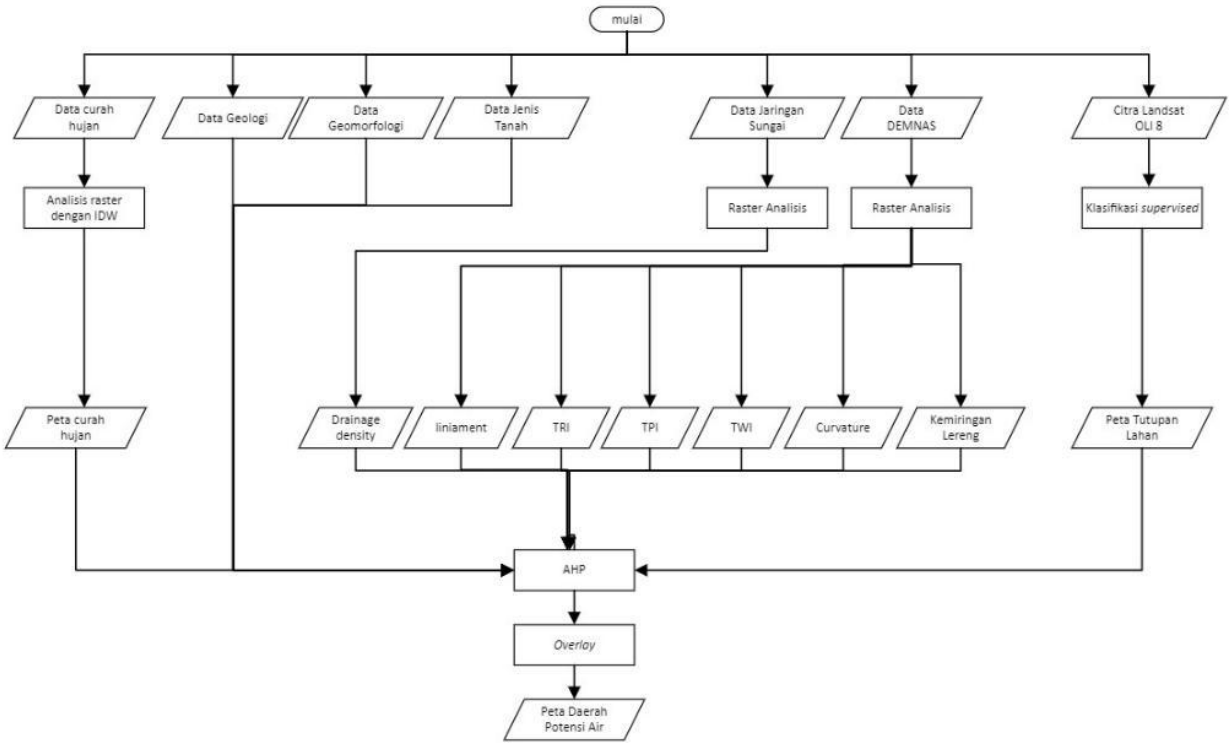
Penelitian ini menggunakan studi pustaka untuk melakukan analisis data sekunder berupa data-data spasial yang diperoleh melalui geoportal maupun pengolahan menggunakan *machine learning* yang selanjutnya data-data tersebut diolah menggunakan sistem informasi geografis. Kajian perubahan lanskap diolah menggunakan Google Earth Engine dengan algoritma *random forest* yang memanfaatkan data citra satelit Landsat 8 dan menghasilkan klasifikasi penggunaan lahan pada tahun 2013, 2018, 2021. Parameter zona keterdapatan air tanah dibobot melalui

proses pengolahan data *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Data yang digunakan sebagai parameter penentuan zona potensi keterdapatan air tanah meliputi data geologi, geomorfologi, curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, *lineament density*, *topographic wetness index* (TWI), peta *topographic position index* (TPI), peta *topographic rugednessindex* (TRI), curvature, dan jenis tanah. Seluruh parameter tersebut di beri pembobotan dengan menggunakan metode AHP untuk menentukan potensi zona keterdapatan air tanah. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk menghubungkan setiap parameter dan memberikan pembobotan berdasarkan kemampuan mereka untuk menyimpan dan meloloskan air. Selain itu, digunakan beberapa referensi tambahan untuk mengukur kemampuan masing-masing kategori. Pada akhirnya, hasil dari *overlay* keseluruhan parameter yang ada akan digunakan untuk membuat peta zona keterdapatan air tanah. Proses overlay menghasilkan nilai konstan antara nilai minimum dan nilai maksimum akan dibagi dengan jumlah kelas yang dibuat untuk mengkategorikan kembali hasil overlay menjadi lima kelas zona potensi keterdapatan air tanah. Berikut merupakan hasil pembobotan tiap parameter.

Tabel 1. Pembobotan parameter potensi air tanah.

No	Parameter	Ranking Data	Bobot Data	Persentase Bobot
1	TPI	3	0,05	5%
2	TRI	3	0,05	5%
5	Curvature	3	0,05	5%
3	Curah Hujan	4	0,67	6,67%
4	TWI	4	0,67	6,67%
6	Kemiringan Lereng	5	0,0833	8,3%
7	Drainage Density	5	0,0833	8,3%
8	Geologi	6	0,10	10%
9	Jenis Tanah	6	0,10	10%
10	Lineament	6	0,10	10%
11	Penggunaan Lahan	7	0,1167	11,6%
12	Geomorfologi	8	0,1333	13,3%

Sumber: Arulbalaji et. al. (2018)



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

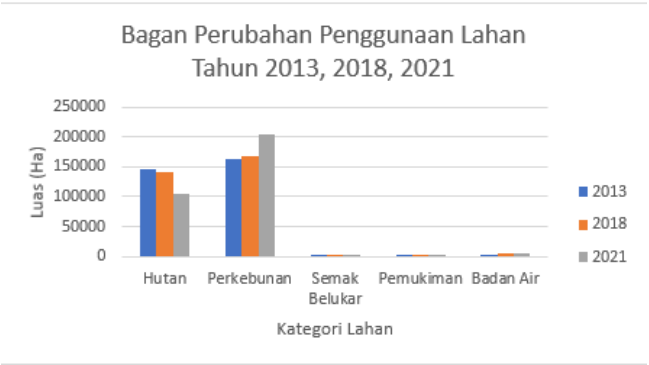
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Lanskap (Penggunaan Lahan)

Melalui pengolahan menggunakan machine learning Google Earth Engine, diketahui bahwa perubahan lanskap di Kabupaten Penajam Paser Utara menunjukan banyak perubahan khususnya pada bentang lahan hutan dan Perkebunan. Hasil pengolahan dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Gambar 2.**

Tabel 2. Perubahan Penggunaan Lahan Penajam Paser Utara Tahun 2013, 2018, 2021.

Penggunaan Lahan	Tahun		
	2013	2018	2021
Hutan	145194	141399	104940
Perkebunan	163892	166866	203228
Semak Belukar	3140	270	1339
Pemukiman	2284	3418	3641
Badan Air	3249	5808	4613

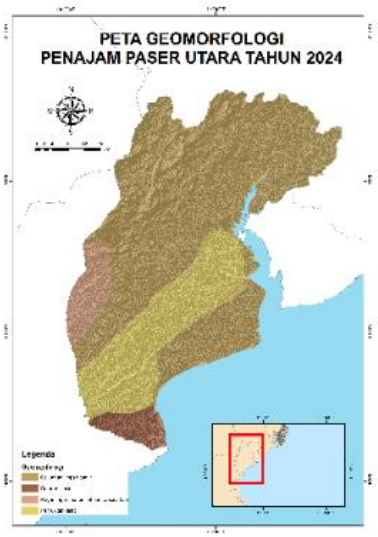


Gambar 2. Bagan Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2013, 2018, 2021.

Kajian Potensi Air Tanah

Aspek Geomorfologi

Aspek geomorfologi berhubungan dengan bentuk muka bumi yang meliputi proses - proses yang menyebabkan pembentukan, dan perubahan yang dialami oleh setiap bentuklahan yang dijumpai di permukaan bumi termasuk yang terdapat di dasar laut/samudera serta mencari hubungan antara bentuklahan dengan proses - proses dalam tatanan keruangan dan kaitannya dengan lingkungan.



Gambar 3. Peta Geomorfologi Kabupaten Penajam Paser Utara.

Pada kajian potensi air tanah ini, aspek geomorfologi diberi bobot berdasarkan kemampuannya dalam proses infiltrasi dan meloloskan air. Berdasarkan karakteristik dari bentuklahan tersebut, dapat diklasifikasikan dari bobot sangat rendah (perbukitan karst), rendah (cekungan limpah banjir), sedang (dataran aluvial), tinggi (pegunungan tua terlipat dan tersesarkan).

Aspek Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan pada wilayah penelitian terdiri dari pemukiman, hutan, perkebunan, semak belukar, dan badan air. Pemberian bobot pada aspek penggunaan lahan ini didasarkan pada kemampuan untuk menyerap air tanah. Tipe vegetasi sangat berpengaruh dalam menyerap air, semakin baik tutupan lahan maka semakin baik pula resapan air di daerah tersebut.

Dari hasil analisis dan berpedoman pada klasifikasi menurut Dirjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan (1998), aspek penggunaan lahan diklasifikasikan menjadi 5 kelas yakni sangat rendah (pemukiman, pekarangan, sawah), rendah (ladang, tegalan), sedang (semak belukar, padang rumput), tinggi (Hutan Produksi, Perkebunan), sangat tinggi (badan air, hutan lebat).

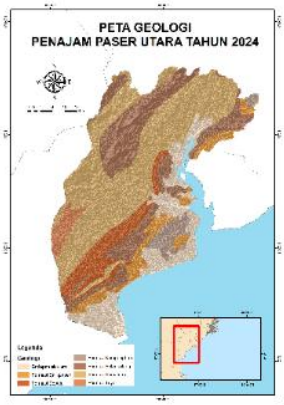


(a) (b) (c)

Gambar 4. Peta Penggunaan Lahan Penajam Paser Utara (a) Tahun 2013, (b) Tahun 2018, (c) Tahun 2021.

Aspek Geologi

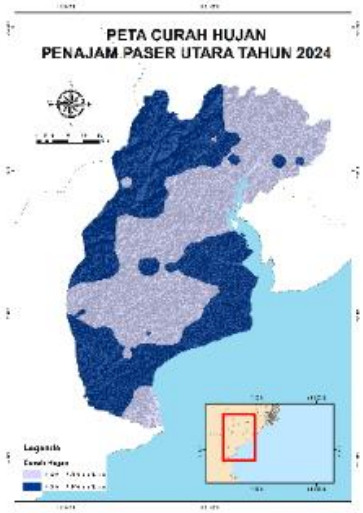
Batuan menjadi aspek yang penting yang memperngaruhi dalam proses menyimpan dan meloloskan air, untuk mengetahui bobot dari aspek geologi yang telah dibuat, tiap formasi batuan diidentifikasi terlebih dahulu karakteristIKNya dalam menyimpan dan meloloskan air. Proses identifikasi nillai permeabilitas ini dilakukan kesebandingan dengan karakteristik yang diketahui dalam Susianti *et al.* (2018), Kemudian tiap formasi batuan diklasifikasikan menjadi 4 kelas yaitu sangat rendah (Formasi Bebulu, dan Balikpapan), rendah (Formasi Kampungbaru), sedang (Formasi Palaubalang, Pamaluan, Tuyu), tinggi (Endapan Alluvium).



Gambar 5. Peta Geologi Penajam Paser Utara.

Aspek Curah Hujan

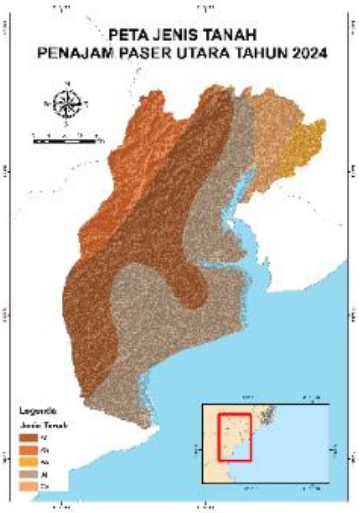
Hujan merupakan aspek penting dalam siklus hidrologi yang mempengaruhi keterdapatan air. Semakin besar curah hujan di suatu daerah memungkinkan keterdapatan air tanah yang tinggi pula (Arulbalaji et. al., 2018). Curah hujan yang dihitung adalah rerata curah hujan selama 10 tahun. Dari hasil perhitungan, curah hujan diklasifikasikan menjadi 5 kelas yakni kecil (<2500 mm), agak kecil (2500-3500 mm), sedang (3500-4500 mm), tinggi (4500-5500 mm), sangat tinggi (>5500 mm).



Gambar 6. Peta Curah Hujan Penajam Paser Utara

Aspek Jenis Tanah

Parameter tanah menjadi faktor cukup penting dalam menilai kemampuan suatu daerah menyerap air tanah. dalam penentuan bobot jenis tanah ini dilakukan kesebandingan dengan klasifikasi menurut Danaryanto, *et al.* (2007). Dari hasil analisis, aspek jenis tanah ini diklasifikasikan kedalam 3 kelas yaitu rendah (Fluvisols), sedang (Ferric Acrisols, Humic Acrisols, Orthic Acrisols), tinggi (Arenosol Kambik).

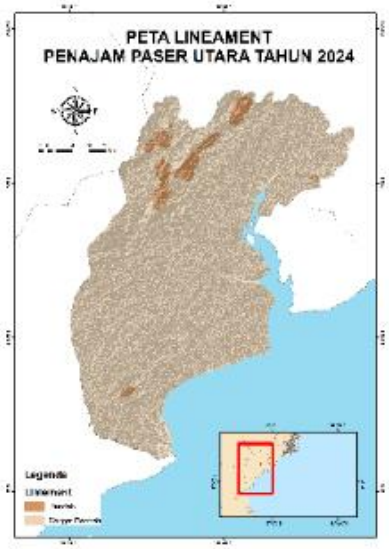


Gambar 7. Peta Curah Hujan Penajam Paser Utara

Aspek *Lineament*

Lineament adalah salah satu istilah yang menggambarkan kenampakan kelurusan pada permukaan linear dan dapat dipetakan, seperti garis patahan, lipatan atau garis retakan sebagai akibat proses kejadian geologi tertentu (O'Leary, et. al., 1976). Analisis lineament dapat dilakukan dengan menginterpretasi data DEM melalui kelurusan punggungan dan lembah. Kelurusan tersebut diinterpretasikan sebaga patahan atau lipatan yang terbentuk karena proses tektonik maupun vulkanik.

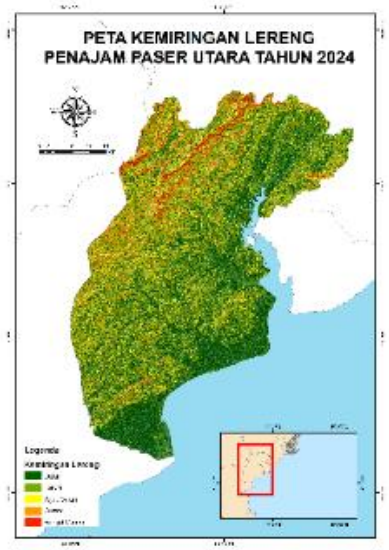
Kelurusan tersebut kemudian dianalisis densitasnya dan didapatkan nilai densitas. Diketahui bahwa di Penajam Paser Utara didominasi oleh kelas sangat rendah dan rendah. Dari perhitungan aspek *lineament*, didapatkan nilai densitas yang kemudian diklasifikasikan kedalam 5 kelas yaitu sangat rendah (0 – 0,39 km/km^2), rendah (0,39 – 0,78 km/km^2), menengah (0,78 – 1,17km/km^2), tinggi (1,17 – 1,56 km/km^2), sangat tinggi (1,56 – 1,96 km/km^2).



Gambar 8. Peta *Lineament* Penajam Paser Utara.

Aspek Kemiringan Lereng

Kemiringan tanah yang relatif terhadap bidang datar disebut kelerengan, yang biasanya ditunjukkan dalam derajat atau persen. Semakin landai suatu lereng maka run off akan berkurang dan berlaku pula sebaliknya. Semakin landai suatu lereng maka semakin tinggi tingkat infiltrasi yang terjadi sehingga keterdapatan potensi air tanah akan semakin tinggi. Pembagian kelas lereng yang dilakukan mengacu kepada pembagian kelas lereng menurut Van Zuidam (1985) yaitu kelas lereng datar (0.007° – 2°), sangat landai (2° – 4°), landai (4° – 8°), agak curam (8° – 16°), curam (16° – 35°), sangat curam (35° – 52°).

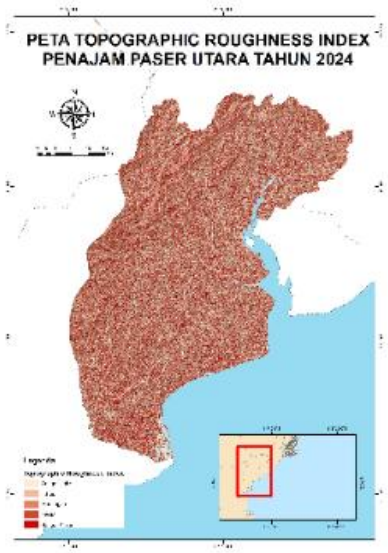


Gambar 9. Peta Kemiringan Lereng Penajam Paser Utara.

Aspek Topographic Roughness Index

Topographic Roughness Index (TRI) adalah perbedaan ketinggian antar *pixel* yang berdekatan

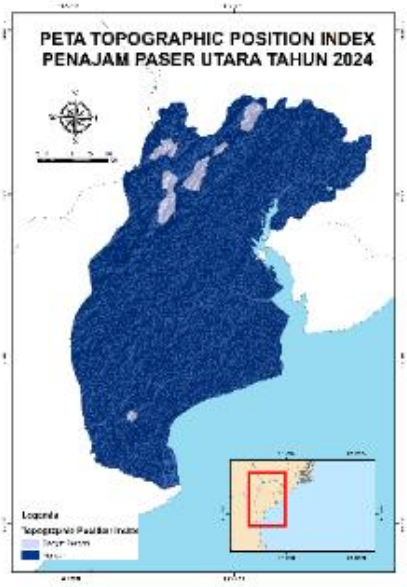
dalam DEM. Berdasarkan Arulbalaji et. al. (2018), nilai TRI berbanding terbalik dengan nilai infiltrasi. Hal ini karena relief yang kasar akan mengurangi tingkat infiltrasi di area tersebut. Dari hasil analisis TRI, didapatkan rentang nilai yang kemudian diklasifikasikan menjadi 5 kelas yaitu sangat halus (0,11 – 0,34), halus (0,34 - 0,46), menengah (0,46 - 0,53), kasar (0,53 – 0,64), dan sangat kasar (0,64 – 0,89).



Gambar 10. Peta TRI Penajam Paser Utara.

Aspek Topographic Position Index

Topographic Position Index (TPI) adalah sebuah algoritma yang membandingkan ketinggian *pixel* dalam DEM ke ketinggian rata-rata di sekitar *pixel* tersebut (De Reu, et. al., 2013). Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa pada sisi utara didominasi oleh kelas sangat rendah, sedangkan bagian selatan dikategorikan kelas rendah. Dari hasil analisis TPI didapatkan rentang nilai yang kemudian diklasifikasikan menjadi 5 kelas yaitu sangat rendah (-5,85 – -0,57), rendah (-0,57 – -0,22), menengah (-0,22 –0,07), tinggi (0,07 – 0,42), dan sangat tinggi (0,42 – 6,86).

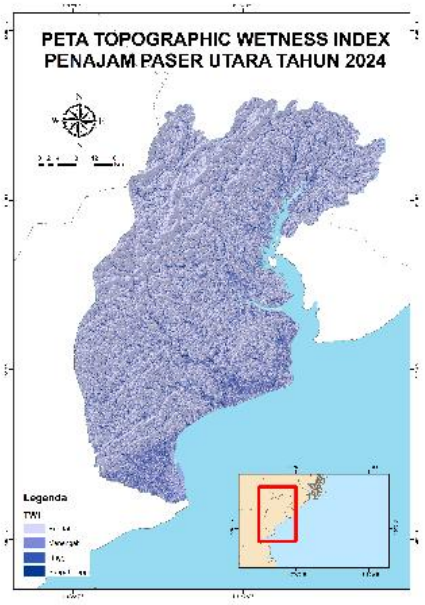


Gambar 11. Peta TPI Penajam Paser Utara.

Aspek Topographic Wetness Index

Nilai TWI menggambarkan tingkat kebasahan lahan. TWI digunakan untuk mengetahui suatu

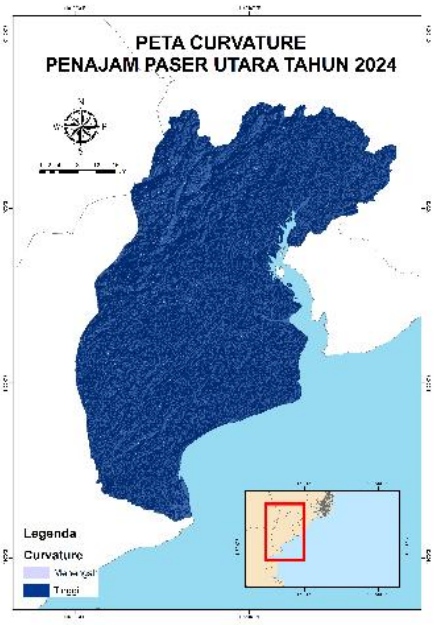
wilayah yang lebih lama tergenang. Berdasarkan Arulbalaji et. al. (2018), nilai TWI berbanding lurus dengan nilai infiltrasi, sehingga semakin tinggi nilai TWI maka potensi keterdapatan air tanah juga tinggi pula. Dari hasil analisis TWI didapatkan rentang nilai yang kemudian diklasifikasikan menjadi 5 kelas yaitu sangat rendah (-9,62 - -6,98), rendah (-6,98 – -5,32), menengah (-5,32 – -3,28), tinggi (-3,28 – 0,03), dan sangat tinggi (0,03 – 9,61).



Gambar 12. Peta TWI Penajam Paser Utara.

Aspek *Curvature*

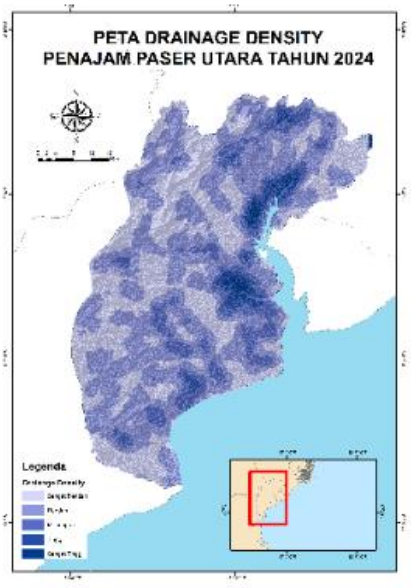
Menurut Arulbalaji et. al. (2018) *Curvature* merupakan gambaran kuantitatif dari permukaan bumi yang dapat berbentuk cekung maupun cembung. Nilai curvature berbanding lurus dengan potensi air tanah, semakin tinggi nilai *curvature*, maka tinggi pula kemungkinan infiltrasi dan potensi air tanah (Arulbalaji et. al., 2018). Dari hasil analisis *curvature* didapatkan rentang nilai yang kemudian diklasifikasikan menjadi 5 kelas yaitu sangat rendah (-177,74 – -35,13), rendah (-35,13 – -18,26), menengah (-18,26 – 1,39), tinggi (1,39 – 18,54), dan sangat tinggi (18,54 – 213,3).



Gambar 13. Peta Curvature Penajam Paser Utara.

Aspek *Drainage Density*

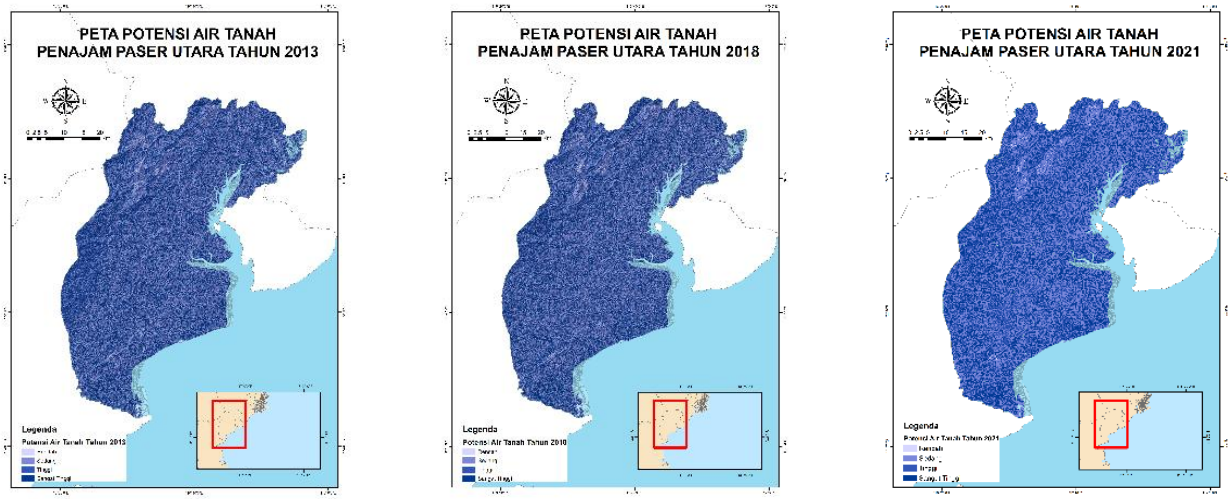
Drainage density merupakan tingkat intensitas kerapatan suatu aliran. Nilai Dd berbanding lurus dengan potensi air tanah, sehingga semakin besar nilai Dd maka semakin besar pula potensi keterdapatan air tanah yang ada. Dari hasil analisis nilai *drainage density* kemudian diklasifikasikan kedalam 5 kelas yaitu sangat rendah (0 – 0,122 km/km^2), rendah (0,122 – 0,372 km/km^2), menengah (0,372 – 0,64 km/km^2), tinggi (0,64 – 0,909 km/km^2), sangat tinggi (0,909 – 1,556 km/km^2).



Gambar 14. Peta *Drainage Density.*

Potensi Air Penajam Paser Utara

Peta potensi air dihasilkan dari overlay data geologi, geomorfologi, curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, *lineament density*, *topographic wetness index* (TWI), peta *topographic position index* (TPI), peta *topographic rugednessindex* (TRI), curvature, dan jenis tanah. Seluruh parameter tersebut di beri pembobotan dengan menggunakan metode AHP untuk menentukan potensi zona keterdapatan air tanah dan menghasilkan peta pada **Gambar 15**.



(a) (b) (c)

Gambar 15. Peta Potensi Air Penajam Paser Utara (a) Tahun 2013, (b) Tahun 2018, (c) Tahun 2021.

Tabel 3. Perubahan Luas Potensi Air Penajam Paser Tahun 2013, 2018, 2021.

No	Kategori	Luas (ha)		
		2013	2018	2021
1	Rendah	853	853	903
2	Sedang	112.145	113.212	113.533
3	Tinggi	91.640	93.754	93.472
4	Sangat Tinggi	95.183	92.003	91.913



Gambar 16. Grafik Perubahan Luas Potensi Air Penajam Paser Utara Tahun 2013, 2018, 2021.

Korelasi Perubahan Potensi Air Penajam Paser Utara dan Perubahan Lanskap

Berdasarkan hasil peta zona potensi air tanah pada tahun 2013, 2018, 2021 yang dibagi menjadi 4 kategori, diketahui bahwa pada zona potensi rendah terjadi kenaikan pada tahun 2021 menjadi seluas 903 hektar yang hanya mencakup 0,3% lokasi penelitian dan didominasi pada bagian tengah hingga ke utara hal ini berkorelasi dengan adanya perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi perkebunan dan pemukiman yang membuat daya serap air berkurang. Pada zona potensi sedang selama 10 tahun juga selalu mengalami kenaikan, pada tahun 2021 mencapai luas 113.533 hektar yang mencakup 37,9% lokasi penelitian dan mendominasi pada daerah tengah hingga utara hal ini berkorelasi dengan berubahnya area hutan menjadi wilayah Perkebunan. Kemudian pada zona potensi tinggi selama 10 tahun juga mengalami kenaikan, pada tahun 2021 mencapai luas 93.472 hektar yang mencakup 31,2% lokasi penelitian dan mendominasi daerah utara dan wilayah yang dekat dengan badan air hal ini berkorelasi dengan penambahan wilayah badan air contohnya seperti tambak pada tahun 2021. Namun pada zona potensi sangat tinggi, selama 10 tahun menurun cukup signifikan, pada tahun 2021 menyentuh luas 91.913 hektar yang mencakup 30,7% lokasi penelitian dan mendominasi bagian utara dan juga wilayah yang dekat dengan badan air, penurunan ini sejalan dengan banyaknya perubahan penggunaan lahan menjadi perkebunan, perkembangan perkebunan selama 10 tahun terlihat cukup signifikan sehingga dalam hal ini banyak mengurangi kemampuan tanah untuk menyimpan air.

KESIMPULAN

Perubahan lanskap di Kabupaten Penajam Paser Utara didominasi oleh area hutan menjadi perkebunan. Berdasarkan analisis yang dilakukan, diketahui bahwa potensi air tanah di Penajam Paser Utara berkorelasi dengan adanya perubahan penggunaan lahan yang pada akhirnya mempengaruhi daya serap suatu lahan untuk menyimpan air tanah. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan potensi air tanah di Penajam Paser Utara yakni dengan restorasi lahan gambut yang dapat membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas penyimpanan air, pengelolaan sumber daya air seperti sungai dan waduk untuk penyimpanan air, termasuk pengendalian sedimentasi dan perbaikan infrastruktur irigasi, mengadakan program

edukasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya konservasi air dan cara-cara menjaga ekosistem gambut, serta yang tidak kalah penting adalah penerapan perencanaan wilayah dan kota melalui RDTR atau RTRW yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung selama proses penulisan karya tulis ilmiah ini. Terima kasih kepada keluarga atas dukungan moral dan motivasi yang tak tergantikan.

DAFTAR PUSTAKA

Arulbalaji, P., Padmalal, D., dan Sreelash, k. (2019). *GIS and AHP Techniques Based Delineation of Groundwater Potential Zones: A Case Study from Southern Western Ghats, India*. Scientific Reports, 9(1), 1-17.https://doi.org/10.1038/s41598-019-38567-x.

Danaryanto, T. H., Setiadi, H., Siagian, Y. 2007. Kumpulan Pedoman Teknis Pengelolaan Airtanah. Badan Geologi: Bandung.

De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Van Meirvenne, M., Verniers, J., & Crombé, P. 2013.

Dirjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. (1998). Keputusan Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan Nomor: 041/Kpts/V/1998. Jakarta: Departemen Kehutanan.

Eko, T., & Rahayu, S. (2012). *Perubahan Penggunaan Lahan dan Kesesuaiannya terhadap RDTR di Wilayah Peri-Urban Studi Kasus: Kecamatan Mlati.* Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota, 8(4), 330-341.

Lisdiyono, E. (2004). *Penyimpangan Kebijakan Alih Fungsi Lahan dalam Pelestarian Lingkungan Hidup*. Majalah Ilmiah Hukum dan Dinamika Masyarakat.

O'Leary, D. W., Friedman, J. D., and Pohn, H. A. (1976) *"Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms"*, Geological Society America Bulletin 87: 1463-1469.

Marliana. (2023, 4 Oktober). Pemkab PPU Lakukan Distribusi Air Bersih di 2 Desa Terdampak Kekeringan. Penajam.go.id. Diakses pada 2 April 2024.

Saldanela., SutIKNo, S., & Hendry, A. (2015). *Pemetaan Pola Aliran Air Tanah Berbasis Sistem Informasi Geografis (Sig) di Kawasan Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru*. Jom FTEKNIK Volume 2 (1), 1-8.

PERUBAHAN KONSENTRASI UDARA AKIBAT DEFORESTASI AREA IKN

Studi Kasus Pengembangan Kawasan IKN

(*Air Concentration Change Due To Deforestation*)

Menliman Joyfal Gulo[1] , Amirul Fahmi Ash Shiddiqie[2] , Deril Shalom Pratama Sitohang[3] , Mujaddid Azka Fikri Ghajali[4] , Astri Sholikhah[4]

[1]Departeman Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
[2]Departeman Teknologi Kebumian, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
[3]Departeman Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
[4]Departeman Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: menlimanjoyfalgulo@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Pemindahan ibu kota negara ke Kalimantan Timur merupakan strategi untuk merealisasikan target ekonomi Indonesia 2045 melalui akselerasi pembangunan dengan konsep kota hijau. Namun, rencana pengembangan seluas 256.142 ha ini berpotensi menyebabkan deforestasi yang dapat menurunkan kualitas udara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak deforestasi terhadap kualitas udara di wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) dengan pendekatan sistem informasi geografis (SIG) dan penginderaan jauh. Data konsentrasi parameter polusi udara (SO_2, CO, NO_2) pada sebelum dan sesudah deforestasi yang terjadi seiring dengan pembangunan di IKN diakusisi dari *Google Earth Engine* (GEE). Data deforestasi akan dianalisis dengan metode *Supervised Classification* untuk memetakan perubahan tutupan lahan secara temporal. Sedangkan, pemetaan persebaran polusi udara akan dianalisis dengan melihat tren perubahan konsentrasi beberapa parameter polutan menggunakan data *time series*. Adanya analisis ini dapat diketahui pola hubungan antara laju deforestasi di suatu wilayah dengan perubahan kualitas udara akibat peningkatan konsentrasi polutan di wilayah tersebut. Analisis spasio-temporal ini diharapkan dapat menunjukkan adanya hubungan kausalitas dampak deforestasi terhadap penurunan kualitas udara di Ibu Kota Nusantara. Akurasi hasil klasifikasi akan diuji dengan *confusion matrix* berdasarkan referensi pengukuran lapangan serta data sekunder *AQMS*. Hasil yang diharapkan adalah pemetaan lokasi deforestasi dan konsentrasi polusi yang hilirnya dapat memberikan gambaran korelasi deforestasi terhadap penurunan kualitas udara di IKN. Hasil penelitian dapat digunakan untuk merumuskan strategi konservasi dan reklamasi hutan yang lebih baik guna meminimalkan dampak deforestasi terhadap kualitas udara di IKN.

Kata kunci: Deforestasi, SIG, Ibu kota Nusantara, Penginderaan Jauh, Polusi Udara

ABSTRACT

Relating the national capital to East Kalimantan is a strategy to realize Indonesia's 2045 economic target through accelerated development with a green city concept. However, this 256,142-ha development plan has the potential to cause deforestation which can reduce air quality. This study aims to analyze the impact of deforestation on air quality in the Capital City of the Archipelago (IKN) region using a geographic information system (GIS) and remote sensing approach. Concentration data of air pollution parameters (SO2, CO, NO2) before and after deforestation that occurred along with development in IKN were acquired from Google Earth Engine (GEE). The deforestation data will be analyzed using the Supervised Classification method to map temporal land cover changes. Meanwhile, the mapping of air pollution distribution will be analyzed by looking at trends in changes in the concentration of several pollutant parameters using time series data. This analysis can determine the pattern of the relationship between the rate of deforestation in a region and changes in air quality due to increased concentrations of pollutants in the region. This spatio-temporal analysis is expected to show a causal relationship between the impact of deforestation on air quality degradation in the capital city of the archipelago. The accuracy of the classification results will be tested with a confusion matrix based on reference field measurements and secondary AQMS data. The expected result is a mapping of deforestation locations and downstream pollution concentrations that can provide an overview of the correlation of deforestation to air quality degradation in IKN. The outcome of the study can be used to formulate better strategies for forest conservation and reclamation to minimize the impact of deforestation on air quality in IKN.

***Keywords**: Deforestation, GIS, Ibu kota Nusantara, Remote Sensing, Air Polution*

PENDAHULUAN

Kualitas udara menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kesehatan lingkungan. Pencemaran udara telah menjadi permasalahan global yang semakin mengkhawatirkan karena lebih dari 90% populasi dunia menghirup udara yang tidak memenuhi standar kualitas udara yang ditetapkan (WHO, 2022). Dampak pencemaran udara tidak hanya terbatas pada kesehatan manusia, tetapi juga berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Indonesia, sebagai salah satu negara dengan populasi terbesar di dunia, menghadapi tantangan serius terkait kualitas udara. Berdasarkan laporan Indeks Kualitas Udara (Air Quality Index/AQI) tahun 2021, Indonesia menempati peringkat ke-10 negara dengan udara paling tercemar di dunia. Salah satu penyebab utama rendahnya kualitas udara di Indonesia adalah deforestasi dan kebakaran hutan yang masif. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa laju deforestasi di Indonesia mencapai 634.000 ha per tahun pada periode 2014-2018 (KLHK, 2019). Deforestasi melalui pembakaran hutan tidak hanya melepaskan emisi gas rumah kaca ke atmosfer, tetapi juga menghilangkan fungsi hutan sebagai penyerap karbon dan penghasil oksigen.

Secara umum, deforestasi didefinisikan sebagai konversi lahan hutan menjadi penggunaan lahan lain, baik disebabkan oleh aktivitas manusia maupun faktor alam (FAO, 2020). Proses ini melibatkan perubahan area hutan menjadi lahan pertanian, padang rumput, reservoir air, pertambangan, dan area perkotaan. Deforestasi berdampak buruk pada kualitas udara karena hutan memiliki peran penting dalam proses oksigenasi. Deforestasi juga meningkatkan risiko bencana alam seperti banjir dan tanah longsor karena hilangnya fungsi hutan sebagai pengatur tata air (BNPB, 2020). Selain itu, adanya ancaman keanekaragaman hayati dan kehidupan masyarakat adat yang bergantung pada hutan juga dapat dipicu oleh adanya deforestasi (Wijedasa, 2022). Permasalahan deforestasi ini menjadi semakin krusial dengan adanya rencana pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur. Pulau Kalimantan merupakan salah satu pulau di Indonesia dengan tutupan hutan yang masih luas. Namun, pada periode 2015-2020 laju deforestasi di Kalimantan cukup tinggi, yaitu mencapai 189.612 Ha per tahun (BPS, 2021). Sehingga, pembangunan IKN dikhawatirkan akan mempercepat deforestasi dan mengancam kelestarian hutan serta kualitas udara di wilayah tersebut.

Deforestasi yang terjadi akibat pembangunan IKN berpotensi merusak ekosistem hutan hujan tropis di Kalimantan yang kaya akan keanekaragaman hayati. Hutan hujan tropis Kalimantan merupakan habitat bagi spesies langka seperti orangutan, bekantan, dan burung rangkong (Supriatna, 2022). Sehingga, adanya pembukaan lahan baru untuk pembangunan IKN dapat mengancam keberadaan spesies-spesies tersebut serta mengganggu keseimbangan ekosistem. Jika deforestasi terus berlanjut untuk pembangunan IKN yang direncanakan seluas 256 ribu ha menurut Undang-undang (UU) Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara, maka akan terjadi perubahan signifikan dalam komposisi udara di wilayah tersebut. Kualitas udara di Kalimantan saat ini masih relatif baik dibandingkan dengan wilayah lain di Indonesia. Berdasarkan laporan IQAir, kota-kota di Kalimantan seperti Balikpapan, Samarinda, dan Bontang memiliki tingkat polusi udara yang tergolong sedang (AQI, 2021). Namun, kondisi ini dapat mengalami perubahan yang signifikan jika deforestasi terus berlanjut sejalan dengan pembangunan IKN dan pertambahan jumlah penduduk.

Tujuan dari penelitian ini antara lain: (1) menganalisis dampak pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur terhadap kualitas udara di sekitarnya; (2) mengetahui potensi deforestasi dan dampaknya terhadap perubahan kualitas udara akibat proyek pembangunan IKN; (3) mengukur konsentrasi berbagai polutan udara meliputi (SO_2), (CO), dan (NO_2) dan memetakan titik-titik lokasi kritis; dan (4) merumuskan rekomendasi dan strategi mitigasi untuk mengendalikan deforestasi dan menjaga kualitas udara sesuai konsep kota hijau di wilayah Ibu Kota Nusantara.

TINJAUAN PUSTAKA

Deforestasi telah menjadi topik penelitian yang banyak dikaji karena dampaknya terhadap kualitas udara. Friedlingstein *et al.* (2019) menyebutkan bahwa deforestasi berkontribusi sekitar 20% dari total emisi karbon global. Penelitian Ghinaa Gooniyyah Zalsabilla Viedra dan Bangun

Muljo Sukojo dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember menganalisis pengaruh laju deforestasi terhadap konsentrasi polutan udara (SO_2 dan NO_2) dan suhu permukaan lahan (LST) di Kalimantan Timur pada tahun 2019-2020. Mereka menggunakan citra Landsat 8 dan Google Earth Engine. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata LST di Kalimantan Timur pada 2019-2020 adalah 24,2°C, meningkat 2°C dari tahun sebelumnya. Konsentrasi SO_2 maksimum 0,521 ppm dan rata-rata tahunan meningkat 0,011 ppm. Konsentrasi NO_2 maksimum 189,771 µg/m³ dan rata-rata tahunan meningkat 0,757 µg/m³. Uji korelasi menunjukkan korelasi sangat kuat antara laju deforestasi dengan peningkatan SO_2, NO_2, dan LST di Kalimantan Timur. Berkaitan dengan dampak pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur, penelitian Kinnaird *et al.* (2022) mengindikasikan potensi deforestasi sekitar 130.000 ha hutan primer dan sekunder serta hilangnya keanekaragaman hayati. Proyek ini berpotensi mempengaruhi kualitas udara di wilayah tersebut. Oleh karena itu, penelitian korelasi antara deforestasi akibat pembangunan IKN dengan perubahan kualitas udara di Kalimantan Timur menjadi penting untuk mendukung kebijakan pembangunan yang berkelanjutan dan menjaga kelestarian lingkungan.

METODE

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan ialah Laptop, *Google Earth Engine* untuk melakukan pengolahan data citra khususnya citra pada Satelit Landsat-8 untuk mengetahui deforestasi dan Satelit Sentinel 5-P untuk mengetahui data konsentrasi tiap senyawa pada udara (khususnya senyawa yang berpotensi menjadi polusi) pada IKN, *software* ArcMap 10.5 untuk melakukan *layouting* peta dan analisis spasial, *software* SPSS IBM Versi 23 untuk mengolah data statistik, serta Microsoft Office 365 untuk pengolahan data statistika pada konsentrasi udara dan pembuatan *paper.*

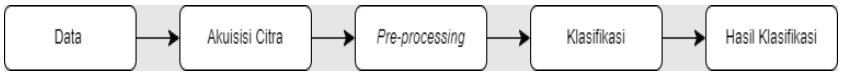
Tabel 5. Data dan spesifikasi citra yang digunakan.

Citra	Resolusi	Band	Keterangan dan Kegunaan
LANDSAT/LC08/C02/T1_L2	30 m	Band multispektral dan thermal	Citra Landsat 8 level 2 yang telah dikoreksi secara radiometrik dan geometrik. Terdiri dari band-band multispektral (visible, NIR, SWIR).
COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_SO2	7 x 3,5 km	SO_2, CO, NO_2	Citra ini menyediakan data konsentrasi gas di atmosfer. Untuk analisis ambien komposisi kolom udara

Akuisisi Data

Pada penelitian ini, tahapan akusisi dibagi menjadi 3 tahap, yaitu:

1. Akuisisi laju deforestasi dari citra satelit Landsat-8
   Penelitian ini menggunakan citra Landsat-8 Level 2 Surface Reflectance Tier 1 periode 2019-2023 dari platform *Google Earth Engine*. Pengolahan data citra meliputi cloud masking untuk menghilangkan area tertutup awan dan bayang-bayang, serta filtering koleksi citra berdasarkan tanggal akuisisi, sudut pandang, atau kualitas citra menggunakan fungsi seperti *ImageCollection.mosaic() atau ImageCollection.qualify().* Prosesnya dilakukan dengan diagram berikut:



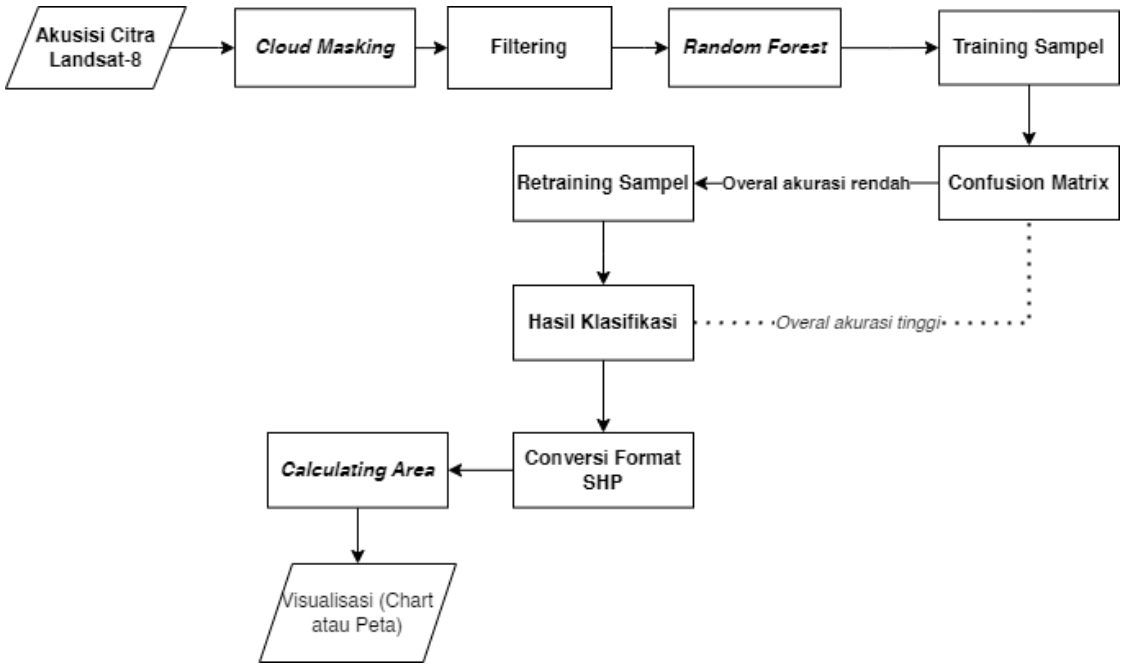
Gambar 1. Diagram alir proses akuisisi pada *Google Earth Engine*.

Sampel dikelompokkan menjadi empat kategori: badan air, tegalan, vegetasi, dan lahan

terbangun. Penentuan keempat kategori sampel dilakukan secara manual untuk membentuk data latih (*training sample*). Selanjutnya, terdapat data uji yang digunakan untuk memvalidasi keakuratan data latih. Biasanya, penentuan data uji dilakukan melalui pengamatan langsung atau survei lapangan. Namun, dalam penelitian ini, data uji ditentukan dengan membuat *Point of Interest* (POI) berupa titik sebagai *Assessment Accuracy*. Selain itu, penilaian akurasi dari data latih ini juga dapat disebut sebagai *Self Accuracy Assessment*, yang merupakan evaluasi dari keakuratan data latih itu sendiri. Namun, metode ini dianggap kurang efektif karena kebenaran dari ROI data uji sangat bergantung pada kemampuan interpreter. Oleh karena itu, keakuratan data uji ini bersifat subjektif dan tergantung pada pengalaman serta pengetahuan interpreter.

Tabel 2. Jumlah poin data sampel dan data uji untuk setiap tutupan lahan.

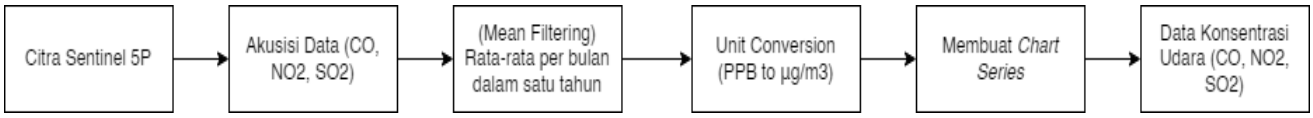
Jenis Lahan	Jumlah Data Latih	Jumlah Data Uji
Vegetasi	15	5
Badan Air	6	6
Tegalan	5	6
Lahan Terbangun	6	4
Total	32	21



Gambar 2. Diagram alir akuisisi klasifikasi area vegetasi untuk menunjukan laju deforestasi.

2. Akuisisi konsentrasi CO, NO_2, SO_2 dari citra satelit Sentinel 5-P
   CO, NO_2, dan SO_2 merupakan senyawa pada atmosfer yang kerap kali terbentuk akibat adanya pencemaran udara. Ketiga senyawa ini merupakan senyawa yang berbahaya dan mencemari udara (polutan). Pada penelitian kali ini dilakukan akuisisi data dari tahun ke tahun bagamana konsentrasi dari ketiga unsur ini. Alasan ketiga unsur ini yang diteliti ialah karena dari semua senyawa yang menjadi polutan, Satelit Sentinel 5-P lebih *reliable dan* akurat dalam merekam konsentrasi ketiga senyawa tersebut dari tahun ke tahun dibandingkan dengan unsur lain. Estimasi konsentrasi CO, NO_2, dan SO_2 dilakukan untuk melihat apakah deforestasi dapat mempengaruhi bagaimana perubahan konsentrasi senyawa-senyawa tersebut. Pengolahan citra ini dilakukan pada *Google Earth Engine* dengan langkah-langkah yang dilakukan seperti pada

diagram alir berikut.



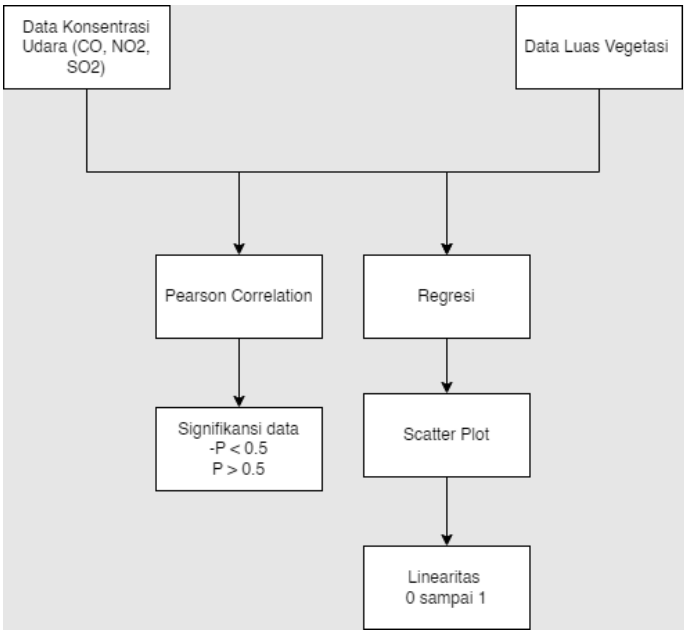
Gambar 3. Diagram alir akuisisi data konsentrasi udara.

Pada bagian *Mean Filtering*, digunakan data dari tahun 2019 - 2023 dengan menggunakan bahasa pemrograman pada *Google Earth Engine*. Kemudian, data-data tersebut diubah ke dalam satuan µg/m³ yang awalnya Satelit Sentinel 5-P masih menggunakan satuan ppb (*part per billion*). Kemudian dari hasil ini dibuat sebuah *chart series* berdasarkan tahun ke tahun. Data yang diperlukan ialah konsentrasi min, max, dan rata-rata dari tiap tahun (dalam rentang waktu 12 bulan). Rumus konversi konsentrasi ini ialah dengan:

$$C = \frac{C_{col}}{H} \text{ x M x A} \quad \text{.....(1)}$$

Di mana:
C_{col} : kandungan polusi pada 1 kolom (mol/m²)
H : Panjang kolom (m)
M : massa molar (gr/mol)
A : Konstanta = 1000 (hasil konversi dari gr/m³ ke mg/m³)

3. Korelasi laju deforestasi dan perubahan konsentrasi udara (khususnya senyawa SO2, CO, NO2)
   Dalam penelitian ini, kami menggunakan metode analisis statistik untuk menggali hubungan antara kedua variabel ini. Data konsentrasi udara, seperti CO, NO_2, dan SO_2, dianalisis untuk mengidentifikasi tren dan fluktuasi, sementara data laju deforestasi dianalisis untuk melihat perubahan luas hutan seiring waktu. Kami membuat grafik regresi dengan sumbu x mewakili waktu (misalnya, tahun) dan sumbu y mewakili konsentrasi udara atau laju deforestasi. Kemiringan positif pada garis regresi menunjukkan hubungan positif antara kedua variabel, sementara kemiringan negatif menunjukkan hubungan negatif.



Gambar 4. Diagram alir proses korelasi antara laju deforestasi dan konsetrasi polusi udara.

ANALISIS DATA

Algoritma *Random Forest*

Algoritma *Supervised Random Forest* merupakan metode *ensemble learning* yang

mengombinasikan banyak pohon keputusan (*decision trees*) untuk meningkatkan akurasi model dan menghindari overfitting (Belgiu, 2022). dalam konteks penentuan klasifikasi lahan, *Random Forest* dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kelas tutupan lahan berdasarkan fitur-fitur seperti nilai spektral citra satelit, indeks vegetasi, tekstur, dan variabel spasial lainnya (Prasetiyowati, 2022).

Confusion Matrix

Confusion Matrix merupakan sebuah metode yang sering digunakan dalam *machine learning* yang berguna untuk mengevaluasi dan memvisualisasi model sebuah klasifikasi khususnya *supervised classification*. di dalam *confusion matrix* ini terdapat beberapa aspek yang nantinya dapat menginterpretasikan sampel yang kita uji (prediksi) dan sampel yang sebenarnya (aktual). Terdapat *overall accuracy, user accuracy, consumer accuracy, dan koppa statistic*. Contoh tabel *Confusion Matrix dan* perhitungan rumus tiap aspeknya dapat dilihat pada tabel dan persamaan berikut.

Tabel 3. *Confusion Matrix.*

	Kelas Tutupan Lahan	Data Uji				Jumlah
		A	B	C	D	
Data Latih	A	X_{JJ}	…	…	…	X_{K+}
	B	…	…	…	…	…
	C	…	…	…	…	…
	D	…	…	…	X_{KK}	…
	Jumlah	X_{K+}	X_{2+}	X_{3+}	X_{4+}	N

Sumber: Afasel et al. (2022)

Persamaan *Overall Accuracy*:

$$\frac{\sum_{i}^{r=1} X_n}{\mathrm{N}}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2)}$$

Persamaan *User Accuracy*:

$$\frac{\mathrm{X_n}}{\mathrm{X_{k+}}} \text{ x } 100\% \quad \text{.....(3)}$$

Persamaan *Consumer Accuracy*:

$$\frac{x_{kk}}{x_{k+}} \text{ x } 100\% \quad \text{.....(4)}$$

Persamaan *Kappa Statistic*:

$$\frac{N \sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} x_{i+}.x_{+i}}{N^2 - \sum x_{i+}.x_{i+}} \text{ x } 100\% \quad \text{.....(5)}$$

Di mana:

X_{ii} : Nilai diagonal dari matrix kontingensi baris ke-i dan kolom k-i
X_{i+} : Jumlah piksel dalam kolom ke-i
X_{+i} : jumlah piksel dalam baris ke-i
N : Banyaknya piksel dalam contoh

Dalam penelitian ini, fokus utama ialah pada *overall acuracy*. Nilai o*verall accuracy* yang tinggi mengindikasikan kinerja model yang baik dalam memprediksi kelas dengan tepat. Adapun kategori overall accuracy menurut Fernández *et al.* (2018) adalah: sangat baik (>90%), baik (80-90%), cukup (70-80%), buruk (<70%). Meskipun tidak ada kategori baku, *overall accuracy* tetap menjadi kriteria penting dalam pemilihan model klasifikasi terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

ESTIMASI LAJU DEFORESTASI TAHUN 2019-2023

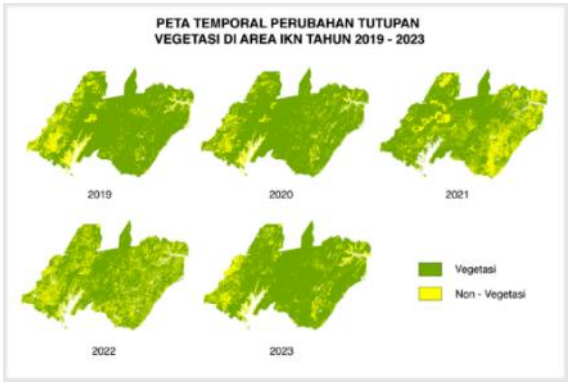
Berdasarkan **Tabel 4**, diketahui estimasi dari konsentrasi awal gas SO_2,NO_2, dan CO dari tahun 2019-2023. Pada tahun 2019, konsentrasi SO_2 rata-rata 75,566 µg/m3, NO_2 rata-rata 3,235 µg/m^3, dan CO rata-rata 1,293 µg/m^3. Pada tahun 2020, terjadi perubahan konsentrasi SO_2 rata-

rata menjadi 106,833 µg/m^3, rata-rata NO menjadi 3,837 µg/m^3, dan CO rata-rata menjadi 8,054 µg/m^3. Tahun 2021 menunjukkan peningkatan lebih lanjut pada konsentrasi SO_2 dengan perubahan rata-rata menjadi 110,830 µg/m^3, NO_2 dengan rata-rata 4,509 µg/m^3, dan CO dengan rata-rata 9,677 µg/m^3. Peningkatan signifikan ini dikaitkan dengan kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di area IKN pada tahun tersebut, seperti yang dilaporkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2021).

Tabel 4. Konsentrasi SO_2,NO_2, dan CO di Ibu Kota Nusantara (IKN) pada tahun 2019-2023.

Tahun	SO_2			NO_2			CO		
	Min µg/m^3	Maks µg/m^3	Rata-Rata µg/m^3	Min µg/m^3	Maks µg/m^3	Rata-Rata µg/m^3	Min µg/m^3	Maks µg/m^3	rata-rata µg/m^3
2019	75.566	121.112	93.867	3.236	5.471	4.183	6.966	11.293	8.591
2020	90.061	140.995	106.835	2.860	4.666	3.837	6.744	8.886	8.054
2021	85.664	153.387	110.830	2.105	5.419	4.509	6.696	9.275	7.677
2022	79.102	131.320	108.162	3.116	5.430	4.491	6.652	8.426	7.533
2023	96.514	127.056	109.591	3.496	6.338	4.813	6.849	10.221	8.294

Pada tahun 2022, ketiga jenis gas mengalami penurunan konsentrasi dimana rata-rata SO_2 berubah menjadi 108,162 µg/m^3, dan perubahan konsentrasi NO_2 dan CO masih tinggi dengan rata-rata 4,491 µg/m^3 dan 7,533 µg/m^3. Penurunan ini dapat terkait dengan upaya rehabilitasi dan penghijauan kembali di area IKN setelah kejadian kebakaran pada tahun sebelumnya. Setelah turun pada tahun 2023, konsentrasi SO_2, NO_2, dan CO kembali mengalami kenaikan rata-rata menjadi 109,591 µg/m^3, 4,813 µg/m^3, dan 8,294 µg/m^3.



Gambar 6. Peta temporal perubahan tutupan vegetasi di area IKN tahun 2019-2023.



Gambar 7. Grafik perubahan luasan vegetasi di IKN tahun 2019-2023.

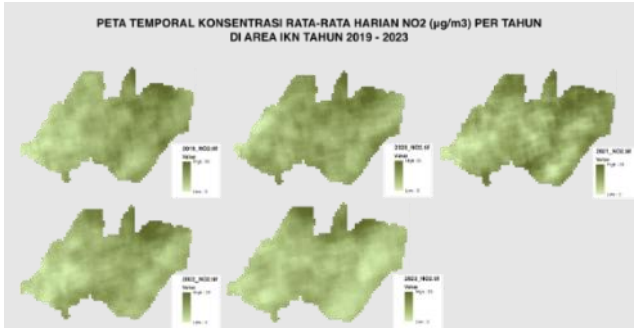
Berdasarkan **Gambar 6** dan **Gambar 7** diketahui perubahan tutupan vegetasi di area IKN tahun 2019-2023. Pada tahun 2019, area IKN terlihat didominasi oleh tutupan vegetasi yang padat dan luas yaitu mencapai sekitar 212.000 Ha, divisualisasikan dengan warna hijau yang mendominasi peta. Ini menunjukkan bahwa sebelum pembangunan IKN dimulai, kawasan tersebut sebagian besar masih merupakan area hutan atau lahan bervegetasi alami. Melalui grafik perubahan luasan vegetasi pada **Gambar 7**, diperoleh data adanya fluktuasi luasan lahan hijau dari tahun 2019 hingga 2023.

Data tahun 2019-2020 pada grafik menunjukan peningkatan luasan vegetasi sekitar menjadi 227.000 Ha. Perubahan ini terjadi karena faktor peningkatan kegiatan perkebunan dan pertanian dengan kata lain terdapat kegiatan alih fungsi lahan non-vegetasi ke vegetasi komersial. Menurut data dari Badan Pusat Statistik Kalimantan Timur (2021), luas area perkebunan di Kabupaten Penajam Paser Utara meningkat dari 30.626 Ha pada tahun 2019 menjadi 31.107 ha pada tahun 2020. Sementara itu, luas areal perkebunan di Kabupaten Kutai Kartanegara juga meningkat dari 229.225 Ha pada 2019 menjadi 233.814 Ha pada 2020. Peningkatan luas perkebunan di kedua kabupaten tersebut berkontribusi pada peningkatan lahan hijau di area IKN. Dari tahun 2020 ke 2021, terlihat adanya perubahan signifikan pada tutupan vegetasi linear dengan perubahan rata-rata konsentrasi polutan yang meningkat.

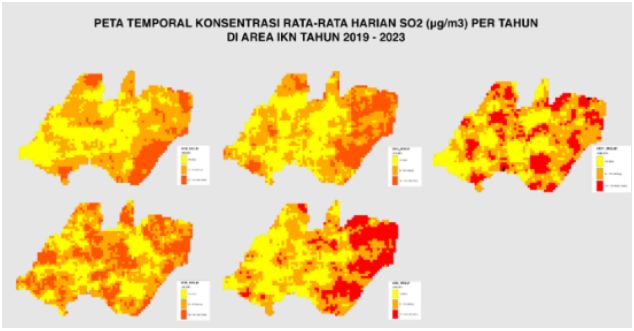
Warna kuning pada peta mewakili area non-vegetasi yang semakin meluas setiap tahunnya. Penurunan luas lahan sekitar 25.000 Ha. Hal ini berkaitan dengan kejadian kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di kawasan tersebut pada tahun 2021 (BNPB, 2021). Upaya rehabilitasi dan penanaman dilakukan di area IKN pasca kejadian tersebut (KLHK, 2023). Hal ini tampak pada peta tahun 2022 di mana area berwarna hijau kembali meluas. Namun, deforestasi akibat pembangunan IKN yang dimulai tahun 2022 berpengaruh terhadap perubahan komposisi lahan. Luas lahan vegetasi kembali mengalami penurunan yaitu menjadi 190.822 Ha, luasan ini merupakan angka terkecil dibandingkan kondisi empat tahun sebelumnya. Dengan demikian, pola perubahan tutupan vegetasi di area IKN dari tahun 2019 hingga 2023 dipengaruhi tidak hanya oleh pembangunan infrastruktur IKN, tetapi juga alih fungsi lahan untuk perkebunan dan pertanian pada tahun 2019-2020, kejadian kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2021, serta upaya rehabilitasi dan penanaman kembali pada tahun-tahun berikutnya.

Estimasi Konsentrasi NO_2 , SO_2 , dan CO pada Tahun 2019-2023

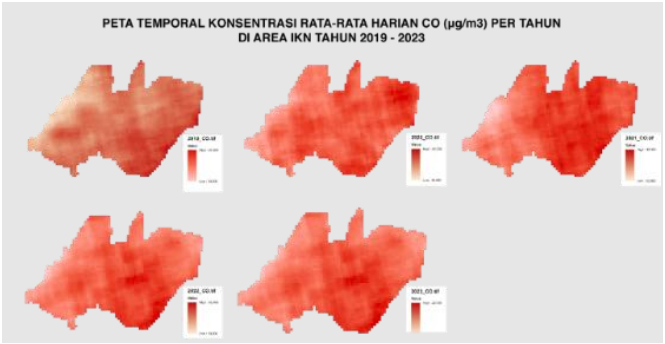
Menurut *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS), tentang Undang-Undang Udara Bersih yang terakhir diamandemen pada tahun 1990. Terdapat beberapa polutan udara yang dapat dijadikan parameter dalam penentuan konsentrasi polusi udara, diantaranya NO_2, SO_2, Pb, O_3, dan CO. Satuan yang digunakan dalam perhitungan yang dihasilkan berupa mol, dimana tiap polutan udara memiliki berat molekul (mol/g) yang berbeda-beda. Adapun berat molekul yang akan dikorelasikan dengan laju deforestasi, yaitu NO_2 Sebesar 46g/mol, SO_2 Sebesar 64g/mol, dan CO sebesar 28g/mol.



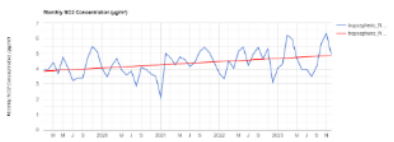
Gambar 8. Peta perubahan konsentrasi NO_2.



Gambar 9. Peta perubahan konsentrasi SO_2.



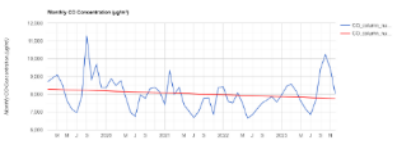
Gambar 10. Peta perubahan konsentrasi CO.



Gambar 11. Diagram estimasi per bulan konsentrasi NO_2 tahun 2019-2023.



Gambar 12. diagram estimasi per bulan konsentrasi SO_2 Tahun 2019-2023.



Gambar 13. Diagram Estimasi per bulan Konsentrasi CO Tahun 2019-2023.

Gambar 11 menunjukkan konsentrasi bulanan nitrogen oksida (NO_2) di troposfer dari tahun

2019 hingga 2023. Plot garis biru merupakan representasi dari nilai troposferic_NO_2 sementara plot garis merah mewakili nilai linearitas dari data troposferic_NO_2. Pada hasil rata-rata yang diperolehditemukan penurunan konsentrasi NO_2 pada tahun 2019 dan 2020. Hal tersebut dapat disebabkan oleh berkurangnya aktivitas masyarakat di masa pandemi Covid-19. Namun, pada tahun 2021-2023 terdapat peningkatan aktivitas terkait dengan transportasi, pembangkit listrik, dan proses industri yang menghasilkan lebih banyak NO_2 yang disebabkan masifnya pembangunan area IKN. Estimasi Rata-Rata tiap tahun jumlah polutan udara yang dihasilkan mulai dari Tahun 2019 sebesar 4.18325, 2020 sebesar 3.8369375, 2021 sebesar 4.5095, 2022 sebesar 4.490666667, dan pada tahun 2023 sebesar 4.813166667 μg/m^3.

Gambar 12. menunjukkan konsentrasi bulanan sulfur dioksida (SO_2) di udara dari tahun 2019 hingga 2023. Plot garis biru merupakan representasi dari nilai konsentrasi SO_2, sementara plot garis merah mewakili nilai linearitas dari data konsentrasi SO_2. Pada hasil rata-rata yang diperoleh, ditemukan fluktuasi konsentrasi SO_2 selama periode tersebut. Pada tahun 2019, rata-rata konsentrasi SO_2 adalah sekitar 81,8 μg/m^3. di tahun 2020, terjadi peningkatan konsentrasi SO_2 dengan rata-rata mencapai 91,7 μg/m^3. Namun, pada tahun 2021, konsentrasi SO_2 menurun dengan rata-rata 84,9 μg/m^3. Pada tahun 2022, konsentrasi SO_2 kembali meningkat dengan rata-rata 93,2 μg/m^3. Peningkatan ini terus berlanjut di tahun 2023, dengan rata-rata konsentrasi SO_2 mencapai 96,7 μg/m^3 dalam periode yang tercakup pada diagram. Meskipun terdapat fluktuasi, tren linearitas yang ditunjukkan oleh plot garis merah mengindikasikan adanya kecenderungan peningkatan konsentrasi SO_2 secara keseluruhan selama periode 2019-2023. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan aktivitas industri, transportasi, atau sumber-sumber emisi SO2 lainnya yang terjadi secara bertahap dalam periode tersebut.

Pada **Gambar 13**, Estimasi per bulan Konsentrasi CO Tahun 2019-2023 menunjukkan pola fluktuasi yang cukup signifikan dalam konsentrasi CO di udara selama periode tersebut. Plot garis biru merepresentasikan nilai konsentrasi CO bulanan, sedangkan plot garis merah menunjukkan tren linearitas dari data tersebut. Pada tahun 2019, konsentrasi CO terlihat relatif stabil dengan rata-rata sekitar 8,1 μg/m^3. di tahun 2020, terjadi peningkatan konsentrasi CO dengan puncak tertinggi mencapai sekitar 11,4 μg/m^3. Namun, pada tahun 2021, konsentrasi CO kembali menurun dengan rata-rata sekitar 8,3 μg/m^3. di tahun 2022, konsentrasi CO menunjukkan fluktuasi yang cukup besar, dengan beberapa puncak konsentrasi yang muncul secara berkala. Rata-rata konsentrasi CO pada tahun 2022 adalah sekitar 8,6 μg/m^3. Sementara itu, pada periode yang tercakup di tahun 2023, konsentrasi CO kembali meningkat dengan rata-rata sekitar 9,2 μg/m^3.

Uji Korelasi Laju Deforestasi dengan Konsentrasi Polutan Udara (SO_2, CO, dan NO_2)

Untuk mengetahui korelasi antara laju deforestasi dengan konsentrasi polusi udara, dilakukan dengan Uji korelasi Pearson. Metode statistik ini digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan linear antara dua variabel (Benesty *et al.*, 2009). Nilai korelasi Pearson berkisar antara -1 hingga 1, dimana nilai negatif menunjukkan hubungan terbalik dan nilai positif menunjukkan hubungan searah. Berdasarkan hasil analisis korelasi Pearson antara luasan tutupan hutan dengan konsentrasi polutan udara, didapatkan gambaran bahwa:

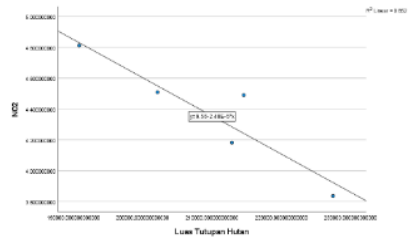
Tabel 5. Hasil korelasi luas tutupan lahan dengan NO_2 , SO_2 dan CO.

		Luas Tutupan Hutan	NO_2	CO	SO_2
Luas Tutupan Hutan	*Pearson Correlation*	1	-.923*	-.105	-.310
	Sig. (2-tailed)		.025	.867	.612
	N	5	5	5	5

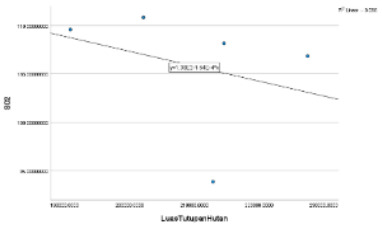
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Pada NO_2 diketahui korelasi yang dihasilkan sangat kuat namun bernilai negatif sehingga diartikan bahwasanya apabila luas tutupan lahan meningkat maka Polutan NO_2 akan semakin menurun. Hal tersebut juga ditampilkan dalam polutan CO dan SO_2 masing masing -0.105 dan -0.310. Pada data CO menunjukan korelasi negatif namun tidak signifikan. Sedangkan pada nilai sig. (2-tailed) menunjukan signifikansi dimana apabila nilai <0.05 menunjukan korelasi tersebut signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%. Signifikansi tersebut terdapat pada gas NO_2 sebesar

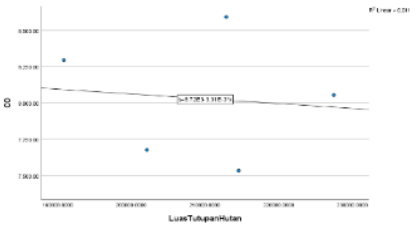
0.025 menunjukan signifikansi yang dihasilkan sangat kuat, Sedangkan pada CO dan SO_2 memiliki nilai signifikansi 0.867 dan 0.612 yang menunjukkan signifikansi kecil. Hal tersebut dikarenakan data N yang terlalu kecil, sehingga kemungkinan faktor yang mempengaruhi tingginya polutan udara selain parameter luas tutupan lahan.



Gambar 14. Diagram Hasil korelasi laju deforestasi dan konsentrasi NO_2.



Gambar 15. Diagram Hasil korelasi laju deforestasi dan konsentrasi SO_2.



Gambar 16. Diagram Hasil korelasi laju deforestasi dan konsentrasi CO.

Koefisien korelasi antara laju deforestasi dan konsentrasi NO_2 adalah R2 = 0,852. Nilai koefisien korelasi ini berada dalam rentang $0,8 \leq R \leq 1$, yang menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat dan positif antara laju deforestasi dengan konsentrasi NO_2. Artinya, semakin tinggi laju deforestasi, maka semakin tinggi pula konsentrasi NO_2 di udara. Hal tersebut terjadi sejalan dengan deforestasi yang dilakukan di wilayah IKN yang menyebabkan berkurangnya penyerapan gas NO_2 oleh tumbuhan. Sedangkan koefisien korelasi antara laju deforestasi dengan SO_2 adalah R = 0,0961. Nilai koefisien korelasi ini berada dalam rentang $0 \leq R \leq 0,2$, yang menunjukkan adanya korelasi yang sangat lemah atau hampir tidak ada korelasi antara laju deforestasi dengan konsentrasi SO_2. Artinya, perubahan laju deforestasi tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi SO_2 di udara. Adapun koefisien korelasi antara laju deforestasi dengan konsentrasi CO adalah R = 0,011. Nilai koefisien korelasi ini mendekati 0, yang menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antara laju deforestasi dengan konsentrasi CO. Artinya, perubahan laju deforestasi tidak berpengaruh terhadap perubahan konsentrasi CO di udara.

Pemetaan Lokasi Tingkat Konsentrasi Udara di Area IKN

Pemetaan lokasi tingkat konsentrasi polusi udara di wilayah IKN dilakukan dengan menggunakan analisis Sistem Informasi Geografis (GIS). Metode yang digunakan adalah analisis kuantitatif berjenjang dengan pemberian skor secara merata berdasarkan tingkat pengaruh masing-masing parameter terhadap hasil akhir (Ferretti, 2019). Parameter-parameter yang digunakan dalam analisis ini meliputi konsentrasi polutan udara seperti CO, NO_2, dan SO_2, serta faktor-faktor lain seperti kepadatan penduduk, aktivitas industri, dan transportasi. Setiap parameter diberikan skor tertentu sesuai dengan tingkat pengaruhnya terhadap polusi udara. Selanjutnya, pengkelasan dilakukan berdasarkan skor total tersebut dengan menggunakan metode natural break (Slocum, 2023). Metode ini mengklasifikasikan data ke dalam kelas-kelas yang berbeda dengan meminimalkan varians dalam kelas dan memaksimalkan varians antarkelas.

Tabel 6. Skoring Data Konsentrasi Udara Dengan Pengolahan Kuantitatif Berjenjang.

Parameter	Skor	Konsentrasi Udara (µg/m3)	Skor Total (*Kuantitatif Berjenjang*)	Keterangan
CO_2 (2019-2023)	2	50 - 111	30 29	Baik
	1	>111	28 27	Sedang
NO_2 (2019-2023)	2	80 - 200	26 25	Tidak Sehat Bagi Kelompok Tertentu
	1	>200	24 23	Tidak Sehat
CO (2019-2023)	2	4000-8427	22	

	1	>8427	21 20 19 Sangat Tidak Sehat

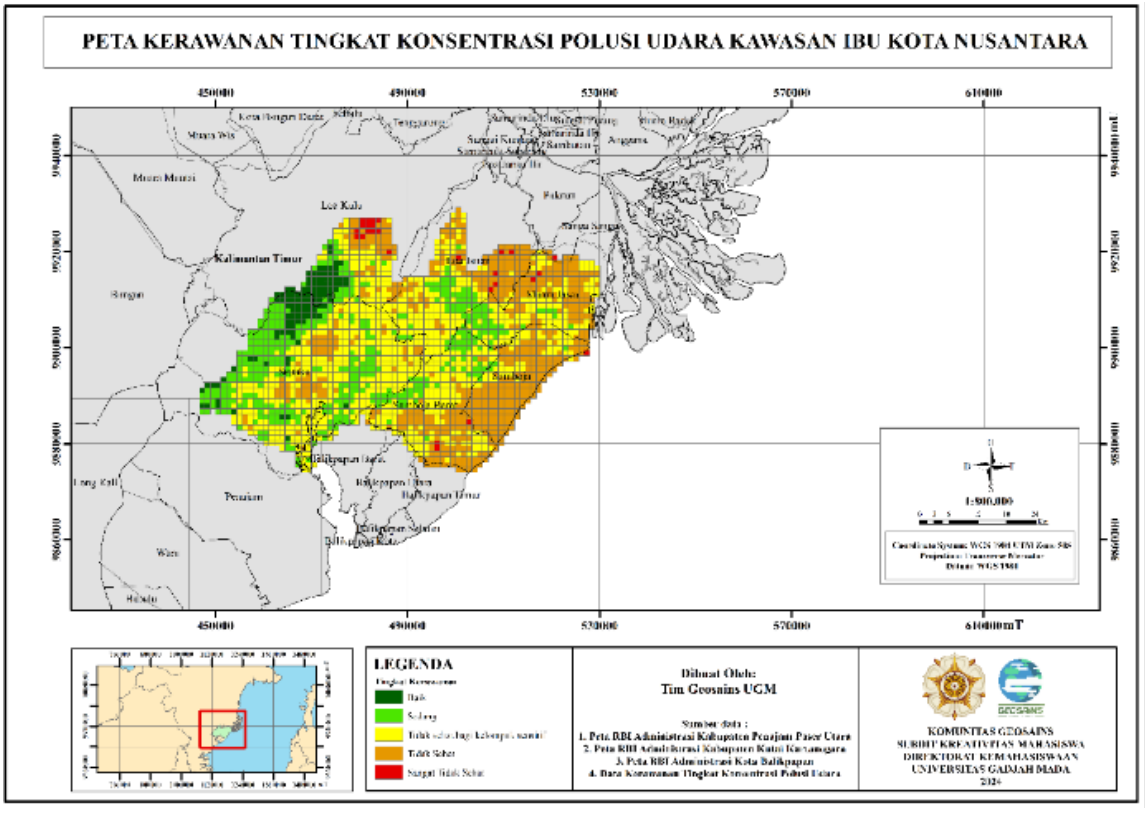
AQI Basics for Ozone and Particle Pollution

Daily AQI Color	Levels of Concern	Values of Index	Description of Air Quality
Green	Good	0 to 50	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Yellow	Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.
Orange	Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.
Red	Unhealthy	151 to 200	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Purple	Very Unhealthy	201 to 300	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.
Maroon	Hazardous	301 and higher	Health warning of emergency conditions: everyone is more likely to be affected.

Sumber: https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics

Gambar 17. Kategori *Air quality index* (AQI).

Berdasarkan **Gambar 17**, pengkelasan kualitas udara terbagi menjadi 6 kategori, yaitu Baik, Sedang, Tidak Sehat bagi Kelompok Sensitif, Tidak Sehat, Sangat Tidak Sehat, dan Berbahaya. Namun, pada pemetaan yang dilakukan, hanya terdapat 5 kategori yang ditampilkan, tidak termasuk kategori Berbahaya. Hal ini dikarenakan kondisi udara di stasiun pemantauan Sempingan, Balikpapan belum mencapai tahap berbahaya berdasarkan data Indeks Kualitas Udara terkini (AQI, 2024).



Gambar 18. Peta kerawanan tingkat konsentrasi polusi udara Kawasan IKN.

Peta di atas merepresentasikan distribusi spasial konsentrasi polutan udara di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) dan sekitarnya di Kalimantan Timur berdasarkan data citra satelit Sentinel-5P. Resolusi spasial citra Sentinel-5P yang digunakan adalah 7 x 3,5 km per piksel, sehingga setiap piksel pada peta mewakili tingkat konsentrasi polutan dalam area geografis tersebut. Konsentrasi polutan yang lebih rendah (hijau) hanya ditemukan di beberapa wilayah seperti barat laut dan utara IKN. Wilayah berwarna hijau berada di area IKN bagian barat laut mencakup sebagian selatan Kecamatan Loa Kulu dan bagian utara Kecamatan Sepaku. Sementara warna kuning hingga oranye mencerminkan wilayah dengan tingkat konsentrasi polusi udara yang semakin meningkat atau sedang hingga tinggi, persebarannya terdapat pada kawasan tengah IKN yang mencakup wilayah Kecamatan Sepaku, Kecamatan Semboja, Kecamatan Semboja Barat dan sebagian Kecamatan Loa Janan. Wilayah yang berwarna merah gelap mengindikasikan tingkat konsentrasi polusi udara yang sangat tinggi atau dalam kondisi tidak sehat, mencakup sebagian kecil daerah selatan dan utara bagian timur, mencakup sebagian Kecamatan Wilayah Loa Kulu, Kecamatan Loa Janan, Kecamatan Muara Jawa dan dibagian selatan Kecamatan Semboja Barat. Pola spasial ini mengindikasikan bahwa kawasan IKN yang lebih terbangun dan padat aktivitas antropogenik cenderung memiliki kualitas udara yang lebih buruk dibandingkan wilayah pinggiran. Pemetaan ini penting untuk memantau dan mengevaluasi kondisi kualitas udara, sehingga dapat dirumuskan strategi mitigasi dan pengendalian pencemaran udara yang tepat sasaran.

KESIMPULAN

Penelitian ini menemukan korelasi positif yang kuat antara laju deforestasi dengan peningkatan konsentrasi nitrogen dioksida (NO_2) di kawasan IKN, sedangkan korelasi dengan sulfur dioksida (SO_2) dan karbon monoksida (CO) relatif lemah. Deforestasi terbukti berdampak signifikan terhadap penurunan kualitas udara di wilayah tersebut, yang dapat menghambat konsep kota hijau yang direncanakan untuk IKN. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengendalian deforestasi untuk menjaga kualitas udara, termasuk merumuskan kebijakan pembatasan deforestasi, mengoptimalkan pemanfaatan lahan terbuka, meningkatkan reboisasi dan penghijauan, serta mengembangkan teknologi ramah lingkungan untuk meminimalkan emisi polutan udara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Tim Geosains UGM atas kontribusinya, Drs. Imam Suyanto, M.Si. selaku Pembina yang membimbing, Universitas Gadjah Mada khususnya Fakultas Geografi, Fakultas Teknik, dan Sekolah Vokasi atas dukungan fasilitas dan sumber dayanya, serta Badan Informasi Geospasial (BIG) atas penyediaan data geospasial pendukung serta memfasilitasi dalam penulisan paper. Berkat kerja sama semua pihak, penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi kami atas kontribusi yang diberikan dan semoga kerja sama ini berlanjut untuk penelitian bermanfaat di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Afasel, D., Purnamasari, R., & Edwar (Eds.). (2022). *Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Supervised Machine Learning Pada Citra Satelit Menggunakan Google Earth Engine* (Vol. 8).

Air Quality Index. (2024). Balikpapan Sepinggan, Sepinggan Baru, Indonesia air pollution: Real-time air quality index (AQI). Retrieved from https://aqicn.org/sensor/balikpapan/sepinggan. [2 April 2024]

American Quality Air (AQAir). (2021). World air quality report 2021. Retrieved from https://www.iqair.com/world-air-quality-report. [1 April 2024]

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2020). Data informasi bencana Indonesia. Retrieved from https://dibi.bnpb.go.id/. [31 Maret 2024]

Badan Pusat Statistik Kalimantan Timur. (2021). Kalimantan Timur dalam angka 2021. Retrieved from https://kaltim.bps.go.id/publication/2021/02/26/c4e9d22816c1e63904997c66/provinsi-kalimantan-timur-dalam-angka-2021.html. [29 Maret 2024]

Belgiu, M., & Drăguț, L. (2022). *Random forest in remote sensing: A review of applications and future*

directions. Remote Sensing, 14(15), 3612.
Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., & Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. In Noise reduction in speech processing (pp. 1-4). Springer, Berlin, Heidelberg.
BNPB. (2021). Siaran Pers: Kebakaran Hutan dan Lahan di Area IKN. Retrieved from https://bnpb.go.id/siaran-pers/kebakaran-hutan-dan-lahan-di-area-IKN. [27 Maret 2024]
Fernández, A., Garcia, S., Herrera, F., & Chawla, N. V. (2018). *SMOTE for learning from imbalanced data: Progress and challenges. Marking the elevated sag in Bushveld's upcoming era*. International Journal of Applied Pattern Recognition, 6(4), 1-35.
Ferretti, V., & Grosso, R. (2019). Designing successful urban regeneration strategies through a behavioral decision aiding approach. Cities, 95, 102386. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:199280094.
Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). Global forest resources assessment 2020. Retrieved from https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/. [29 Maret 2024]
Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., ... & Zaehle, S. (2019). Global carbon budget 2019. Earth System Science Data, 11(4), 1783-1838.
Gooniyyah Zalsabilla Viedra, G., & Muljo Sukojo, B. (n.d.). Afasel, D., Purnamasari, R., & Edwar (Eds.). (2022). *Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Supervised Machine Learning Pada Citra Satelit Menggunakan Google Earth Engine (Vol. 8)*. Konferensi Internasional Geomatika 2022. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012032
IQAir. (2021). Air quality map of Indonesia. Retrieved from: https://www.iqair.com/indonesia. [1 April 2024]
Kinnaird, M. F., Utami Atmoko, S. S., Prasetyo, D., Junker, J., & Griffiths, M. (2022). D*eforestation and biodiversity collapse in the making: Indonesia's new capital city*. Environmental Research Letters, 17(3), 031003.
KLHK. (2023). Laporan program rehabilitasi dan penanaman kembali di area IKN. Retrieved from https://klhk.go.id/laporan-rehabilitasi-IKN. [30 Maret 2024]
KLHK. (2023). Laporan program rehabilitasi dan penanaman kembali di area IKN. Retrieved from https://klhk.go.id/laporan-rehabilitasi-IKN. [1 April 2024]
Malczewski, J., & Rinner, C. (2023). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.
National Ambient Air Quality Standards. (2024). NAAQS Table. Retrieved from https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table [29 March 2024]
Prasetiyowati MI, *Maulidevi NU, Surendro K. The accuracy of Random Forest performance can be improved by conducting a feature selection with a balancing strategy*. PeerJ Comput Sci. 2022 Jul 14;8:e1041. doi: 10.7717/peerj-cs.1041. PMID: 35875646; PMCID: PMC9299283.
RI (Republik Indonesia). (2022). Undang-undang (UU) Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara. Jakarta: LN.2022/No.41, TLNNo. 6766, jdih.setneg.go.id: 30 hlm.
Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., & Howard, H. H. (2023). Thematic Cartography and Geographic Visualization (4th ed.). Pearson.
Supriatna, J. (2022). *Hutan Hujan Tropis Kalimantan: Habitat Keanekaragaman Hayati Khatulistiwa*. Penerbit Universitas Indonesia.
Wijedasa, L. S., Jaimes, N. B. P., Ghazoul, J., & Jang, D. (2022). *Deforestasi: Ancaman melestarikan keanekaragaman hayati di Indonesia*. Jurnal Biodiversitas Indonesia, 8(1), 1-10.
World Health Organization (WHO). (2022). Air pollution. Retrieved from: https://www.who.int/health-topics/air-pollution [Retrived from: 29 Maret 2024]

Halaman ini sengaja dikosongkan.

UPAYA PERLINDUNGAN EKOSISTEM GAMBUT PADA WILAYAH PERENCANAAN RDTR KECAMATAN TAMBANG KABUPATEN KAMPAR

(*Efforts to Protect Peat Ecosystems in the Spatial Planning Urban Area of Tambang Subdistrict, Kampar Regency*

Dandi Arianto Pelly[1], Wahyu Hidayat[2], Efriyeldi[3]
[1,3]Program Doktor Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Riau, Indonesia
[2]Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia

Jl. Pattimura No. 9 Gedung H, Universitas Riau, Pekanbaru
E-mail: dandi.arianto8912@grad.unri.ac.id

ABSTRAK

Alih fungsi lahan gambut berawal dari perspektif sebagian masyarakat yang mengaggap bahwa lahan gambut sebagai lahan yang tidak berguna dan belum dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan lahan ekosistem gambut menjadi permukiman, menghitung perubahan luas fungsi lindung ekosistem gambut menjadi permukiman, dan memberikan rekomendasi pola ruang sebagai upaya pengendalian kerusakan fungsi lindung ekosistem gambut. Metode yang digunakan adalah pendekatan spasial pertambahan jumlah penduduk, selanjutnya untuk melakukan perhitungan luas perubahan fungsi lindung ekosistem gambut dilakukan *overlay erase* dengan peta penggunaan lahan terbangun hasil digitasi *on-screen* pada citra tegak resolusi sangat tinggi (CTRST), lebih lanjut untuk memberikan rekomendasi upaya pengendalian kerusakan fungsi lindung ekosistem gambut pada pola ruang RDTR dilakukan *overlay erase* peta ekosistem gambut dengan persil pertanahan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kajian tentang perubahan lahan ekosistem gambut terjadi akibat terbentuknya wilayah perkotaan satelit baru akibat peningkatan jumlah penduduk di Kota Pekanbaru dari tahun 2000 hingga 2023 sebanyak 432.466 jiwa, pertumbuhan penduduk ini membentuk pola persebaran mengelompok (*clustered*) dengan sistem permukiman membentuk pola linier yang mengarah ke barat dan selatan dari pusat perkotaan. Sementara untuk hasil perhitungan perubahan luas fungsi lindung ekosistem gambut yaitu berkurang 18% dari total dari keseluruhan fungsi lindung ekosistem gambut pada kawasan perencanaan RDTR Kecamatan Tambang dari luas sebelumnya yaitu 2249,225 ha menjadi 1838,784 ha di tahun 2023. Sebagai upaya pengendalian kerusakan fungsi lindung ekosistem gambut berdasarkan hasil analisis terhadap status hak atas tanah dapat direkomdasikan pola ruang Zona Lindung Gambut seluas 985,397 ha.

Kata kunci: degradasi, ekosistem gambut, pola ruang

ABSTRACT

The conversion of peatland originates from the perspective of some people who consider peatland as useless and untapped land. This study aims to assess land conversion of peat ecosystems into settlements, calculate the area of change in the protected function of peat ecosystems into settlements, and provide recommendations for spatial patterns as an effort to control damage to the protected function of peat ecosystems. The method used is a spatial approach to population growth, then to calculate the area of change in the protected function of peat ecosystems, overlay erase with a map of built-up land use resulting from on-screen digitization of very high-resolution upright imagery (CTRST), further to provide recommendations for efforts to control damage to the protected function of peat ecosystems in the RDTR spatial pattern, overlay erase of peat ecosystem maps with land parcels. The results of this study indicate that the study of peat ecosystem land changes occurred due to the formation of new satellite urban areas due to an increase in population in Pekanbaru City from 2000 to 2023 by 432,466 people, ranging from as many as 587,842 people in 2000, 897,767 people in 2010, and as many as 1,020,308 people in 2023, this population growth forms aclustered distribution pattern with a settlement system forming a linear pattern that leads to the west and south of the urban center. Meanwhile, the results of the calculation of changes in the area of peat ecosystem protection functions are reduced by 18% of the total of the peat ecosystem protection functions in the RDTR planning area of Tambang Subdistrict from the previous area of 2249.225 ha to 1838.784 ha in 2023. As an effort to control damage to the peat ecosystem protection function based on the results of the analysis of the status of land rights, a spatial pattern of the Peat Protection Zone of 985.397 Ha can be recommended.

***Keywords**: degradation, peat ecosystem, spatial planning*

PENDAHULUAN

Kecamatan Tambang merupakan kawasan pinggiran kota dengan beragam perkembangan yang berbeda dengan pusat Kota Pekanbaru. Jarak kedua wilayah ini sangat dekat dan dipisahkan oleh batas administratif kedua wilayah tersebut. Permasalahan muncul mulai dari masalah perumahan, sarana dan prasarana, sumber daya manusia, dan lain-lain. Kondisi ini sebagian besar dipengaruhi oleh perkembangan dinamis yang terjadi di Kota Pekanbaru (Riza *et al.*, 2017). Pertumbuhan ekonomi yang pesat, peningkatan urbanisasi, dan kebutuhan akan lahan untuk infrastruktur dan pemukiman telah mendorong perluasan kota ke arah pinggiran, termasuk Kecamatan Tambang (Ismiyanti *et al.*, 2019; Kharisma & Susilowati, 2021).

Perubahan pola penggunaan lahan, dimana lahan yang semula kawasan hutan dan gambut serta sebagian digunakan untuk pertanian secara bertahap dikonversi menjadi permukiman atau area industri sebagai respons terhadap kebutuhan perkotaan yang berkembang. Hal ini mengakibatkan alih fungsi kawasan gambut menjadi permukiman di daerah pinggiran kota yang akan menimbulkan permasalahan yang kompleks serta memiliki implikasi yang signifikan terhadap dinamika sosial, ekonomi, kesehatan masyarakat, transportasi bahkan lingkungan (Nugroho *et al.*, 2022; Nurrady *et al.*, 2020; Shao *et al.*, 2021).

Alih fungsi lahan gambut menjadi permukiman memunculkan beragam dampak di antaranya adalah penurunan ketersediaan lahan untuk fungsi-fungsi ekologis penting, peningkatan kerentanan terhadap bencana alam, serta perubahan pola penggunaan sumber daya alam yang dapat mempengaruhi kesejahteraan sosial dan ekonomi masyarakat setempat (Page & Baird, 2016; Sakuntaladewi *et al.*, 2024). Kerusakan lahan gambut memberikan dampak negatif yang luas terhadap masyarakat lokal yang bergantung pada lahan tersebut untuk kehidupan sehari-hari mereka. Gangguan terhadap ekosistem ini dapat mengakibatkan ketidakstabilan ekonomi dan sosial, serta dapat mengancam ketahanan pangan dan sumber daya air masyarakat setempat (Hidayat *et al.*, 2023; Triadi, 2020).

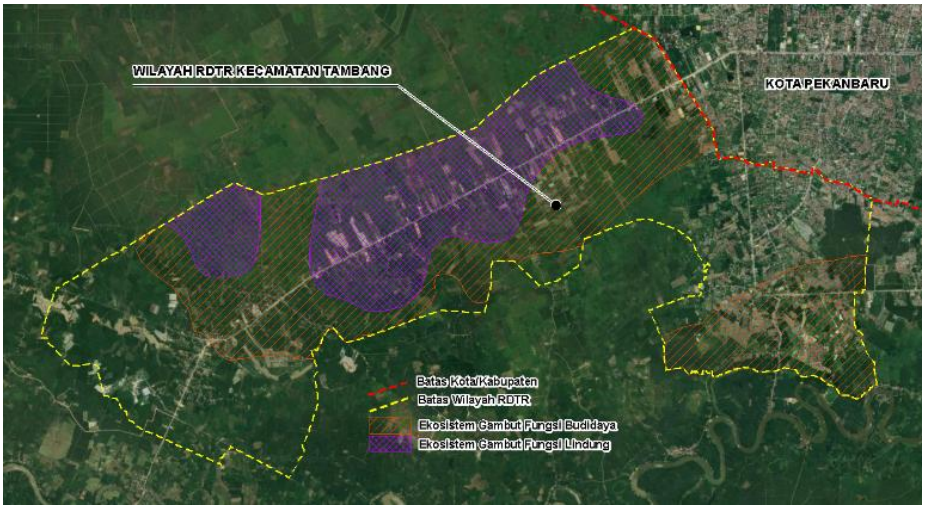
Lahan gambut yang dialihfungsikan atau rusak cenderung menjadi sumber emisi karbon yang besar karena proses dekomposisi material organik yang terperangkap di dalamnya, ketika terpapar udara setelah pengeringan atau pembukaan. Dampaknya sangat berbahaya karena menyumbang secara signifikan terhadap kenaikan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Selain itu, kerusakan lahan gambut juga mengancam habitat satwa liar dan mengurangi keanekaragaman hayati secara keseluruhan, dengan potensi konsekuensi yang serius terhadap ekosistem dan ekologi regional (Bridgham *et al.*, 2008; Loisel & Gallego-Sala, 2022; Minayeva & Sirin, 2012; Page & Baird, 2016).

Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut serta Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 57 Tahun 2016 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut menjelaskan bahwa ekosistem gambut dengan fungsi lindung dinyatakan rusak apabila melampaui kriteria baku kerusakan yaitu terdapat drainase buatan, terekspos nya sedimen berpirit atau kwarsa di bawah lapisan gambut serta terjadi pengurangan luas dan/atau volume tutupan lahan di ekosistem gambut dengan fungsi lindung yang telah ditetapkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan lahan ekosistem gambut menjadi kawasan permukiman, selanjutnya menghitung perubahan luas fungsi lindung dari ekosistem gambut menjadi kawasan permukiman, dan memberikan rekomendasi pola ruang sebagai upaya pengendalian kerusakan fungsi lindung ekosistem gambut.

METODE

Lokasi penelitian berada pada Wilayah Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kecamatan Tambang atau Wilayah Perkotaan Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar dengan batas koordinat 0°22'22,47"LU - 0°28'12,55"LU dan 101°13'9,75"BT-101°23'55,61"BT. Wilayah RDTR Kecamatan Tambang dinilai sebagai wilayah perkotaan dengan area alih fungsi lahan gambut menjadi permukiman cukup luas dan masif, sehingga ekosistem gambut dengan fungsi lindung mengalami kerusakan yang serius bahkan mengalami degradasi yang mengkhawatirkan. Lokasi penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Lokasi wilayah RDTR Kecamatan Tambang dengan ekosistem gambut fungsi lindung dan budidaya.

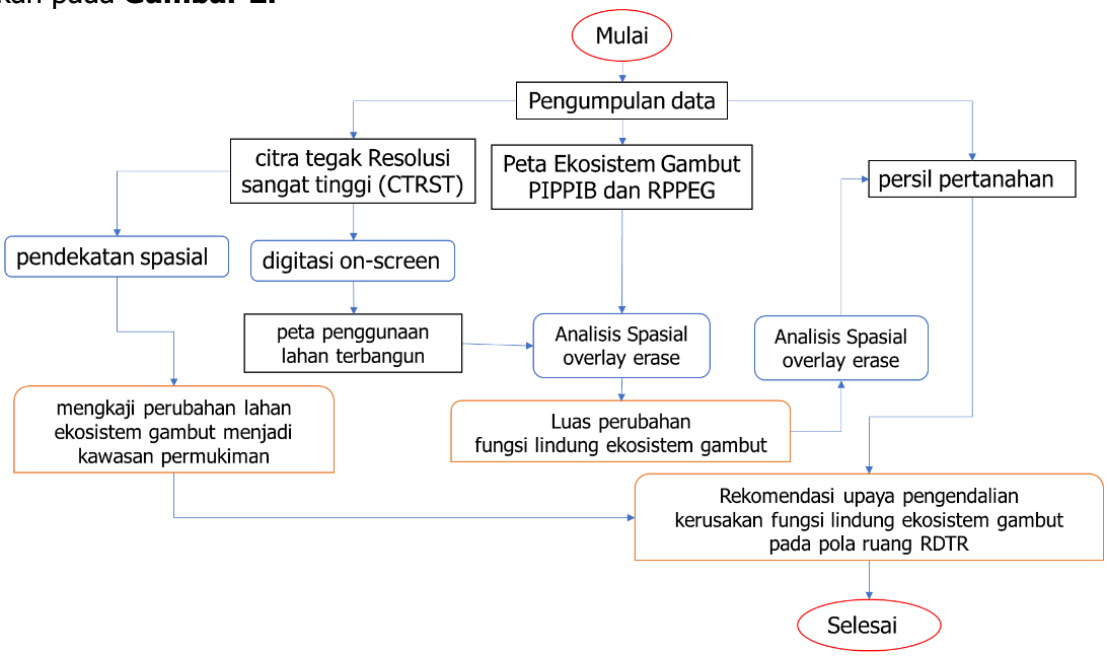
Dalam mengkaji perubahan lahan ekosistem gambut, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi yaitu; data dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kampar, Peta Indikatif Penghentian Pemberian Izin Baru (PIPPIB) ekosistem gambut dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dokumen rencana perlindungan dan pengelolaan ekosistem gambut Provinsi Riau, status kepemilikan lahan, serta data dan peta tutupan lahan kecamatan Tambang. Metode analisis yang digunakan meliputi *overlay* peta, dan verifikasi lapangan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskripsi dengan pendekatan spasial. Untuk mengidentifikasi fenomena perkembangan aktivitas perkotaan digunakan pendekatan spasial dengan mengamati perubahan penggunaan lahan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk pada wilayah administrasi Kecamatan Tambang. Pendekatan awal menggunakan batas administrasi kawasan perkotaan dari Kecamatan Tambang yang berbatasan langsung dengan Kota Pekanbaru, kemudian digunakan tiga kriteria yaitu sosial kependudukan, kondisi geografis fisik wilayah, dan kawasan bernilai ekonomi strategis (Li *et al.*, 2015).

Perhitungan luas perubahan fungsi lindung ekosistem gambut di lokasi penelitian menggunakan analisis *overlay* jenis *erase.* Analisis *Overlay Erase* digunakan untuk menghapus bagian fitur yang *overlap* dengan fitur target, menggunakan batas geografis fitur di dalam set data operasi untuk menghapus atau untuk menghapus bagian dari bentuk geografis yang terkait dengan fitur di set data target, fitur yang tidak overlap dengan fitur erase akan disimpan sebagai fitur baru (Goldberg *et al.*, 2013). *Overlay Erase* merupakan proses kebalikan dari *Overlay Clip* dimana fitur-fitur lapisan input yang berada dalam batas analisis dihapus dan fitur-fitur yang berada di luar batas layer analisis dipertahankan. Layer yang dipertahankan memiliki semua atribut dari layer input. Layer input dapat berupa titik, garis, dan poligon, tetapi layer analisis selalu berupa poligon.

Peta penggunaan lahan terbangun hasil digitasi *on-screen* pada citra tegak resolusi sangat tinggi (CTRST) yang dilakukan *Overlay Erase* terhadap peta ekosistem gambut yang memiliki fungsi utama lindung dalam peta rencana perlindungan dan pengelolaan ekosistem gambut Provinsi Riau. Lebih lanjut untuk memberikan rekomendasi upaya pengendalian kerusakan fungsi lindung ekosistem gambut pada pola ruang RDTR dilakukan *overlay erase* peta ekosistem gambut

dengan persil status kepemilikan lahan pertanahan. Untuk lebih jelas nya, diagram alir penelitian ditunjukkan pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kajian tentang perubahan lahan ekosistem gambut terjadi akibat terbentuknya wilayah perkotaan satelit baru akibat peningkatan jumlah penduduk di Kota Pekanbaru dari tahun 2000 hingga 2023 sebanyak 432.466 jiwa, pertumbuhan penduduk ini membentuk pola persebaran mengelompok *(clustered)* dengan sistem permukiman membentuk pola linier yang mengarah ke barat dan selatan dari pusat perkotaan. Sementara untuk hasil perhitungan perubahan luas fungsi lindung ekosistem gambut yaitu berkurang 18% dari total dari keseluruhan fungsi lindung ekosistem gambut pada kawasan perencanaan RDTR Kecamatan Tambang dari luas sebelumnya yaitu 2249,225 ha menjadi 1838,784 ha pada tahun 2023. Sebagai upaya pengendalian kerusakan fungsi lindung ekosistem gambut berdasarkan hasil analisis terhadap status kepemilikan lahan atau hak atas tanah dapat direkomendasikan pola ruang Zona Lindung Gambut seluas 985,397 ha.

Perkembangan Kawasan Permukiman Kota Satelit

Kecamatan Tambang sebagai kawasan pinggiran yang berada di sekitar perbatasan dengan kota inti pekanbaru menjadi salah satu kawasan yang juga terkena dampak dari pertumbuhan perekonomian dari Kota Pekanbaru. Kawasan tersebut dihuni oleh masyarakat karena lahan pemukiman pinggiran kota di pekanbaru terbatas dan semakin sulit untuk dijangkau, terutama yang terletak di pusat Kota. Hal tersebut membuat masyarakat lebih memilih tinggal di kota satelit pekanbaru yaitu Kecamatan Tambang di Kabupaten Kampar (Ismiyanti *et al.*, 2019). Perkembangan fisik wilayah permukiman mendorong peningkatan aktivitas ekonomi dan pertumbuhan dunia usaha yang berpengaruh pada perubahan penggunaan lahan di kawasan sekitarnya. Salah satu bentuk pengaruh tersebut adalah alih fungsi lahan untuk dijadikan kawasan perumahan permukiman.

Jumlah penduduk merupakan salah satu parameter penting bagi pembangunan ekonomi, sosial dan kelestarian lingkungan di suatu wilayah. Jumlah penduduk berperan sebagai sumber daya penyediaan tenaga kerja selama produksi serta konsumen berbagai produk (Shao *et al.*, 2021). Pola persebaran mengelompok *(clustered)* dari wilayah penelitian merupakan akibat dari kelas sosial dan akses terhadap fasilitas pendukung yang tersedia. Sistem permukiman membentuk linier yang mengarah ke barat dan selatan dari pusat perkotaan sepanjang jalur jaringan jalan. Masyarakat cenderung memilih kawasan pemukiman berdasarkan beberapa faktor

seperti lokasi, pendidikan, ketersediaan listrik, fasilitas perbelanjaan, tingkat kriminalitas, kualitas lingkungan,ketersediaan air bersih dan harga tanah (Tsabit N & Pigawati, 2021).

Namun aksesibilitas merupakan faktor utama dalam pemilihan lokasi hunian *sub-urban* di kota satelit yang tembusan perumahan (Raditya *et al.*, 2020). Aksesibilitas adalah konsep yang menggabungkan sistem pengaturan tata guna lahan secara geografis dengan sistem jaringan transportasi yang menghubungkannya. Aksesibilitas menjadi tolak ukur kenyamanan atau kemudahan mengenai cara lokasi tata guna lahan berinteraksi satu sama lain dan mudah atau susah nya lokasi tersebut dicapai. Aksesibilitas menjadi representasi dari peluang distribusi spasial yang ditunjang oleh sistem jaringan transportasi (Hishiyama *et al.*, 2021). Wilayah perkembangan kawasan permukiman kota satelit ditunjukkan pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Lokasi wilayah perkembangan kota satelit pada pusat inti Kota Pekanbaru sebagai Pusat Kegiatan Nasional.

Ekosistem Gambut di Kota Satelit

Kawasan perkotaan mempunyai peran strategis sebagai pusat kegiatan perekonomian, namun yang menjadi kekhawatiran adalah berkembangnya kawasan yang tidak terencana dan mendominasi dalam suatu ruang yang kemudian menciptakan kondisi lingkungan yang semakin rapuh di kawasan pinggiran kota. Namun pada kenyataannya, kegiatan pembangunan lebih banyak menimbulkan dampak terhadap degradasi lingkungan. Menurut Firmansyah & Raharja, (2021), Rapuhnya lingkungan di kawasan pinggiran kota merupakan akibat dari tekanan manusia yang sangat tinggi dan dinamis. Hal ini dapat dilihat dari rendahnya kesuburan tanah, berkurangnya luas vegetasi, degradasi lahan dan hilangnya keanekaragaman hayati.

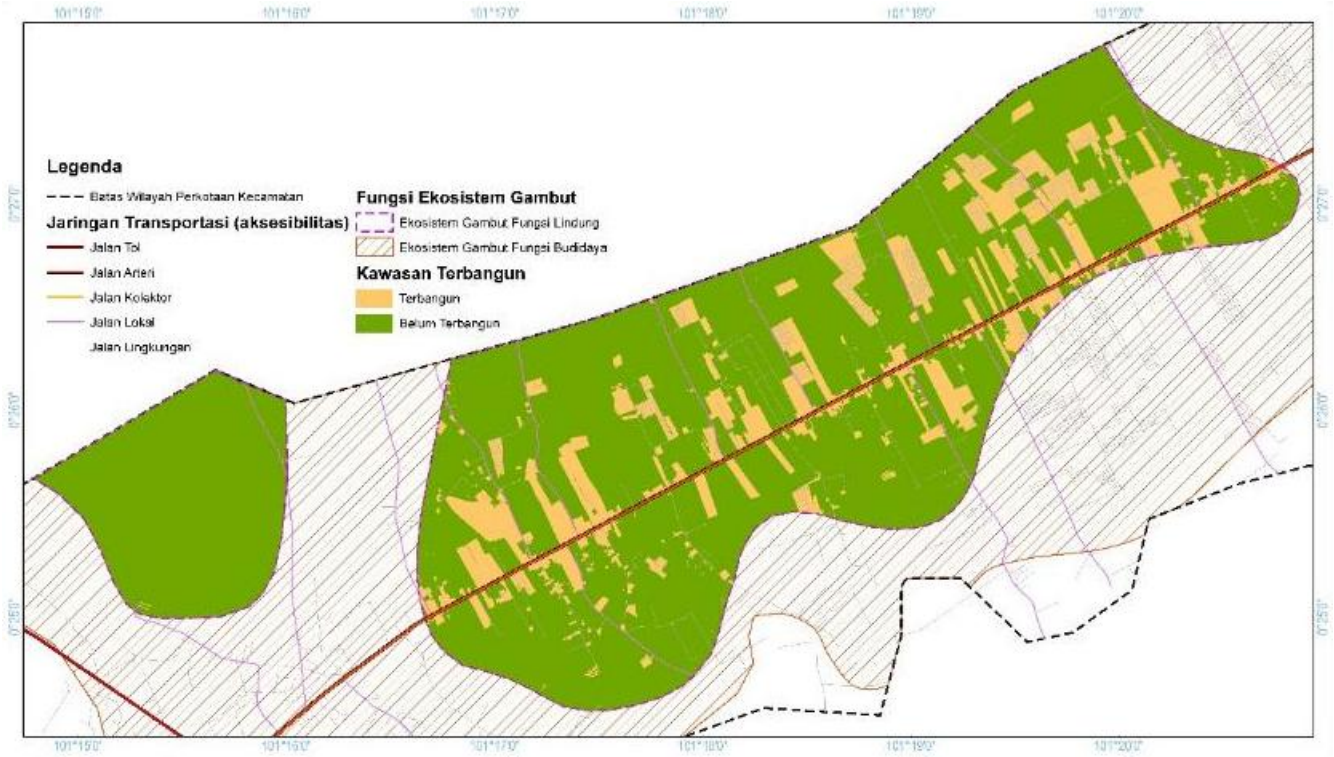
Menurut laporan The Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) (2023), Lahan gambut tropis secara alami memiliki permukaan air yang tinggi dan umumnya tetap basah sepanjang tahun dalam kondisi alaminya meskipun permukaan air akan lebih rendah pada musim kemarau bahkan selama musim kemarau yang parah tahun-tahun El-Nino. dalam kondisi alami, permukaan air akan pulih pada musim hujan berikutnya. Lahan gambut di kota satelit dikembangkan jaringan drainase untuk menurunkan permukaan air secara permanen guna mengubah kondisi basah menjadi kering, sehingga memungkinkan pertanian lahan kering dan permukiman. Dengan kondisi lahan yang telah di keringkan akan mempermudah membuat jalan akses dan alih fungsi lahan lain, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.**



(a) (b) (c)

Gambar 4. Gambar hasil verifikasi lapangan: (a) Drainase di Kawasan Ekosistem Gambut, (b) Aksesibilitas menuju lokasi Perumahan di lahan bekan gambut, (c) Perumahan di kawasan ekosistem gambut.

Wilayah kota satelit Kecamatan Tambang ini telah mengalami perkembangan perkotaan yang pesat selama beberapa tahun terakhir karena pertambahan populasi yang besar dan kemunculan berbagai pusat bisnis/jasa di pinggiran maupun inti Kota Pekanbaru. Kepadatan aktivitas suatu penggunaan lahan juga dapat dilihat dari karakteristik lingkungan terbangun pada kawasan penggunaan lahan tersebut (**Gambar 5**). Perubahan fisik suatu wilayah tentunya tidak lepas dari dinamika sosial budaya yang terjadi, peningkatan akses terhadap layanan infrastruktur dan akumulasi modal juga meningkat karena adanya konsentrasi dan aglomerasi, sehingga perluasan fisik kawasan tidak dapat dihindari. (Mardiansjah *et al.*, 2018).

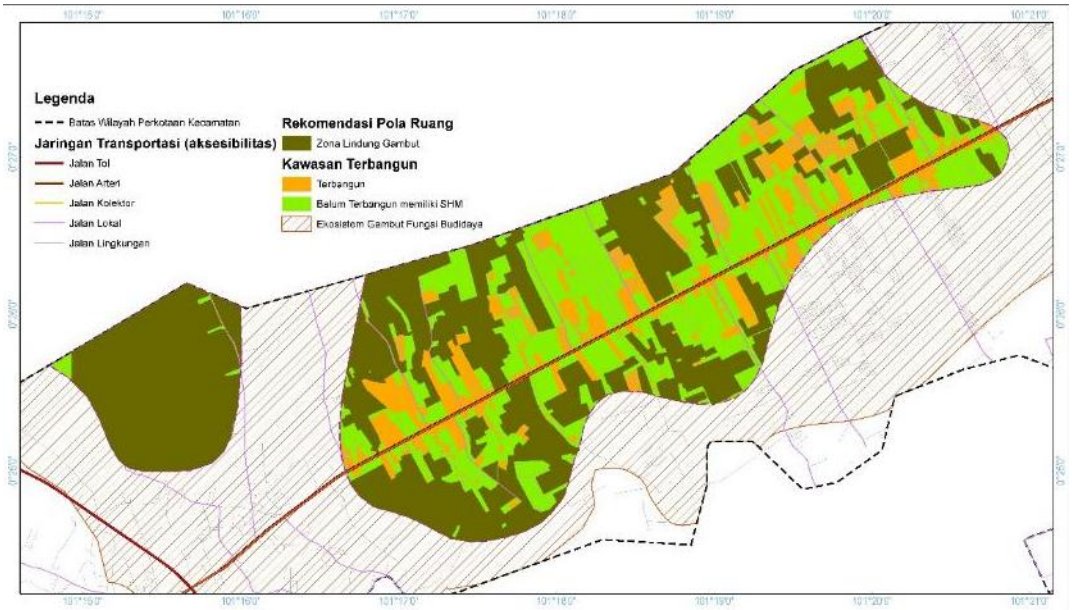


Gambar 5. Wilayah terbangun dan non terbangun lokasi penelitian dengan ekosistem gambut fungsi lindung.

Rekomendasi Pola Ruang

Rencana tata ruang menjadi suatu upaya pemerintah untuk dapat menjaga dan mengendalikan dinamika perubahan ruang yang digunakan. Tujuannya ialah untuk menciptakan kawasan yang aman, nyaman, produktif, dan berkelanjutan. Hal yang dikhawatirkan dari perkembangan ekspansi perkotaan adalah rusaknya lingkungan ekosistem lahan gambut yang berfungsi lindung maka perlu adanya upaya pengendalian kerusakan fungsi lindung ekosistem gambut melalui rencana tata ruang. Berdasarkan hasil penelitian, hingga tahun 2023 fungsi lindung ekosistem gambut berkurang 18% dan kemungkinan akan terus berkurang dalam beberapa tahun kedepan.

Dalam penelitian ini status kepemilikan lahan atau hak atas tanah pada ekosistem lahan gambut menjadi hal penting untuk di jadikan sebagai variabel, karena berdasarkan asas penguasaan atas kepemilikan tanah juga mengenal asas keterikatan (*accessie*), yang menyatakan bahwa kepemilikan atas benda-benda di atas tanah juga melekat pada kepemilikan tanah (Hidayanti *et al.*, 2021). Maka dilakukan analisis *overlay erase* untuk mengeluarkan area yang memiliki status kepemilikan tanah serta yang belum memiliki status hak dapat direkomendasikan menjadi pola ruang Zona Lindung Gambut agar dapat menjadi landasan hukum oleh pemerintah dalam perlindungan ekosistem gambut yang semakin terdegradasi, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6.**



Gambar 6. Rekomendasi kawasan lindung gambut pada wilayah RDTR Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar

KESIMPULAN

Sebagai Upaya Perlidungan Ekosistem Gambut Pada Wilayah Perencanaan RDTR Kecamatan Tambang, perlu dilakukan kajian yang lebih komprehensif terhadap fungsi-fungsi ekologis seperti ekosistem lahan gambut, peningkatan kerentanan terhadap bencana alam serta perubahan pola penggunaan sumber daya alam yang dapat mempengaruhi kesejahteraan sosial dan ekonomi masyarakat. Perencanaan tata ruang yang berkelanjutan sebagai suatu pendekatan strategis dalam mengatur penggunaan dan pengembangan lahan yang merujuk pada keberlanjutan alam dan mencakup berbagai aspek seperti ekonomi, sosial, dan lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Wahyu Hidayat dosen Arsitektur, Universitas Riau yang telah membatu dalam pengumpulan data penyusunan RDTR Kecamatan Tambang yang sedang dalam proses bimbingan teknis di Kementrian ATR/BPN, Kepala Bidang Tata Ruang, Dinas Pekerjaan umum dan Penataan Ruang Kabupaten Kampar yang telah memberikan akses sebagai pemilik data RDTR Kecamatan Tambang, dan bapak Efriyeldi selaku Ketua Prodi Doktoral Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Riau yang telah menfasilitasi penelitian ini serta dukungan yang sangat bermanfaat untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bridgham, S. D., Pastor, J., Dewey, B., Weltzin, J. F., & Updegraff, K. (2008). Rapid Carbon Response of Peatlands to Climate Change. In *Ecology* (Vol. 89, Issue 11).

Firmansyah, F., & Raharja, A. B. (2021). Quantification of Land Cover Changes in Sub-urban Areas of Pekanbaru City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *887*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/887/1/012020

Goldberg, D. W., Cockburn, M. G., & Naito, A. T. (2013). Spatial Overlays. In F. P. Boscoe (Ed.), *Geographic Health Data Fundamental Techniques for Analysis* (pp. 87–104). CABI.

Hidayanti, S., Koswara, I., & Gunawan, Y. (2021). The Land Legal System in Indonesia and Land Rights According to the Basic Agrarian Law (UUPA). *Legal Brief*, *11*(1), 366–379. www.legal.isha.or.id/index.php/legal

Hidayat, D. C., Mizuno, K., Said, C. A. A., & Herdiansyah, H. (2023). Implementation Framework for Transformation of Peat Ecosystems to Support Food Security. *Agriculture (Switzerland)*, *13*(2). https://doi.org/10.3390/agriculture13020459

Hishiyama, J., Taco, W. G., & Arruda, F. (2021). Accessibility in Transportation and Land Use Planning. *Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, *7*. https://doi.org/10.18224/baru.v7i2.8715

Ismiyanti, D., Asteriani, F., & Astuti, P. (2019). Priority study of infrastructure development at Suburban Pekanbaru (Case study: Tambang District). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *340*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/340/1/012014

Kharisma, C., & Susilowati, M. H. D. (2021). Pusat Pelayanan di Kota Pekanbaru, Provinsi Riau Tahun 2019. *Geo Spatial Proceeding*, 204–213. https://proceeding.uns.ac.id/geospatial/article/view/24

Li, Y., Long, H., & Liu, Y. (2015). Spatio-temporal pattern of China's rural development: A rurality index perspective. *Journal of Rural Studies*, *38*, 12–26. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.01.004

Loisel, J., & Gallego-Sala, A. (2022). Ecological resilience of restored peatlands to climate change. *Communications Earth and Environment*, *3*(1). https://doi.org/10.1038/s43247-022-00547-x

Mardiansjah, F. H., Handayani, W., & Setyono, J. S. (2018). Pertumbuhan Penduduk Perkotaan dan Perkembangan Pola Distribusinya pada Kawasan Metropolitan Surakarta. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, *6*(3), 215. https://doi.org/10.14710/jwl.6.3.215-233

Minayeva, T. Yu., & Sirin, A. A. (2012). Peatland biodiversity and climate change. *Biology Bulletin Reviews*, *2*(2), 164–175. https://doi.org/10.1134/s207908641202003x

Nugroho, S., Yuliani, E., & Kautsary, J. (2022). Fenomena Urban Sprawl terhadap Faktor-faktor Perubahan Penggunaan Lahan di Pinggiran Kota. *Journal of Urban and Regional Planning*, *3*(1), 1–8.

Nurrady, T. I., Dewanti, D., & Herwangi, Y. (2020). Tingkat keterkaitan fisik kota inti dan kota satelit di kawasan metropolitan PEKANSIKAWAN (Pekanbaru, Siak, Kampar, Pelalawan). *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, *15*(1), 119. https://doi.org/10.20961/region.v15i1.26698

Page, S. E., & Baird, A. J. (2016). Peatlands and Global Change: Response and Resilience. *Annual Review of Environment and Resources*, *41*, 35–57. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085520

Raditya, A. A. W., Sueca, N. P., & Wirawibawa, I. B. G. (2020). The Preference of The Sub-Urban Society in Choosing The Satellite Area of Denpasar City as a Residential. *Journal of a Sustainable Global South*, *5*(1), 14–19.

RI (Republik Indonesia). (2014). Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem. Sekretariat Negara. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2016). Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016 Tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut. Sekretariat Negara. Jakarta.

Riza, Y., Cheris, R., & Repi, R. (2017). Approach of Urban Design Elements in Preservation Area Kampung Bandar Senapelan Towards Pekanbaru Metropolitan City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *97*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/97/1/012022

Sakuntaladewi, N., Mendham, D. S., Subarudi, Rochmayanto, Y., Jalilov, S. M., Djaenudin, D., Effendi, R., Astana, S., & Wibowo, A. (2024). Vulnerability of communities living on peatlands to climate change and peatland degradation: A case study in Tumbang Nusa Village, Central Kalimantan, Indonesia. *Mires and Peat*, *30*. https://doi.org/10.19189/MaP.2023.OMB.Sc.2118578

Shao, Z., Sumari, N. S., Portnov, A., Ujoh, F., Musakwa, W., & Mandela, P. J. (2021). Urban sprawl and its impact on sustainable urban development: a combination of remote sensing and social media data. *Geo-Spatial Information Science*, *24*(2), 241–255. https://doi.org/10.1080/10095020.2020.1787800

The Association of Southeast Asian Nations (ASEAN). (2023). *Strategy and Action Plan for Sustainable Management of Peatlands in Asean Member States 2023-2030*. www.asean.org.

Triadi, L. B. (2020). Water management for agriculture development in peatlands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *437*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/437/1/012041

Tsabit N, C. D., & Pigawati, B. (2021). The Pattern of Settlement Distribution in Disaster Prone Areas of Semarang City. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, *23*(2), 94–103. https://doi.org/10.15294/jtsp.v23i2.30292

SUBTEMA 3:

Kota Pintar, Perencanaan Kota, dan Ketahanan Kota

(Smart City, Urban Planning, and City Resilience)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMBANGUNAN GEOPORTAL MENGGUNAKAN *GEONODE* UNTUK KABUPATEN BOGOR

(Geoportal Development Using Geonodes for Bogor Regency)

Genta Yoga Dewantoro, Mohamad Mahfudz, Bebas Purnawan

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan

Jl. Pakuan, Kota Bogor, Jawa Barat, 16143, Indonesia
Email: gentayoga77@gmail.com

ABSTRAK

Data geospasial merupakan aspek penting dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan aspek kewilayahan. Persebaran informasi geospasial di wilayah Kabupaten Bogor masih kurang diperhatikan, hal ini terlihat dari sulitnya memperoleh data spasial yang valid. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mendukung pengembangan jaringan informasi geografis adalah geoportal. Geoportal adalah platform *Web* yang dirancang untuk mengakses dan mengelola informasi geospasial. Federal Geographic Data Commission (FGDC) mendefinisikan geoportal sebagai alat yang menyediakan akses ke berbagai layanan geospasial, termasuk pencarian, tampilan, analisis, dan pengambilan data geospasial. dalam pembangunan geoportal dilakukan dengan menginstall geononde pada sistem oprasi ubuntu dengan metode pengumpulan data spasial berupa data spasial dasar dan data spasial tematik. Tujuan Penelitian ini adalah membuat *GeoNode* sebagai *open source* geoportal untuk melakukan manajemen data geospasial yang digunakan dalam penyebaran informasi geospasial. Hasil dari peneilitian ini berupa prototype geoportal yang nantinya dapat menjadi salah satu alternatif aplikasi *open source* geoportal untuk Pemerintah Daerah Kabupaten Bogor dalam pengembangan geoportal di wilayahnya.

Kata Kunci*:* informasi geospasial, geoprtal, geonode, Bogor

ABSTRACT

Geospatial data is an important aspect of decision-making related to territorial elements. The distribution of geospatial information in Bogor Regency is still lacking, this can be seen from the difficulty of obtaining valid spatial data. One technology that can be used to support the development of geographic information networks is geoportal. Geoportal is a Web platform designed to access and manage geospatial information. The Federal Geographic Data Commission (FGDC) defines a geoportal as a tool that provides access to various geospatial services, including searching, displaying, analyzing, and retrieving geospatial data. In developing a geoportal, geonode is installed on the Ubuntu operating system with a spatial data collection method in the form of basic and thematic spatial data. The purpose of this study is to make GeoNode an open-source geoportal to manage geospatial data used in the distribution of geospatial information. The results of this study are in the form of a geoportal prototype which can later become an alternative open-source geoportal application for the Bogor Regency Regional Government in developing geoportals in its region.

Keywords: *Geospatial Information, Geoportal, Geonode, Bogor Regency*

PENDAHULUAN

Dalam kebutuhan perencanaan, penelitian, dan pendidikan yang bersangkutan dengan keruangan dan wilayah, data spasial merupakan aspek penting yang tidak dapat ditinggalkan. Data spasial dapat mengintegrasikan lokasi pembangunan lintas sektor hingga ke dalam koordinat petanya. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mendukung Perkembangan Jaringan Informasi Geospasial adalah Geoportal.

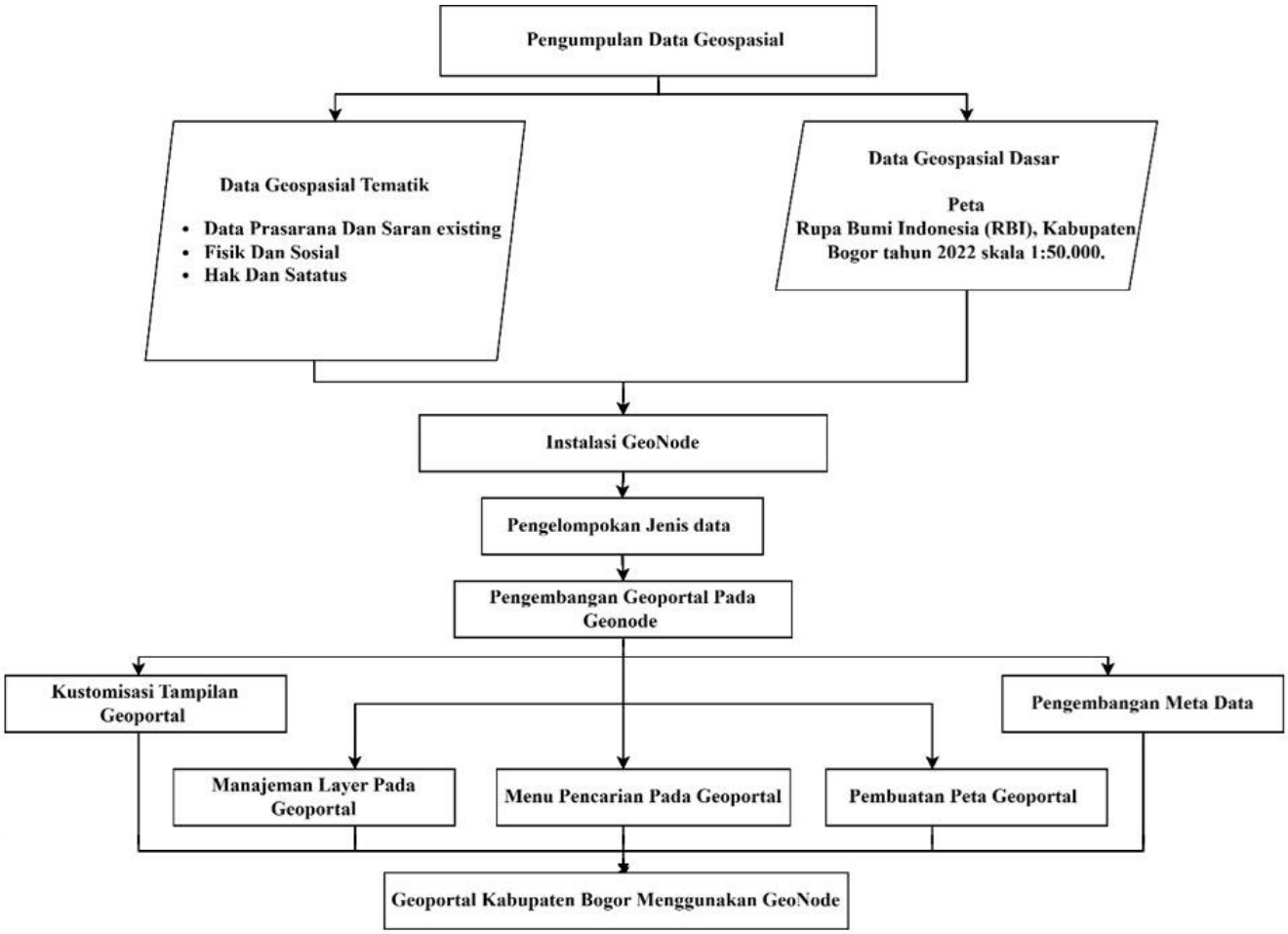
Geoportal adalah suatu platform atau situs web yang digunakan untuk mengakses dan mengelola informasi geografis atau data geospasial. *The Federal Geographic Data Committee (FGDC)* mendefinisikan Geoportal adalah sebuah alat yang menyediakan akses ke berbagai layanan geospasial, termasuk pencarian, penampilan, analisis, dan pengambilan data geospasial. Biasanya menawarkan alat untuk melihat, menanyakan, dan menganalisis peta, citra satelit, dan data

geospasial lainnya. Geoportal dapat dikelola oleh satu atau beberapa operator, yang dapat menambahkan informasi geospasial. Selain itu, pada geoportal juga terdapat layanan untuk mengunduh data dan menggunakan beberapa layanan (berbagi pakai). Hal ini berbeda dengan dengan WebGis, di mana data geospasial yang terdapat pada WebGIS tidak dapat diunduh oleh para *viewer* dan tidak memfasilitasi pencarian data geospasial.

GeoNode adalah platform *Web open source* yang dirancang untuk pengelolaan dan berbagi data dan peta geospasial yang dibangun di atas kerangka *Web* Django dan sangat populer di kalangan perusahaan maupun organisasi yang berkolaborasi pada pengembangan data geospasial dalam membuat aplikasi berbasis peta. *GeoNode* memungkinkan pengguna mengunggah, berbagi, dan memvisualisasikan berbagai jenis data geospasial, termasuk *Shapefile*, data raster, dan banyak lagi. Beberapa fitur utama *GeoNode* mencakup katalog data, manajemen metadata, pembuatan peta, dan kemampuan untuk membuat aplikasi peta *Web*. *GeoNode* sering digunakan oleh lembaga pemerintah, organisasi lingkungan hidup, dan pihak lain dalam membangun portal data geospasial mereka sendiri. *GeoNode* adalah platform *open source dan* dapat dikembangkan agar sesuai dengan kebutuhan. Hal ini dapat memainkan peran penting dalam meningkatkan aksesibilitas dan penyebaran informasi geospasial. Tujuan Penelitian dalam Penelitian adalah untuk membuat GeoNode sebagai open source geoportal untuk melakukan manajemen data geospasial yang digunakan dalam penyebaran informasi geospasial dalam pengembangan geoportal untuk Kabupaten Bogor.

METODE

Penelitian ini mencakup pembuatan geoportal menggunakan GeoNode untuk menampilkan informasi spasial mengenai wilayah Kabupaten Bogor secara interaktif sesuai dengan tujuan penelitian ini. Metode dalam pelaksanaan penelitian ini dijabarkan pada diagram alir pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian.

Pengumpulan Data Geospasial

Pengumpulan data spasial mencakup pengumpulan data spasial tematik dan data spasial dasar. Pengumpulan data spasial tematik dilakukan dengan permintaan kepada Bapppedalitbang Kabupaten Bogor, sedangkan pengumpulan data spasial dasar dilakukan dengan mengunduh data spasial dari situs web Badan Informasi Geospasial (BIG) - tanahair.indonesia.go.id. Hasil survei data spasial tematik **Tabel 1**, sementara data rupabumi Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 6 Hasil Survei Data Spasial Tematik.

Nama Data	Format
Aset Pemda	*Shapefile*
Daerah Aliran Sungai	*Shapefile*
Geologi	*Shapefile*
Jenis Tanah	*Shapefile*
Morfologi	*Shapefile*
Ketinggian	*Shapefile*
Kelerengan	*Shapefile*
Penggunaan Lahan	*Shapefile*
Kerentanan Gerakan Tanah	*Shapefile*
Kerentanan Bencana Gempa Bumi	*Shapefile*
Kerentanan Bencana Gunung Api	*Shapefile*
Kerentanan Bencana Rawan Banjir	*Shapefile*
Daya Dukung Air	*Shapefile*
Daya Dukung Lahan	*Shapefile*
Daya Tampung Permukiman	*Shapefile*
Kebutuhan Air	*Shapefile*
Kependudukan	*Shapefile*
Kawasan Bentang Alam Karst	*Shapefile*
Kawasan Hutan	*Shapefile*
Kawasan Strategis	*Shapefile*
Lahan Sawah Dilindungi	*Shapefile*
Pendaftaran Tanah	*Shapefile*
Analisis Kemampuan Lahan	*Shapefile*
Analisis Tata Ruang Pertanian	*Shapefile*
Arahan Tata Ruang Pemanfaatan Air Baku	*Shapefile*
Satuan Kemampuan Lahan	*Shapefile*
Rencana Pola Ruang Wilayah	*Shapefile*

Pemasangan GeoNode pada Ubuntu

Pemasangan Geonode yang dilakukan menggunakan Geonode dengan berbasis *docker*, Penggunaan Docker pada GeoNode membantu dalam menyederhanakan pengelolaan dan penyebaran aplikasi geospasial, serta memastikan konsistensi di berbagai lingkungan. Ini juga mendukung efisiensi pengembangan dan pemeliharaan sistem GIS dengan memanfaatkan kelebihan kontainerisasi. Untuk versi Geonode yang digunakan yaitu versi Master 3.2 dikarenakan versi yang lebih stabil dan lebih mudah digunakan oleh pengguna. Untuk pemasangan penulis telah mempersiapkan Git yang dapat diakses pada link berikut ini: https://github.com/Mangsiro/Geonode.

Tabel 7 Data Peta Rupa Bumi Indonesia Kabupaten Bogor Skala 1:50.000

Nama Data	Format	Jenis Data
Batas Administrasi	*Polygon*	*Shapefile*
Batas Administrasi	*Polyline*	*Shapefile*
Penutup Lahan	*Polygon*	*Shapefile*
Kontur	*Polyline*	*Shapefile*
Perairan	*Polygon*	*Shapefile*
Permainan	*Polyline*	*Shapefile*
Jaringan Jalan	*Polyline*	*Shapefile*
Toponimi	*Point*	*Shapefile*

Persiapan Data Spasial

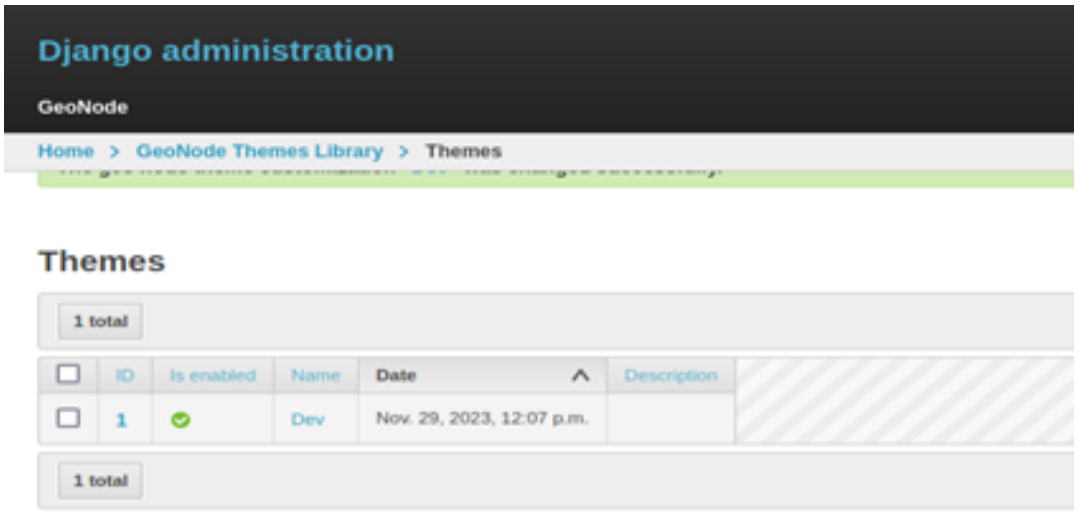
Pengelompokan jenis data dilakukan agar mempermudah pengunjung web dalam mencari dan mendapatkan data yang diinginkan. Selain pengelompokan data dapat mempermudah pencarian data terkait pengelompokan data dapat dijadikan patokan dalam penyusunan metadata maupun database guna inventarisasi data. dalam hal ini data yang didapatkan dibagi menjadi 8 kelompok sesuai dengan tema data spasial. Dari hasil pengumpulan data yang didapatkan data dikelompokan menjadi **Tabel 3**.

Tabel 8 Hasil Pengelompokan Data Spasial

Jenis Data Spasial	**Nama Data**	**Format**
Prasarana dan Sarana	Aset Pemda	*Shapefile*
Fisik	Daerah Aliran Sungai	*Shapefile*
	Geologi	*Shapefile*
	Jenis Tanah	*Shapefile*
	Morfologi	*Shapefile*
	Ketinggian	*Shapefile*
	Kelerengan	*Shapefile*
	Penggunaan Lahan	*Shapefile*
	Kerentanan Gerakan Tanah	*Shapefile*
	Kerentanan Bencana Gempa Bumi	*Shapefile*
	Kerentanan Bencana Gunung Api	*Shapefile*
	Kerentanan Bencana Rawan Banjir	*Shapefile*
Sosial	Daya Dukung Air	*Shapefile*
	Daya Dukung Lahan	*Shapefile*
	Daya Tampung Permukiman	*Shapefile*
	Kebutuhan Air	*Shapefile*
	Kependudukan	*Shapefile*
Hak dan Status	Kawasan Bentang Alam Karst	*Shapefile*
	Kawasan Hutan	*Shapefile*
	Kawasan Strategis	*Shapefile*
	Lahan Sawah Dilindungi	*Shapefile*
	Pendaftaran Tanah	*Shapefile*
Peta Dasar	Batas Administrasi	*Shapefile*
	Batas Administrasi (Line)	*Shapefile*
	Penutup Lahan	*Shapefile*
	Kontur	*Shapefile*
	Perairan	*Shapefile*
	Permainan	*Shapefile*
	Jaringan Jalan	*Shapefile*
	Toponimi	*Shapefile*
Analisis Wilayah	Analisis Kemampuan Lahan	*Shapefile*
	Analisis Tata Ruang Pertanian	*Shapefile*
	Arahan Tata Ruang Pemanfaatan Air Baku	*Shapefile*
	Satuan Kemampuan Lahan	*Shapefile*
Rencana Tata Ruang	Rencana Pola Ruang Wilayah	*Shapefile*

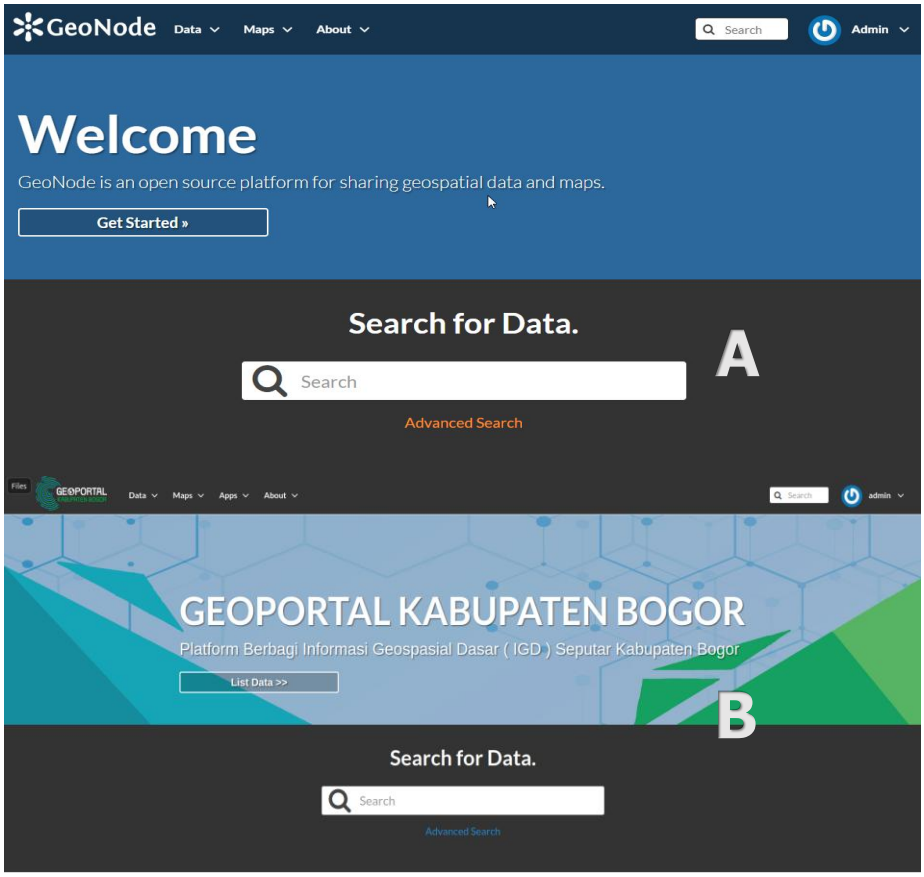
Kustomisasi Tampilan Web

Kustomisasi yang dimaksudkan adalah modifikasi tampilan halaman web dari sistem GeoNode Kustomisasi Tampilan Web Geoportal dilakukan agar geoportal terlihat menarik dan memberikan identitas tersendiri pada geoportal yang dibuat. Pada GeoNode untuk melakukan kustomisasi sudah tersedia Administrator Sistem Manajemen Django Perubahan tampilan geoportal dilaksanakan sebagai berikut. Tampilkan halaman Welcome GeoNode dan klik menu Admin untuk mengaktifkan editor Django Administrator.Untuk menu customize tema yang akan digunakan pada geoportal dapat menuju *Home > GeoNode Themes Library > Themes.*



Gambar 2 Menu Themes Pada Django Administrator

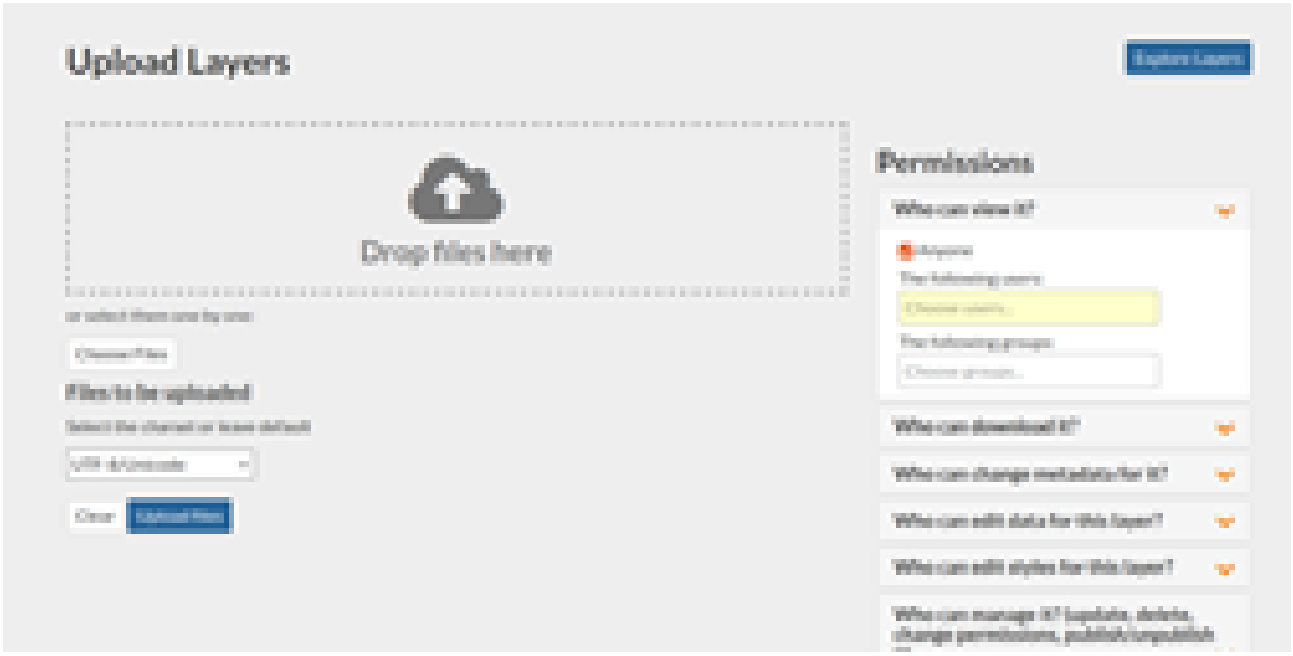
Setelah melakukan penyesuaian tema simpan tema yang telah dibuat. Dibawah ini adalah tampilan tema sebelum dan sesudah penyesuaian.



Gambar 3 (A) Halaman Web Default geonode (B) Hasil Kustomisasi Halaman web GeoNode Menggunakan Django Administrator

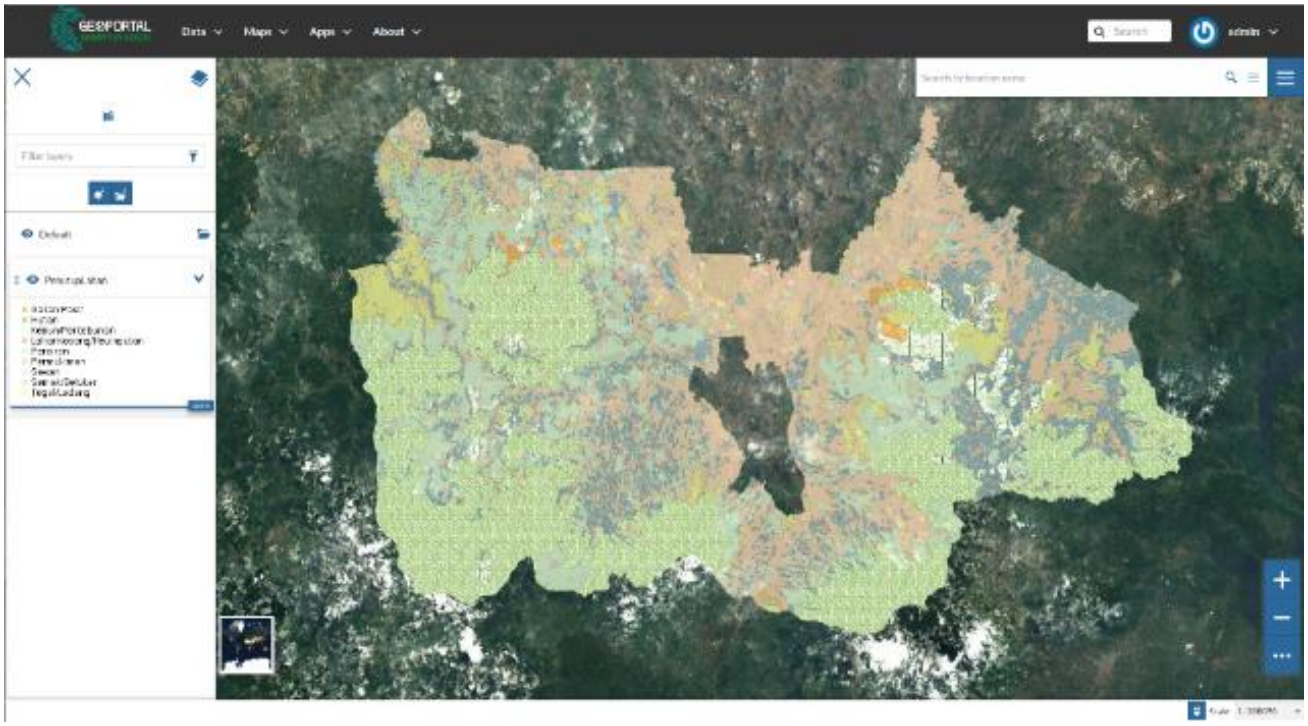
Manajemen *Layer* Pada Geoportal

Layer menjadi bagian utama pada GeoNode, dalam pembuatan layer hingga menjadi Layer yang interaktif dan dapat digunakan nantinya dalam pembuatan peta pada GeoNode. dalam pembuatan layer dibahas beberapa tahap seperti *upload* data hingga proses simbolisasi pada layer. Tampilan halaman upload layer terlihat seperti yang ada pada gambar di bawah ini:

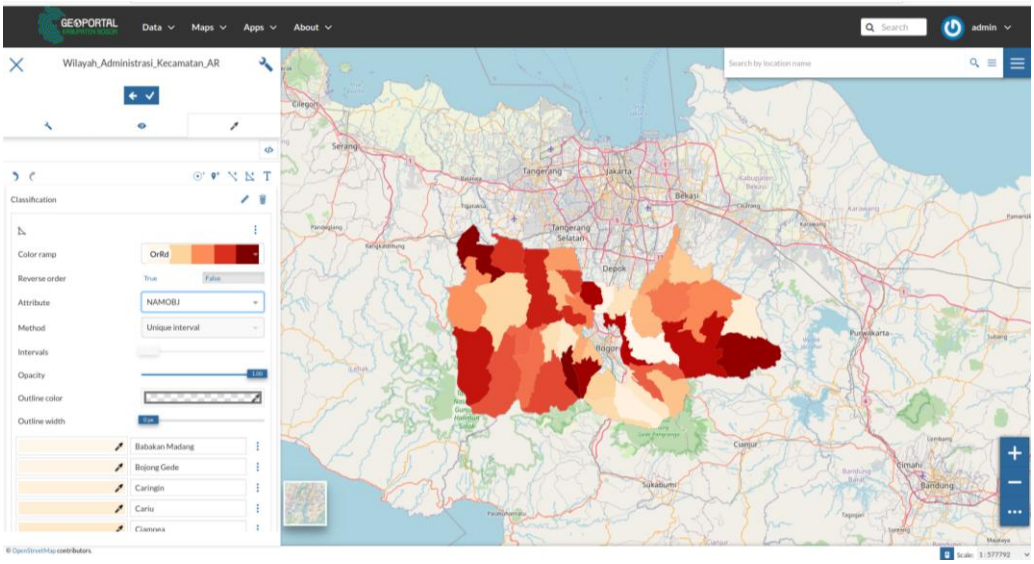


Gambar 4 Halaman Upload Layer Pada Geoportal

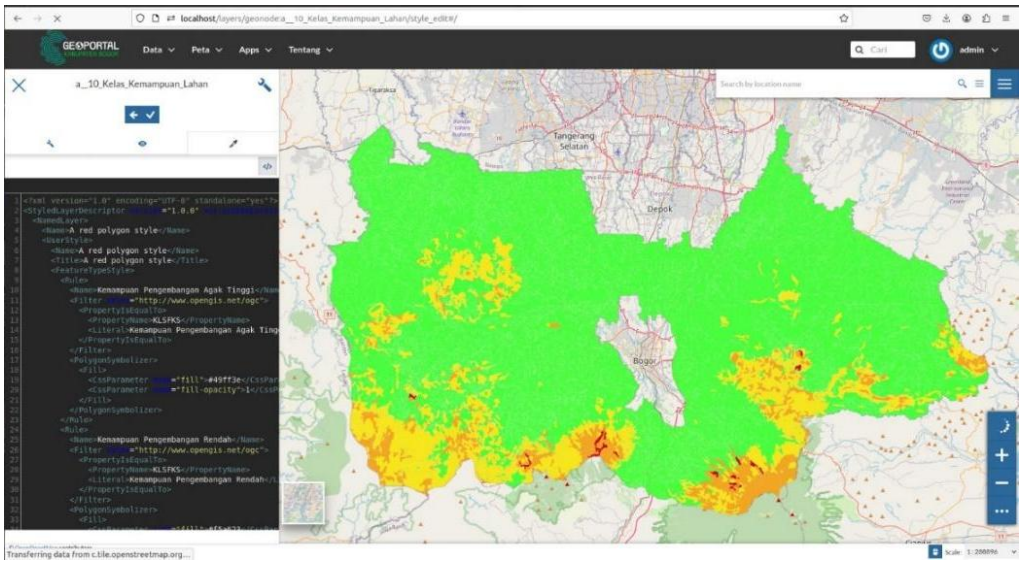
Selanjutnya dilakukan simbolisasi pada *layer*. Simbolisasi dalam konteks *GeoNode* merupakan representasi visual data geografis pada peta. Simbol memungkinkan pengguna memilih simbol, warna, dan style lain untuk mewakili unit geografis dan atribut data pada peta. *GeoNode* memungkinkan pengguna menerapkan simbologi ke lapisan peta atau topik yang berbeda. Untuk contoh hasil dari simbolisasi yang digunakan dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 5 Hasil Simbolisasi Menggunakan SLD



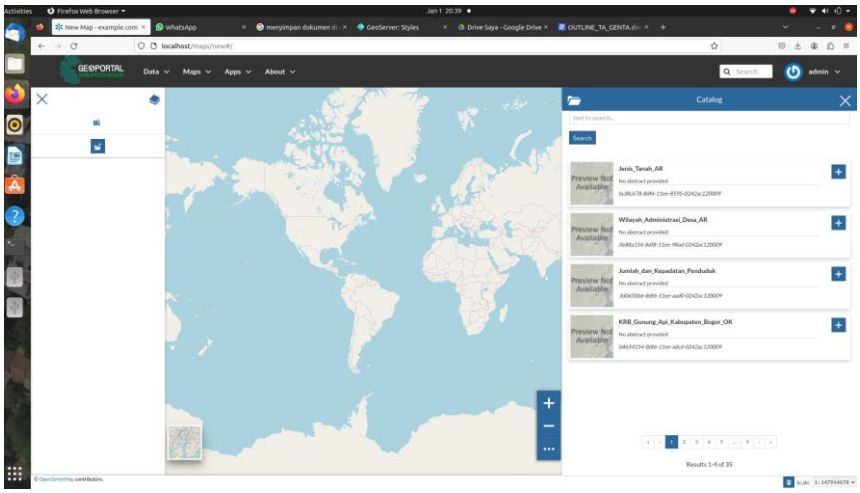
Gambar 6 Hasil Simbolisasi Menggunakan *Visual Editor*



Gambar 7 Hasil Simbolisasi Menggunakan *Text Editor*

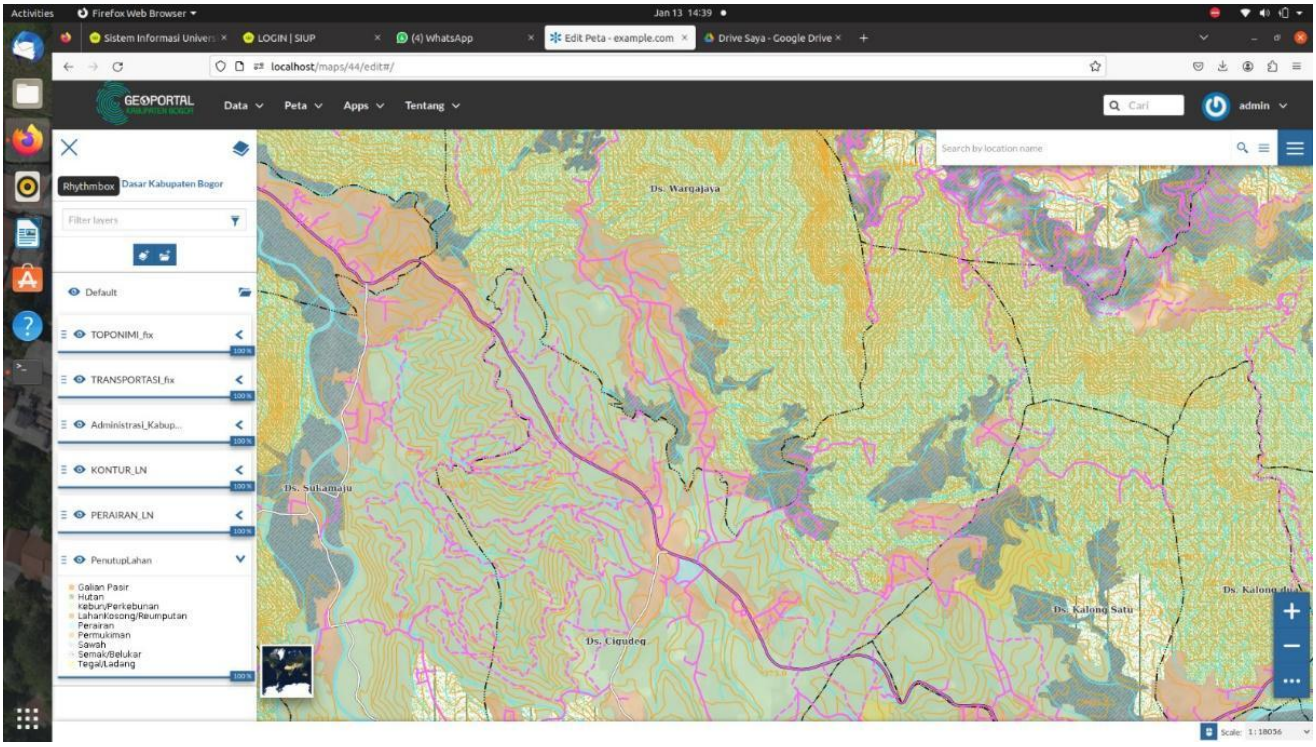
Membuat Peta pada Geoportal

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana membuat peta dengan menggabungkan beberapa layer yang sudah diunggah pada geoportal. Untuk membuat peta baru, untuk dapat menggunakan menu Maps di bilah navigasi tombol Create Map di Layer Page. Tampilan menu create map pada bilah navigasi dan tampilan *create maps* gambar 8 diawah ini:



Gambar 8 Tampilan *Create Maps*

Sebagai contoh penerapan pembuatan peta penulis membuat peta dasar untuk Kabupaten Bogor dengan menggabungkan *layer* yang sudah di *upload* dan dilakukan simbolisasi pada bab sebelumnya Pengurutan letak layer menjadi penting untuk mencegah terjadi layer tidak terlihat saat ditampilkan. Disarankan untuk meletakan format *point* atau *polyline* di bagian atas sebelum format polygon. Setelah dilakukan penggabungan layer sesuai dengan urutan tabel diatas maka tampilan peta dasar dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini:



Gambar 9 Hasil Pembuatan Peta Dasar Kabupaten Bogor

Manajemen Metadata

Metadata berisi semua informasi yang terkait dengan dataset yang telah di upload untuk memberikan informasi penting dan identifikasi data. Metadata juga membuat data lebih mudah ditemukan melalui pencarian oleh pengguna geoportal. Metadata data dapat diubah melalui *Edit* Metadata Untuk membuka formulir Metadata suatu Dataset dengan mengklik link Edit Metadata dari opsi Edit di Halaman Dataset. Terdapat empat langkah dasar dalam pengisian metadata di antaranya:

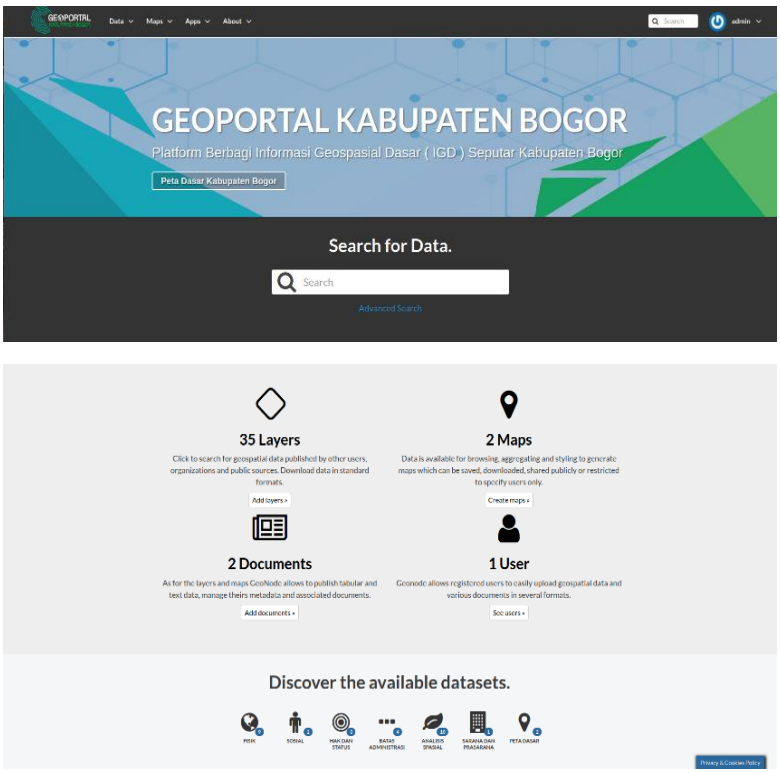
1. Metadata dasar, yang berisikan informasi dasar pada data yang telah di upload pada geoportal GeoNode.
2. Lokasi dan Lisensi, ditujukan untuk mengisi informasi lisensi data.
3. Metadata Data Opsional, merupakan informasi pelengkap yang dapat diisi namun bersifat opsional.
4. Metadata Atribut Himpunan Data, untuk Himpunan Data Pada langkah ini Anda dapat memperkaya atribut dataset dengan informasi yang berguna.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang HASIL DAN PEMBAHASAN penelitian Pengembangan Geoportal Menggunakan *GeoNode*. Penjelasan ini mencakup halaman utama, halaman *layer*, halaman peta, halaman metadata, halaman data yang terlibat, dan pembahasan.

Hasil Tampilan Geoportal

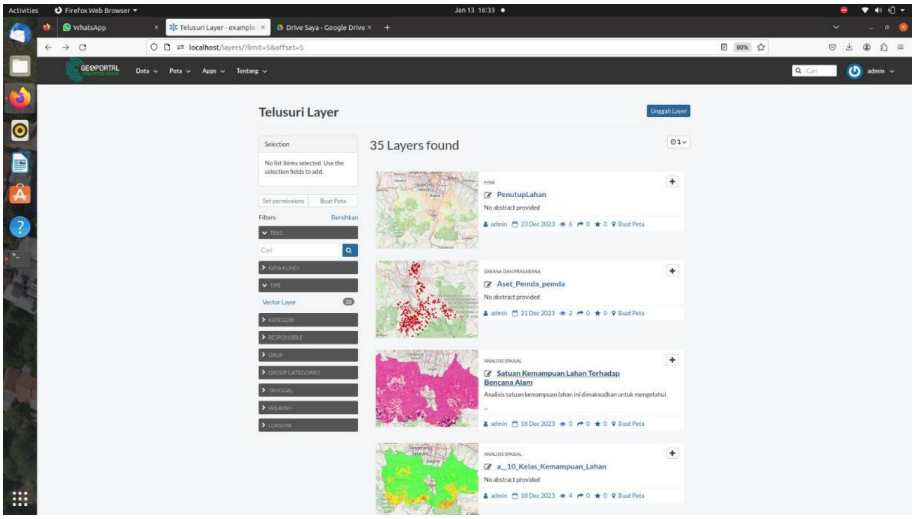
Dalam halaman ini terdapat fungsi untuk mengakses dan menelusuri Data dan Peta. Akses tersebut dapat dilakukan melalui menu, content, partner dan footer. Pada menu tersedia perangkat untuk mengakses Data (layer dan metadata). Disamping itu tersedia perangkat Search untuk menemukan informasi spasial yang diinginkan dengan cara menginput nama informasi spasial. Content menampilkan nama geoportal yaitu "Geoportal Kabupaten Bogor", informasi jumlah data yang tersedia termasuk pengguna yang sedang mengakses geoportal, perangkat untuk mengakses data yang tersedia.



Gambar 10. Tampilan Utama Pada Geoportal Kabupaten Bogor

Hasil Tampilan Layer

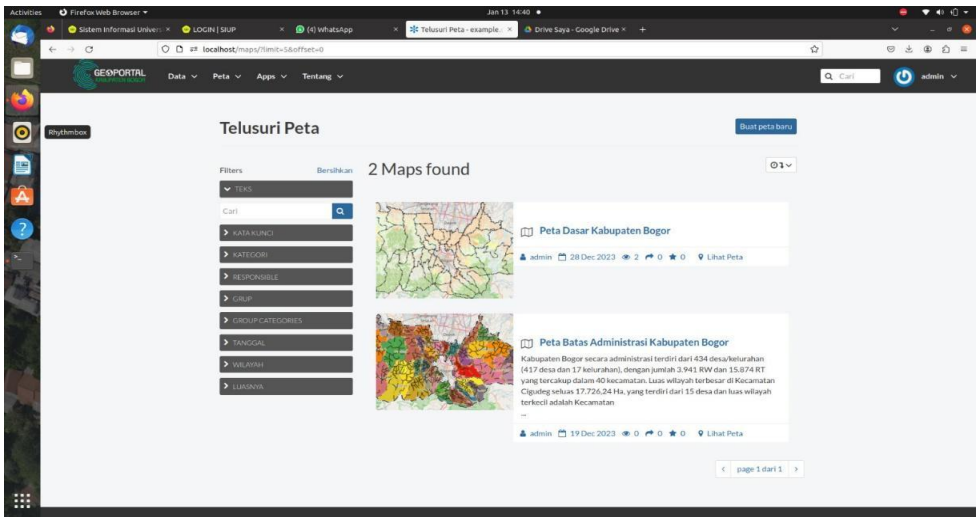
Halaman layer dibawah ini menampilkan perangkat untuk menelusuri layer, menampilkan thumbnail layer dan unggah layer. Penelusuran layer diperlukan untuk mencari layer yang diinginkan, dengan cara mengetik nama layer pada perangkat Telusuri Layer. Informasi Layer diperlukan untuk menampilkan peta thumbnail layer beserta nama layer. Unggah Layer diperlukan untuk menambah layer baru. dalam penelitian ini sebanyak 35 layer telah diunggah ke dalam geoportal. tampilan menu layer dapat dilihat pada gambar 11.



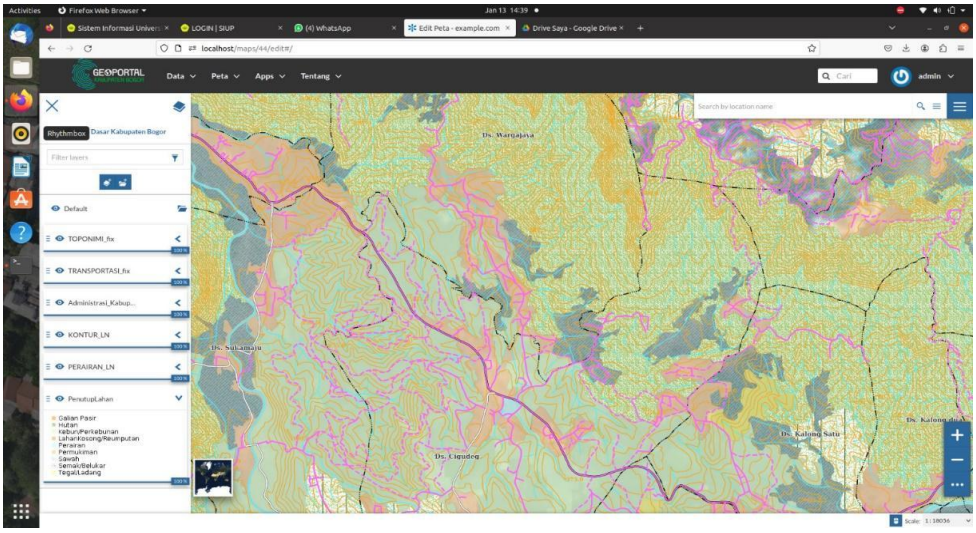
Gambar 11 Tampilan menu *Layer* Pada GeoNode

Hasil Pembuatan Peta

Dalam geoportal dibawah ini dua peta dibuat yaitu Peta Dasar Kabupaten Bogor dan Peta Batas Administrasi. dalam halaman peta dibawah ini terdapat fungsi untuk menelusuri peta yang ada, tampilan thumbnail peta yang ada, dan tombol untuk membuat peta baru. Penelusuran diperlukan karena geoportal mungkin memiliki peta dalam jumlah besar sehingga sulit menemukannya secara manual. tampilan menu peta dapat dilihat pada gambar 16 dan Hasil dari pembuatan peta yang dilakuan dapat dilihat pada gambar 12 dan hasil pembuatan peta dapat dilihat pada gambar 13 dibawah ini:



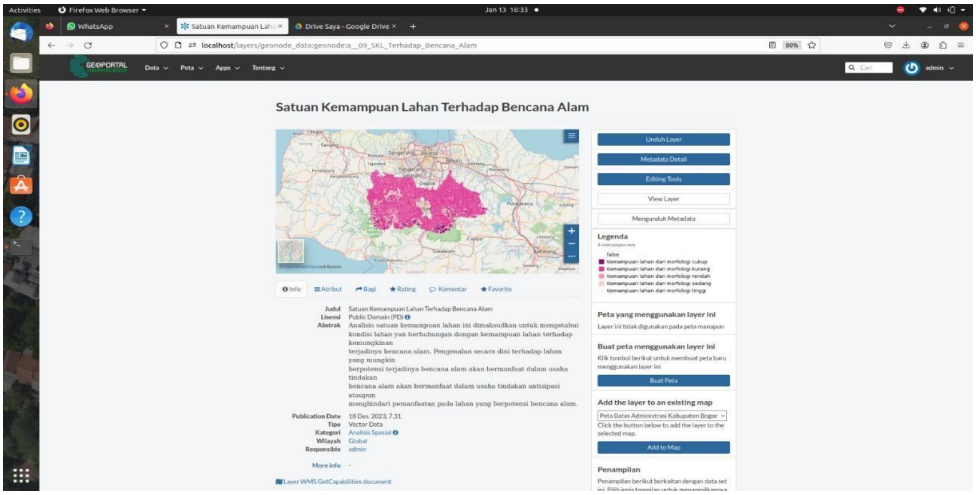
Gambar 12 Tampilan Menu Peta Pada GeoNode



Gambar 13 Hasil Peta

Hasil Pengembangan Metadata

Setiap layer yang dikembangkan dalam geoportal ini dikembangkan metadata nya. Berikut merupakan hasil dari proses pengembangan metadata yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Dibawah ini adalah hasil pengembangan metadata untuk layer Satuan Kemampuan Lahan terhadap Bencana Alam. Metadata yang ditampilkan terdapat dibawah layer mencakup: judul, lisensi, abstrak, tipe, kategori, wilayah dsb. Hasil pengembang metadata yang dilakuan dapat dilihat pada bagian bawah layer atau data seperti pada gambar 14 dibawah ini:



Gambar 14 Hasil Pengembangan Metadata

Pembahasan

Versi GeoNode yang digunakan pada penelitian ini adalah GeoNode versi 3.2 karena merupakan versi yang lebih stabil dibandingkan versi-versi yang lainnya. Namun versi ini belum mengakomodir fungsi popup seperti analisis diagram dan lain sebagainya seperti versi 4.0 sehingga fungsi dalam mengedit layer masih belum maksimal.

Dari 44 data spasial yang sudah didapatkan sebanyak 35 berhasil diunggah pada geoportal, dan sebanyak 9 data yang tidak dapat diunggah pada halaman geoportal. Hal ini disebabkan beberapa faktor diantaranya data yang terlampau besar sehingga membebani sistem geoportal, data yang *crash,* dan terkait dengan status dari beberapa data yang tidak boleh disebarkan kepada publik.

Pada penyajian simbolisasi menggunakan visual editor pada GeoNode versi 3.2 masih belum bisa mengakomodir perubahan urutan dari kategori field yang ada, sehingga disarankan pada proses simbolisasi yang lebih baik disarankan menggunakan SLD baik menggunakan QGIS maupun langsung pada Virtual Editor.

Dalam menu pencarian menu search utama memiliki kekurangan belum bisa mengakmomondir pencarian data yang kompleks yang dimana nantinya pengunjung hanya dapat mencari data berdasarkan kata yang inggin di cari, menu advance search dapat dijadikan pilihan yang baik karena dapat mengakomondir pencarian data berdasarkan kategori yang diinginkan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengembangan geoportal Kabupaten Bogor Menggunakan *GeoNode* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. GeoNode adalah platform Open source yang dirancang khusus untuk membuat dan berbagi peta interaktif. Karena open source membuat GeoNode memiliki fleksibilitas dan kontrol penuh kepada pengguna nantinya untuk menyesuaikan platform sesuai kebutuhan. GeoNode memungkinkan pengguna untuk membuat peta secara interaktif, kemudahan dalam mengaskes dan berbagi data, serta pemeliharaan serta pembaruan platform dapat dilakukan dengan lebih mudah. Hal tersebuat dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pemerintah daerah Kabupaten Bogor untuk menggunakan GeoNode sebagai geoportal.
2. GeoNode dapat bekerja pada system docker membantu dalam menyederhanakan pengelolaan dan penyebaran aplikasi geospasial. GeoNode juga menyediakan map service tersendiri sehingga pengguna nantinya tidak perlu menyiapkan map service terlebih dahulu.

SARAN

Pada pembuatan geoportal menggunakan ini *GeoNode* masih bisa dikembangkan lebih luas, sebagai referensi dalam mengembangkan *GeoNode* sebagai geoportal disarankan untuk dapat mengunjungi *Website* resm yang dimiliki geonode, dan juga Perlu adanya Pengolahan data spasial sebelum di *upload* untuk menghindari data tidak dapat diunggah pada sistem *Map Service*. Alplikasi ini perlu dioperasikan pada lingkungan internet untuk mengetahui apakah aplikasi ini berjalan lancar, lebih cepat atau lebih lambat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan karunia dan serta hidayahNya lah sehingga penelitian "**PEMBANGUNAN GEOPORTAL MENGGUNAKAN *GEONODE* UNTUK KABUPATEN BOGOR"** Pelaksanaan penelitian ini tidak terlepas dari peran dan bantuan dari berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Atas penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Informasi Geospasial (BIG). 2018. Buku Pedoman Geoportal Kebijakan Satu Peta. Badan Informasi Geospasial, Bogor.32 hal.

Jacoby, S., Smith, J., Ting, L., & Williamson, I. (2002). Developing a common spatial data infrastructure between state and local government: An Australian 77 case study. International Journal of Geographical Information Science, 16(4), 305-322.

McDougall, K., Rajabifard, A., & Williamson, I. P. (2005). What will Motivate Local Government to Share Spatial Information?, Melbourne Convention Centre

Matindas, R. W., Puntodewo, & Purnawan, B. (2004). Development of National Spatial Data Infrastructure in Indonesia. FIG Working Week, Athens,

Nazir, M. H., & Jufrina, J. (2015). Pemetaan Jaringan Drainase Kota Padang Berbasis Quantum GIS Open Source. In Prosiding 2nd las Civil Engineering National Conference, 13-18

O'Looney, J. (2000). Beyond maps: GIS and decision making in local government (Edisi pertama.). Amerika: Environmental Systems Research Institute, Inc.

Painho, M., Peixoto, M., Cabral, P., & Sena, R. (2001). WebGIS as a teaching tool. Proceedings of the ESRI UC, 9-13.

Paryono, P. (1994). Sistem Informasi Geografis. Yogyakarta: ANDI OFFSET.

Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., & Factor, J. K. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). Journal of geophysical research: solid earth.

Prahasta, E. (2007). Membangun Aplikasi Web-based GIS dengan Mapserver. Bandung: Informatika Bandung.

Undang-undang (UU) Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospas

ANALISIS KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU BERBASIS CITRA SPOT-7 BERDASARKAN KETERSEDIAAN OKSIGEN PENDUDUK DI KECAMATAN BOGOR TENGAH KOTA BOGOR

(*Analysis of Green Open Space Requirements Based on Spot-7 Imagery in Relation to Oxygen Availability for Residents in Central Bogor District, Bogor City*)

Munawaroh[1,2], Nurul Astuti[2], Galih Citra Yogyanti[2]
[1]Badan Riset dan Inovasi Nasional
[2]Magister Penginderaan Jauh Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

KST Soekarno Cibinong, Jalan Raya Bogor Km 46 Cibinong, Kab. Bogor 16911
Email: munawaroh@brin.go.id

ABSTRAK

Ruang terbuka hijau (RTH) memiliki jasa lingkungan yang salah satunya adalah sebagai produsen oksigen. Studi ini mengevaluasi kebutuhan RTH di Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, berdasarkan kebutuhan oksigen penduduk. Cita SPOT-7 digunakan untuk identifikasi RTH di area penelitian. Metode alometri dan regresi digunakan untuk estimasi stok karbon dan estimasi oksigen yang dapat diproduksi oleh RTH. Dengan menggunakan proyeksi jumlah penduduk dan data kebutuhan oksigen di kota, analisis tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan oksigen penduduk setara dengan luas RTH yang diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan RTH di Kota Bogor diperkirakan mencapai 204,92 Ha untuk memenuhi kebutuhan oksigen penduduk. Studi ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang pentingnya RTH dalam menjaga kualitas udara dan kesejahteraan penduduk kota. Implikasi kebijakan yang relevan termasuk peningkatan perlindungan dan pengembangan RTH guna memenuhi kebutuhan oksigen yang berkaitan dengan pertumbuhan populasi di Kota Bogor.

Kata kunci: ruang terbuka hijau, RTH, SPOT-7, kebutuhan oksigen, Kota Bogor

ABSTRACT

Green open space (GOP) has environmental services, one of which is as an oxygen producer. This study evaluates the need for GOP in Bogor Tengah District, Bogor City, based on the population's oxygen needs. SPOT-7 imagery is used to identify GOP in the research area. Allometry and regression methods are used to estimate carbon stocks and estimate oxygen that can be produced by GOP. By using population projections and data on oxygen needs in the city, the analysis shows that the population's oxygen needs are equivalent to the area of open green space required. The research results show that the need for GOP in Bogor City is estimated to reach 204.92 Ha to meet the population's oxygen needs. This study provides an in-depth understanding of the importance of GOP in maintaining air quality and the welfare of city residents. Relevant policy implications include increasing the protection and development of GOP to meet oxygen needs related to population growth in Bogor Tengah District, Bogor City.

Keywords: *green open space, RTH, SPOT-7, oxygen needs, Bogor City*

PENDAHULUAN

Kota Bogor merupakan salah satu kota yang secara administratif berada di Jawa Barat dengan luas wilayah sebesar 11.850 Ha terdiri dari 6 kecamatan dan 68 kelurahan. Secara geografis Kota Bogor terletak di antara 6° 36’ 0” LS, 106° 48’ 0” BT. Kedudukan geografis Kota Bogor di tengah-tengah wilayah Kabupaten Bogor serta lokasinya sangat dekat dengan Ibukota Negara, sehingga Kota Bogor memiliki potensi yang strategis bagi perkembangan dan pertumbuhan ekonomi dan jasa, pusat kegiatan nasional untuk industri, perdagangan, transportasi, komunikasi, dan pariwisata. Adanya ketidakseimbangan dalam pertumbuhan penduduk, pembangunan, dan laju ekonomi terhadap ketersediaan ruang terbuka hijau sebagai penghasil ketersediaan oksigen sangat berpengaruh. RTH sangat dibutuhkan dalam suatu wilayah untuk menstabilkan iklim serta

suhu. Menurut Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, proporsi RTH pada wilayah perkotaan paling sedikit 30% dari luas wilayah keseluruhan.

Kecamatan Bogor Tengah merupakan kawasan terpusat dari 6 Kecamatan lainya, memiliki kepadatan penduduk tinggi, dan 80% penutup lahan berupa area terbangun (Ananda & Ihsani, 2021). Aktivitas penduduk (transportasi) tinggi menghasilkan emisi gas COx dan NOx tinggi yang dapat mempengaruhi kesehatan penduduk (Rinjani *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Astuti *et al.*, 2018) mengenai luasan RTH Kota Bogor, maka diketahui luasan RTH eksisting sebesar 1.199,42 Ha. RTH tersebut belum memenuhi kriteria 30% dari luas wilayah seluruhnya, luas RTH eksisting tersebut hanya 10,12%. Suplai oksigen yang dihasilkan dari RTH yang ada di Kota Bogor setiap harinya sebesar 607.21 Ton/hari. Sedangkan dari perhitungan kebutuhan oksigen di Kota Bogor setiap harinya memerlukan 3.109,21 Ton/hari. Dari hasil tersebut suplai oksigen yang dihasilkan sangat tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan oksigen di Kota Bogor. Kecamatan Bogor Tengah merupakan salah satu kecamatan di Kota Bogor dengan luas 851 Ha dan berpenduduk sekitar 96.258 jiwa (BPS, 2021). Penggunaan lahan di kecamatan Bogor Tengah sebagian besar yaitu perumahan/pemukiman seluas 524,24 Ha, bangunan umum (Kantor dan pertokoan) seluas 15,61 Ha, pemakaman 2,95 Ha, untuk lahan pertanian 0,45 Ha, dan lain lain. Kecamatan Bogor Tengah yang menjadi pusat kota memiliki RTH publik berupa Kebun Raya Bogor (KRB), Taman Kota, Jalur Hijau, dan beberapa RTH yang bersifat private (Novita, 2015). Oleh karena itu, diperlukan perhitungan mengenai kebutuhan RTH yang dapat dilakukan dengan teknik analisis data menggunakan metode statistik deskriptif. Statistik deskriptif digunakan untuk membantu memaparkan keadaan yang sebenarnya dari satu sampel penelitian.

Data penginderaan jauh dan SIG dapat digunakan untuk analisis kebutuhan dan ketersedian oksigen untuk penduduk dari penggunaan lahan yang dikelaskan menjadi RTH. dalam penginderaan jauh sendiri satuan pengamatan terkecil adalah piksel, sehingga dalam satuan piksel tertentu yang memiliki beberapa tutupan lahan akan dikelaskan pada rata rata tutupan lahan yang mendominasi. Zylshal *et al.* (2016) melakukan kombinasi analisis visual dan digital untuk klasifikasi tutupan lahan dengan pemanfaatan transformasi citra berupa indeks Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), dan Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) diturunkan dari citra untuk membantu proses klasifikasi. Penelitian yang dilakukan oleh Sinaga (2018) juga pemanfaatan transformasi Indeks untuk melihat persebaran RTH dapat menampilkan informasi ketersediaan RTH eksisting dan metode gerakis dapat di analisis kebutuhan RTH berdasarkan konsumsi oksigen. Sehingga data tersebut dapat dibandingkan untuk melihat kesesuaian kebutuhan RTH sesuai dengan permen PU No. 5 Tahun 2008. dalam penelitian lain Du *et al.* (2017) mencoba mencari faktor dampak GCI (Green Space cool island) dengan mencakup banyak variabel baik dari dalam maupun di sekitar ruang terbuka hijau dan indikator GCI mencakup tidak hanya GR (GCI Range), tetapi juga amplitudo dan gradien penurunan suhu.

Pemanfaatan penginderaan jauh resolusi tinggi juga dapat memberikan informasi lebih detail untuk memisahkan RTH, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh (Gupta *et al.*, 2012) menggunakan LISS-IV yang merupakan sensor resolusi tinggi multispektral, dengan resolusi spasial 5,8 m pada titik nadir dan beroperasi dalam tiga spektrum band dan Cartosat-2 adalah satelit kartografi sinkron matahari kutub yang diluncurkan oleh Indian Space Research Organization (ISRO). Cartosat-2 memiliki keunggulan resolusi tinggi kurang dari 1 m dan pengulangan 5 hari. Penggunaan dua set data yang dikombinasi dapat memberikan manfaat dari resolusi spasial multispektral dan tinggi dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Penelitiannya mudah diterapkan dan berbagai parameter yang disertakan mudah ditafsirkan dan dipahami oleh perencana kota dan administrator kota. Namun Cartosat-2 tidak dapat digunakan dengan citra lain yang memiliki resolusi sensor berbeda, dan Cartosat sulit diakses. Fitriana *et al.* (2019) menggunakan citra satelit landsat 8 dan SPOT 6 yang sangat efektif untuk mengklasifikasikan tutupan vegetasi berdasarkan NDVI.

Keunggulan pemanfaatan citra SPOT selain resolusi temporal yang relatif pendek sehingga menyediakan informasi berkala yang lebih banyak, adalah ketersediaannya yang mencakup wilayah regional, nasional, kontinental, maupun global. SPOT dikembangkan untuk mengatasi

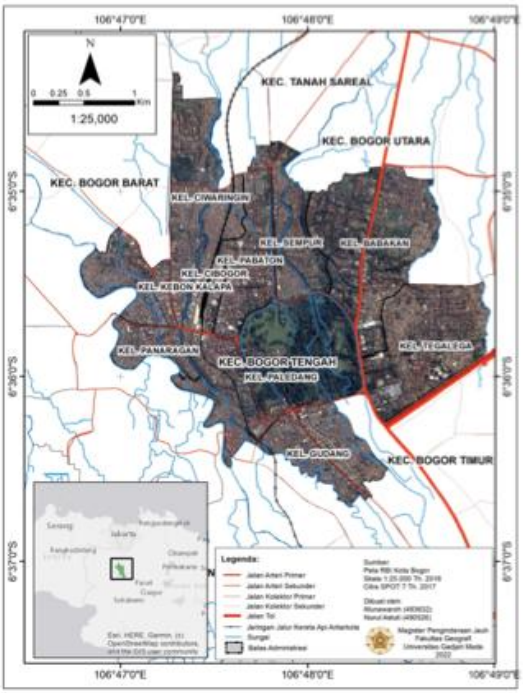
masalah yang berkaitan dengan perubahan musim dan kondisi alam yang sangat bervariasi. Sehingga mampu mempelajari, memantau, meramalkan dan mengelola sumber daya alam dan aktivitas manusia, dengan resolusi spasial yang lebih detail dapat digunakan untuk klasifikasi berbagai jenis tutupan lahan dengan penekanan khusus pada tutupan vegetasi dengan kerapatan jarang dan efektif untuk monitoring distribusi dan pertumbuhan tanaman tertentu (Xie *et al.*, 2008).

Data yang digunakan dalam penelitian ini memanfaatkan citra resolusi tinggi SPOT 7 dengan tujuan identifikasi area terbuka hijau berdasarkan transformasi indeks menggunakan citra penginderaan jauh di Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor dan juga analisis kebutuhan RTH Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor berdasarkan ketersediaan oksigen dengan metode alometrik non destruktif. Teknologi penginderaan jauh dan SIG diharapkan dapat menjadi salah satu cara yang efektif untuk mengetahui stok karbon pada tegakan ruang terbuka hijau dengan persamaan alometrik dari hasil pengukuran biomassa di lapangan. Kandungan karbon yang tersimpan pada RTH berbasis tegakan (standing green open space) dapat ditentukan dengan menghitung biomassa vegetasi. Perhitungan nilai biomassa berbasis lapangan diperoleh dengan menggunakan persamaan alometrik yang kemudian dikonversi menjadi jumlah oksigen untuk menentukan nilai pasokan oksigen yang dihasilkan oleh ruang terbuka hijau yang sebenarnya. Namun dalam penggunaan persamaan allometrik disesuaikan dengan zona dan kondisi di daerah penelitian (Permatasari *et al.*, 2023).

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini diambil di wilayah kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor. Secara geografis Kecamatan Bogor Tengah terletak di antara 106° 46’ - 106° 49’ BT dan 6° 34’ - 6° 37’ LS dengan luas wilayah 836.66 Ha dan berpenduduk sekitar 90.321 jiwa (**Gambar 1**). Terletak sebagai kawasan sentral di antara lima kecamatan lainnya, Bogor Tengah berfungsi sebagai pusat transportasi utama dalam kota. Kecamatan ini memiliki ciri kepadatan penduduk yang tinggi karena lokasinya yang strategis dan dekat dengan pusat transportasi utama. Kecamatan Bogor Tengah memiliki Kebun Raya Bogor yang berperan penting sebagai ruang terbuka hijau di tengah kota Bogor. Sebagai salah satu kebun raya tertua di dunia, Kebun Raya Bogor tidak hanya berfungsi sebagai tempat konservasi dan penelitian flora yang kaya, tetapi juga sebagai tujuan rekreasi bagi penduduk setempat dan wisatawan.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Kecamatan Bogor Tengah.

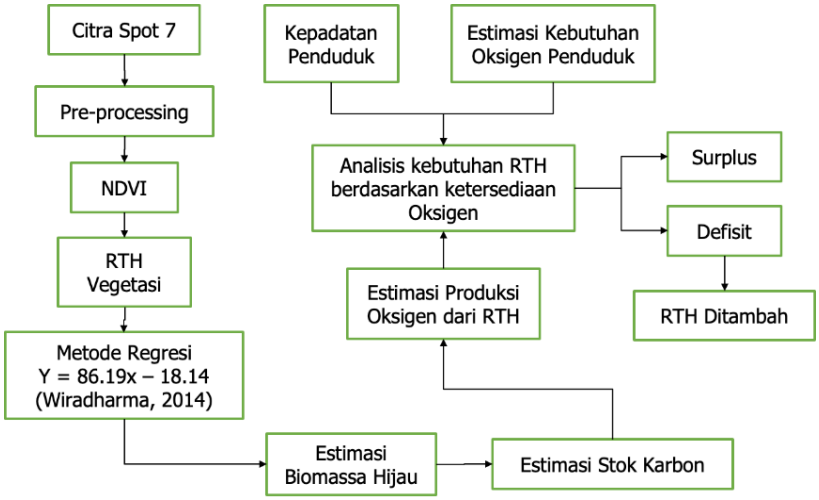
Ruang terbuka hijau ini memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk bersantai, berolahraga, dan menikmati alam dalam suasana yang sejuk dan asri. Selain itu, Kebun Raya Bogor juga memiliki nilai edukasi yang tinggi, menyediakan sarana bagi pendidikan dan penelitian di bidang botani dan lingkungan. Dengan demikian, Kebun Raya Bogor di Kecamatan Bogor Tengah tidak hanya menjadi landmark penting dalam sejarah dan budaya kota Bogor, tetapi juga memainkan peran vital dalam menjaga keseimbangan ekosistem perkotaan dan kualitas hidup warga Bogor.

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan citra Citra SPOT 7 Multispektral Tahun 2017 dengan spesifikasi resolusi spasial Band Multispectral 6 meter dan band Pansharp 1.5 meter. Selain itu digunakan juga Peta Rupa Bumi Kota Bogor Tahun 2016 skala 1:25.000 dari Badan Informasi Geospasial dan Kota Bogor dalam angka Tahun 2018 dari Badan Pusat Statistik.

Metode Analisis

Terdapat beberapa tahapan analisis data pada penelitian ini yang dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Identifikasi RTH Vegetasi

Identifikasi RTH vegetasi dilakukan menggunakan indeks vegetasi. *Indeks Vegetasi Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) adalah indeks yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengukur kepadatan dan kesehatan vegetasi. NDVI dihitung dari perbedaan antara *band* inframerah dekat (yang dipantulkan oleh vegetasi) dan *band* merah (yang diserap oleh vegetasi). NDVI memberikan informasi tentang jumlah dan kualitas vegetasi di suatu tempat, membantu dalam identifikasi penutup lahan vegetasi dan non vegetasi. Nilai NDVI berkisar dari -1 hingga 1, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan vegetasi yang lebih sehat dan lebih padat, sementara nilai yang lebih rendah menunjukkan area yang kurang bervegetasi atau tubuh air. Adapun persamaan NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad \text{..... (1)}$$

Di mana:
NIR: band inframerah dekat
RED: band merah

Estimasi Stok Karbon dan Ketersediaan Oksigen

Biomassa adalah total jumlah materi hidup diatas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan sebagai satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997 dalam Wiradharma,

2014). Kandungan biomassa hijau dengan nilai indeks vegetasi (NDVI) di Kota Bogor berkorelasi sebesar 0.689. Estimasi biomassa hijau dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Wiradharma, 2014):

$$Y = 86{,}19x\text{-}18{,}14 \quad \ldots\ldots (2)$$

Di mana:
X: Nilai NDVI
Y: Kandungan Biomassa

Estimasi Stok Karbon (SNI 7724:2011)

Estimasi stok karbon adalah proses pengukuran atau perhitungan jumlah karbon yang tersimpan dalam suatu ekosistem tertentu, dimana dalam penelitian ini adalah RTH vegetasi. Estimasi stok karbon melibatkan penilaian biomassa vegetasi untuk menentukan jumlah karbon yang disimpan di atas permukaan. Adapun perhitungan karbon dari biomassa berdasarkan SNI 7724:2011 menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Cb = B \times \%C \text{ organik} \quad \ldots\ldots (3)$$

Di mana:
Cb adalah kandungan karbon dari biomassa, dinyatakan dalam kilogram (kg);
B: Total Biomassa dalam Kg; dan
%C organik: 0.47

Estimasi Produksi Oksigen

Produksi oksigen netto oleh vegetasi didasarkan pada jumlah oksigen yang dihasilkan selama fotosintesis dikurangi jumlah oksigen yang dikonsumsi selama respirasi tanaman (Salisbury dan Ross 1978):

Fotosintesis: $n(CO2) + n(H2O) + \text{cahaya} \rightarrow (CH2O)n + nO2$

Respirasi: $(CH2O)n + nO2 \rightarrow n(CO2) + n(H2O) + \text{energi}$

di mana n adalah jumlah unit (dalam bentuk mol) dari molekul tertentu yang bereaksi atau dihasilkan dalam proses fotosintesis dan respirasi.

Jika penyerapan karbon dioksida selama fotosintesis melebihi pelepasan karbon dioksida melalui respirasi sepanjang tahun, maka vegetasi akan mengakumulasi karbon (menyerap karbon). Sehingga, vegetasi yang mempunyai akumulasi net karbon selama satu tahun (pertumbuhan pohon) juga mempunyai produksi net oksigen (Nowak, *et al.*, 2007). Jumlah oksigen yang dihasilkan diperkirakan dari penyerapan karbon berdasarkan berat atom pada persamaan sebagai berikut:

$$\text{Produksi oksigen bersih (kg/tahun)} = \text{cadangan karbon bersih (kg/tahun)} \times 32/12 \quad \ldots\ldots (4)$$

Estimasi Kebutuhan Oksigen Penduduk

Untuk menghitung kebutuhan oksigen total (dalam kg per hari) untuk populasi pada waktu tertentu t, Anda perlu mengalikan jumlah penduduk (Pt) dengan rata-rata kebutuhan oksigen per orang per hari, yaitu 0.864 kg/hari/orang.

$$\text{Kebutuhan Oksigen Penduduk: } Xt = Pt \times 0.864 \text{ kg/hari/orang (Hill, J. R., 1959)} \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

Di mana:
Xt: Kebutuhan oksigen total per hari (dalam kg) untuk populasi pada waktu tertentu t
Pt: Jumlah penduduk pada waktu tertentu t (dalam satuan orang)

Neraca Oksigen

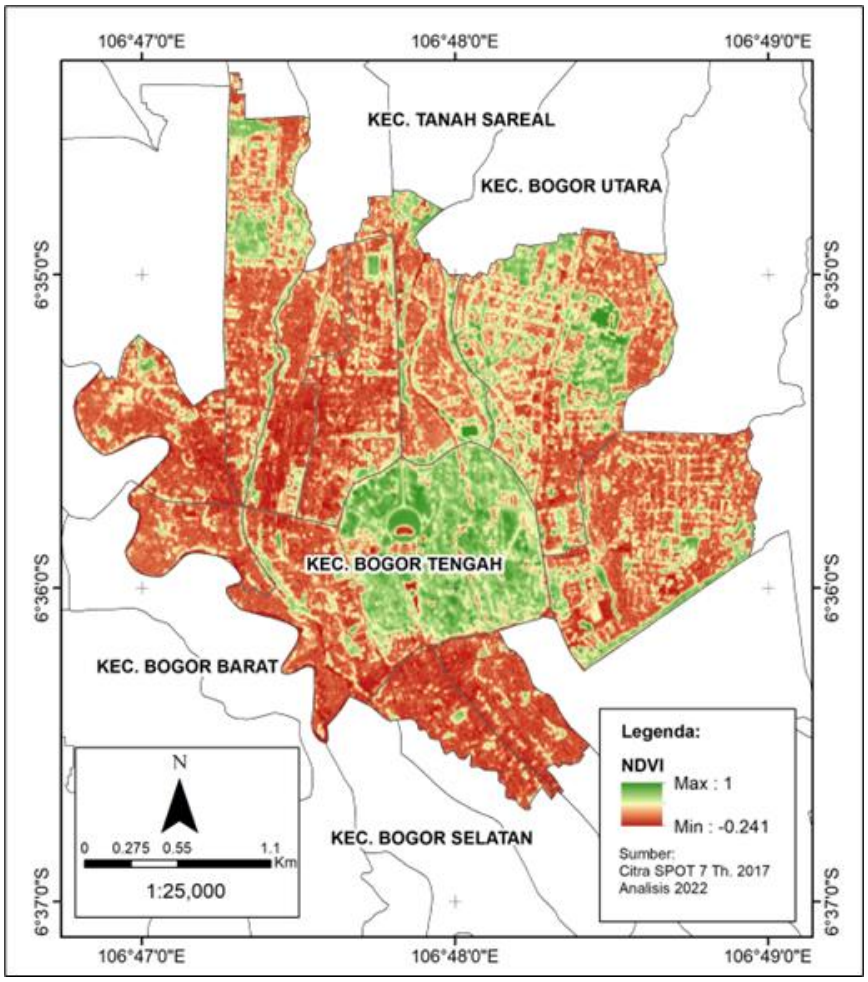
Dengan asumsi bahwa ekosistem perkotaan adalah sistem yang sepenuhnya tertutup, maka pendekatan neraca oksigen dihitung untuk melihat pemenuhan kebutuhan oksigen perkotaan dapat dipenuhi atau tidak dari adanya RTH.Adapun persamaan untuk menghitung neraca oksigen adalah sebagai berikut:

Neraca Oksigen = Ketersediaan O2 – Kebutuhan O2 ……(6)

Di mana:
Jika Neraca Oksigen (-) maka perlu ditambah luasan RTH
Jika Neraca Oksigen (+) maka perlu dioptimalkan fungsi RTH yang ada

HASIL DAN PEMBAHASAN

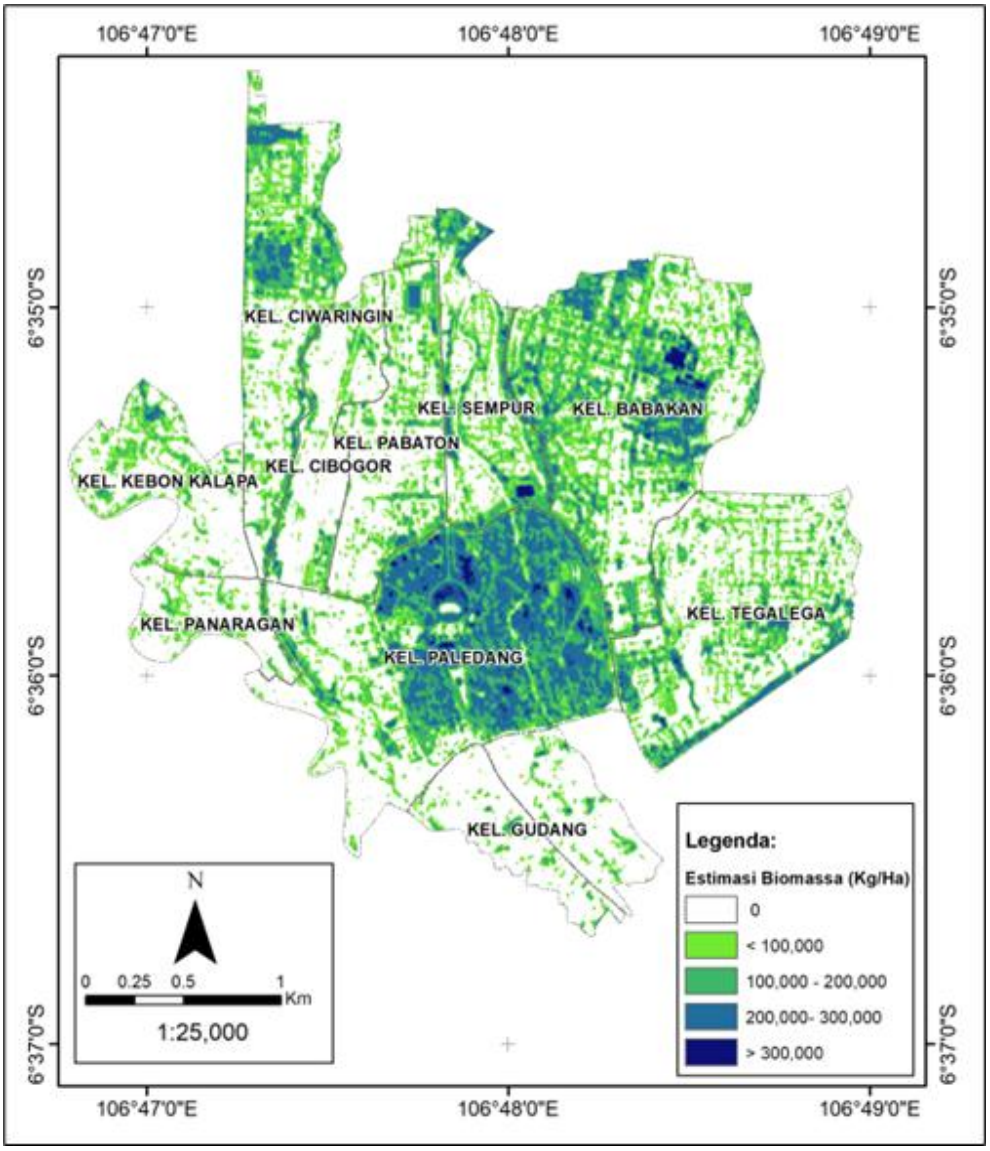
Identifikasi area terbuka hijau pada lokasi kajian di Kecamatan Bogor Tengah memanfaatkan citra SPOT-7 dengan terlebih dahulu melakukan proses *pre-processing*. Identifikasi area vegetasi menggunakan analisa transformasi indeks yakni dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Hal ini diterapkan guna membedakan objek vegetasi dan non vegetasi secara detail dan pola persebarannya. Pada sebuah penelitian yang telah dilakukan oleh Munawaroh *et al.*, (2023) menyebutkan NDVI lebih responsif terhadap jumlah vegetasi, sehingga faktor biofisik yang diperhitungkan tidak hanya diameter pada ketinggian dada atau *diameter at breast height* (DBH), tetapi juga kepadatan daun, baik dalam dimensi vertikal maupun horizontal. Hasil identifikasi menggunakan NDVI menunjukkan pola persebaran vegetasi yang lebih luas berada pada area kajian Kebun Raya Bogor dengan luas mencapai 96,07 Ha dan pola sebaran vegetasi lainnya yang lebih kecil bernilai NDVI >0.5. Secara keseluruhan proporsi Ruang Terbuka Hijau (RTH) vegetasi diperoleh sebanyak 24% dari total luas lokasi kajian 813 Ha. **Gambar 3** memuat hasil sebaran interpretasi vegetasi menggunakan NDVI.



Gambar 3. Identifikasi RTH menggunakan indeks vegetasi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui persebaran vegetasi pada lokasi penelitian. Rentang nilai NDVI yang diperoleh berkisar -0,241 hingga 1, piksel dengan nilai mendekati angka 1 menunjukkan daerah bervegetasi lebat yang digambarkan dengan warna hijau. Sebaliknya, pada piksel dengan nilai mendekati -0,241 menunjukkan daerah minim vegetasi yang ditandai dengan warna merah. Kawasan dengan kerapatan dan persentase vegetasi tinggi didominasi pada RTH Kebun Raya dan diikuti pada area timur laut lokasi penelitian serta tersebar di beberapa wilayah lain. Kerapatan dan persentase tutupan vegetasi pada lokasi penelitian menjadi unsur penting dalam pendugaan biomassa pada suatu wilayah. Semakin tinggi tingkat kerapatan dan persentase vegetasi pada suatu wilayah, maka akan memberikan rona hijau yang lebih tinggi pada peta dan memberikan gambaran pada potensi biomassa yang tinggi.

Pendugaan biomassa pada penelitian ini menggunakan persamaan allometric non-destructive yakni teknik analisa biomassa vegetasi tanpa merusak objek yang diteliti. Persamaan ini dibangun menggunakan pendekatan diameter batang dan tinggi pohon. Diperlukan nilai NDVI sebagai variabel X untuk mendapatkan estimasi biomassa hijau. Kandungan biomassa sangat penting sebagai media penyerapan karbon dioksida pada wilayah sekitar (Wiradharma, 2014). Hasil perhitungan estimasi biomassa pada lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4**.

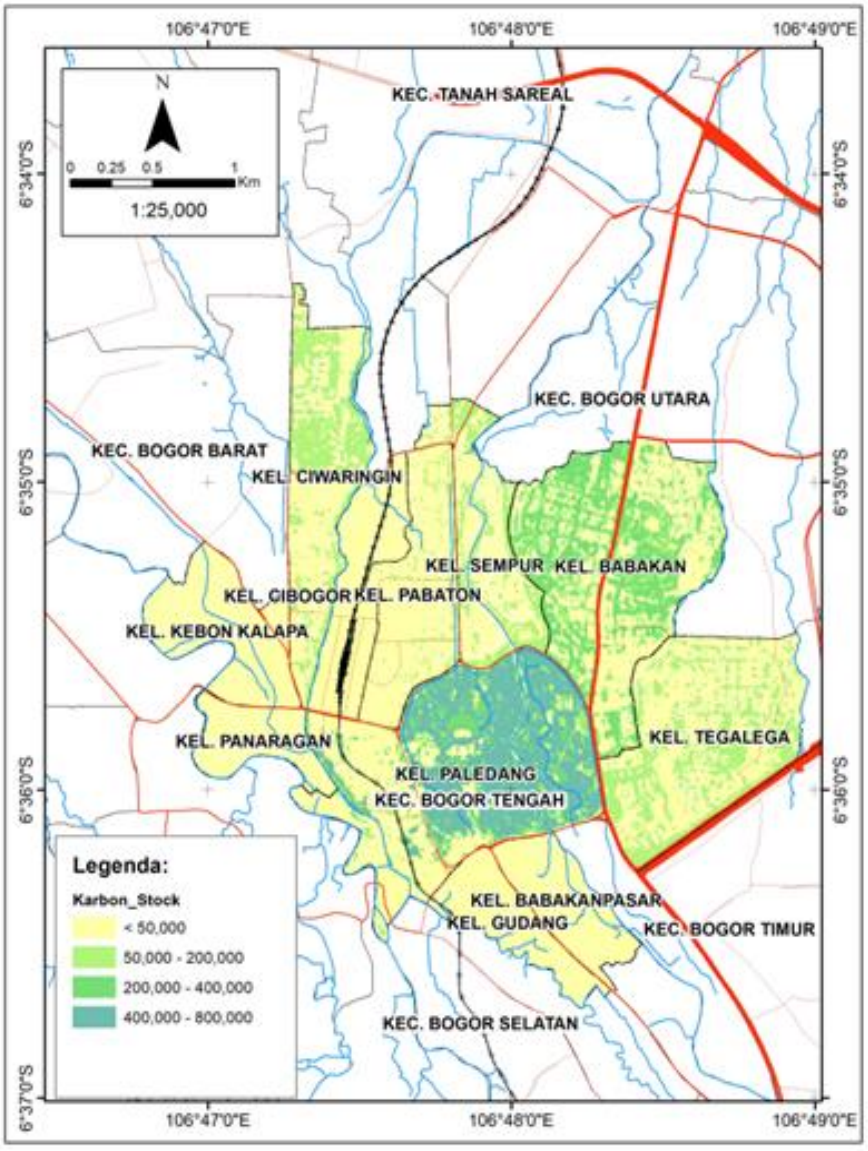


Gambar 4. Estimasi biomassa menggunakan metode allometric.

Berdasarkan pola spasial estimasi biomassa pada Kecamatan Bogor Tengah (**Gambar 4**) rentang nilai biomassa yang diperoleh ialah berkisar 0 Kg/Ha sampai dengan > 300.000 Kg/Ha. Biomassa tinggi didominasi pada area Kebun Raya Bogor, mengingat area tersebut merupakan

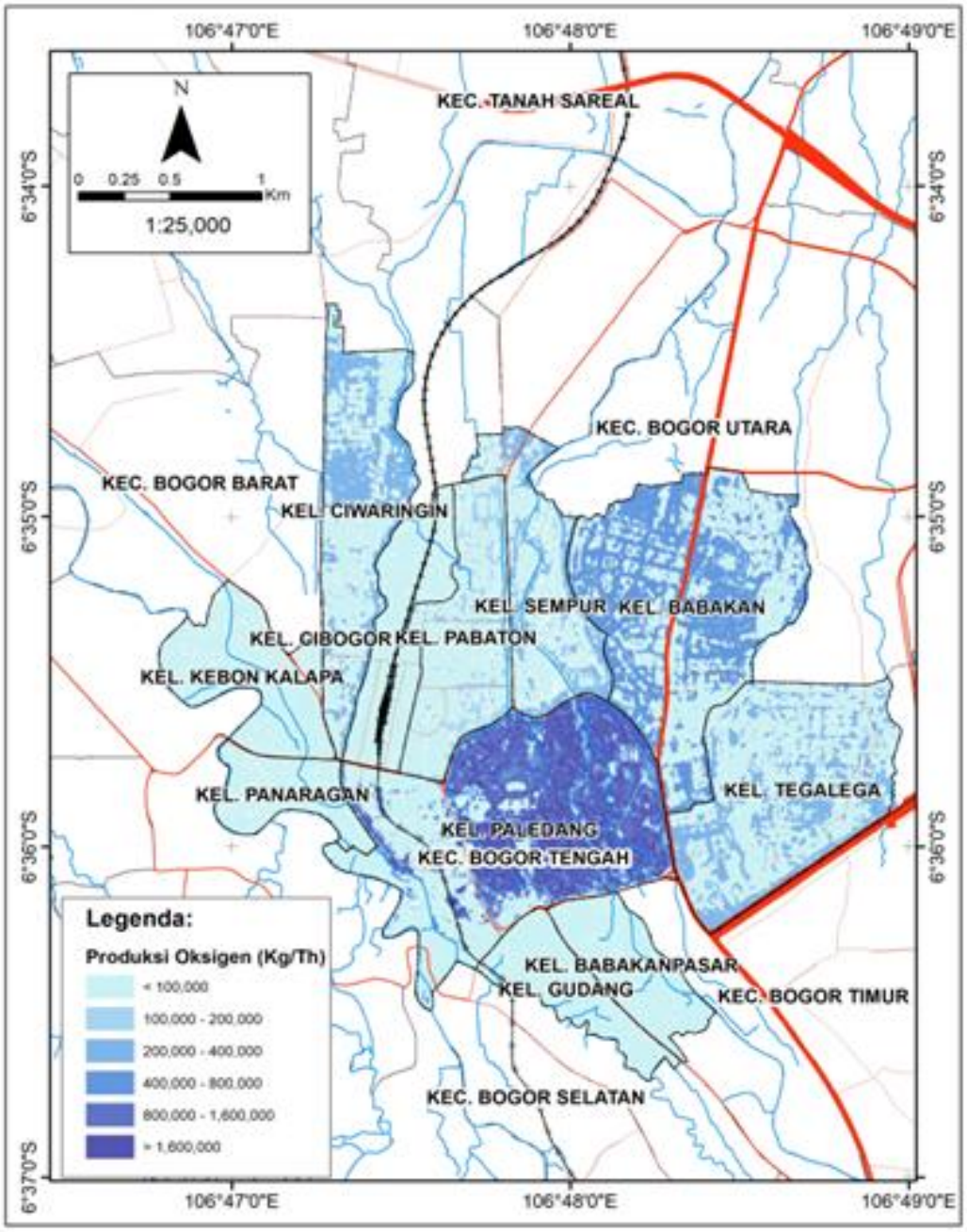
wilayah konservasi yang ditumbuhi berbagai jenis vegetasi pohon berkayu dan memiliki kerapatan serta persentase vegetasi tinggi. Besarnya biomassa erat kaitannya dengan kerapatan pohon dan besarnya diameter batang pohon. Semakin besar diameter tumbuhan maka semakin besar juga biomassanya, demikian sebaliknya (Rahayu, 2007). Pada penelitian yang telah dilakukan Rahmatika *et al.*, (2023) menyebutkan bahwa spesies juga mempengaruhi biomassa yang dihasilkan karena spesies yang berbeda memiliki diameter batang dan struktur daun yang berbeda. Tegakan dengan diameter besar dan kelimpahan yang tinggi akan menghasilkan biomassa yang tinggi pula, begitu juga sebaliknya. Hal ini didukung oleh (Yamani, 2013) menyatakan bahwa kandungan biomassa terbesar adalah pada tingkat pohon atau tegakan yang memiliki diameter >20 cm.

Hasil pendugaan biomassa hijau yang telah diperoleh selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan estimasi stok karbon. Stok karbon dapat meliputi stok karbon atas permukaan tanah, bawah permukaan tanah dan stok karbon lainnya (Rahayu, 2007). dalam penelitian ini melakukan estimasi stok karbon pada atas permukaan tanah yang meliputi tutupan lahan berupa vegetasi. Estimasi stok karbon dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan yang merujuk pada SNI 7724:2011 pada **Persamaan 3**. Perhitungan estimasi karbon berbanding lurus dengan nilai biomassa, dimana semakin besar nilai biomassa suatu vegetasi maka akan menghasilkan nilai stok karbon yang besar juga. **Gambar 5** menampilkan sebaran stok karbon pada lokasi penelitian di Kecamatan Bogor Tengah.



Gambar 5. Estimasi stok karbon di Kecamatan Bogor Tengah.

Berdasarkan **Gambar 5** diperoleh rentang nilai karbon pada Kecamatan Bogor Tengah berkisar < 50.000 kg sampai dengan 800.000 kg. Karbon stok tertinggi berada pada area Kebun Raya dengan rentang nilai berkisar 400.000 kg sampai dengan 800.000 kg. Nilai kandungan karbon tersebut terkait dengan sekitar 47% dari total kandungan biomassa. Jumlah karbon yang terikat dalam suatu tanaman dapat mencerminkan kemampuan tanaman tersebut dalam menyerap gas CO_2 dari atmosfer. Dengan mengetahui estimasi karbon maka estimasi produksi oksigen pada Kecamatan Bogor Tengah dapat diperoleh menggunakan **Persamaan 4**. Hasil perhitungan dan pola spasial produksi oksigen tersaji pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Estimasi produksi oksigen.

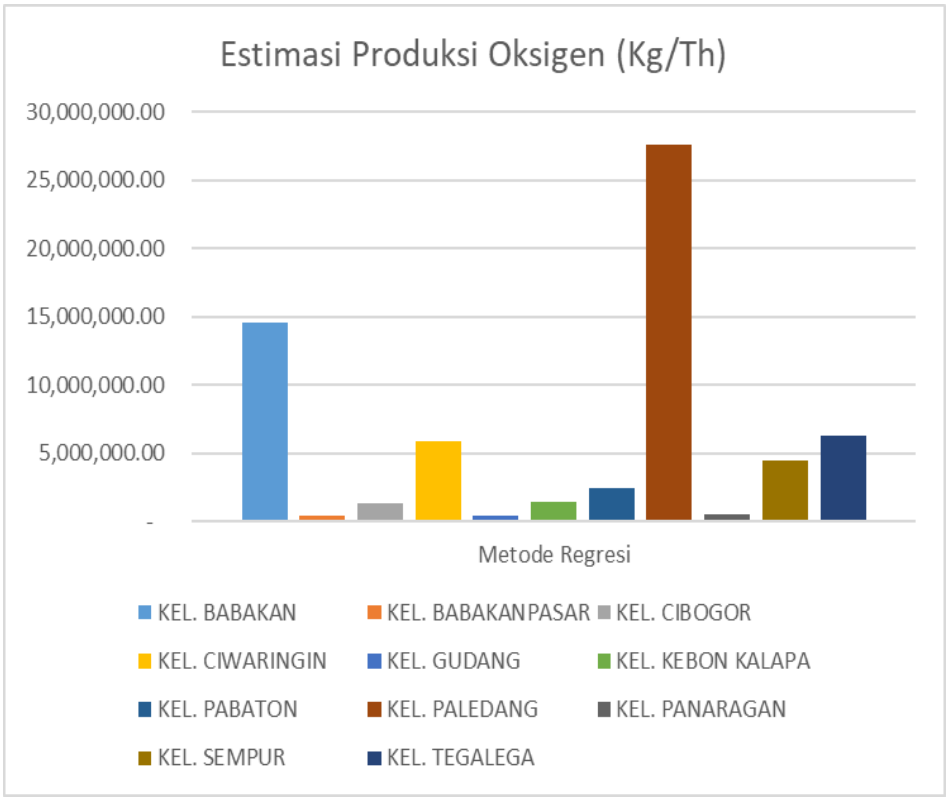
Secara administrasi Kecamatan Bogor Tengah terbagi menjadi sebelas kelurahan diantaranya Kelurahan Babakan, Babakan Pasar, Cibogor, Ciwaringin, Gudang, Kebon Kalapa, Pabatot, Paledang, Panaragan, Sempur dan Tegalega. Pada pendugaan kebutuhan oksigen Kecamatan Bogor Tengah akan dibagi berdasarkan sebelas kelurahan. **Tabel 1** menunjukkan estimasi kebutuhan oksigen menurut jumlah penduduk yang dihimpun dari BPS Kota Bogor dalam angka tahun 2018.

Tabel 1. Estimasi kebutuhan oksigen pada Kecamatan Bogor Tengah

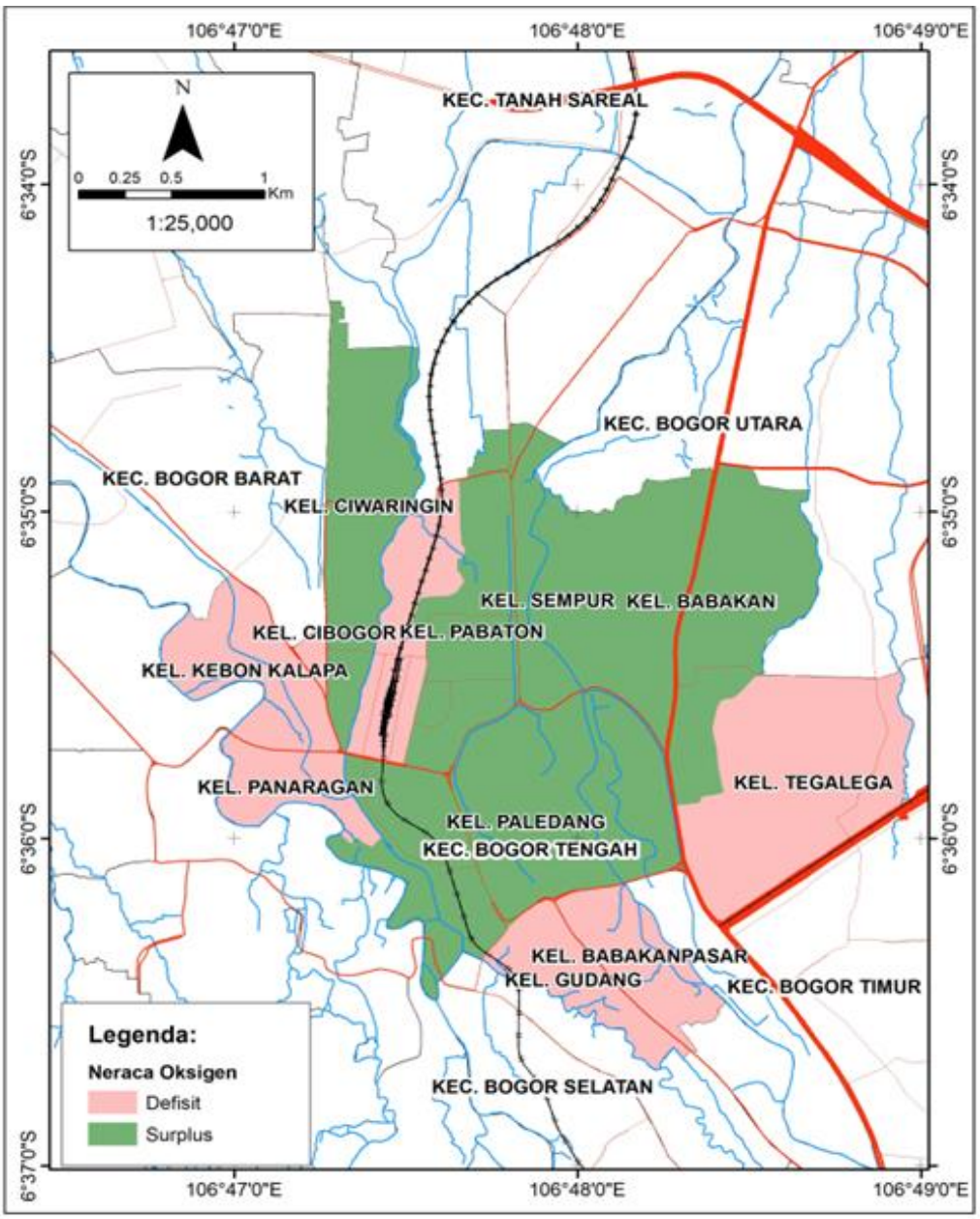
No	Kelurahan	Jumlah penduduk	Kebutuhan O2 (kg/hari)	Kebutuhan O2 (kg/tahun)
1	Kel. Babakan	11,984	10,354.18	3,779,274.24
2	Kel. Babakanpasar	9,416	8,135.42	2,969,429.76
3	Kel. Cibogor	7,253	6,266.59	2,287,306.08
4	Kel. Ciwaringin	7,688	6,642.43	2,424,487.68
5	Kel. Gudang	6,927	5,984.93	2,184,498.72
6	Kel. Kebon kalapa	11,109	9,598.18	3,503,334.24
7	Kel. Pabaton	2,447	2,114.21	771,685.92
8	Kel. Paledang	11,719	10,125.22	3,695,703.84
9	Kel. Panaragan	7,432	6,421.25	2,343,755.52
10	Kel. Sempur	7,888	6,815.23	2,487,559.68
11	Kel. Tegalega	20,990	18,135.36	6,619,406.40
	Jumlah	104,853	90,592.99	33,066,442.08

Berdasarkan **Tabel 1** populasi terbanyak berada di Kelurahan Tegalega, yang juga memiliki kebutuhan oksigen tertinggi. Diikuti dengan Kelurahan Babakan, Paledang dan Kelurahan lainnya. Penelitian lain pada lokasi yang sama telah dilakukan oleh Ananda dan Ihsani (2021) menghitung kebutuhan oksigen dengan menggunakan data penduduk yang diproyeksikan dalam jangka waktu sepuluh tahun yakni tahun 2020-2030. Hasil yang diperoleh menunjukkan Kelurahan Tegalega menjadi kelurahan yang membutuhkan oksigen harian tertinggi. Selanjutnya dengan mengetahui kebutuhan oksigen berdasarkan jumlah penduduk suatu wilayah maka untuk memberikan kualitas oksigen yang baik dapat dengan memenuhi kebutuhan RTH pada lokasi kajian.

Dalam menganalisis kebutuhan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kecamatan Bogor Tengah, bisa dilakukan dengan menghitung neraca oksigen, yaitu dengan mengukur perbedaan antara ketersediaan oksigen dan kebutuhan oksigen. **Gambar 7** adalah neraca perhitungan ketersediaan oksigen pada Kecamatan Bogor Tengah yang disajikan dalam bentuk grafik (**Gambar 7a**) dan pola spasial (**Gambar 7b**).



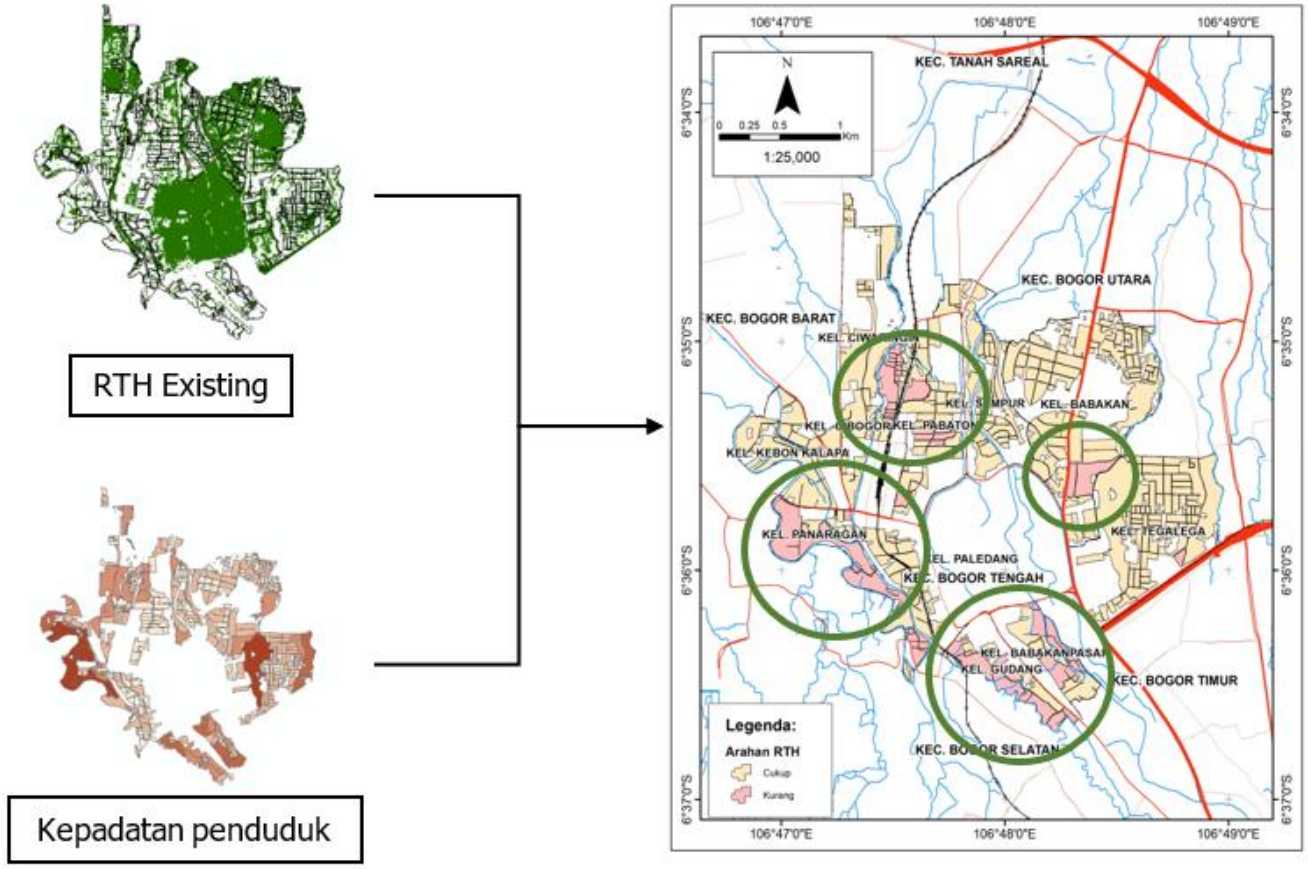
Gambar 7. (a) Neraca Ketersediaan Oksigen di Kecamatan Bogor Tengah: Grafik Neraca Ketersediaan Oksigen.



Gambar 7. (b) Neraca Ketersediaan Oksigen di Kecamatan Bogor Tengah: Pola Spasial Neraca Ketersediaan Oksigen.

Mengacu pada perkiraan ketersediaan oksigen yang dihitung dari proses ekstraksi biomassa menggunakan metode allometrik (regresi) (Wiradharma, 2014), ketersediaan oksigen pada beberapa kelurahan di Kecamatan Bogor Tengah dapat diperkirakan mengalami surplus maupun defisit. Berdasarkan **Gambar 7 (a)**, beberapa kelurahan yang mengalami surplus oksigen diantaranya Kelurahan Babakan, Ciwaringin, Pabaton dan Sempur hal ini menandakan bahwa kelurahan-kelurahan tersebut memiliki ketersediaan RTH yang mencukupi.

Sementara pada kelurahan lain seperti Kelurahan Babakanpasar, Cibogor, Gudang, Kebon Kalapa, Panaragan, dan Tegalega mengalami defisit oksigen sehingga perlu adanya penambahan kawasan RTH baik yang bersifat publik maupun privat ditandai dengan legenda merah pada **Gambar 7 (b)**. Menurut studi yang dilakukan oleh Ananda dan Ihsani (2021) menggunakan metode Gerakis, perkiraan kebutuhan RTH secara umum di Kecamatan Bogor Tengah pada tahun 2020 menunjukkan bahwa kebutuhan RTH di Kecamatan Bogor Tengah telah terpenuhi sebesar 30% dari luas wilayah yang diteliti. Hal ini menggambarkan bahwa ketersediaan oksigen yang berlebih di setiap kelurahan dapat membantu menyokong kelurahan lain yang mengalami defisit oksigen. Secara spasial kombinasi jumlah kepadatan penduduk dan RTH existing pada Kecamatan Bogor Tengah dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Arahan RTH Kecamatan Bogor Tengah

Telah disinggung sebelumnya bahwa terdapat beberapa kondisi di mana ketersediaan oksigen mengalami defisit akibat dari minimnya RTH pada beberapa kelurahan di Kecamatan Bogor Tengah yang dapat dilihat pada **Gambar 8**. Oleh karena itu, **Gambar 8** memberikan panduan atau arahan untuk penambahan RTH di area-area yang telah teridentifikasi kekurangan RTH, seperti yang ditunjukkan dengan warna merah. Area dengan status kekurangan RTH tersebut berkaitan dengan kondisi kepadatan penduduk yang tinggi, hal ini dapat diartikan bahwa pada area tersebut didominasi dengan jenis tutupan lahan terbangun. Dengan demikian jenis RTH yang memungkinkan untuk dapat diterapkan pada area tersebut adalah RTH privat, yang mana diperlukan peran serta masyarakat sekitar dalam pengadaan dan pengelolaanya. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 6 Tahun 2021 Pasal 45 Ayat 1, menyebutkan bahwa target penyediaan RTH Privat sebesar 10% (sepuluh persen) sesuai amanat Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Arahan penyediaan RTH dapat berupa RTH privat berbasis masyarakat seperti mempertahankan RTH yang telah ada, pembagian bibit tanaman, penyediaan RTH *vertical garden* dan *roof top*, melakukan sosialisasi kepada masyarakat untuk lebih peduli pada keberadaan RTH privat, pemanfaatan barang bekas untuk dijadikan media tanam, pembentukan komunitas hijau dan bank RTH privat (Aji dan Kadri, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan citra SPOT 7 pada tahun 2027 di Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, didapatkan luas Ruang Terbuka Hijau (RTH) mencapai 204,92 Ha, yang setara dengan sekitar 24% dari total wilayah kecamatan tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa luasan RTH di Kecamatan Bogor Tengah telah cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan akan ruang terbuka hijau dalam kawasan tersebut. Namun, perlu diperhatikan bahwa terdapat kebutuhan akan peningkatan luasan RTH di beberapa kawasan permukiman yang padat penduduk, seperti Kelurahan Babakanpasar, Cibogor, Gudang, Kebon Kalapa, Panaragan, dan

Tegalega. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan akan ruang terbuka hijau di kawasan-kawasan tersebut, diperlukan langkah-langkah tambahan dalam pengembangan RTH. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan jalur hijau, baik yang terpisah maupun terhubung dengan ruang terbuka hijau yang sudah ada, sehingga memperluas akses dan ketersediaan ruang terbuka bagi penduduk setempat. Selain itu, penghijauan di sepanjang sempadan sungai juga menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan kualitas lingkungan sekaligus memberikan manfaat bagi keberlangsungan ekosistem sungai. Selain itu, penerapan konsep green rooftop juga dapat menjadi solusi inovatif dalam penambahan luasan RTH di kawasan perkotaan yang padat. Dengan memanfaatkan atap bangunan sebagai area hijau, bukan hanya akan meningkatkan kesejukan dan keindahan kota, tetapi juga membantu dalam menyediakan ruang terbuka hijau tanpa harus mengorbankan lahan baru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, sebagai tempat di mana penulis sedang belajar di Program Magister Penginderaan Jauh.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, D. P., & Kadri, M. K. (2022). Arahan Penyediaan RTH Privat Berbasis Partisipasi Masyarakat Pada Kawasan Permukiman Kumuh di Kelurahan Karang Jati Kota Balikpapan. 8(1), 36–46.

Ananda, dwi putri, & Ihsani, I. (2021). Penduduk di Kota Bogor Kecamatan Bogor Tengah (Analysis of Green Open Space Provision in Densely Populated Areas in Bogor City , Central Bogor Sub-. *Jurnal Artesis*, *1*(2), 207–217.

Astuti, W., At, M., Setiawan, I., Pengukuhan dan Penatagunaan Kawasan Hutan, D., Djuanda No, J., Bogor, K., Barat, J., Kehutanan, F., Nusa Bangsa, U., & Sholeh Iskandar No, J. (2018). IDENTIFIKASI RUANG TERBUKA HIJAU di KOTA BOGOR DENGAN APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS Identification Of Public Green Space in Bogor City With The Application Of Geographic Information System. *Jurnal Nusa Sylva*, *16*(1), 24–31. http://ciezbalqis.blogspot.com/2013/02/ist

BPS. (2021). *Kota Bogor dalam Angka 2021*.

Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., & Cai, Y. (2017). Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry and Urban Greening*, *27*(May), 24–31. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.008

Fitriana, H. L., Sulma, S., Febrianti, N., Nugroho, J. T., & Haryani, N. S. (2019). the Utilization of Remote Sensing Data To Support Green Open Space Mapping in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, *15*(2), 199. https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2018.v15.a2890

Gupta, K., Kumar, P., Pathan, S. K., & Sharma, K. P. (2012). Urban Neighborhood Green Index - A measure of green spaces in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, *105*(3), 325–335. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.003

Hill, J. R. (1959). The oxygen consumption of new-born and adult mammals. Its dependence on the oxygen tension in the inspired air and on the environmental temperature. *The Journal of physiology*, *149*(2), 346.

Indonesia, S. N. (2011). Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon–Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting). Badan Standarisasi Indonesia. SNI, 7724, 2011.

Munawaroh, Yogyanti, G. C., Salsabila, H. N., Astuti, N., Widayani, P., Danoedoro, P., Murti, S. H., & Wicaksono, P. (2023). The Estimation of Forest Stand Above Ground Biomass in the district of Borobudur, Central Java, Indonesia. *Asian Association on Remote Sensing*.

Novita, N. D. A. (2015). *Kemampuan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Kota Bogor dalam Mencukupi Kebutuhan Oksigen*. Insititut Pertanian Bogor.

Nowak, D. J., Hoehn, R., & Crane, D. E. (2007). Oxygen production by urban trees in the United States. Arboriculture and Urban Forestry, 33(3), 220.

Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 6 Tahun 2021 tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Nomor 8 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bogor Tahun 2011-2031.

Permatasari, V. Y., Suharyadi, R., & Hidayati, I. N. (2023). Utilization of Planetscope Imagery for Carbon Stock Estimation of Standing Green Open Space in Jebres Sub-District, Surakarta. *E3S Web of Conferences*, *468*(1), 03009. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346803009

Rahmatika, I., Hidayati, I. N., Suharyadi, R., & Nurjani, E. (2023). Carbon Stock Estimation From Vegetation Biomass Using SPOT-7 Imagery. Indonesian Journal of Geography, 55(3), 385–396.

Rinjani, A. R., Setyaningsih, L., & Rusli, A. R. (2016). Potensi Serapan Karbon di Jalur Hijau Kota Bogor

(Studi Kasus Jalan KH. Sholeh Iskandar dan Jalan Pajajaran). *Jurnal Nusa Sylva*, *16*(1), 32–40.

Sinaga, A. H. (2018). Jurnal Geodesi Undip Januari 2018 DENGAN METODE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX dan SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX Jurnal Geodesi Undip Januari 2018. *Geodesi Undip*, *7*, 202–211.

Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, *1*(1), 9–23. https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005

Zylshal, Sulma, S., Yulianto, F., Nugroho, J. T., & Sofan, P. (2016). A support vector machine object based image analysis approach on urban green space extraction using Pleiades-1A imagery. *Modeling Earth Systems and Environment*, *2*(2), 1–12. https://doi.org/10.1007/s40808-016-0108-8

POTENSI PENGEMBANGAN KAWASAN BERBASIS *SUSTAINABLE TRANSIT ORIENTED DEVELOPMENT* (TOD) DI SEKTOR JALUR KRL YOGYAKARTA – SOLO

(*Potential Development of Sustainable Transit Oriented Development (TOD) Based Areas in The Yogyakarta - Solo KRL Line Sector*)

Adnan Farhan Arrifa'i, Dwi Prasetya Adhi, dan Ari Tri Ratmoko
Universitas Negeri Yogyakarta

Jl. Colombo No.1 Karangmalang Yogyakarta 55281
E-mail: adnanfarhan.2020@student.uny.ac.id

ABSTRAK

Penurunan kualitas lingkungan hidup dalam beberapa dekade terakhir telah terjadi, ditandai perubahan iklim akibat peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Kehadiran transportasi umum berupa Kereta Rel Listrik (KRL) diharapkan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca serta menyediakan angkutan publik dengan efisiensi waktu yang tepat. Moda transportasi umum berupa Kereta Rel Listrik sering bersinggungan dengan permasalahan penataan ruang. *Transit Oriented Development* dapat menjadi konsep yang mengintegrasikan transportasi dan penataan ruang. Konsep ini memadatkan suatu kawasan agar dapat diakses dengan kemudahan transportasi publik yang terintegrasi dan *walkable*. Pengembangan konsep *Transit Oriented Development* diperlukan untuk mengatasi berbagai kemungkinan dampak perubahan penggunaan lahan, *land value capture*, dan *urban heat island*. KRL jalur sektor Yogyakarta – Palur akan menjadi titik fokus kajian ini. Nilai valuasi okupansi jalur KRL yang melintasi 10 stasiun pemberhentian sementara ini diperkirakan mencapai 23.000 - 27.000 penumpang pada musim liburan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi tingkat kesesuaian pengembangan TOD di sektor Jalur KRL Yogyakarta – Palur. Metode penelitian ini menggunakan *Geographic Information System* (GIS), yang meliputi *buffering, skooring, dan overlay*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Stasiun Tugu Yogyakarta, Lempuyangan, dan Solo Balapan adalah tiga titik transit yang memiliki potensi tingkat kesesuaian tinggi untuk dikembangkan dengan konsep TOD. Stasiun lain yang berada di sektor jalur KRL Yogyakarta – Palur memiliki tingkat kesesuaian rendah.

Kata kunci: *pembangunan berorientasi transit, berkelanjutan, pengembangan wilayah*

ABSTRACT

The decline in the quality of the environment in recent decades has occurred, marked by climate change due to increased greenhouse gas (GHG) emissions. The presence of public transportation in the form of Electric Rail Trains (Kereta Rel Listrik/KRL) is expected to reduce greenhouse gas emissions and provide public transportation with the right time efficiency. The mode of public transportation in the form of Electric Railways often intersects with spatial planning issues. Transit Oriented Development can be a concept that integrates transportation and spatial planning. This concept condenses an area to be accessible with the ease of integrated public transportation and walkability. The development of the Transit Oriented Development concept is needed to overcome the various possible impacts of land use change, land value capture, and urban heat island. The Yogyakarta - Palur sector of the KRL line will be the focal point of this study. The occupancy valuation of the KRL line that crosses 10 temporary stop stations is estimated to reach 23,000 - 27,000 passengers during the holiday season. This study aims to analyze the potential suitability level of TOD development in the Yogyakarta - Palur KRL Line sector. This research method uses a Geographic Information System (GIS), which includes buffering, scaling, and overlaying. The results of this study show that Tugu Yogyakarta, Lempuyangan, and Solo Balapan Stations are three transit points that have a high potential level of suitability to be developed with the TOD concept. Other stations located in the Yogyakarta - Palur KRL route sector have a low level of suitability.

***Keywords**: Transit Oriented Development (TOD), sustainable planning, urban regional planning*

PENDAHULUAN

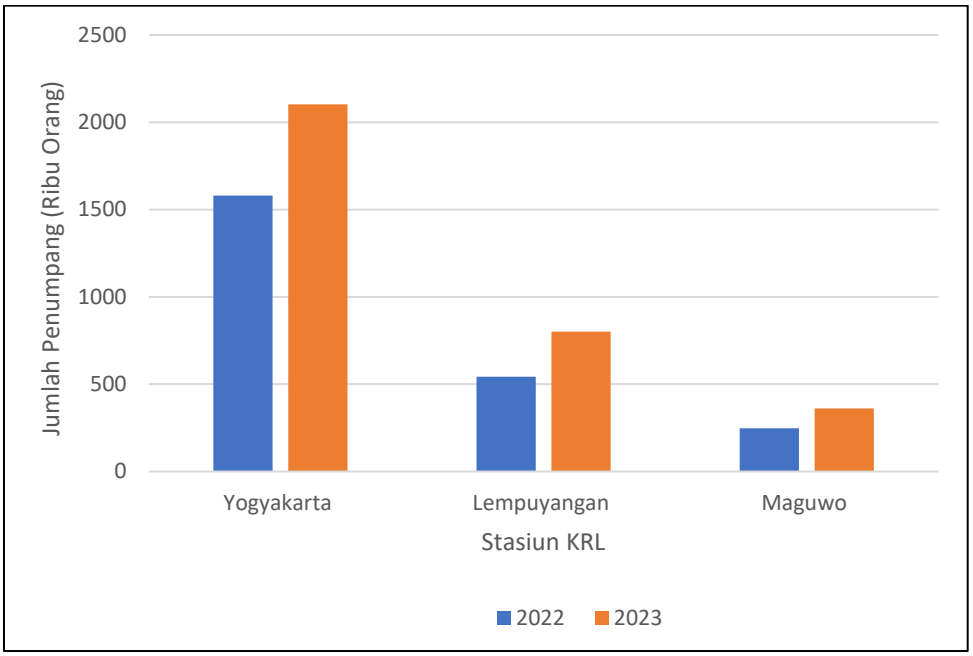
Tingginya mobilitas dan pertumbuhan penduduk adalah dua faktor utama yang mempercepat dinamika perkembangan suatu wilayah. Idealnya, suatu wilayah dalam proses pengembangannya

akan selalu memperhatikan tiga sisi fundamental aspek-aspek resistensi wilayah, yaitu sisi ekonomi, sisi lingkungan, dan sisi sosial. dalam pelaksanaannya keberpihakan pada salah satu sisi telah berdampak terhadap berbagai masalah yang muncul dalam proses pengembangan wilayah itu sendiri. Penurunan kualitas lingkungan dan perubahan iklim yang penyebabnya banyak ditengarai oleh Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan oleh mesin kendaraan bermotor adalah segelintir kecil ketika sisi ekonomi, lingkungan, dan sosial tidak menjadi satu integritas yang kompleks. Keterbatasan akses terhadap ruang yang dapat digambarkan dengan munculnya *slump area* di sepanjang jalur transportasi juga menjadi indikator bahwa tujuan *urban governance* untuk menciptakan sebuah wilayah yang *livable, humanity, and sustainable* masih jauh untuk dapat dicapai. Sektor transportasi menjadi sekian dari banyak faktor yang berperan penting dalam penyebab terjadinya perubahan iklim. Keberadaan sektor yang mendukung berbagai pilar kehidupan lain ini, seperti bidang ekonomi harus dilakukan upaya-upaya untuk menekan angka emisi gas rumah kaca (Ridwan & Chazanah, 2013). Implikasi terjadinya penurunan kualitas lingkungan sebagai dampak dari perubahan iklim dalam beberapa waktu terakhir menjadi sebuah tantangan tersendiri untuk dikaji secara mendalam dalam meminimalisasi dampak lingkungan suatu wilayah. Penurunan kualitas lingkungan secara tidak langsung dapat berpengaruh terhadap eksistensi industri, pembangunan perkotaan, efisiensi penggunaan sumber daya, redistribusi lahan, permasalahan kepadatan lalu lintas, dan emisi atmosfer (Zafirah *et al.*, 2020). Kondisi ini tentunya tidak dapat dipandang dengan sebelah mata, diperlukan strategi yang kompleks mengenai bagaimana mengembangkan suatu wilayah agar resistensi wilayah terus meningkat di tengah pusaran ketidakpastian yang timbul sebagai dampak perubahan iklim.

Pengembangan wilayah menjadi sebuah hal yang harus dilakukan sebagai langkah adaptasi aktif partisipatif dalam menciptakan wilayah yang resilien, sekaligus tujuan *urban governance* dapat dicapai. Ketidakteraturan penataan ruang suatu wilayah, kompleksitas lalu lintas wilayah, emisi gas kendaraan bermotor, dan perubahan iklim dapat diatasi dengan menerapkan salah satu konsep dalam pengembangan wilayah, yaitu *Transit Oriented Development* (TOD). Konsep ini merupakan strategi pengembangan wilayah yang dapat dilakukan dengan titik fokus yang terletak pada masifnya ketersediaan transportasi umum, memperhitungkan kawasan bermukim, dan area komersil (Putri *et al.*, 2023). Konsep TOD akan berfokus terhadap desain, konfigurasi, dan bauran penggunaan lahan yang dapat menjadi alternatif dalam pengembangan wilayah dengan menekankan lingkungan yang berorientasi pada pejalan kaki dan mengintensifkan penggunaan transportasi umum (Kadarsa *et al.*, 2020). Transportasi publik difokuskan karena dapat mengurangi dampak *urban sprawl* di sekitar titik pusat transportasi dan mewujudkan *liveable expectation using* melalui sinergitas pembangunan transportasi dengan tata ruang sehingga dapat meningkatkan kualitas lingkungan (Putriani & Fauzi, 2018). Pengembangan wilayah dengan menerapkan konsep TOD ini dapat memberikan beberapa manfaat, seperti: (1) peningkatan akses terhadap transportasi umum, (2) meningkatkan berbagai peluang dari kemudahan akses tersebut, (3) efisiensi penggunaan lahan yang sudah terlayani dengan sarana transportasi sehingga *urban sprawl* dapat ditekan, (4) pengurangan emisi gas rumah kaca yang mengakibatkan polusi, (5) pengurangan konsumsi minyak dan gas, dan (5) gaya hidup yang lebih sehat (Singh *et al.*, 2017). Mengintegrasikan pengembangan wilayah yang didasarkan pada keberadaan sarana transportasi publik, *green lifestyle*, dan penggunaan lahan campuran merupakan inti dari pelaksaanaan konsep *Transit Oriented Development* (TOD). *Transit Oriented Development* (TOD) dalam pengembangannya terus mengalami dinamika untuk mencapai sebuah efisiensi dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan (*SDGs*). Bentuk Pengembangan konsep TOD ini dikenal dengan *Green* TOD. *Green* TOD merupakan gabungan dari konsep TOD dan urbanisme hijau yang dapat menciptakan sinergi manfaat lingkungan yang lebih besar seperti efisiensi energi, *zero waste*, ruang terbuka hijau, dan *green infrastructure/architecture* (Chervero & Sullivan, 2011).

Yogyakarta dan Surakarta sebagai ikon pariwisata, budaya, dan pendidikan menjadi daya tarik tersendiri bagi masyarakat di wilayah lain atau di kedua wilayah ini untuk datang dan mengadu nasib. Kuatnya daya tarik dari masing-masing wilayah inilah yang menjadi alasan PT KAI pada tahun 2021 meresmikan kereta rel listrik pada jalur Yogyakarta – Palur. Kereta ini bergerak dari Stasiun Tugu Yogyakarta, Lempuyangan, Maguwo, Brambanan, Srowot, Klaten, Ceper, Delanggu, Gawok, Purwosari, Solo Balapan, Jebres, dan Palur serta rute sebaliknya. Selama 3 tahun sejak

dioperasikan, peminat pengguna moda angkutan ini juga terus mengalami peningkatan. Terlihat pada **Gambar 1** bahwa pengguna moda transportasi KRL di 3 stasiun mengalami peningkatan. Stasiun Tugu Yogyakarta menjadi stasiun dengan jumlah penumpang paling tinggi, yaitu sebanyak 2.203,02 ribu orang pada periode tahun 2023. Peningkatan ini diproyeksikan juga akan terus bertambah seiring dengan peningkatan jumlah penduduk di wilayah yang dilalui KRL Yogyakarta – Palur dan kesadaran masyarakat dalam menggunakan transportasi publik. Transportasi publik lain yang menunjang seperti Bus Transjogja dan Bus Batik Solo Trans (BST) dan keberadaan Terminal/Halte di dekat stasiun juga menjadi daya dukung tersendiri bagi pengembangan wilayah di sekitar stasiun menggunakan konsep TOD.



Sumber: BPS Provinsi D.I. Yogyakarta (2024)

Gambar 5. Jumlah penumpang KRL Yogyakarta – Solo Tahun 2022 – 2023.

Adanya potensi pada kawasan-kawasan yang berada di dekat stasiun yang menjadi titik henti dari KRL Yogyakarta – Surakarta untuk dikembangkan dengan menggunakan konsep TOD menjadi sebuah tujuan tersendiri untuk melihat sejauh mana potensi yang dimiliki oleh kawasan-kawasan ini untuk dikembangkan dengan Konsep TOD tersebut. Penerapan konsep yang mengintegrasikan peran transportasi publik, tata ruang, dan dampak perubahan iklim melalui konsep TOD adalah suatu jawaban dalam mewujudkan wilayah yang resilien. Tujuan *urban governance* dalam menciptakan wilayah yang *livable, humanity, and sustainbale* juga akan semakin dekat tercapai ketika *spatial justice* pada kawasan yang notabennya berkembang secara *ribbon development* ini dapat terjadi inklusivitas pembangunan.

METODE PENELITIAN

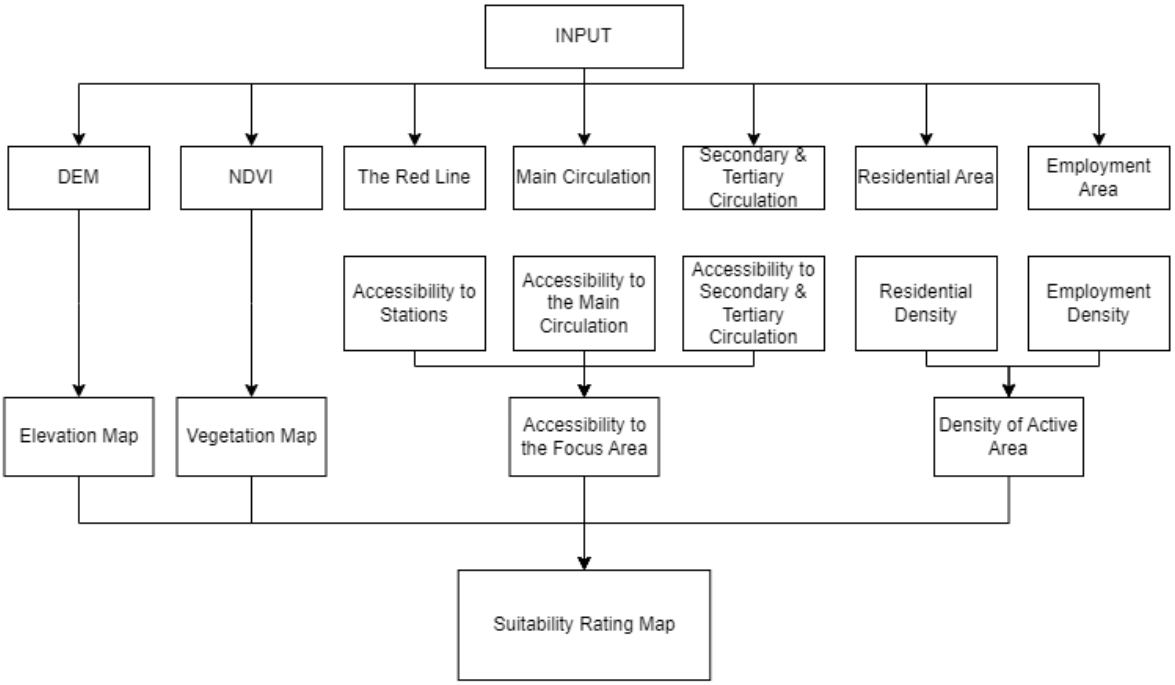
Tingkat potensi pengembangan konsep TOD diidentifikasi dengan menggunakan pendekatan spasial. Teknik analisis spasial yang digunakan berbasis GIS (*Geographic Information Systems*). Titik stasiun yang diamati sebagai unit analisis adalah stasiun-stasiun yang menjadi titik transit dari *commuter line* (KRL) sektor Yogyakarta – Palur, mulai dari Stasiun Tugu Yogyakarta, Lempuyangan, Maguwo, Brambanan, Srowot, Klaten, Ceper, Delanggu, Gawok, Purwosari, Solo Balapan, Solo Jebres, dan Palur. Perencanaan kawasan yang diamati untuk mengetahui tingkat kesesuaian sebagai kawasan pengembangan TOD adalah kawasan yang memiliki radius maksimal 800 meter dari stasiun sebagai titik transit sesuai Peraturan Menteri ATR/BPN Nomor 16 Tahun 2017. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini merujuk kepada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Srivanit dan Selanon (2017). Variabel yang digunakan meliputi, kondisi geografi, vegetasi, aksesibilitas ke jalan utama (arteri), aksesibilitas ke jalan sekunder (kolektor), aksesibilitas ke stasiun, kepadatan area permukiman, dan kepadatan area kawasan pekerja.

Variabel-variabel ini kemudian dianalisis menggunakan *Geographic Information Sytems* (GIS) dengan menggunakan beberapa fitur, seperti *Buffering,* Skoring, dan *Overlay*. Berikut ini merupakan kriteria pengolahan variabel berbasis GIS (*Geographic Information Systems*) sesuai **Tabel 1**. Hasil skoring kemudian di overlay dan dilakukan pengklasifikasikan kelas menjadi kawasan dengan tingkat kesesuaian pengembangan rendah, sedang, dan tinggi. Diagram alir penelitian yang digunakan dalam kajian ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 9. Kriteria pengolahan variabel tingkat kesesuaian TOD.

Variabel/Kriteria	*Straight Rank*	*Weight*	*Normalized Weight*	Sumber Data
Geografi	6	2	0,07	Data DEMNAS
Vegetasi	7	1	0,04	Hasil Pengolahan menggunakan analisis NDVI
Aksesibilitas ke jalan utama (arteri)	1	7	0,025	Peta RBI BIG Kabupaten Sleman, Klaten, Sukoharjo, Kota Surakarta, dan Kabupaten Karanganyar
Aksesibilitas ke jalan sekunder (kolektor)	4	4	0,14	
Aksesibilitas ke stasiun	5	3	0,11	
Kepadatan area permukiman	2	6	0,21	Peta RBI BIG Kabupaten Sleman, Klaten, Sukoharjo, Kota Surakarta, dan Kabupaten Karanganyar dianlisis menggunakan Kernel Density
Kepadatan area kawasan pekerja	3	5	0,18	

Sumber: Srivanit & Selanon, disesuaikan (2017)

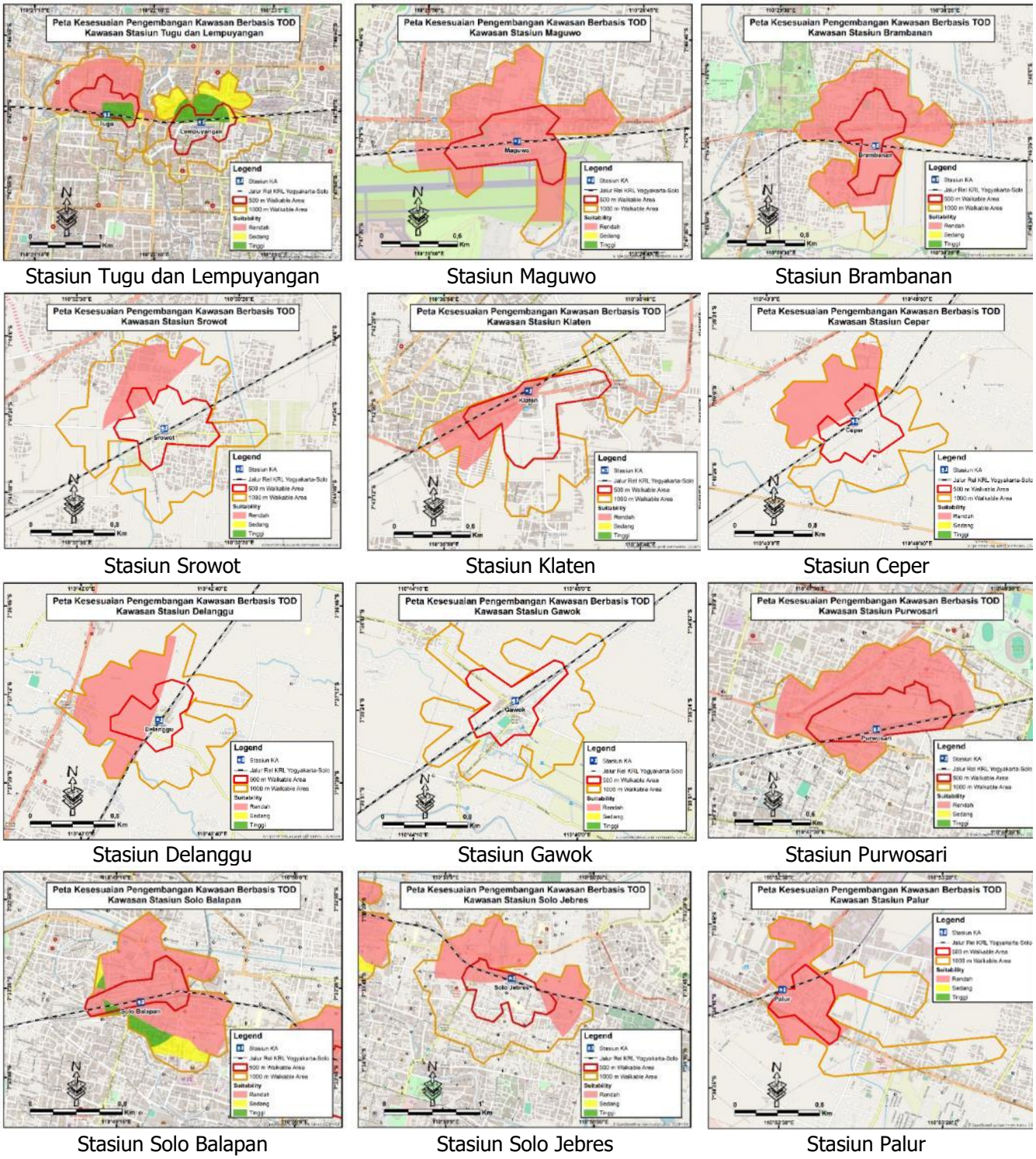


Gambar 6. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data menggunakan analisis spasial berbasis GIS menunjukkan bahwa lokasi yang dipilih sebagai kawasan pengembangan TOD yang berjumlah 12 unit analisis memiliki tingkat kesesuaian mulai dari rendah, sedang, dan tinggi. Keberadaan stasiun dengan kriteria variabel yang dimiliki untuk titik transit sangat berpengaruh terhadap hasil olah data. Stasiun Tugu Yogyakarta, Stasiun Lempuyangan, dan Stasiun Solo Balapan merupakan tiga titik transit yang memiliki kelas kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD mulai dari rendah – tinggi. Sedangkan sembilan stasiun lain, tingkat kesesuaian yang dimiliki adalah rendah. Distribusi spasial

tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di sektor jalur KRL Yogyakarta – Palur dapat dilihat di **Gambar 3**.



Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

Gambar 3. Distribusi spasial tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di 12 titik transit KRL Yogyakarta – Palur.

Uraian terkait dengan karakteristik tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD, sebagai berikut:

a. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Tugu dan Lempuyangan

Stasiun Tugu dan Lempuyangan merupakan salah satu kawasan transit moda jarak jauh berupa kereta api jenis *commuterline* yang melayani perjalanan antarkota. Jenis angkutan moda kerata api *commuterline* dapat mengurangi kemacetan lalu lintas dan lebih efisien

waktu. Angkutan ini menjadi *feeder* yang baik bagi masyarakat untuk aktivitas berupa pekerjaan, pendidikan, dan liburan. Berdasarkan **Tabel 2** Stasiun Tugu dan Lempuyangan mempunyai kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD yang dikategorikan menjadi tiga kelas kesesuaian yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Ketiga kelas ini memiliki luas yang berbeda-beda. Kelas kesesuaian rendah di Stasiun Tugu sebesar 2774,2 Ha kemudian untuk kelas kesesuaian sedang di Stasiun Tugu sebesar 166,48 Ha dan kelas kesesuaian tinggi di Stasiun Tugu sebesar 74,93 Ha. Stasiun Lempuyangan memiliki kelas kesesuaian rendah sebesar 18,76 Ha kemudian kelas sedang sebesar 1211,96 Ha dan kelas kesesuaian tinggi sebesar 226,25 Ha.

Tabel 2. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Tugu dan Lempuyangan.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Tugu	Rendah	2774,2
	Sedang	166,48
	Tinggi	74,93
Lempuyangan	Rendah	18,76
	Sedang	1211,96
	Tinggi	226,25

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

b. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Brambanan

Kawasan transit Stasiun Brambanan menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 3** Stasiun Brambanan memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Brambanan sebesar 7183,09 Ha.

Tabel 3. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Brambanan.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Brambanan	Rendah	7183,09

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

c. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Srowot

Kawasan transit Stasiun Srowot menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 4** Stasiun Srowot memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Srowot sebesar 259,40 Ha.

Tabel 4. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Srowot.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Srowot	Rendah	259,40

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

d. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Klaten

Kawasan transit Stasiun Klaten menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 5** Stasiun Klaten memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Klaten sebesar 510,89 Ha.

Tabel 5. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Klaten.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Klaten	Rendah	510,89

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

e. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Ceper
Kawasan transit Stasiun Ceper menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 6** Stasiun Ceper memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Ceper sebesar 834,10 Ha.

Tabel 6. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Ceper.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Ceper	Rendah	834,10

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

f. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Delanggu
Kawasan transit Stasiun Delanggu menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 7** Stasiun Delanggu memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Delanggu sebesar 2588,92 Ha.

Tabel 7. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Delanggu.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Delanggu	Rendah	2588,92

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

g. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Purwosari
Kawasan transit Stasiun Purwosari menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 8** Stasiun Purwosari memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Purwosari sebesar 8630,93 Ha.

Tabel 8. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Purwosari.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Purwosari	Rendah	8630,93

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

h. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Solo Balapan
Kawasan transit Stasiun Solo Balapan menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 9** Stasiun Solo Balapan mempunyai kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD yang dikategorikan menjadi tiga kelas kesesuaian yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Kelas kesesuaian rendah di Stasiun Solo Balapan sebesar 4619,23 Ha kemudian untuk kelas kesesuaian sedang sebesar 286,64 Ha dan kelas kesesuaian tinggi sebesar 95,33 Ha.

Tabel 9. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Solo Balapan.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Solo Balapan	Rendah	4619,23
	Sedang	286,64
	Tinggi	95,33

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

i. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Solo Jebres
Kawasan transit Stasiun Solo Jebres menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 10** Stasiun Solo Jebres memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam

pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Solo Jebres sebesar 2780,29 Ha.

Tabel 10. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Solo Jebres.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Solo Jebres	Rendah	2780,29

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

j. Kesesuaian Pengembangan TOD di Kawasan Stasiun Palur
Kawasan transit Stasiun Palur menjadi salah satu moda transit jarak jauh berupa kereta api *commuterline* yang menghubungkan Kota Yogyakarta-Kabupaten Karanganyar. Berdasarkan **Tabel 11** Stasiun Palur memiliki tingkat kesesuaian rendah dalam pengembangan kawasan berbasis TOD. Tingkat kesesuaian rendah di Stasiun Palur sebesar 3248,79 Ha.

Tabel 11. Tingkat kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD di Stasiun Palur.

Stasiun	Kesesuaian	Luas (Ha)
Palur	Rendah	3248,79

Sumber: Hasil Analisis Penulis (2024)

KESIMPULAN

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa dalam kesesuaian pengembangan kawasan berbasis TOD yang ada di jalur KRL Yogyakarta – Palur dapat dikategorikan menjadi tiga kategori, yaitu kesesuaian rendah, sedang, dan tinggi. Stasiun yang dapat dilakukan pengembangan kawasan TOD yaitu Stasiun Tugu, Lempuyangan, dan Solo Balapan dikarenakan mempunyai potensi tingkat kesesuaian yang tinggi untuk pengembangan kawasan TOD. Stasiun Brambanan, Srowot, Klaten, Ceper, Delanggu, Purwosari, Solo Jebres, dan Palur memiliki kesesuaian yang rendah untuk dilakukan pengembangan kawasan TOD. Stasiun Maguwo dan Gawok adalah stasiun yang paling tidak potensial untuk pengembangan kawasan TOD yang ada di jalur KRL Yogyakarta – Palur dikarenakan tidak terjangkau dari jalan utama/arteri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada seluruh tim yang terlibat dalam perencanaan dan pelaksanaan seminar ini. Dari seleksi topik hingga penyediaan *platform* yang nyaman bagi para peserta, semuanya terasa sangat profesional dan terkoordinasi dengan baik. Semoga melalui kegiatan seperti ini, dapat terus memperkuat komunitas akademis dan praktisi dalam bidang yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik (BPS). (2024). Jumlah Penumpang Angkutan Kereta Api di Daerah Istimewa Yogyakarta (ribu orang) Tahun 2023. BPS Provinsi D.I. Yogyakarta. Yogyakarta.

Cervero, R., & Sullivan, C. (2011). Green TODs: Marrying transit-oriented development and green urbanism. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, *18*(3), 210–218. https://doi.org/10.1080/13504509.2011.570801

Kadarsa, E., Susanti, B., Firmansya, R., & Agustien, M. (2020). Analysis Of Potential Transit Oriented Development Area Around Light Rail Station In Indonesia. *International Journal of Scientific & Technology Research*, *9*(3). www.ijstr.org

Kementerian ATR/BPN. (2017). Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2017 Tentang Pedoman Pengembangan Kawasan Berorientasi Transit. Kementerian ATR/BPN. Jakarta.

Ridwan, & Chazanah. (2013). Penanganan Dampak Perubahan Iklim Global pada Bidang Perkeretaapian Melalui Pendekatan Mitigasi dan Adaptasi. *Jurnal Teknik Sipil*, *20*(2), 141–150.

Putri, R. F., Cherlys, C., Fachrizal, H. R., Raihan, H. S., Putri, N., Nugraha, H. A., Istiqomah, E. W., Islami, I. N., Hasanah, D., Baihaqy, S. B., Primaputra, A. P. R., & Insani, A. A. (2023). Improvement of the

feasibility of developing transit-oriented development for Yogyakarta commuter line stations. *E3S Web of Conferences*, *468*, 1–9. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346803005

Putriani, O., & Fauzi, I. (2018). A comparative study of Transit Oriented Development (TOD) at Yogyakarta Railway Station. *MATEC Web of Conferences*, *181*, 1–11. https://doi.org/10.1051/matecconf/201818102001

Singh, Y. J., Lukman, A., Flacke, J., Zuidgeest, M., & Van Maarseveen, M. F. A. M. (2017). Measuring TOD around transit nodes - Towards TOD policy. *Transport Policy*, *56*, 96–111. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.013

Srivanit, M., & Selanon, P. (2017). GIS-based Land Suitability Analysis to Support Transit-Oriented Development (TOD) Master Plan: A Case Study of the Campus Station of Thammasat University and Its Surrounding Communities. *BUILT*, *9*, 49–60.

Zafirah, W., Najib, W. M., Mohd Noor, N., Azeez, A., & Hamsa, K. (2020). Transit-Oriented Development (Tod) Planning Analysis By Integrating Geographic Information System (Gis) Approach. *Journal Of Architcture, Planning & Construction Management*, *10*(1), 1–15.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

KLASIFIKASI TIPOLOGI *URBAN*, *SUB-URBAN*, DAN *RURAL* WILAYAH PERKOTAAN MENGGUNAKAN ALGORITMA *UNSUPERVISED MACHINE LEARNING CLUSTERING*

Studi Kasus Kota Kediri

(*Classification of Urban, Sub-Urban, and Rural Typologies Of City Areas Using Unsupervised Machine Learning Clustering Algorithm. Case Study: Kediri City*)

Muhammad Hidayatul Ummah[1] dan Mega Wulansari[2]

[1] Magister Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

[2] Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponimi, Badan Informasi Geospasial, Cibinong

Jl. Grafika no 2. Yogyakarta 55281

E-mail: muhammadhidayatulummah@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Klasifikasi tipologi wilayah kota menjadi *urban*, *sub-urban*, dan *rural* merupakan hal penting dalam perencanaan dan pengelolaan kota. Klasifikasi ini dapat membantu pemerintah untuk memahami karakteristik dan kebutuhan setiap wilayah, sehingga dapat merumuskan kebijakan yang tepat sasaran. Kota Kediri merupakan salah satu kota terkaya di Indonesia berdasarkan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) per kapita pada tahun 2021 dan 2022. Bentuk Algoritma *unsupervised machine learning clustering* dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tipologi wilayah perkotaan secara otomatis dengan mengelompokkan data berdasarkan kesamaan karakteristIKNya, tanpa memerlukan label data yang sudah diketahui sebelumnya. dalam penelitian ini dilakukan klasifikasi urban-suburban-rural dengan memperhatikan karakteristik demografi, kondisi fisik wiayah, konektivitas, dan ketersediaan fasilitas umum pada fraksi per kelurahan. Dari karakteristik tersebut diturunkan menjadi 15 variabel yang digunakan untuk klasifikasi tipologi perkotaan. Algoritma *clustering* yang digunakan adalah *k-means, agglomerative clustering*, dan *gaussian mixture*. Ketiga algoritma tersebut dibandingkan performansinya melalui parameter evaluasi *rand score* (RS), *silhouette score* (SS), *davies bouldin score* (DBS), dan *mutual info score* (MIS). Berdasarkan model klasifikasi masing-masing algoritma, *k-means* merupakan algoritma dengan performa terbaik dengan nilai RS, SS, DBS, dan MIS masing-masing adalah 0,648; 0,035; 26,106; dan 0,280. Berdasarkan hasil klasifikasi tipologi perkotaan dari algoritma *k-means*, didapatkan 17 (36,95%) kelurahan termasuk pada wilayah urban, 11 (23,92%) kelurahan merupakan wilayah *sub-urban*, dan 18 (39,13%) adalah wilayah *rural*. Dari hasil klasifikasi penelitian ini dapat diinterpretasikan bahwa Kota Kediri memiliki pola tata ruang monosentrik karena wilayah *urban* cenderung berada di sekitar pusat kota, sementara wilayah *sub-urban dan rural* berada di wilayah tepi kota berbatasan dengan Kabupaten Kediri.

Kata kunci: klasifikasi tipologi, urban, sub-urban, rural, *unsupervised machine learning*.

ABSTRACT

The typological classification of city regions as urban, suburban, and rural plays an essential role in city planning and management. This classification can assist the government in comprehending the characteristics and demands of each geographical area, enabling it to develop appropriate policies. Kediri is one of Indonesia's wealthiest cities based on Gross Regional Domestic Product (GRDP) per capita in 2021 and 2022. The unsupervised machine learning clustering algorithm potentially automatically identifies urban area typologies by arranging information based on similar characteristics, without requiring labels or previously known data. In this study, an urban-suburban-rural classification was carried out, taking into consideration demographic data, the physical characteristics of the area, connectivity, and availability of public facilities in each urban village fraction. From these characteristics, 15 variables were selected for urban-type classification. The clustering algorithms utilized include k-means, agglomerative clustering, and Gaussian mixture. The performance of these three algorithms was evaluated using the evaluation parameters rand-score (RS), silhouette-score (SS), davies-bouldin-score (DBS), and mutual-info-score (MIS). According to each algorithm's classification model, k-means provides the best performance, with RS, SS, DBS, and MIS values of 0.648, -0.022, 20,602, and 0.280, respectively. According to the k-means algorithm's urban typology classification, 17 (36.95%) urban villages were classified as urban, 11 (23.92%) as sub-urban, and 18 (39.13%) as rural. According to the classification results of this study, Kediri City has a

monocentric spatial structure because urban regions are concentrated around the city center. At the same time, suburban and rural areas are found on the city's outskirts, bordering Kediri Regency.

***Keywords**: typology classification, urban, sub-urban, rural, unsupervised machine learning*

PENDAHULUAN

Posisi Strategis Wilayah (PSW) merupakan sebuah konsep yang mengacu pada pengembangan wilayah yang memiliki potensi strategis dalam meningkatkan konektivitas, ekonomi, dan daya saing antar wilayah. dalam konteks Jawa Timur, Kota Kediri telah ditetapkan sebagai salah satu PSW yang memiliki peran penting dalam mendorong pembangunan regional. Hal tersebut dikarenakan posisinya sebagai jalur transportasi penghubung antara Kota Surabaya dengan beberapa kabupaten, diantaranya: Tulungagung, Nganjuk, dan Malang. Kota Kediri sebagai suatu pusat pemerintahan juga memiliki fungsi kawasan industri, perdagangan, dan pendidikan tinggi dari wilayah di sekitarnya. Keberadaan industri rokok oleh PT. Gudang Garam memberi andil besar sebagai pendorong utama aktivitas perekonomian masyarakat (Riyanto, 2019). Selain itu, di sektor transportasi, kota tersebut memiliki infrastruktur yang memadai, seperti jalan raya, rel kereta api, dan bandara, yang mendukung konektivitas dan kelancaran aktivitas ekonomi. Posisi Kota Kediri sebagai kota *ensklave* di dalam wilayah Kabupaten Kediri menghadirkan tantangan khusus dalam hal penataan ruang dan persebaran penduduk. Kota Kediri memiliki potensi besar untuk berkembang, namun perlu perencanaan dan pengelolaan yang cermat dan berkelanjutan untuk mengatasi konsekuensi dan mempertimbangkan aspek-aspek khusus sebagai area *ensklave* dan PSW seperti pemanfaatan ruang vertikal, pengembangan transportasi publik, penyediaan ruang terbuka hijau, dan pengembangan kawasan ekonomi.

Dalam proses perencanaan pemanfaatan area perkotaan diperlukan informasi mengenai sebaran dari karakteristik suatu wilayah (Making, 2016). Hal tersebut dapat diketahui dengan adanya klasifikasi tipologi kota. Pemahaman terhadap model tipologi suatu kota dapat digunakan pemerintah dalam menentukan prioritas pembangunan dan perumusan kebijakan agar tepat pada sasaran. Klasifikasi tipologi kota merupakan proses pengelompokan wilayah perkotaan berdasarkan karakteristIKNya, seperti demografi, kondisi fisik wilayah, konektivitas, dan ketersediaan fasilitas umum. Metode *unsupervised machine learning clustering* dapat digunakan untuk klasifikasi tipologi kota secara otomatis tanpa memerlukan label data yang sudah diketahui sebelumnya (Fitriani, 2018). Metode ini memiliki beberapa algoritma yang masing-masing memiliki karakteristik tersendiri. Pada penelitian ini akan digunakan 3 algoritma yang akan dievaluasi dan dibandingkan hasil klasifikasinya, yakni: (1) Metode K-*means* merupakan metode yang membagi data menjadi k *cluster* dengan meminimalkan jarak antar data dalam *cluster*. (2) *Agglomerative clustering* merupakan metode yang menggabungkan data secara bertahap berdasarkan kesamaan antar data. (3) *Gaussian mixture* merupakan metode yang memodelkan data dengan distribusi probabilitas campuran *Gaussian*.

Pemanfaatan metode *unsupervised machine learning clustering* sebelumnya telah dilakukan oleh Fajriani (2019) untuk melihat persebaran tingkat kemiskinan di Sulawesi Selatan menggunakan algoritma K-*Means Clustering* dengan 3 parameter kemiskinan seperti Indeks Pembangunan Manusia (IPM), Produk *Domestik Regional Bruto* (PDRB), dan Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT). Hasilnya menunjukan bahwa sebanyak 7 wilayah termasuk pada cluster rata-rata tingkat kemiskinan tinggi dan 17 lainnya termasuk pada *cluster* rata-rata tingkat kemiskinan rendah. Talakua, *et al.* (2017) telah menggunakan metode K-*Means Clustering* untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Maluku berdasarkan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) tahun 2014. Hasilnya menunjukkan adanya tiga *cluster* wilayah dengan ukuran parameter Angka Harapan Hidup (AHH), Angka Melek Huruf (AMH), Rata-rata Lama Sekolah (RLS), dan Pengeluaran Per Kapita (PPK). Hasil dari penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode *unsupervised machine learning clustering* dapat digunakan untuk mengelompokkan kabupaten/kota di suatu wilayah berdasarkan parameter-parameter tertentu dengan hasil yang cukup akurat.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami dan mengetahui pola persebaran penduduk dan tipologi wilayah di Kota Kediri dengan menggunakan metode *unsupervised machine learning*

clustering. Pemahaman ini diharapkan dapat membantu pemerintah dalam merumuskan kebijakan terkait penataan ruang dan pembangunan wilayah yang lebih efektif, khususnya di kawasan PSW Kota Kediri. Penelitian ini menggunakan tiga metode clustering, yaitu K-means, Agglomerative clustering, dan Gaussian mixture, dan hasil klasifikasinya akan dievaluasi dan dibandingkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pemerintah Kota Kediri dalam menyusun strategi pembangunan wilayah yang tepat sasaran dan berkelanjutan, khususnya di kawasan PSW.

METODE

Unsupervised Machine Learning Clustering adalah teknik untuk mengelompokkan data secara otomatis tanpa memerlukan label data yang sudah diketahui sebelumnya. Algoritma ini akan bekerja dengan menemukan pola dan kesamaan dalam data, kemudian mengelompokkan data berdasarkan pola tersebut. Algoritma ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan seperti: (1) Dapat melakukan klasifikasi otomatis pada data tanpa memerlukan label data, (2) Dapat menemukan pola dan struktur yang tersembunyi dalam data, dan (3) Dapat digunakan untuk menemukan atau membentuk segmen pasar. Pada penelitian ini kami menggunakan metode ini dengan 3 algoritma *clustering* sekaligus untuk melihat performa pada masing-masing algoritma yang terdiri dari *k-means, agglomerative clustering*, dan *gaussian mixture.* Hasil dari ketiga algoritma tersebut dibandingkan performasinya melalui parameter evaluasi *rand score* (RS), *silhouette score* (SS), *davies bouldin score* (DBS), dan *mutual info score* (MIS).

Penelitian dilakukan pada fraksi per kelurahan di Kota Kediri dengan total 46 kelurahan yang tersebar di 3 kecamatan, yakni Kecamatan Kota, Kecamatan Pesantren, dan Kecamatan Mojoroto. Klasifikasi *urban-suburban-rural* dilakukan dengan memperhatikan karakteristik demografi, kondisi fisik wilayah, konektivitas, dan ketersediaan fasilitas umum. Karakteristik tersebut kemudian diturunkan menjadi 15 variabel yang digunakan untuk klasifikasi tipologi perkotaan sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pemilihan parameter pemodelan *cluster* didasarkan pada studi literatur penelitian terdahulu. Data setiap parameter dapat divisualisasikan pada **Gambar 1**.

Tabel 1. Faktor dan parameter yang digunakan untuk pemodelan.

No.	Faktor	Parameter	Sumber	Deskripsi
1	Demografi	Kepadatan Penduduk	(Atharinafi & Wijaya, 2021; Supriyatin *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2004)	Perbandingan jumlah penduduk terhadap luas wilayah dalam satuan jiwa/km^2
2		Rasio Jenis Kelamin	(Menashe-Oren & Stecklov, 2023)	Perbandingan jumlah penduduk pria terhadap penduduk wanita
3	Kondisi Fisik Wilayah	LST (*land surface* temprearuture) Rata-rata	(Singh *et al.*, 2023)	Nilai rata-rata LST dalam batas geometri kelurahan
4		NDVI (*normalized difference vegetation index*) rata-rata	(Li & Quan, 2023)	Nilai rata-rata NDVI dalam batas geometri kelurahan
5		Rasio area lahan terbuka	(Li & Quan, 2023)	Perbandingan luas tutupan lahan terbuka terhadap luas keseluruhan batas geometri kelurahan
6		Rasio area lahan terbangun	(Supriyatin *et al.*, 2020)	Perbandingan luas tutupan lahan terbangun terhadap luas keseluruhan batas geometri kelurahan
7		Rasio area lahan pertanian	(Pizzoli, 2007)	Perbandingan luas tutupan lahan pertanian terhadap luas keseluruhan batas geometri kelurahan.

No.	Faktor	Parameter	Sumber	Deskripsi
8	Konektivitas	Jarak rata-rata dari jalan utama	(Zhou *et al.*, 2004)	Jarak lurus (*euclidean*) rata-rata dari fitur jalan dalam satu batas geometri kelurahan.
9		Kepadatan rata-rata jalan	(Zhou *et al.*, 2004)	Kepadatan fitur rata-rata dari fitur jalan dalam satu batas geometri kelurahan, dengan satuan km/km^2.
10		Jarak rata-rata dari CBD (*central business district*)	(Zhou *et al.*, 2004)	Jarak lurus (*euclidean*) rata-rata dari fitur CBD dalam satu batas geometri kelurahan
11	Ketersediaan Fasilitas umum	Jarak rata-rata dari fasilitas kesehatan	(Atharinafi & Wijaya, 2021; Supriyatin *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2004)	Jarak lurus (*euclidean*) rata-rata dari fitur fasilitas kesehatan dalam satu batas geometri kelurahan.
12		Jarak rata-rata dari fasilitas pendidikan	(Atharinafi & Wijaya, 2021; Supriyatin *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2004)	Jarak lurus (*euclidean*) rata-rata dari fitur fasilitas pendidikan dalam satu batas geometri kelurahan.
13		Jarak rata-rata dari titik niaga	(Atharinafi & Wijaya, 2021; Supriyatin *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2004)	Jarak lurus (*euclidean*) rata-rata dari fitur titik niaga satu batas geometri kelurahan
14		Jarak rata-rata dari titik lokasi peribadatan	(KHIBA & Ntlhe, 2023)	Jarak lurus (*euclidean*) rata-rata dari fitur lokasi peribadatan dalam satu batas geometri kelurahan.
15		Kerapatan rata-rata jaringan pipa PDAM (perusahaan daerah air minum)	(Bergkamp *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2004)	Kepadatan fitur rata-rata dari fitur pipa PDAM dalam satu batas geometri kelurahan, dengan satuan km/km^2.

K-means

K-*means* adalah salah satu algoritma *clustering* yang paling populer dan banyak digunakan dalam *unsupervised machine learning*. Algoritma ini bekerja dengan membagi data menjadi k kelompok (*cluster*) berdasarkan jarak antar data. Algoritma ini sering digunakan karena mudah diimplementasikan dan diinterpretasikan karena wilayah *cluster* akan diwakili oleh titik pusatnya (Putra *et al.*, 2023). Jarak antar data pada metode ini menggunakan *euclidian distance* sesuai dengan persamaan 3.1.

d(x, c) = sqrt(∑(xi - ci)^2) .....(1)

di mana:
d(x, c) : jarak antara data x dan *centroid* c
x_i : nilai fitur ke-i dari data x
c_i : nilai fitur ke-i dari centroid c
Σ : simbol penjumlahan untuk semua fitur (i = 1, 2, ..., n)

Agglomerative Clustering

Agglomerative clustering (atau *hierarchical agglomerative clustering* (HAC)) adalah metode pengelompokan data yang menggunakan pendekatan "*bottom-up*" untuk mengelompokkan data. Berbeda dengan K-*means* yang dimulai dengan *cluster* yang telah ditentukan, *agglomerative clustering* dimulai dengan menganggap setiap data *point* sebagai *cluster* individualnya sendiri (Khulwana, 2021). Algoritma ini secara iteratif menggabungkan dua *cluster* yang paling mirip berdasarkan metrik jarak yang telah ditentukan. Penggabungan *cluster* ini akan terus terjadi sampai *cluster* yang dihasilkan sejumlah yang diinginkan oleh peneliti (Aprilia *et al.*, 2019). Jarak

antar *cluster* ini dapat menggunakan beberapa cara, yakni *single linkage* (persamaan 3.2), *complete linkage* (persamaan 3.3), dan *average linkage* (persamaan 3.4).

$$d(C_i, C_k) = \min(d(C_i, C_j), d(C_j, C_k)) \quad \text{.....(2)}$$

$$d(C_i, C_k) = \max(d(C_i, C_j), d(C_j, C_k)) \quad \text{.....(3)}$$

$$d(C_i, C_k) = (|C_j| * d(C_i, C_j) + |C_k| * d(C_j, C_k)) / (|C_j| + |C_k|) \quad \text{.....(4)}$$

di mana:
d(x, y) : jarak antara data poin x dan y
C_i : *cluster* i
|C_i| : jumlah data poin dalam *cluster* i

Gaussian Mixture

Gaussian Mixture (GM) adalah sebuah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan distribusi data sebagai campuran dari beberapa *distribusi Gaussian* (normal) seperti pada persamaan 3.5 (Wijaya dan Pamungkas, 2015). Ini berbeda dengan K-*means* dan *Agglomerative Clustering* yang secara tegas mengelompokkan data ke dalam kategori yang berbeda. Metode ini lebih kompleks dan membutuhkan perhitungan yang lebih lama.

$$f(x) = (1/\text{sqrt}(2\pi\sigma^2)) * \exp(-((x-\mu)^2)/(2\sigma^2)) \quad \text{.....(5)}$$

dimana:
μ : rata-rata
σ^2 : varians

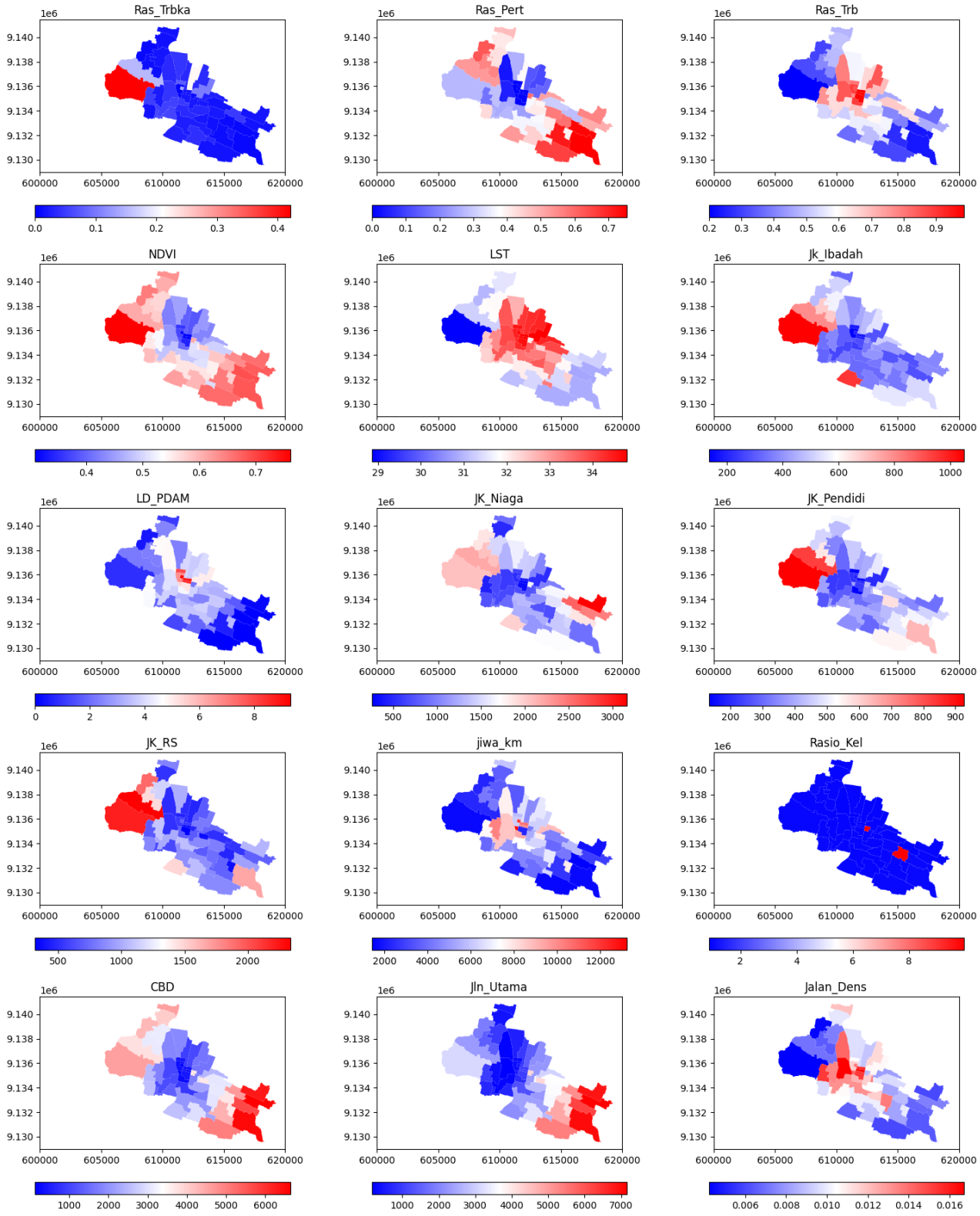
HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Analisis *Clustering*

Faktor demografi terdiri dari parameter kepadatan penduduk dan rasio jenis kelamin. Berdasarkan data yang diperoleh, nilai minimum dan maksimum pada parameter kepadatan penduduk adalah 1.426 jiwa/km^2 dan 13.247 jiwa/km^2. Nilai rata-rata pada parameter kepadatan penduduk adalah 5.553 jiwa/km^2, dengan standar deviasi sebesar ±2.973 jiwa/km^2. Pada parameter rasio jenis kelamin, nilai minimum dan maksimum masing-masing adalah 0,87 dan 9,96. Sementara itu, nilai rata-rata rasio jenis kelamin sebesar 1,18 dengan standar deviasi sebesar ±1,32.

Faktor kondisi fisik wilayah terdiri dari parameter rasio area lahan terbuka, rasio area lahan terbangun, rasio area lahan pertanian, LST rata-rata dan NDVI rata-rata. Berdasarkan data yang diperoleh, pada parameter rasio area lahan terbuka memiliki nilai minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,00 dan 0,42. Nilai rata-rata parameter rasio lahan terbuka adalah 0,04 dengan standar deviasi sebesar ±0,07. Pada parameter rasio area lahan pertanian, memiliki nilai pada rentang 0 – 0,76 dan rata-rata sebesar 0,33 dengan standar deviasi sebesar ±0,23.

Kemudian, pada parameter rasio lahan terbangun memiliki nilai minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,21 dan 0,98 dengan rata-rata 0,58 serta standar deviasi sebesar ±0,22. Parameter nilai NDVI rata-rata memiliki rentang 0,31 hingga 0,76 dengan rata-rata 0,52 dan standar deviasi sebesar ±0,12. Nilai parameter LST rata-rata memiliki rentang pada 28,86˚C hingga 34,80˚C dengan rata-rata 32,78˚C dan standar deviasi sebesar 1,49˚C.

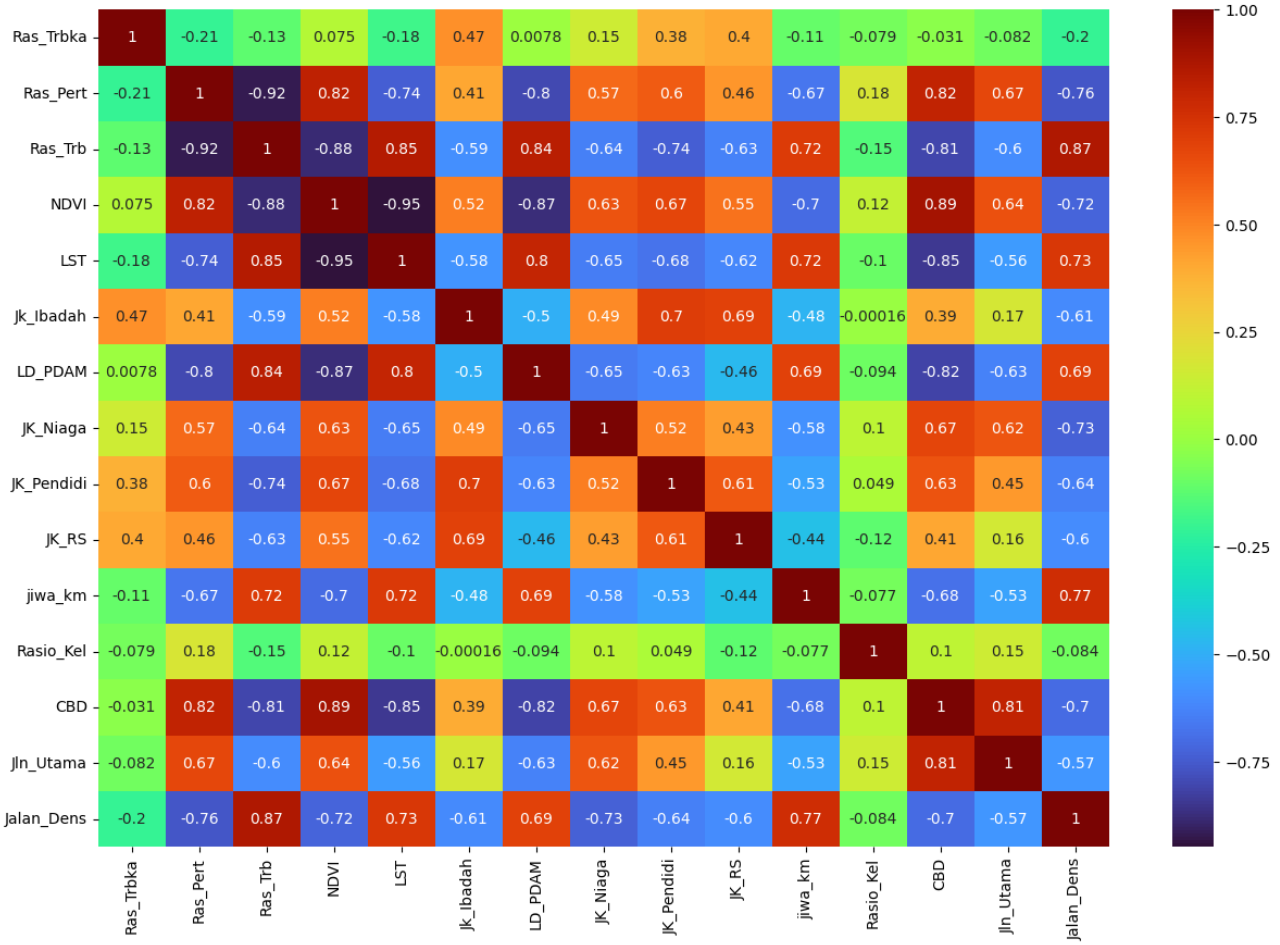


Gambar 1. Data parameter analisis *clustering.*
(Ras_Trbka: rasio area lahan terbuka, Ras_Pert: rasio area lahan pertanian, Ras_Trb: rasio area lahan terbangun, NDVI: nilai NDVI rata-rata; LST: suhu permukaan rata-rata, Jk_Ibadah: jarak terhadap tempat peribadatan, LD_PDAM: kerapatan jaringan pipa PDAM, JK_Niaga: jarak terhadap titik niaga, JK_Pendidi: jarak terhadap fasilitas pendidikan, JK_RS: jarak terhadap fasilitas kesehatan; jiwa_km: kepadatan penduduk; Rasio_Kel: rasio jenis kelamin; CBD: jarak terhadap CBD; Jln_utama: jarak dari jalan utama; Jalan_Dens: kerapatan jaringan jalan)

Faktor konektivitas terdiri dari parameter jarak rata-rata dari jalan utama, kepadatan jalan, dan jarak rata-rata dari CBD. Parameter jarak rata-rata dari jalan utama memiliki rentang nilai 165,92 m hingga 7.162,05 m dengan nilai rata-rata 2.299,97 m dan standar deviasi sebesar

±2.021,44m. Pada parameter kepadatan jalan, memiliki nilai minimum dan maksimum masing-masing adalah 0,004 km/km^2 dan 0,017 km/km^2. Nilai rata-rata parameter kepadatan jalan adalah 0,010 km/km^2 dengan standar deviasi sebesar 0,003 km/km^2. Parameter jarak rata-rata dari CBD memiliki rentang nilai 127,67 m hingga 6.634,20 m dengan rata-rata sebesar 2.605,14 m dan standar deviasi sebesar ±1.814,31 m.

Faktor ketersediaan fasilitas umum terdiri dari 5 parameter yaitu jarak dari fasilitas kesehatan, jarak dari fasilitas pendidikan, jarak dari titik niaga, jarak dari titik lokasi peribadatan, dan kerapatan jaringan pipa PDAM. Fasilitas umum berupa titik niaga, lokasi peribadatan, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, dan jaringan pipa PDAM merupakan fasilitas utama penunjang kebutuhan kegiatan sehari-hari di wilayah perkotaan. Pada parameter jarak dari fasilitas kesehatan, memiliki nilai pada rentang 318,85 m hingga 2.334,13 m dengan rata-rata 859,87 m dan standar deviasi sebesar ±456,08 m. Nilai parameter jarak dari fasilitas pendidikan memiliki rentang antara 132,22 m dan 2.334,13 m. Nilai rata-rata pada parameter jarak dari fasilitas pendidikan 388,62 m dengan standar deviasi sebesar ±456,08 m. Parameter jarak dari titik niaga memiliki rentang nilai antara 259,66 m hingga 3.163,99 m dengan rata-rata 1.217,71 m dan standar deviasi sebesar ±668,23 m. Parameter jarak dari titik lokasi peribadatan memiliki rentang nilai 135,73 m hingga 1.048,41 m dengan rata-rata sebesar 402,57 m dan standar deviasi ±183,46 m. Parameter kerapatan jaringan pipa PDAM memiliki nilai minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,004 km/km^2 dan 0,017 km/km^2. Sementara itu, nilai rata-rata parameter kepadatan pipa PDAM adalah 0,010 km/km^2 dengan standar deviasi sebesar 0,003 km/km^2.



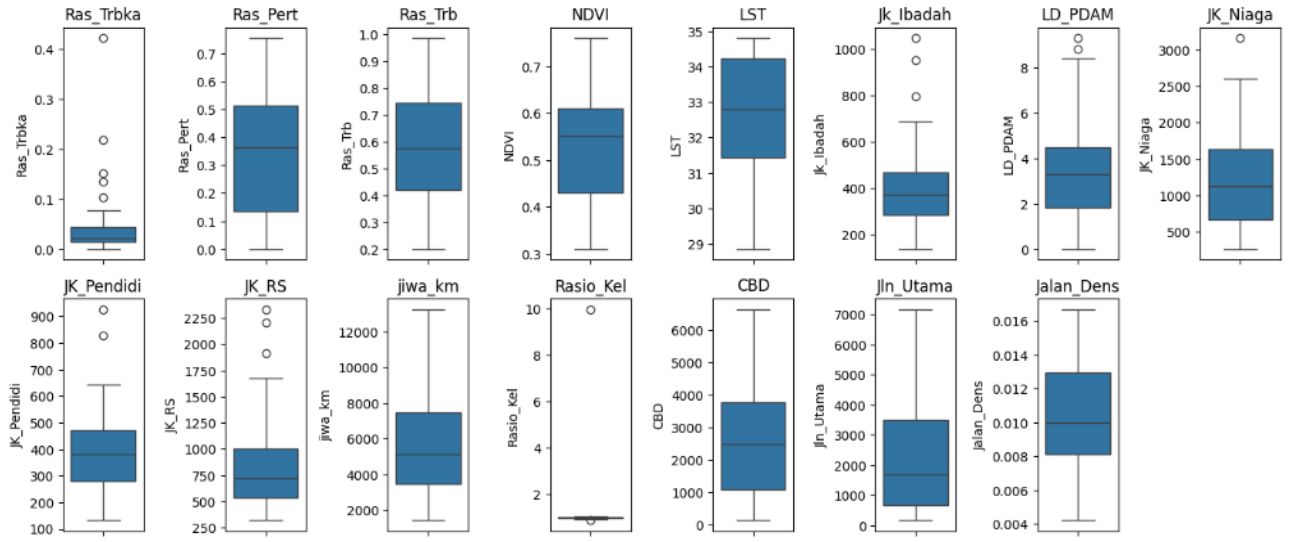
Gambar 2. Korelogram antar parameter.

Nilai korelasi dapat disajikan pada matriks korelogram sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 2.** Penyajian korelogram bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antar parameter yang digunakan dalam proses analisis *clustering*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, korelasi positif tertinggi adalah hubungan antara jarak terhadap CBD dengan nilai NDVI. Nilai korelasi dari kedua parameter tersebut adalah 0,89. Nilai korelasi tersebut termasuk korelasi sangat kuat. Dengan

demikian, semakin jauh jarak dari CBD, nilai NDVI semakin tinggi. Hal ini selaras dengan kondisi di *real world*, bahwa ketika semakin dekat dengan daerah CBD, lebih banyak area terbangun dibandingkan dengan area terbuka hijau, sehingga nilai NDVI juga akan semakin kecil ketika suatu lokasi semakin dekat dengan wilayah CBD. Sementara itu, nilai korelasi negatif tertinggi adalah hubungan antara nilai LST dengan NDVI, dengan nilai korelasi -0,95. Nilai korelasi tersebut tergolong sangat kuat. Oleh karena itu, dapat diinterpretasikan bahwa semakin tinggi nilai suhu permukaan, semakin rendah nilai NDVI, begitu sebaliknya.

Pembersihan *Outlier* Data Parameter

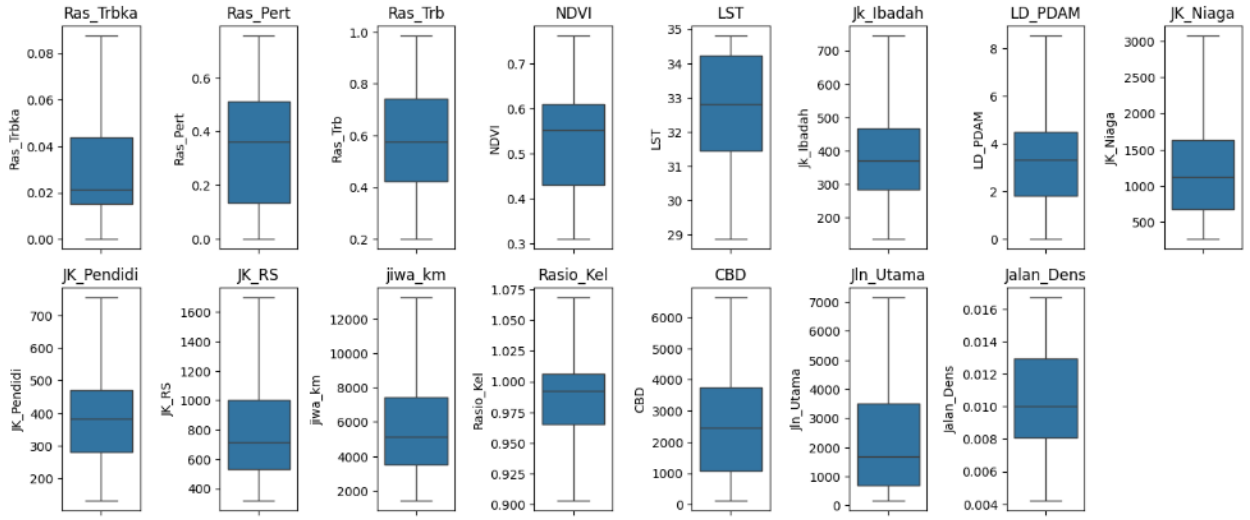
Deteksi *outlier* data parameter pada penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi adanya data loncatan yang distribusinya jauh dibandingkan sebagian besar data lainnya pada data parameter. dalam analisis *clustering*, *outlier* perlu dihilangkan atau diberikan perlakukan khusus agar klaster yang dihasilkan lebih reliabel (Patel & Mehta, 2011). Teknik yang digunakan untuk mendeteksi *outlier* pada penelitian ini adalah *inter quartile range* (IQR). Metode tersebut menghitung rentang antar kuartil yang menunjukkan variai data. Nilai yang berada di luar rentang (Q1 – 1,5 IQR) hingga (Q4 + 1,5 IQR) diasumsikan sebagai data *outlier*. Dimana IQR didefinisikan sebagai Q4 – Q3 (Dash *et al.*, 2023). Hasil deteksi *outlier* dengan menggunakan IQR dapat disajikan dalam bentuk *box plot* sebagaimana pada **Gambar 3**.



Gambar 3. *Box plot* masing-masing parameter sebelum dilakukan pembersihan *outlier.*

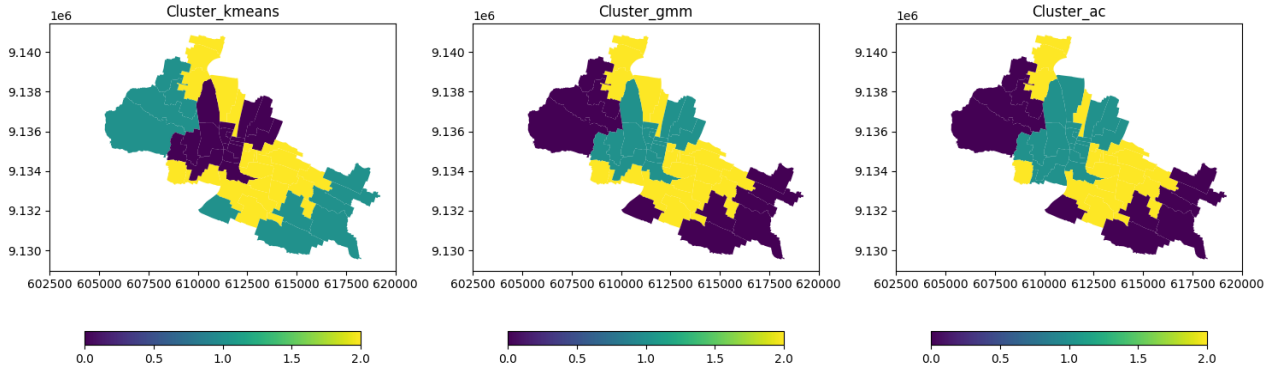
Berdasarkan hasil deteksi *outlier*, didapatkan bahwa tidak ada *outlier* pada 8 dari 15 parameter, yaitu rasio lahan pertanian, rasio lahan terbuka, NDVI, LST, jarak dari CBD, jarak dari jalan utama, kepadatan penduduk, dan kerapatan jalan. Sementara itu, terdapat 6 dari 15 parameter yang memiliki *outlier* berada di luar batas atas IQR yaitu rasio lahan terbuka, jarak tempat ibadah, kepadatan jaringan pipa PDAM, jarak terhadap niaga, jarak terhadap fasilitas pendidikan, dan jarak dari rumah sakit, dengan jumlah data yang dideteksi sebagai *outlier* masing-masing secara berurutan adalah 4,3,2,1,2,dan 3. Parameter rasio jenis kelamin terdeteksi terdapat masing-masing satu data *outlier* yang berada di luar batas atas dan bawah IQR.

Perlakuan pada data *outlier* pada penelitian ini tidak dengan menghapus data tersebut. Namun demikian, membersihkan dengan metode *capping*, yaitu mengganti nilai *outlier* dengan batas atas atau batas bawah IQR (Shehadeh *et al.*, 2022). Hal ini untuk mempertahankan nilai dari setiap parameter pada masing-masing kelurahan, sehingga tidak ada data kelurahan yang akan terbuang. Hasil dari perlakukan teknik *capping* data *outlier* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Berdasarkan pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa tidak ada lagi titik-titik data parameter yang terdistribusi di luar batas IQR. Data yang bersih dari *outlier* ini yang dilakukan pemrosesan untuk analisis *clustering.*



Gambar 4. *Box plot* masing-masing parameter setelah dilakukan pembersihan *outlier.*

Hasil Pemodelan *Clustering* Menggunakan Algoritma *Unsupervised Machine Learning*



Gambar 5. Hasil *clustering* menggunakan ketiga algoritma.
(kmeans: algoritma *k-means*, gmm: algoritma *gaussian mixture*, ac: algoritma *agglomerative clustering*)

Pemodelan *clustering* pada penelitian ini menggunakan 3 algoritma *unsupervised machine learning,* yaitu *k-means* (KM), *gaussian mixture* (GM), dan *aglomerative clustering* (AC). Semua algoritma diatur untuk melakukan pengelompokan data dengan jumlah klaster sebanyak 3, yang akan diinterpretasikan sebagai tipologi *urban, sub-urban, dan rural*. Hasil dari analisis *clustering* pada masing-masing metode dapat disajikan dalam bentuk peta yang dapat dilihat pada **Gambar 5**. Pada hasil tersebut, setiap algoritma memiliki tiga kelas yaitu kelas 0,1, dan 2. Posisi kelas tidak merepresentasikan kelas tipologi perkotaan, melainkan hanya kode kelas. Kelas tipologi perkotaan akan diinterpretasikan pada pasca pemrosesan. Namun demikian, jika dilihat dari sebaran spasial atau dari sisi visual, pada hasil *clustering* menggunakan KM, dapat diinterpretasikan bahwa kelas 0 adalah kelas tipologi *urban*, kelas 1 adalah tipologi *rural*, dan kelas 2 adalah tipologi *sub-urban*. Dari hasil *clustering* menggunakan *k-means* didapatkan 17 kelurahan termasuk pada kelas *urban*, 11 kelurahan termasuk pada kelas *sub-urban*, dan 18 kelurahan termasuk pada kelas *rural*. Sementara itu, pada hasil *clustering* dengan menggunakan algoritma GM secara visual, dapat diinterpretasikan bahwa kelas 0 merupakan kelas *rural*, kelas 1 merupakan kelas *urban,* dan kelas 2 merupakan sub-*urban*. Berdasarkan interpretasi tersebut, didapatkan bahwa dengan menggunakan algoritma GM, terdapat 17 kelurahan termasuk pada kelas *urban*, 11 kelurahan merupakan *sub-urban*, dan 18 kelurahan termasuk pada kelas *rural*. Interpretasi tersebut sama seperti hasil dengan algoritma KM, namun saja berbeda pada hasil label kelas yang diberikan. Kemudian, pada hasil analisis *clustering* dengan algoritma AC, secara visual dapat diinterpretasikan bahwa kelas 0 merupakan kelas *rural*, kelas 1 merupakan kelas *urban*, dan kelas 2 merupakan kelas *sub-urban*. Berdasarkan interpretasi tersebut, didapatkan bahwa dengan menggunakan

algoritma AC, terdapat 19 kelurahan termasuk pada kelas *urban*, 16 kelurahan termasuk pada kelas *sub-urban*, dan 11 kelurahan termasuk pada kelas *rural*.

Hasil evaluasi pada masing-masing algoritma dapat dilihat pada **Tabel 2**. Interpretasi pada nilai evaluasi, semakin tinggi semakin baik performa algoritma *clustering* berlaku pada parameter evaluasi RS, SS, dan MIS. Sementara itu, untuk parameter DBS berlaku sebaliknya. Berdasarkan hasil evaluasi yang didapatkan, dengan menggunakan algoritma KM memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan dengan algoritma yang lain pada parameter evaluasi RS, SS, dan MIS. Namun demikian, pada parameter DBS, algoritma KM memiliki performa paling rendah dibandingkan dengan algoritma yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritma KM, memiliki variabilitas yang rendah pada nilai di setiap kelasnya, sehingga varians nilai antar data pada setiap kelas minimum. Namun demikian, secara validitas dibandingkan dengan kondisi klaster ideal masih memiliki performa lebih rendah dibandingkan dengan algoritma lain. Dengan demikian, secara keseluruhan parameter evaluasi, dapat diinterpretasikan bahwa algoritma KM memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dua algoritma lain yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Hasil evaluasi model *clustering* masing-masing algoritma.

Algoritma	Evaluasi			
	Rand score	*Silhouette score*	*Davies Bouldin Score*	*Mutual Info Score*
K-means	0,648	0,035	26,106	0,280
Gaussian mixture	0,648	-0,013	7,400	0,280
Agglomerative Clustering	0,646	0,050	8,885	0,278

Analisis Karakteristik Tipologi Perkotaan dari Algoritma Terbaik

Karakteristik tipologi perkotaan *urban, sub-urban*, dan *rural* dapat dilihat dengan melakukan analisis pada nilai *centroid* masing-masing klaster pada tiap parameter. *Centroid* yang dimaksudkan di sini adalah nilai rata-rata dari masing-masing parameter di tiap klaster. Berdasarkan pembahasan sebelumnya, didapatkan bahwa algoritma terbaik dari ketiga algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah *k-means*. Hasil analisis nilai *centroid* pada masing-masing parameter di tiap kelas yang dibentuk dari algoritma *k-means* dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Karakteristik nilai *centroid* masing-masing parameter tiap klister.

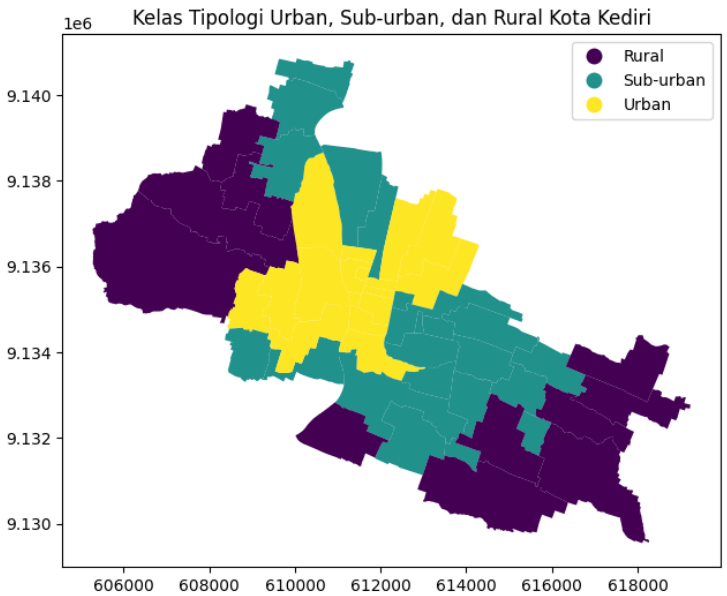
Parameter	Nilai *Centroid* Klaster		
	0	1	2
Rasio area lahan terbuka	0,053	0,063	0,026
Rasio area lahan pertanian	0,083	0,587	0,406
Rasio area lahan terbangun	0,809	0,315	0,532
NDVI rata-rata	0,410	0,660	0,551
LST rata-rata	34,152	30,917	32,636
Jarak dari titik lokasi peribadatan	297,551	583,341	391,295
Kerapatan jaringan pipa PDAM	5,424	0,706	2,948
Jarak rata-rata terhadap titik niaga	706,666	1.967,691	1.242,055
Jarak rata-rata terhadap fasilitas Pendidikan	259,257	554,362	409,507
Jarak rata-rata terhadap fasilitas kesehatan	653,235	1.396,176	727,294
Kepadatan penduduk	8.061,603	2.238,176	5.208,740
Rasio jenis kelamin	0,962	1,008	1,490
Jarak rata-rata terhadap CBD	929,306	4.810,770	2.839,999
Jarak dari jalan utama	849,821	4.407,455	2381,650
Kerapatan jaringan jalan	0,013	0,006	0,010
Interpretasi	*Urban*	*Rural*	*Sub-urban*

Berdasarkan data *centroid* pada masing-masing parameter di tiap parameter, dapat diinterpretasikan bahwa kelas 0 merupakan kelas *urban*. Karakteristik kelas *urban* berdasarkan pada analisis penelitian ini adalah memiliki rasio area lahan terbuka sedang, rasio area lahan pertanian rendah, rasio area lahan terbangun tinggi, NDVI rata-rata rendah, suhu permukaan tinggi, jarak dari titik lokasi peribadatan dekat kerapatan jaringan pipa PDAM, jarak rata-rata

terhadap titik niaga dekat, jarak rata-rata dari fasilitas pendidikan dekat, jarak dari fasilitas kesehatan dekat, kepadatan penduduk tinggi, rasio jenis kelamin hampir sama, jarak rata-rata terhadap CBD dekat, jarak dari jalan utama dekat, dan kerapatan jaringan jalan tinggi. Sementara itu, karakteristik wilayah *sub-urban* adalah nilai pada parameter rasio lahan terbuka rendah. Karakteristik *sub-urban* memiliki nilai relatif sedang pada parameter rasio area lahan pertanian, rasio area lahan terbangun, NDVI rata-rata, jarak dari titik lokasi peribadatan, kerapatan jaringan pipa PDAM, jarak rata-rata terhadap titik niaga, jarak rata-rata terhadap fasilitas pendidikan, jarak rata-rata terhadap fasilitas kesehatan, kepadatan penduduk, jarak rata-rata terhadap CBD, jarak dari jalan utama, dan kerapatan jaringan jalan. Pada parameter rasio jenis kelamin, wilayah *sub-urban* kurang seimbang antara laki-laki dan perempuan. Karakteristik wilayah *rural* pada analisis penelitian ini adalah semua parameter memiliki nilai yang relatif rendah kecuali pada parameter rasio area lahan terbuka dan lahan pertanian. Pada parameter rasio lahan terbuka dan lahan pertanian memiliki nilai yang relatif tinggi. Rasio jenis kelamin pada karakteristik wilayah *rural* hampir seimbang.

Hasil interpretasi tipologi perkotaan dapat disajikan pada **Gambar 6.** 11 kelurahan yang termasuk pada karakteristik tipologi *rural* adalah Kelurahan Gayam, Bujel, Sukorame, Pojok, Manisrenggo, Ketami, Tempurejo, Betet, Blabak, Bawang, dan Ngletih. Sementara itu, 18 kelurahan yang termasuk pada karakteristik wilayah *sub-urban* adalah kelurahan Dermo, Mrican, Ngampel, Tamanan, Banjarmlati, Semampir, Balowerti, Ngronggo, Rejomulyo, Singonegaran, Burengan, Pakunden, Tinalan, Bangsal, Pesantren, Tosaren, Banaran, dan Jamsaren. 17 kelurahan yang termasuk pada karakteristik wilayah *urban* adalah Kelurahan Mojoroto, Campurejo, Bandar Kidul, Bandar Lor, Lirboyo, Dandangan, Ngadirejo, Banjaran, Pocanan, Gedong, Pakelan, Kemasna, Jagalan, Ringinanom, Sentono Pande, Kampungdalem, dan Kaliombo.

Berdasarkan model tipologi yang terbentuk melalui proses *clustering*, dapat diinterpretasikan bahwa model kota yang diadopsi oleh Kota Kediri adalah monosentris. Model perkotaan monosentris adalah sebagian besar aktivitas bisnis terjadi di suatu titik saja. Dengan demikian, pemanfaatan lahan berdasarkan jarak dari pusat kota (Pérez & Aldeco, 2019). Hal ini dapat dilihat pada nilai rasio dari area lahan terbangun, lahan pertanian, dan lahan terbuka. Rasio lahan terbangun lebih tinggi pada area *urban,* sementara pada area *rural*,, rasio lahan pertanian dan lahan terbuka relatif tinggi. Hal ini dikarenakan sebagian besar penggunaan komersial terjadi di sekitar pusat kota, berdasarkan pada model perkotaan monosentris. Kepadatan penduduk juga relatif tinggi terletak pada pusat kota, sedangkan kepadatan penduduk relatif rendah terdapat di wilayah *rural*. Sistem perkotaan monosentris menerapkan tatanan fisik dengan kepadatan rata-rata pembangunan menurun seiring dengan semakin jauhnya jarak dari pusat kota, dimana lapangan kerja dan bisnis dipusatkan pada pusat kota dengan kawasan permukiman melingkari di sekitarnya (You, 2017).



Gambar 6. Hasil akhir interpretasi kelas tipologi wilayah perkotaan.

KESIMPULAN

Penelitian ini mencoba untuk melakukan klasifikasi tipologi perkotaan *urban, sub-urban, dan rural* dengan menggunakan algoritma *unsupervised machine learning*. Penelitian diimplementasikan di Kota Kediri dengan memperhatikan empat faktor utama yaitu demografi, kondisi fisik wilayah, konektivitas, dan ketersediaan fasilitas umum. Dari 4 faktor tersebut dapat diturunkan menjadi 15 parameter. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah *k-means, gaussian mixture*, dan *agglomerative clustering*. Ketiga algoritma ini dilakukan evaluasi performa dengan menggunakan 4 parameter yaitu RS, SS, DBS, dan MIS. Dari ketiga algoritma tersebut, *k-means* memiliki performa terbaik secara keseluruhan dengan nilai RS, SS, DBS, dan MIS masing-masing adalah 0,648; 0,035; 26,106; dan 0,280. Dengan menggunakan algoritma *k-means* didapatkan bahwa Kota Kediri terdiri dari 11 kelurahan dengan tipologi *rural*, 18 kelurahan dengan tipologi *sub-urban*, dan 17 kelurahan dengan tipologi *urban*. Kelurahan yang termasuk pada kelas tipologi *urban* adalah Kelurahan Mojoroto, Campurejo, Bandar Kidul, Bandar Lor, Lirboyo, Dandangan, Ngadirejo, Banjaran, Pocanan, Gedong, Pakelan, Kemasna, Jagalan, Ringinanom, Sentono Pande, Kampungdalem, dan Kaliombo. Dengan karakteristik yang diperoleh, dapat diinterpretasikan bahwa Kota Kediri memiliki tata kota monosentris dengan pusat kegiatan komersial dipusatkan di tengah kota.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial, Badan Pusat Statistik Kota Kediri, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Kediri, dan *United States Geological Survey* (USGS) atas penyediaan data yang telah digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aprilia *et al.*, A. (2019). Penentuan Kategori Status Gizi Balita Menggunakan Penggabungan. Retrieved 02 27, 2021, from https://ejurnal.itats.ac.id/: https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/667/471

Atharinafi, Z., & Wijaya, N. (2021). Spatial Urban–Rural Interaction Patterns in Metropolitan Cirebon Raya using Remote Sensing and Socioeconomic Data. Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning, 5(3), 408–425.

Bergkamp, G., Diphoorn, B., & Trommsdorff, C. (2015). Water and development in the urban setting. Water for Development – Charting a Water Wise Path. Report No 35., 49–52.

Dash, C. S. K., Behera, A. K., Dehuri, S., & Ghosh, A. (2023). An outliers detection and elimination framework in classification task of data mining. Decision Analytics Journal, 6, 100164. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100164

Fajriani, F. (2019). Persebaran Tingkat Kemiskinan di Sulawesi Selatan Menggunakan K-Means Clustering Analysis. PROSIDING SEMANTIK, 2(1), 276-281.

Fitriani, D. G. (2018). Klasifikasi dokumen terjemahan menggunakan algoritma naive bayes pada al-qur'an versi berbahasa Indonesia (juz 1 sampai juz 4) (Bachelor's thesis).

KHIBA, R., & Ntlhe, D. (2023). The Impact of Urban Planning on Places of Worship in Windhoek Namibia. International Journal of Environmental, Sustainability, and Social Science, 4, 1352–1358. https://doi.org/10.38142/ijesss.v4i5.782

Khulwana, F. (2021). Analisis Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC) untuk Pengelompokan susu formula bagi bayi dibawah 6 bulan menggunakan Metode Median Linkage (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).

Li, N., & Quan, S. J. (2023). Identifying urban form typologies in Seoul using a new Gaussian mixture model-based clustering framework. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 50(9), 2342–2358. https://doi.org/10.1177/23998083231151688

Making, J. K., & Lasaiba, M. A. (2016). Dimensi Spasial Karakteristik Sebaran dan Deviasi Pola Pegunungan Lahan Terhadap Ekosistem Pesisir di Kota Ambon.

Menashe-Oren, A., & Stecklov, G. (2023). Age-specific sex ratios: Examining rural–urban variation within low- and middle-income countries. Population Studies, 77(3), 539–558. https://doi.org/10.1080/00324728.2023.2233964

Patel, V., & Mehta, R. (2011). Impact of Outlier Removal and Normalization Approach in Modified k-Means Clustering Algorithm. International Journal of Computer Science Issues, 8.

Pérez, J. E. P., & Aldeco, L. (2019). Urban Economics: Class Notes.

Pizzoli, E. (2007). How to best classify urban and rural. Ponencia Presentada En La Fourth International Conference on Agriculture Statistics, January 2007, 22–24.

Putra, R. F., Zebua, R. S. Y., Budiman, B., Rahayu, P. W., Bangsa, M. T. A., Zulfadhilah, M., ... & Andiyan, A. (2023). Data Mining: Algoritma dan Penerapannya. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

Riyanto, B. (2019). Siasat Mengemas Nikmat: Ambiguitas Gaya Hidup dalam Iklan Rokok di Masa Hindia Belanda sampai Pasca Orde Baru 1925-2000. Dwi-Quantum.

Shehadeh, A. A., Alwadi, S. M., & Almaharmeh, M. I. (2022). Detecting and Analysing Possible Outliers in Global Stock Market Returns. Cogent Economics & Finance, 10(1), 2066762. https://doi.org/10.1080/23322039.2022.2066762

Singh, S., Kushwaha, S. K. P., & Jain, K. (2023). a Correlation Analysis of Land Surface Temperature and Evapotranspiration in an Urban Setting. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48, 1569–1574.

Supriyatin, R., Pravitasari, A. E., & Pribadi, D. O. (2020). Pemetaan Karakteristik Wilayah Urban dan Rural di Wilayah Bandung Raya Dengan Metode Spatial Clustering. Jurnal Geografi, 12(02), 125. https://doi.org/10.24114/jg.v12i02.17647

Talakua, M. W., Leleury, Z. A., & Taluta, A. W. (2017). Analisis cluster dengan menggunakan metode k-means untuk pengelompokkan Kabupaten/Kota di provinsi maluku berdasarkan indikator indeks pembangunan manusia tahun 2014. BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan, 11(2), 119-128.

Wijaya, A. E., & Pamungkas, I. J. (2015). Sistem Keamanan Rumah Berdasarkan Foreground Color Menggunakan Metode Gaussian Mixture Model. Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi, 8(1), 16-29.

You, Y. (2017). The classification of urban systems: a review from monocentric to polycentric. 42(Isbcd), 1–4. https://doi.org/10.2991/isbcd-17.2017.1

Zhou, D. M., Xu, J. C., Radke, J., & Mu, L. (2004). A spatial cluster method supported by GIS for urban-suburban-rural classification. Chinese Geographical Science, 14(4), 337–342. https://doi.org/10.1007/s11769-004-0038-7

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMETAAN HARGA LAHAN DENGAN MODEL REGRESI UNTUK MENDUKUNG MANAJEMEN PENGGUNAAN LAHAN DI KAWASAN PERKOTAAN

Studi Kasus di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah

(*Mapping Land Prices with Regression Model to Support Land Use Management in Urban Areas: A Case Study From Klaten Regency, Central Java)*

Moh Syahrul Irfan Fahmi dan Erlis Saputra
Departemen Geografi Pembangunan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Jalan Kaliurang, Sekip Utara, Sinduadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: moh.syahrul.irfan@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Adanya pemusatan kegiatan dan fasilitas publik di Kawasan Perkotaan Klaten berimpikasi kepada kebutuhan lahan yang meningkat, sedangkan ketersediaan lahan terbatas. Kondisi ini mendorong adanya potensial terjadi peningkatan harga lahan dan turut mempengaruhi perubahan guna lahan dalam perkembangan fisik kawasan perkotaan. Metode penelitian yang digunakan berupa pendekatan kuantitatif dengan data gabungan. Pendekatan yang mana dalam satu kawasan perkotaan secara administratif dapat memuat berbagai kenampakan perkotaan berbeda yang membuat kajian perkotaan menjadi lebih kompleks. Adanya keragaman fisik perkotaan di Kawasan Perkotaan Klaten menunjukkan bahwa dalam kawasan perkotaan yang diambil secara administratif, terdapat beragam kenampakan fisik mencakup kenampakan kekotaan, kedesaan, dan peralihan (*peri-urban*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga lahan beragam dari rentang Rp 300.000-Rp 5.000.000 dengan jenis penggunaan lahan meliputi industri, permukiman, tegalan, dan pertanian. Faktor yang mempengaruhi harga lahan berdasarkan uji statistik meliputi jenis penggunaan lahan, tipe hak lahan, jarak terhadap jalan lokal, jarak terhadap jalan arteri, jarak terhadap taman, dan jarak terhadap fasilitas olahraga. Hasil pembobotan dan pengharkatan faktor, didapatkan lima kelas harga lahan, meliputi sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi, dengan lahan yang mendekati kekotaan cenderung memiliki harga lebih tinggi. dalam kaitannya dengan perencanaan ruang, pemahaman tentang faktor yang mempengaruhi harga lahan menjadi penting dalam penyusunan kebijakan penataan ruang. Intervensi publik, termasuk pembangunan infrastruktur dan kebijakan tata ruang, dapat memengaruhi pergerakan harga lahan dan arah perkembangan perkotaan secara lebih luas. Oleh karena itu, diperlukan pemetaan harga lahan dan pemantauan terhadap kebijakan pembangunan wilayah guna meminimalisir dampak negatif dari perubahan harga lahan, seperti perembetan perkotaan yang tidak diinginkan.

Kata kunci: harga lahan, Perkotaan Klaten, aksesibilitas, kenampakan fisik perkotaan, penataan ruang.

ABSTRACT

The concentration of activities and public facilities in the Klaten Urban Area has led to an increased demand for land, while land availability is limited. This condition creates the potential for rising land prices and influences land use changes in urban area development. The research method used a quantitative approach with combined data. The approach, in which one urban area administratively encompasses various physical features, makes urban studies more complex. The diversity of urban physical features in the Klaten Urban Area indicates that within administratively defined urban areas, there are various physical features including urban, rural, and transitional (peri-urban) landscapes. The research findings show that land prices vary from Rp 300,000 to Rp 5,000,000, with land uses including industrial, residential, agricultural, and vacant lands. Factors influencing land prices based on statistical tests include land use types, land tenure types, and distances to local roads, arterials, parks, and sports facilities. Five land price classes were determined through factor weighting and ranking, comprising very low, low, medium, high, and very high, with land closer to urban areas tending to have higher prices. Concerning spatial planning, understanding the factors influencing land prices is important in formulating spatial planning policies. Public interventions, including infrastructure development and spatial planning policies, can influence land price movements and the direction of urban development more broadly. Therefore, mapping land prices and monitoring regional

development policies are necessary to minimize the negative impacts of changes in land prices, such as undesirable urban sprawl.

***Keywords**: land price, Klaten City, accessibility, urban physical appearance, spatial planning.*

PENDAHULUAN

Lahan adalah elemen vital yang mendukung keberlangsungan kehidupan dan aktivitas manusia dengan berbagai tujuan, seperti pertanian dan pembangunan (Chapin dan Edward, 1979). Setiap lahan memiliki nilai yang dapat diukur, yang tercermin dalam harga pasaran per satuan luas (Darin-Drabkin, 1997). Harga lahan bersifat dinamis, dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan fisik dan sosial (Yuan *et al.*, 2018; Yunus, 2006; Wijayanti, 2003). Pertumbuhan populasi berkontribusi pada perkembangan kota dan meningkatkan kebutuhan akan ruang (Siswanto, 2007). Namun, peningkatan kebutuhan ini seringkali tidak diimbangi oleh ketersediaan lahan yang terbatas, terutama di kawasan perkotaan yang strategis (Rynjani & Haryanto, 2015). Selain itu, intervensi publik seperti penyediaan aksesibilitas dan pembangunan fasilitas publik juga dapat mempengaruhi kenaikan harga lahan (Masykuroh & Rudiarto, 2016).

Salah satu contoh kawasan perkotaan yang telah lama terbentuk di Indonesia adalah Kawasan Perkotaan Klaten, yang sebelumnya merupakan kota administratif, meliputi 3 wilayah kecamatan: Klaten Selatan, Klaten Tengah, dan Klaten Utara. Lokasinya berada di dataran rendah dengan tanah yang subur karena proses sedimentasi dan dipengaruhi oleh proses vulkanik di sekitarnya. Keadaan ini didukung oleh sumber air yang mencukupi, menjadikannya potensial sebagai lahan pertanian untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduknya. Pembentukan Kawasan Perkotaan Klaten ditujukan untuk mengembangkan fungsi kegiatan utama perdagangan, industri menengah, dan permukiman perkotaan, sebagaimana diatur dalam dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Klaten Tahun 2021-2041. Selain itu, Kawasan Perkotaan Klaten juga berperan sebagai Pusat Kegiatan Wilayah (PKW) untuk melayani kegiatan skala provinsi atau beberapa kabupaten/kota.

Sebagai pusat pelayanan, Kawasan Perkotaan Klaten dilengkapi dengan fasilitas yang jauh lebih baik daripada kota-kota kecil lainnya (Fatmawati, 2018). Berbagai fasilitas publik seperti pendidikan, kesehatan, dan ekonomi tersedia di kawasan ini. Dari segi aksesibilitas, kawasan ini dilengkapi dengan jaringan jalan yang lengkap untuk menghubungkan dengan wilayah lain di sekitarnya. Jalur arteri primer yang menghubungkan Kabupaten Klaten dengan Solo dan Yogyakarta memainkan peran strategis dalam menghubungkan berbagai pusat kegiatan ekonomi baik nasional maupun lokal. Kondisi ini memfasilitasi mobilisasi penduduk dan distribusi barang dan jasa antar wilayah yang terus meningkat karena perkembangan penduduk (Masykuroh & Rudiarto, 2016).

Di Kawasan Perkotaan Klaten, beberapa industri seperti industri garmen, kertas, dan konveksi telah berkembang, membentuk beberapa kawasan aglomerasi industri yang terhubung dengan jalan arteri utama. Pengembangan kawasan industri dapat mendorong terciptanya lapangan kerja, investasi, dan peluang usaha di sekitarnya. Dengan demikian, Kawasan Perkotaan Klaten menarik bagi penduduk untuk tinggal atau beraktivitas, yang menyebabkan nilai tambah pada kawasan dan harga tanah secara otomatis meningkat (Rynjani & Haryanto, 2015).

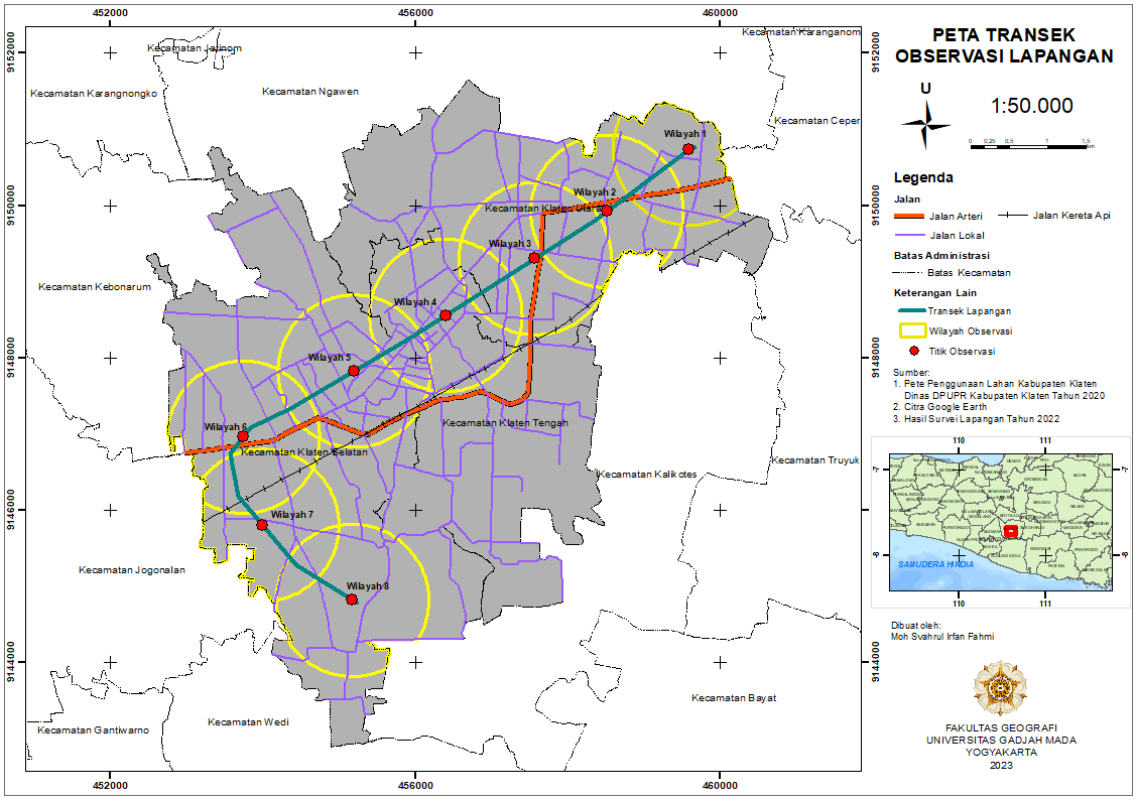
Pemahaman tentang harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten menjadi penting sebagai bagian dari monitoring lahan dan penataan ruang. Monitoring dapat digunakan untuk memahami pola distribusi spasial harga lahan dan mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi pergerakan harga lahan (Rahardjo, 2013). Pergerakan harga menjadi indikasi adanya mekanisme penawaran dan permintaan yang berjalan terhadap aktivitas di dalamnya, sehingga didapatkan kegunaan optimal suatu lahan (Pramana, 2017). Oleh karena itu, harga lahan juga menentukan arah penggunaan lahan dalam suatu kawasan, yang penting bagi pemerintah untuk mengoptimalkan penggunaan lahan dan mengendalikan perkembangan fisik perkotaan secara tepat (Rahardjo, 2013).

METODE

Metode penelitian yang digunakan berupa pendekatan kuantitatif dengan data gabungan baik primer maupun sekunder. Penelitian yang dilakukan dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap persiapan, tahap pemrosesan data, dan tahap analisis data. Tahapan persiapan yang dilakukan meliputi studi pustaka dan literatur dari beberapa teori terkait harga lahan yang disesuaikan dengan karakteristik wilayah kajian. Pada tahap persiapan digunakan data dasar untuk melakukan penelitian baik primer maupun sekunder. Data primer yang digunakan berupa harga lahan pasar di Kawasan Perkotaan Klaten. Sedangkan data sekunder seperti data penggunaan lahan, aksesibilitas positif, aksesibilitas negatif, maupun dokumen tata ruang yang didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Klaten. Penelitian ini juga menggunakan data tipe hak lahan yang didapatkan dari Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN).

Adanya kenampakan fisik perkotaan yang berbeda di Kawasan Perkotaan Klaten, menjelaskan bahwa dalam suatu kawasan perkotaan yang diambil secara administratif memungkinkan di dalamnya adanya keragaman bentuk fisik. Hal ini selaras dengan yang disampaikan Yunus (2005) bahwa apabila kajian perkotaan merujuk pada batas yuridis-administratif, didalamya dapat memungkinkan terdapat kenampakan kekotaan (*urban character*), kenampakan kedesaan (*rural character*), maupun peralihan dari keduanya (*peri-urban character*).

Tahapan selanjutnya adalah jalur transek dibagi menjadi titik-titik observasi yang mewakili kenampakan fisik perkotaan tertentu. Secara total, terdapat 8 titik observasi yang ditetapkan sebagai pusat observasi, guna memudahkan pengambilan sampel di lapangan. Pada masing-masing titik observasi ditarik jarak 1 kilometer untuk memastikan wilayah di antara titik observasi maupun di wilayah sekitarnya tercakup dalam pengamatan di lapangan. Penelitian ini menggunakan kuesioner untuk mendapatkan informasi terkait lokasi, transaksi harga lahan (penawaran ataupun permintaan), luas lahan, tipe hak lahan, dan jenis penggunaan lahan. Pertanyaan disusun secara terstruktur dalam bentuk pertanyaan terbuka (*open question*).



Gambar 1. Peta transek observasi.

Pengambilan sampel dilakukan di wilayah *buffering* dengan jari-jari 1 km yang telah dibuat sebelumnya. Pada masing-masing *buffering* diambil 10 sampel bidang lahan, sehingga total dari

sampel lahan yang diambil yaitu 80 bidang lahan. Adapun penentuan sampel lahan yang akan digunakan perlu mempertimbangkan keragaman jenis dan luasan penggunaan lahan pada wilayah kajian. Jenis teknik sampling yang digunakan dalam penelitian ini adalah *claster random sampling. Cluster random sampling* merupakan teknik *sampling* yang digunakan apabila objek kajian yang akan diteliti memiliki data yang luas.

Tahapan pemrosesan data dilakukan dengan pemodelan stastitik dipilih untuk membuktikan dampak dari suatu variabel atau tindakan terhadap harga lahan (Pramana, 2017). Perhitungan jarak merupakan tahapan yang dibutuhkan untuk mendapat data aksesibilitas lahan positif dan negatif. Perhitungan jarak dilakukan dengan memasukkan data sampel lahan yang didapatkan di lapangan serta data aksesibilitas lahan yang didapatkan dari DPUPR Kabupaten Klaten. Pada masing-masing variabel aksesibilitas, diukur jarak euklidesnya dengan menggunakan *tool Euclidean Distance*.

Penelitian harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten menggunakan basis analisis kenampakan fisik perkotaan. Hal ini dikarenakan dalam kawasan perkotaan yang dikaji terdapat keragaman kenampakan fisik meliputi *urban*, *peri-urban*, dan *rural*. dalam penentuan kawasan fisik perkotaan, penelitian ini menggunakan pendekatan yang dilakukan oleh Pryor (1977) dalam Yunus (2005). Terdapat 3 aspek utama dalam mengindetifikasi lahan-lahan kekotaan hingga kedesaan, yang meliputi: penggunaan lahan kekotaan yang berorientasi ke non pertanian, lahan kedesaaan yang berorientasi ke pertanian, dan jarak dari lahan kota utama (*built up land*) menuju lahan-lahan di wilayah dengan karakter kedesaaan.

Penentuan faktor-faktor yang mempengaruhi harga lahan dilakukan melalui uji statistik yaitu regresi linear berganda. perlu memenuhi beberapa asumsi persyaratan analisis atau disebut sebagai uji asumsi klasik meliputi multikolinearitas, heteroskedastisitas dan norrmalitas. Selanjutnya, dilakukan pengharkatan pada masing-masing variabel yang terpilih, dan dilakukan pembobotan (*skoring*) dan pembobotan.

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah analisis tumpang susun pada variabel-variabel penentu harga lahan yang secara signifikan berpengaruh terhadap harga lahan. Data atribut dari hasil *overlay* dikalikan dengan faktor pembobot yang telah ditentukan. Nilai dari masing-masing faktor berbeda yang didapatkan dari *literature review* serta penyesuaian kondisi di lapangan

Tabel 10. Nilai bobot faktor penentu harga lahan.

Faktor Penentu Harga Lahan	Bobot
Jenis Penggunaan Lahan	3
Tipe Hak Lahan	2
Aksesibilitas Lahan Positif	1
Aksesibilitas Lahan Negatif	-1

Sumber: Modifikasi dari Hidayati (2013) dan Pratiwi (2017)

Nilai bobot faktor jenis pengggunaan lahan menjadi bobot faktor yang paling tinggi. Kemudian, faktor bobot dengan nilai paling tinggi hingga rendah berturut-turut meliputi tipe hak lahan, aksesibilitas lahan positif dan aksesibilitas lahan negatif. Setelah dilakukan pengkalian total harkat dengan faktor pembobot, maka selanjutnya dijumlahkan nilai harkat penentu harga lahan dengan rumus Persamaan 1. Selanjutnya, nilai hasil perhitungan dibagi menjadi 5 kelas harga lahan, meliputi kelas harga lahan sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.

Nilai Harga Lahan = ((3xTotal Bobot V1) + (2xTotal Bobot V2) + (1xTotal Bobot V3)) - (-1x Total Bobot V4) .....(1)

Keterangan:
V1 = variabel jenis penggunaan lahan
V2 = variabel tipe hak lahan
V3 = variabel aksesibilitas lahan positif
V4 = variabel aksesibilitas lahan negatif

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan fisik perkotaan yang pesat berdampak pada adanya peningkatan harga suatu lahan di dalamnya. dalam hal ini, harga lahan di dalam suatu kawasan perkotaan dapat beragam bergantung pada beberapa faktor yang mempengaruhi baik lingkungan fisik maupun sosial. Pemahaman terkait faktor-faktor yang mempengaruhi suatu harga lahan perlu diidentifikasi karena berkaitan dengan arah perkembangan fisik perkotaan, sehingga dapat menjadi instrumen penting dalam penyusunan kebijakan penataan ruang (Pramana, 2017).

Identifikasi faktor yang mempengaruhi harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten dilakukan melalui uji statistik regresi linear berganda. Adapun faktor-faktor yang diuji dibagi menjadi 4 yaitu penggunaan lahan, tipe hak lahan dan aksesibilitas lahan positif dan aksesibilitas lahan negatif. Secara lebih detail, aksesibilitas lahan positif dan negatif terdiri dari beberapa variabel-variabel independen yang digunakan untuk dapat mengatahui faktor yang mempangaruhi harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten.

Aksesibilitas lahan positif terdiri atas variabel jarak terhadap fasilitas pendidikan (SD, SMP, SMA, perguruan tinggi), jarak terhadap jalan (lingkungan, lokal, arteri), jarak terhadap fasilitas transportasi (SPBU, stasiun, terminal utama), jarak terhadap rumah sakit, jarak terhadap fasilitas ekonomi (pasar, layanan jasa, toko swalayan). Selain itu, juga terdapat jarak terhadap industri, perkantoran adminitrasi, fasilitas olahraga, dan taman. Aksesibilitas lahan negatif terdiri atas beberapa variabel meliputi jarak terhadap sungai, makam, dan jalur kereta api.

Variabel faktor signifikasi yang mempengaruhi harga lahan berdasarkan uji statistik meliputi jenis penggunaan lahan, tipe hak lahan, jarak terhadap jalan lokal, jarak terhadap jalan arteri, jarak terhadap fasilitas taman, dan jarak terhadap fasilitas olahraga. Masing-masing variabel memiliki nilai konstanta dan nilai signifikansi yang berbeda. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan pengaruh yang diberikan masing-masing variabel independen terhadap harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten.

Jenis Penggunaan Lahan

Dari hasil pemodelan statistik regresi yang dibangun menunjukkan bahwa jenis penggunaan lahan secara signifikan berpengaruh pada harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten. Jenis penggunaan lahan non-pertanian atau lahan terbangun dihargai lebih tinggi daripada lahan tegalan dan pertanian. Lahan-lahan terbangun (permukiman, perkantoran, industri, perdagangan) memiliki aksesibilitas lahan yang lebih tinggi dan banyak berasosiasi dengan fasilitas publik pendukung. Semakin semakin ke arah lahan kekotaan utama maka akan makin besar proporsi lahan terbangun dan makin jauh dari lahan terbangun utama makin besar proporsi lahan pertanian (Yunus, 2008). Hal ini yang menjadikan lahan-lahan di pusat perkotaan memiliki harga tinggi daripada kondisi lahan lainnya (Chapin, 1979).

Tipe Hak Lahan

Variabel kedua yang berpengaruh terhadap harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten adalah tipe hak lahan. Adapun temuan di lapangan, tipe-tipe hak lahan di Kawasan Perkotaan Klaten meliputi hak milik, HGB dan kosong. Pramana (2017) menyebutkan bahwa lahan dengan status Sertifikat Hak Milik (SHM) lebih dihargai daripada tipe hak lainnya. Kondisi ini dikarenakan hak milik merupakan hak atas tanah paling kuat yang ada di Indonesia dan dalam proses pengajuan status hak lahan menjadi SHM sering membutuhkan proses yang lama. Namun dalam penelitian ini, hasil uji stastistik menujukkan bahwa tipe hak selain hak milik memiliki pengaruh yang lebih besar dalam mempengaruhi harga lahan. Adanya temuan yang berbeda disebabkan lahan-lahan yang memiliki status HGB merupakan lahan-lahan yang diperuntukkan untuk industri dan perdangangan, sehingga dalam uji stastik dianggap tipe HGB memiliki harga lebih tinggi. Tipe hak milik justru banyak ditemui pada lahan-lahan yan dijadikan permukiman perkotaan, pertanian ataupun tegalan.

Jarak dengan Jalan Arteri

Jalan arteri menjadi salah satu dari variabel aksesibilitas positif yang pengaruh signifikan terhadap harga lahan. Hasil pengujian menujukkan konstanta bernilai negatif (-601.133) yang berarti semakin jauh suatu lahan dengan jalan arteri, maka harga lahannya akan turun. Jalan arteri sebagai jalan dengan status tertinggi memiliki fungsi menghubungkan pusat-pusat pertumbuhan ekonomi antar wilayah dan kawasan strategis, serta beraososiasi dengan berbagai fasilitas publik di pusat perkotaan, Hal ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menyebutkan lahan yang berdekatan dengan jalan lebih dipilih daripada lahan yang jauh dengan jalan (Saputra *et al.*, 2021). Aksesibilitas yang didapatkan dari adanya pengembangan jaringan jalan dan transportasi berimplikasi besar terhadap nilah harga suatu lahan (Alterman, 2012).

Jarak dengan Jalan Lokal

Jalan lokal menjadi jenis jalan yang juga berpengaruh terhadap harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten. dalam hal ini, pengaruh jalan lokal sama dengan jalan arteri yang mana semakin jauh suatu lahan dari jalan lokal maka semakin turun harga lahannya. Nilai konstansta yang didapatkan dari hasil pengujian sebesar (-4.258.628). Jalan-jalan lokal yang ada di Kawasan Perkotan Klaten difungsikan untuk menghubungkan pusat-pusat pertumbuhan di pusat perkotaan ke pusat pertumbuhan lokal di beberapa lokasi. Terdapat 115 jalan lokal di Kawasan Perkotaan yang dijadikan akses mobilisasi penduduk dalam lingkup lokal.

Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa jalan lokal dinilai memberikan pengaruh daripada jalan jenis jalan arteri. Kondisi ini berbeda dengan temuan penelitian yang dilakukan oleh Pramana (2017) yang menjelaskan bahwa semakin tinggi status jalan, maka semakin besar pengaruhnya terhadap nilai harga suatu lahan. Hal ini dikarenakan keberadaan jalan lokal lebih banyak dan tersebar secara merata di Kawasan Perkotaan Klaten daripada jalan arteri yang berada di tengah kawasan perkotaan. Kondisi demikian, menjadikan lebih banyak lahan yang lebih dekat dengan jalan lokal daripada jalan arteri. Selain itu, kondisi ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Saputra *et al.* (2021) yang menjelaskan bahwa lahan dengan banyak jalan dan dekat dengan jalan, lebih dipilih daripada kondisi lahan yang jarang dan jauh dari jalan. Terdapat hubungan linier antara pertumbuhan kepadatan jalan dengan pergerakan harga lahan.

Jarak dengan Taman

Variabel dari faktor aksesibilitas lahan positif yang berpengaruh terhadap harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten adalah jarak dengan taman. Interpretasi dari nilai konstanta menunjukkan nilai positif yaitu 1.460.959. Hal ini berarti semakin jauh suatu lahan dari lokasi taman, maka harga lahannya justru semakin meningkat. Kondisi demikian, berbeda dengan asumsi umum yang menyatakan kedekatan dengan taman memberikan dampak baik terhadap kualitas hidup dan nilai properti termasuk lahan (McCord, 2018). Studi lain yang pernah dilakukan di Beijing juga menunjukkan bahwa harga lahan cenderung naik 0,5%-14,1% dengan jarak ke area taman 850–1604 meter (Zhang *et al.*, 2012).

Fenomena terkait harga lahan yang justru turun karena kedekatan dengan taman, juga pernah disampaikan oleh Wu dan Shao (2020) yang mana harga lahan berkorelasi negatif dengan jarak terhadao taman. Taman-taman kota cenderung dibangun dengan luasan yang kecil dan berada di pusat perkotaan yang berasosiasi dengan kawasan komersial ataupun kawasan padat bangunan. Kondisi ini menjadikan taman-taman kota tidak berdampak memberi dampak signifikan terhadap harga lahan di sekitarnya.

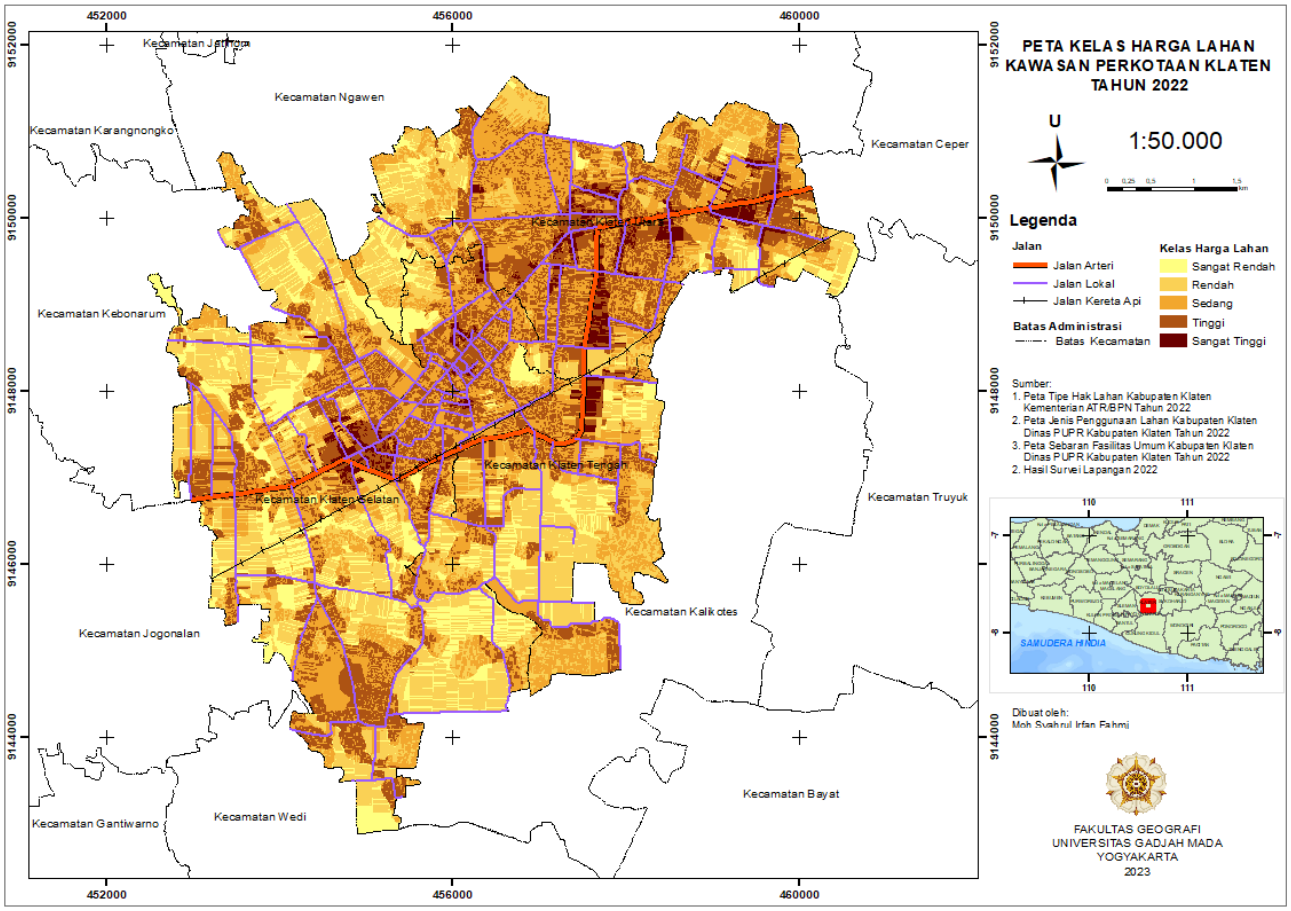
Jarak dengan Fasilitas Olahraga

Nilai konstansta yang didapatkan menunjukkan nilai negatif (-926.098). Hal ini berarti harga lahan yang berdekatan dengan fasilitas olahraga lebih tinggi daripada lahan yang terletak jauh dari fasilitas olahraga. Adapun fasilitas olahraga yang ada di Kawasan Perkotaan Klaten sebanyak 18 fasilitas olahraga yang tersebar di ketiga kecamatan. Kondisi harga lahan yang cenderung lebih tinggi karena adanya kedekatan dengan fasilitas olahraga sejalan dengan penelitian yang

dilakukan oleh Propheter (2017). Adanya aktivitas olahraga yang mendatangkan banyak orang dalam satu lokasi mendorong kebutuhan adanya aktivitas ekonomi dan berbagai aktivitas penunjang lainnya. Hal ini menjadikan lahan-lahan di dekat fasilitas olahraga dinilai strategis.

Hasil Pengujian

Pergerakan harga lahan di kawasan perkotaan klaten disebabkan oleh adanya beberapa faktor baik penggunaan lahan, tipe hak lahan maupun aksesibilitas lahan. Hasil uji yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa infrastruktur atau fasilitas umum memberi andil dalam menentukan harga suatu lahan. hal ini sejalan dengan Alterman (2012) yang menyebutkan bahwa pergerakan nilai suatu lahan pada umumnya dipengaruhi oleh adanya intervensi publik terhadap ruang, termasuk dalam hal ini penyediaan fasilitas umum dan kebijakan tata ruang. dengan demikian, pemahaman terkait keterkaitan antara harga lahan dengan kebijakan penataan ruang menjadi aspek penting guna mengetahui arah perkembangan kota dan kebutuhan pengembangan wilayah lainnya.



Sumber: Olah Data (2020)

Gambar 2. Peta kelas lahan kawasan Perkotaan Klaten tahun 2022.

Berdasarkan kenampakan fisik perkotaan, pada wilayah *urban* cenderung didominasi kelas harga lahan sedang-tinggi. Sedangkan pada wilayah *peri-urban* didominasi dengan kelas harga lahan rendah-tinggi. Adapun kelas harga lahan sangat rendah-rendah banyak ditemui di wilayah *rural*. Hal ini menjelaskan bahwa semakin jauh lokasi lahan dari pusat perkotaan, maka harga lahan semakin rendah juga. Hal ini sejalan dengan konsep pola dan struktur nilai lahan dari Chapin dan Edward (1979) yang menyebutkan nilai lahan tertinggi berada di pusat kota atau *Central Business District* (CBD). dalam hal ini, proporsi lahan terbangun semakin lebih besar daripada lahan pertanian ketika mengarah ke pusat kota dan begitu pula sebaliknya (Yunus, 2008).

Pemetaan harga lahan yang dilakukan menunjukkan adanya lokasi-lokasi dengan harga lahan yang lebih tinggi daripada lahan di lokasi lain. Kondisi ini dipengaruhi karena adanya perbedaan jenis penggunaan lahan, tipe hak lahan dan nilai aksesibilitas lahan yang ada. Variabel-variabel

tersebut menunjukkan bahwa faktor-faktor lingkungan fisik terutama infrastruktur menjadi tarikan pergerakan harga lahan (Yuan *et al.*, 2018; Yunus 2004). Pembangunan infrastruktur publik berdampak kepada peningkatan permintaan lahan dan harga lahan yang ada (Masykuroh & Rudiarto, 2016; Widowati & Wijaya 2014).

Pembangunan infrastruktur publik merupakan bentuk intervensi publik yang mendorong lahan-lahan tertentu memiliki harga lahan yang tinggi karena dinilai strategis (Alterman, 2012). Selain itu, sebaran jenis penggunaan lahan dan tipe hak lahan tentunya juga diatur dalam dokumen RTRW. Keberadaan RTRW menjadi bentuk kebijakan pokok dalam pemanfaatan ruang dalam kawasan dan menjadi acuan pembangunan wilayah di dalamnya (Kementerian ATR/BPN, 2009). dalam hal ini, peran intervensi publik ini lebih banyak dilakukan oleh pemerintah (Pramana, 2017). Dengan demikian, rekomendasi penataaan ruang diberikan sehingga dapat dilakukan *monitoring* pada kebijakan/pembangunan yang manjadi tarikan kenaikan harga lahan. Hal ini mengingat pergerakan harga lahan mempengaruhi perubahan penggunaan lahan dan arah perkembangan perkotaan secara lebih luas

Hasil beberapa studi kasus menunjukkan bahwa arahan peruntukan ruang dan pembangunan infrastruktur yang dilakukan oleh pemerintah daerah memberikan dampak terhadap harga lahan yang ada. Intervensi terhadap lahan berdampak pada peningkatan harga lahan dan mengalokasikan lahan yang ada untuk kegunaan terbaik (Pramana, 2017). Kondisi ini memunculkan potensi penggunaan lahan yang ada terutama pada wilayah pinggiran atau di luar kawasan perkotaan. Oleh karena itu, dalam pengambilan kebijakan terkait peruntukan ruang, perlu dipertimbangkan adanya dampak kenaikan harga lahan di sekitarnya. Hal ini dimaksudkan agar memimalisir perkembangan wilayah yang tidak diinginkan yang tidak sesuai dengan peruntukkanya, dan menyebabkan perembetan perkotaan yang tidak diinginkan. Selain itu, pertimbangan harga lahan juga dimaksudkan sebagai bentuk *monitoring* perlindungan kawasan-kawasan tertentu yang tidak diperkenakan untuk dilakukan alih fungsi lahan.

Kawasan Perkotaan Klaten dikembangkan untuk melakukan perembetan perkotaan ke arah selatan (*rural area*) dan menyambung hingga pada *peri-urban*. Hal ini dapat diketahui dari arahan peruntukan lahan berupa kawasan permukiman perkotaan. dalam hal ini, *urban sprawl* atau perkembangan perkotaan yang akan terjadi akan mengubah lahan-lahan pertanian menjadi lahan terbangun. Walaupun demikian, diperlukan intervensi publik pada lahan-lahan pertanian yang diperuntukkan tanaman pangan. Hal ini dikarenakan apabila dibiarkan saja sesuai mekanisme pasar, maka beberapa lahan pertanian berpotensi mengalami perubahan tata guna lahan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan fisik perkotaan yang pesat berpengaruh signifikan terhadap peningkatan harga lahan di dalamnya. Faktor-faktor seperti jenis penggunaan lahan, tipe hak lahan, dan aksesibilitas lahan menjadi variabel penting yang memengaruhi harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten. Melalui analisis regresi linear berganda, teridentifikasi bahwa jenis penggunaan lahan non-pertanian, tipe hak lahan selain hak milik, jarak terhadap jalan arteri, jarak terhadap jalan lokal, jarak terhadap fasilitas taman, dan jarak terhadap fasilitas olahraga secara signifikan mempengaruhi harga lahan.

Temuan ini menunjukkan bahwa infrastruktur dan fasilitas umum memiliki peran penting dalam menentukan harga lahan. Jalan arteri dan lokal serta keberadaan fasilitas publik seperti taman dan fasilitas olahraga memengaruhi nilai harga lahan di Kawasan Perkotaan Klaten. Selain itu, jenis penggunaan lahan yang berkaitan dengan aktivitas ekonomi dan perkantoran juga memiliki dampak signifikan terhadap harga lahan.

Selain itu, pola pergerakan harga lahan menunjukkan bahwa wilayah *urban* cenderung memiliki harga lahan yang lebih tinggi daripada wilayah *peri-urban* dan *rural*. Perkembangan harga lahan ini sejalan dengan konsep pola nilai lahan yang tertinggi terdapat di pusat kota atau *Central Business District* (CBD), sedangkan harga lahan menurun seiring dengan jarak yang semakin jauh dari pusat kota.

Dalam konteks kebijakan penataan ruang, hasil penelitian ini menyoroti pentingnya peran intervensi publik, terutama dalam pembangunan infrastruktur dan pengaturan jenis penggunaan lahan, dalam mengelola pergerakan harga lahan. Dengan memahami faktor-faktor yang

memengaruhi harga lahan, pemerintah dapat merancang kebijakan yang tepat untuk mengatur pertumbuhan perkotaan yang berkelanjutan dan melindungi kawasan-kawasan tertentu dari alih fungsi lahan yang tidak diinginkan. Pergerakan harga lahan tidak hanya berdampak pada nilai properti, tetapi juga memengaruhi penggunaan lahan dan arah perkembangan kawasan secara lebih luas.

Pada studi kasus Kawasan Perkotaan Klaten, terdapat potensi fenomena *urban sprawl* atau perembetan perkotaan ke arah selatan (*rural area*) yang dapat menyambung hingga pada wilayah *peri-urban*. *Urban sprawl* ini berpotensi mengubah lahan-lahan pertanian menjadi lahan terbangun, mengikuti pola pembangunan dan permintaan yang meningkat. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan implikasi *urban sprawl* dalam perencanaan tata ruang dan pembangunan wilayah untuk menjaga keseimbangan antara pertumbuhan perkotaan yang berkelanjutan dengan pelestarian lingkungan dan pemanfaatan lahan yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Geografi UGM atas dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini, serta kepada semua pemangku kepentingan yang terlibat di Kabupaten Klaten.

DAFTAR PUSTAKA

Alterman, R. (2012). *Land-use Regulations and Property Values: The Windfall Capture Idea Revisited*. Dalam: N. Brooks, K. Donaghy and G. Knaap eds., 2012. *The Oxford handbook of urban economics and planning.* Oxford: Oxford University Press. pp. 755-786

Chapin, F. S., dan Edward K. K. (1979). *Urban Land Use Planning*. University of Illinois Press. Chicago.

Darin-Drabkin, H. (1997). *Land Policy and Urban Growth*. Pergamon Press. Oxford.

Fatmawati, Nadia Maulida. (2018). Analisis Pertumbuhan Pusat Fasilitas Pelayanan Wilayah di Kabupaten Klaten Tahun 2005. Skripsi. Program Studi Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

Hidayati, I. N. (2013). Analisis Harga Lahan Berdasarkan Penginderaan Jauh Resolusi Tinggi. *Jurnal Pendidikan Geografi*, Volume 13, No. 1. DOI: 10.17509/gea.v13i1.3309

Masykuroh, D. K dan Redianto, I. (2016). Kajian Perubahan Penggunaan Lahan dan Harga Lahan di Wilayah Sekitar Pintu Tol Ungaran. *Jurnal Tata Loka*, 16(1). DOI: 10.14710/tataloka.18.1.58-70

McCord, J., McCord, M., McCluskey, W., Davis, P.T., McIlhatton, D., Haran, M. (2014). Effect of Public Green Space on Residential Property Values in Belfast Metropolitan Area. *J Finan Manag Prop Constr*, 19:117–37. DOI: 10.1108/JFMPC-04-2013-0008.

Pemerintah Kabupaten Klaten. (2021). Peraturan Daerah Kabupaten Klaten Nomor 10 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Klaten Tahun 2021-2041. Pemerintah Kabupaten Klaten. Klaten.

Pramana, A. Y. E. (2017). Analisis Faktor yang Berpengaruh terhadap Nilai Lahan di Kawasan Perkotaan Yogyakarta. Studi Kasus Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional XII Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*, 402005-413. Yogyakarta.

Pratiwi, S. E. (2018). *Pemodelan Spasial Harga Lahan dan Perubahannya Akibat Pembangunan Bandara New Yogyakarta International Airport di Sekitar Area Bandara*. Skripsi. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Propheter, G. (2019). Estimating the Effect of Sports Facilities on Local Area Commercial Rents: Evidence from Brooklyn's Barclays Center. *Journal of Sports Economics*, *20* (1), 91–114. DOI: 10.1177/1527002517723048

Rahardjo, N. (2013). *Visualisasi Spasio Temporal Dinamika Harga Lahan di Kota Yogyakarta dari Tahun 1996 sampai 2011*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Rynjani G. P. R. dan Haryanto, R. (2015). *Kajian Harga Tanah dan Penggunaan Lahan di Kawasan Perdagangan dan Jasa Kelurahan Lamper Kidul, Kota Semarang*. Skripsi. Universitas Diponegoro. Semarang

Saputra, E., Ariyanto, I. S., Ghiffari, R. A., Fahmi, M. S. I. (2021). Land Value in a Disaster-Prone Urbanized Coastal Area: A Case Study from Semarang City, Indonesia. *Land*, 10, 1187. DOI: 10.3390/land10111187

Siswanto, E. (2007). Kajian Harga Lahan dan Kondisi Lokasi Lahan Permukiman di Kecamatan Arga Makmur Kabupaten Bengkulu Utara. *Jurnal Teknik PWK* 4 (3).

Widowati, T. dan Wijaya, H. B. (2014). Variabel Penentu Harga Lahan di Perumahan Sekitar Kawasan Pendidikan Universitas Diponegoro Semarang. *Jurnal Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota,* 3(1), 60–70. DOI: 10.14710/tpwk.2014.4388

Wijayanti, D. (2003). *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perubahan Fungsi Lahan di Kecamatan Depok Kabupaten Sleman*. Tesis. Magister Teknik Pembangunan Kota Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Semarang.

Yuan, F., Wu, J., Wei. Y. D., dan Wang, L. (2018). Policy Change, Amenity, and Spatiotemporal Dynamics of Housing Prices in Nanjing, China. *Land Use Policy,* 75, 225–36. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.03.045

Yunus, H. S. (2005). *Manajemen Perkotaan Perspektif Spasial*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

Yunus, H. S. (2006). *Struktur Tata Ruang Kota*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

Zhang, B., Xie, G., Bin, X., dan Canqing, Z. (2012). The Effects of Public Green Spaces on Residential Property Value in Beijing. *Journal of Resources and Ecology*,3(3). DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2012.03.007

SINGKATAN NAMA KOTA

Standardisasi dan Urgensi Penerapannya

(Abbreviation of City Name: Standardizationn and The urgency of Its Application)

Fakhruddin Mustofa[1], Diyah Novita Kurnianti[1,2], Ratih Kusumawardani[1], Mira Harimurti[1], Sendy Ayu Yulyta[1], Garri Martha Kusuma Wardhana[1], Maratun Solihah[1], Meira Rini[3]

[1]Pusat Standardisasi dan Informasi Informasi Geospasial, Badan Informasi Geospasial
[2]Institut Pertanian Bogor
[3]Badan Standardisasi Nasional

Jl . Raya Jakarta-Bogor KM.46 Cibinong, Kabupaten Bogor, 16911
E-mail: fakhruddin.mustofa@big.go.id

ABSTRAK

Kota adalah daerah yang memiliki ciri populasi yang besar, sebagai pusat layanan aktivitas ekonomi dan sistem pemerintahan, didukung dengan dengan infrastruktur yang memadai. Kota memiliki nama yang membedakan sebuah kota dengan kota lainnya, berfungsi sebagai nama tempat untuk keperluan navigasi dan komunikasi dalam mendukung layanan sosial ekonomi dan pemerintahan. Singkatan nama kota (SNK) dibutuhkan untuk mendukung fungsi tersebut dalam konteks keperluan praktis seperti basis-data pengalamatan dan bandar udara serta atribut penanda jalan berupa patok kilometer. SNK dalam basis data bersifat unik sebagai satu data tunggal, membutuhkan standar tata cara penyingkatan nama kota. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menyusun standar tata cara tersebut dan menentukan 514 SNK Kabupaten/Kota di Indonesia. Metode yang digunakan dalam penyusunan SNK adalah studi literatur, wawancara, dan survei lapangan, dengan penyingkatan kode merujuk pada dokumen seri ISO 3166. Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan SNK sebagai identitas unik pada basis data nama kota menuju satu data SNK, untuk mendukung fungsi kota dalam layanan sosial ekonomi pemerintahan; serta memberikan panduan penyusunan SNK terhadap nama kota baru dalam rangka pemekaran wilayah atau munculnya kota pusat pertumbuhan baru. Hasil penelitian diperoleh 514 SNK dan sudah distandardisasi secara nasional dan dapat menjadi masukan dalam program satu data.

Kata kunci: SNK, satu data, kode, standar.

ABSTRACT

A city is characterized by a large population and a service center for economic activity and government systems, supported by adequate infrastructure. Cities have names that distinguish one from another, serving as place names for navigation and communication purposes in supporting socio-economic and government services. City name abbreviations (Singkatan Nama Kota/SNK) are needed to support this function for practical purposes such as addressing databases and airport and road marking attributes such as kilometer markers. SNK in the database is unique as a single piece of data, requiring a standardized way of abbreviating city names. Therefore, this research was conducted to compile such a standard procedure and determine the 514 SNKs of districts/cities in Indonesia. The methods used in this research are literature studies, interviews, and field surveys, with code abbreviations referring to ISO 3166 series documents. It is expected that this research can produce SNK as a unique identity in the city name database towards a single SNK data, to support the function of cities in government socio-economic services; as well as provide guidance for the preparation of SNK for new city names in the context of regional expansion or the emergence of new urban growth centers. This research result is 514 SNKs standardized nationally and can be used as input in the one data program.

***Keywords**: city name abbreviation, one data, code, standard.*

PENDAHULUAN

Identitas sebuah kota menjadi bagian proses aktualisasi dan penciri sebuah kota yang membedakan dengan kota lainnya. Masing-masing kota menggali nilai yang menjadi tanda kota, sebagai contoh Bandung dikenal dengan nama *Paris Van Java*, Tomohon dikenal sebagai kota bunga, Sawahlunto beridentitas sebagai kota *the heritage*, Kota Pekalongan terkenal dengan kota batik, Yogyakarta sebagai kota pelajar, dan Kota Surakarta sebagai kota berbudaya. Identitas nama tempat/kota pada umumnya terkait lokalitas terutama dengan fisik bumi, ronabumi, tumbuhan, peristiwa, dan budaya (Bachtiar, 2022). Salah satu identitas lain yang cukup sederhana yang dapat membedakan kota satu dengan kota lainnya adalah singkatan nama kota (SNK). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, singkatan merupakan hasil menyingkat atau memendekkan, berupa huruf atau gabungan huruf. Selain sebagai identitas untuk basis data spasial dan statistik, SNK juga digunakan sebagai penanda lain contohnya sebagai bagian penomoran perkara di pengadilan, alamat surat, alamat laman/web, dan fungsi penggunaan lainnya. SNK juga digunakan pada peta taktil untuk disabilitas netra (BSN, 2023).

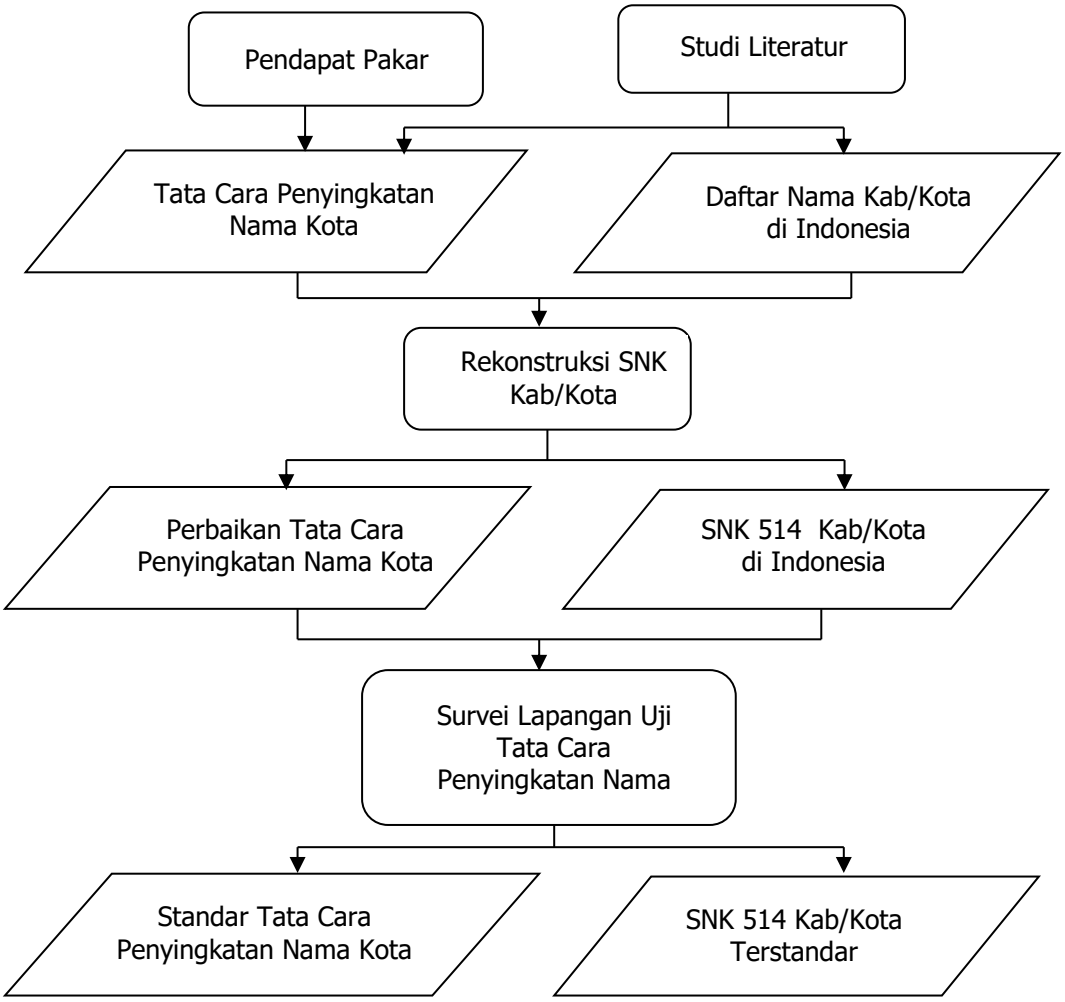
Contoh penggunaan SNK di bidang hukum yaitu Sistem Informasi Penelusuran Perkara (SIPP) yang dikelola pengadilan tinggi negeri untuk administrasi dan penelusuran (*tracking*) terhadap data perkara. Sistem ini dikembangkan oleh Mahkamah Agung RI untuk mempermudah masyarakat dalam urusan/perkara peradilan. Penggunaan SNK yang digunakan dalam tata naskah nomor perkara dapat dilihat pada tampilan laman/web pengadilan wilayah kabupaten/kota tertentu. dalam laman tersebut terdapat penomoran perkara yang dapat diakses oleh masyarakat sebagai bagian dari keterbukaan bidang hukum. Pada bagian akhir dari penomoran perkara, terdapat nama kota yang disingkat, contohnya 137/Pid.Sus-TPK/2023/PN Sby pada Pengadilan Negeri Kota Surabaya, Nomor 27/Pdt.G/2024/PN Gsk pada Pengadilan Negeri Kabupaten Gresik, Nomor 143/Pid.Sus/2024/PN Sda pada pengadilan Negeri Kabupaten Sidoarjo.

Penggunaan SNK di sektor perhubungan dapat dilihat pada bangunan patok atau tugu titik penanda jarak antar kota. Pemberian SNK, salah satunya di patok kilometer berfungsi untuk memberi informasi jarak antar kota dan jarak antar lokasi dalam satuan kilometer. Ukuran patok yang relatif kecil menyebabkan nama kota ditulis dalam bentuk singkatan yang umumnya terdiri atas 2-5 huruf. Apabila nama kota ditulis secara lengkap maka akan membutuhkan ruang penulisan yang panjang, yang berisiko membuat huruf relatif nama kota yang ditulis relatif kecil, misalnya nama penulisan Kota Tanjung Balai Karimun. Contoh penggunaan SNK sektor perhubungan lainnya adalah 3 huruf kode bandara tujuan yang menggunakan acuan IATA (*International Air Transport Association*). Sebagian tipe SNK dalam IATA ini memadukan antara kota tujuan dan nama bandaranya, misalnya BTH yang teridentifikasi sebagai nama kota Batam dan Hangnadim (bandara). Namun sebagian yang lain, penulisan singkatan pada kota yang dituju tidak mencerminkan huruf nama kota, misalnya CXP (Cilacap), SOC (Solo), dan TJQ (Tanjungpandan). dalam konteks satu data, variasi penulisan SNK untuk satu kota tidak mencerminkan satu data tunggal sehingga diperlukan penyusunan standar SNK menuju satu basis data tunggal.

Jumlah kota-kota di Indonesia terus bertambah, baik kota yang berkarakter sebagai pusat fungsional atau kota yang ditetapkan sebagai wilayah otonom atau sebagai ibu kota negara/provinsi/kabupaten/kota (Sitorus, 2019). Terbaru, sesuai dengan Undang-undang Nomor 21 Tahun 2023 tentang Ibu Kota Negara telah menetapkan wilayah sekitar Panajem Paser Utara sebagai wilayah ibu kota yang bernama Nusantara. Pemberian nama Nusantara menjadi bagian penting dalam kegiatan penamaan rupabumi (PP Nomor 2 Tahun 2021). di masa mendatang, potensi munculnya kota-kota baru di Indonesia cukup tinggi seiring dengan perkembangan fisik wilayah dan jumlah penduduk (Yunus, 2008). Kebutuhan konsumen terhadap SNK juga harus terwadahi agar selaras dan sama untuk semua pihak. Agar SNK untuk satu kota memakai data SNK tunggal maka diperlukan standardisasi SNK yang dapat menjadi acuan/pedoman. Sebaliknya, apabila tidak ada standar SNK maka akan membingungkan masyarakat dan tidak tercapai tujuan dari pembangunan satu data, dalam hal ini satu data SNK. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun SNK terutama kota-kota yang menjadi ibukota provinsi dan kabupaten/kota.

METODE

Metode penelitian standardisasi SNK menggunakan studi literatur, diskusi kelompok terpumpun (DKT), survei lapangan, dan wawancara atau diskusi dengan pengguna untuk memperoleh gambaran nyata penulisan SNK di lapangan. Studi literatur terutama mengenai kaidah penulisan terkait toponim nama kota dan untuk mengetahui model penyingkatan nama pada buku atau media laman. Metode DKT dengan pakar bertujuan untuk menentukan kriteria penyingkatan karena nama kota di Indonesia cukup bervariasi, baik jumlah huruf, gabungan kata, dan faktor lainnya. Survei lapangan untuk mengetahui kondisi riil penggunaan SNK. Survei lapangan dilakukan di 3 (tiga) kota besar dan sekitarnya yaitu di Surabaya dan sekitarnya, Yogyakarta dan dan sekitarnya, serta Manado dan sekitarnya. Ke tiga tempat dipilih dengan mempertimbangkan aspek Jawa dan luar Jawa. Selain itu, diskusi atau wawancara dengan pengguna juga dilakukan untuk mengetahui sejauh mana penggunaan SNK, contohnya pada saat koordinasi diketahui bahwa Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menggunakan sebagian SNI Singkatan Nama Kota yang disusun tahun 2010 sebagai acuan dari penamaan singkatan nama kota pada patok jalan. Wawancara dilakukan terhadap 3 (tiga) institusi yang berkaitan dengan jalan sekaligus sebagai pengguna. Diskusi ilimiah dilakukan dalam forum FGD dengan pakar dari perguruan tinggi dan asosiasi. Penentuan SNK untuk ibu kota provinsi/kabuten/kota ditentukan dengan menganalisis nama kota yang akan disingkat dengan tiga huruf kapital berdasarkan kriteria yang ditentukan dari hasil DKT dan survei lapangan. **Gambar 1** mengurai narasi di atas sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penulisan SNK untuk menyebutkan sebuah kota cukup bervariasi. Hal ini karena tidak ada standar penulisan baku sebagai acuan bersama. Salah satu dampaknya adalah satu kota yang sama dapat memiliki singkatan yang berbeda (**Tabel 1, 2,** dan **Gambar 2**). Penggunaan SNK sebagai upaya memperpendek tulisan tanpa menghilangkan makna dari kota yang dimaksud. Penyingkatan digunakan antara lain untuk tujuan praktis, menghindari tulisan panjang, dan untuk keperluan basis data. Hasil pengamatan dari media/laman maupun survei lapangan ditemukan beberapa poin cara menyingkat sebagai berikut:

1. Jumlah digit singkatan bervariasi, minimal ada dua digit, misalnya CN (Cirebon), IM (Indramayu). Singkatan yang menggunakan tiga digit (**Gambar 2**) seperti MDO (Manado), AMU (Amurang),
2. Model penyingkatan dengan mengambil huruf konsonan pembentuk nama kota, misalnya SBY (Surabaya), BPP (Balikpapan), PDL (Padalarang).
3. Model penyingkatan dengan mempertahankan lafal pengucapan kota, misalnya S. BAYA (Surabaya), B.NGIL (Bangil), B. LALI (Boyolali), GR.SIK (Gresik), P.BLGO (Probolinggo), LMGAN (Lamongan), MJKTO (Mojokerto).
4. Model penyingkatan dengan cara mengambil suku kata depan, misalnya SIDOH (Sidoarjo), YOGY (Yogyakarta), PROBO (Probolinggo), PAD (Padang).

Tabel 11. Variasi SNK pada patok kilometer di Surabaya dan sekitarnya.

Kota	SNK di patok kilometer		
	SNK 1	SNK 2	SNK 3
Surabaya	S.BAYA	SBY	-
Sidoarjo	SIDOH	SDRJO	SDA
Bangil	B.NGIL	-	-
Probolinggo	P.BLGO	PROBO	
Lamongan	L.NGAN	LM.GAN	LMG
Gresik	GRESIK	GR.SIK	GRS
Mojokerto	MJKTO	-	-
Jombang	JM.BANG	-	-
Gempol	GM.POL	GPL	G.MPOL
Bangil	B.NGIL	-	-
Pasuruan	P.RUAN	P.ASRN	-
Kraksaan	KRSAN	-	-

Sumber: Data survei lapangan PSKIG (2022)

Tabel 12. SNK pada surat perkara di Pengadilan Negeri di Jawa Timur

Kota	SNK di surat perkara
	SNK 1
Surabaya	Sby
Sidoarjo	Sda
Probolinggo	Pbl
Lamongan	Lmg
Gresik	Gsk
Mojokerto	Mjk
Jombang	Jbg
Pasuruan	Psr

Sumber: Laman pada SIPP Pengadilan Negeri Kabupaten/Kota di Jawa Timur (2022)

Dalam konteks satu data, dalam hal ini satu data nama kota, penggunaan singkatan yang bervariasi tidak mencerminkan satu basis data tunggal. **Gambar 2, 3, dan Tabel 1** menunjukkan satu kota mempunyai singkatan yang bervariasi. Untuk itu SNK yang tunggal perlu dilakukan dengan cara menyusun standar SNK yang menjadi pedoman bersama bagi pengguna singkatan. Perlu ada kepastian SNK tunggal agar di lapangan tidak terjadi SNK ganda dan untuk kepentingan basis data semakin jelas.





Gambar 2. Dua patok berisi SNK di sekitar Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur.



Gambar 3. SNK pada titik Km 0 di Probolinggo, Provinsi Jawa Timur.

Data SNK yang diperoleh dari berbagai sumber terutama dari laman dan data lapangan menunjukkan perbedaan pola dan pendekatan penyingkatannya. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan DKT dengan ahli yang memahami masalah bahasa dan toponim. Hasil dari DKT yang diperkuat dengan aturan internasional tentang penyingkatan kota menghasilkan kriteria singkatan menggunakan model 3 (tiga) huruf konsonan dan vokal atau perpaduan dari keduanya. Berdasarkan hasil DKT yang dikombinasikan dengan hasil uji lapangan diperoleh 16 (enam belas) model metode penyingkatan sebagai berikut:

1. Singkatan nama kota terdiri atas tiga huruf dari A hingga Z yang merepresentasikan nama kota, ditulis dalam huruf kapital;
2. Nama kota yang terdiri atas tiga huruf, tidak disingkat;
3. Nama kota yang terdiri atas tiga kata, singkatan nama kota menggunakan huruf awal dari tiap kata;
4. Nama kota yang terdiri atas dua kata, singkatan nama kota menggunakan huruf awal dari kedua kata ditambahkan atau disisipkan satu huruf konsonan dari suku kata kedua pada kata pertama atau pada kata kedua;
5. Nama kota yang terdiri atas satu kata, singkatan nama kota menggunakan huruf awal kata ditambah dua huruf, diutamakan huruf konsonan suku kata kedua atau huruf terakhir nama kota;
6. Nama kota yang terdiri atas satu kata dengan tiga suku kata, singkatan nama kota menggunakan huruf awal kata ditambah dua huruf. Pemilihan dua huruf tersebut diutamakan huruf awal pembentuk suku kata kedua diikuti huruf pertama suku kata terakhir atau huruf terakhir dari nama kota;
7. Nama kota yang terdiri atas satu kata dengan empat suku kata, singkatan nama kota menggunakan huruf awal kata ditambah dua huruf. Dua huruf tersebut dapat dipilih dari huruf pertama suku kata kedua, diikuti oleh huruf awal suku kata ketiga atau keempat atau huruf terakhir dari nama kota tersebut;
8. Nama kota yang terdiri atas satu kata dan sebanyak lima suku kata, singkatan nama kota menggunakan huruf awal kata ditambah dua huruf. Dua huruf tersebut diutamakan huruf pertama dari suku kata kedua, diikuti oleh huruf pertama suku kata ketiga, keempat, atau kelima dari nama kota tersebut;
9. Nama kota yang terbentuk pengulangan dari kata pertama, yang disingkat adalah kata yang membentuk pola pengulangannya dan menggunakan prinsip penyingkatan yang mengacu pada pola 1-8;
10. Singkatan nama kota sedapat mungkin dibuat unik. Jika ditemukan kesamaan singkatan nama kota yang dibuat dengan pola poin 1 sampai dengan poin 7, singkatan nama kota dibuat dengan memilih huruf konsonan/vokal yang tidak sama;

11. Jika ibu kota kabupaten dan kota hasil pembentukan, penghapusan, atau penggabungan wilayah administrasi kantor/pusat pemerintahannya (kantor bupati atau walikota) menempati kota yang sama, singkatan nama kotanya sama. Jika kantor/pusat pemerintahan (kantor bupati atau walikota) telah menempati ibu kota yang baru, dibuat singkatan nama kotanya;
12. Jika terjadi pemindahan ibu kota negara/provinsi/kabupaten/kota, dibuat singkatan nama kota yang baru;
13. Jika dengan mengikuti pola di atas masih ditemukan kesamaan dengan kota lain, singkatan dapat dibentuk dengan tiga huruf pertama;
14. Penyingkatan mempertimbangkan kemudahan dalam pelafalan;
15. Singkatan nama kota mempertimbangkan penggunaannya di masyarakat;
16. Singkatan nama kota pada tingkatan ibu kota tidak boleh sama.

Dari model penyingkatan di atas, diperoleh beberapa contoh SNK yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Metode penyingkatan dan implementasinya.

Metode	Singkatan dan kotanya		
	SNK 1	SNK 2	SNK 3
1	APN (Ampana)	KDR (Kediri)	TDR (Tidore)
2	SOE (Soe)	BAA (Baa)	-
3	TBK (Tanjungbalaikarimun)	STR (Simpangtigaredelong)	BSB (Bandarseribentan)
4	TMR (Tanahmerah)	DKL (Daiklingga)	KLP (Kualapembuang)
5	STG (Sintang)	SGN (Sragen)	BDG (Bandung)
6	DPS (Denpasar)	KDI (Kendari)	PDG (Pandeglang)
7	WNG (Wonogiri)	SBY (Surabaya)	PTK (Pontianak)
8	LSM (Lhokseumawe)	KFM (Kefamenanu)	TSM (Tasikmalaya)
9	PRE (Parepare)	TLI (Tolitoli)	BAU (Baubau)
10	CBN (Cirebon)	CRB (Caruban)	-
11	SRG (Kota Serang)	CRU (Ciruas ibukota Kab Serang)	-
12	IKN (Ibukota Nusantara)	SFF (Sofifi)	SLW (Slawi)
13	SAB (Sabang)	MAR (Marisa)	SAL (Salak)
14	KIS (Kisaran)	TOB (Tobelo)	JLO (Jailolo)
15	MDO (Manado)	SMG (Semarang)	LMG (Lamongan)
16	PRG (Parigi di Sulteng)	PRI (Parigi di Jawa Barat)	-

Sumber: Analisis penyingkatan, 2024.

Selanjutnya, enam belas metode yang disampaikan digunakan sebagai gambaran untuk menjembatani cara menyingkat dengan mempertimbangkan lafal, jumlah kata, dan suku kata toponim nama kota di Indonesia yang sangat bervariasi. Beberapa karakter nama kota dari aspek lafal, jumlah kata, dan suku kata nama kota yang ditemukan antara lain:

1. Terdapat nama kota yang hanya terdiri dari 3 huruf
2. Terdapat nama kota yang sama dan berstatus sama sebagai ibukota
3. Terdapat nama kota yang tersusun dari 2 kata
4. Terdapat nama kota yang tersusun dari 3 kata
5. Terdapat nama kota yang merupakan pengulangan
6. Pada umumnya nama kota terdiri 1 kata dan tersusun 2-4 suku kata
7. Terdapat nama kota yang hanya 1 kata tetapi terdiri dari 5 suku kata

Kota Baa dan Soe terindikasi hanya mempunyai 3 huruf sehingga tidak perlu disingkat dan langsung menyebut nama kotanya. Hal berbeda saat akan menyingkat nama kota yang sangat panjang seperti Tanjungbalaikarimun, Simpangtigaredelong, dan Bandarseribentan. Nama kota yang panjang perlu diurai dari pembentukan katanya dengan mengikuti kaidah penulisan sesuai yang tertuang dalam Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2023 Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nama Rupabumi Badan Informasi Geospasial. Sebagai contoh Kota Tanjungbalaikarimun yang ditulis disambung dibentuk

dari 3 kata yaitu 'Tanjung', 'Balai', dan 'Karimun'. Cara penyingkatan agar mewakili kotanya maka diambil huruf depan yaitu TBK. Penamaan yang sama diberlakukan untuk 2 kota lainnya.

Melalui prinsip penggunaan 3 digit huruf sesuai dengan aturan internasional maka diperlukan 3 digit huruf yang berbeda untuk menyingkat sekitar 514 nama kota di Indonesia. Untuk nama kota yang khas dan tidak terdapat nama kota lain yang sama dari aspek lafal, suku kata, atau kemiripan lainnya, maka penentuan 3 digit relatif mudah, contohnya TDR (Tidore), BYL (Boyolali), dan MTR (Mataram). Dari hasil lapangan, tipe TDR, BYL, dan MTR yang mengambil huruf depan dari suku kata tidak sepenuhnya bisa diterapkan karena terdapat metode poin 15 yaitu penggunaan SNK yang mempertimbangkan penggunaan di masyarakat, contohnya MDO (Manado) pada **Gambar 4**. Selain sudah akrab di masyarakat, intonasi huruf 'M' berpadu dengan 'DO' cukup mempermudah pengucapannya. Metode ini secara umum mengakomodasi kepentingan dan budaya lokal. Untuk beberapa kota yang mempunyai lafal, suku kata, dan kemiripan lainnya perlu dilakukan penyesuaian agar tetap diperoleh 3 digit huruf yang berbeda (**Tabel 4**).



Gambar 4. SNK menggunakan model tiga digit, Provinsi Sulawesi Utara.

Dari **Tabel 4** diperoleh gambaran terdapat potensi kesamaan SNK antar berbagai kota. Sebagai contoh SLK dapat disematkan pada Kota Salak, Solok, dan Salakan. Penggunaan SLK memenuhi metode penyingkatan poin 5 dan 6. Untuk itu agar tidak terjadi kesamaan SNK terutama penggunaan singkatan SLK pada tiga kota tersebut maka digunakan pertimbangan sebagai berikut:

(a) SLK diberikan pada Kota Solok karena kota ini berdiri/lahir lebih dulu dibanding dua kota lainnya yang merupakan hasil pemekaran wilayah.

(b) SAL diberikan untuk Kota Salak dan SKN dberikan untuk Kota Salakan.

Tabel 4. Contoh nama kota yang berpotensi sama singkatannya

3 digit	Nama kota		
	Kota 1	Kota 2	Kota 3
SLK	Solok	Salak	Salakan
SBG	Subang	Sabang	Sibolga
SRG	Serang	Sorong	Semarang
CRB	Cirebon	Caruban	-
PDG	Padang	Pandeglang	-
MGL	Menggala	Magelang	-
KDR	Kendari	Kediri	-
CLG	Cilegon	Calang	-
TBN	Tuban	Tabanan	-
PBG	Probolinggo	Purbalingga	-
PRG	Parigi (Sulteng)	Parigi (Jabar)	-
PWK	Purwakarta	Purwokerto	-
TBL	Toboali	Tobelo	-

Sumber: Analisis penyingkatan (2024)

Penamaan model SLK dan SAL banyak dijumpai dalam beberapa kasus, misalnya untuk penyebutan TBN (Tuban, Tabanan), KDR (Kendari, Kediri), MGL (Menggala, Magelang). Contoh lain yang singkatan SRG yang berpotensi diberikan pada Kota Serang, Sorong, dan Semarang. dalam kasus ini, Semarang mempunyai 3 suku kata dibanding dua kota lainnya yang hanya mempunyai dua suku kata. Pertimbangan yang digunakan untuk membedakan SNK di 3 kota tersebut, yaitu:

(a) SRG diberikan ke Kota Serang karena selain memenuhi metode 5, penggunaan SRG sudah berlaku di umum di Serang;
(b) SOR diberikan ke Kota Sorong karena memenuhi metode 13 dan 14;
(c) SMG diberikan ke Kota Semarang karena penggunaan SMG sudah berlaku umum di Kota Semarang, seperti di patok-patok leger jalan dan laman instansi.

Kasus cukup unik terdapat pada penggunaan PRG pada Parigi ibukota Kabupaten Parigimoutong, Provinsi Sulawesi Selatan dengan Parigi ibukota Kabupaten Pangandaran, Provinsi Jawa Barat. Kedua kabupaten beda provinsi ini mempunyai nama ibukota yang sama. Pada penggunaan tertentu, misalnya pada patok jalan, hampir dipastikan tidak ada kendala karena kedua kota ini jaraknya berjauhan dan beda pulau. Tetapi apabila SNK kedua kota ini digunakan untuk basis data spasial/statistik maka perlu dibedakan. Pertimbangan yang digunakan untuk membedakan SNK di 2 kota tersebut yaitu:

(a) PRG diberikan pada Kota Parigi di Kabupaten Parigimoutong karena kota ini berdiri/lahir lebih dulu dibanding Kota Parigi di Kabupaten Pangandaran. Nama Parigi juga menjadi salah satu elemen pembentuk toponim Parigimoutong.
(b) SAL diberikan untuk Kota Salak dan SKN dberikan untuk Kota Salakan.

Keluarnya Undang-undang Nomor 21 Tahun 2023 tentang Ibukota Negara menjadi bagian penting dalam proses pemerataan pembangunan dari Jawa ke luar Jawa. dalam regulasi tersebut menetapkan Nusantara menjadi nama ibu kota. Identitas SNK yaitu IKN telah menjadi singkatan yang selalu muncul dalam media massa dan pemberitaan resmi negara. Dari aspek kombinasi hurufnya, IKN berasal dari kepanjangan Ibu Kota Nusantara. Dari aspek metode penyingkatan, Nusantara dapat disingkat menjadi beberapa pilihan yaitu NST, NSR, NTR, atau NUS. Penggunaan SNK berupa IKN cukup strategis dalam rangka mengenalkan Nusantara sebagai sebuah Ibu Kota sehingga penggunaan IKN merupakan pilihan tepat hasil konsensus/kesepakatan pihak-pihak terkait. Penggunaan IKN dapat dianalogikan sama dengan penggunaan DKI dan DIY untuk menyebut nama Jakarta dan Yogyakarta.

Peraturan Presiden Nomor 39 Tahun 2019 tentang Satu Data Indonesia secara tegas mengamanatkan bahwa sebuah entitas/data harus berstandar. Nama kota/nama tempat sebagai sebuah data toponim seyogyanya juga harus terstandar termasuk dalam hal ini penyingkatannya. Perlunya standar SNK didasari karena semakin banyak penggunaan SNK di masyarakat yang semakin masif tetapi berbeda pola penyingkatannya dan untuk mengantisipasi munculnya kota kota baru di masa mendatang. SNK sangat perlu untuk diterapkan diberbagai sektor karena dengan penyatuan nama SNK maka akan terbentuk satu basis data tunggal, baik dalam bentuk basis data spasial dan statistik atau dalam bentuk bangunan fisik atau laman/web. Satu nama SNK akan menciptakan keteraturan data dan memudahkan dalam pengelolaan data.

KESIMPULAN

SNK menjadi bagian penting dalam rangka menuju satu basis data tunggal nama kota, baik untuk keperluan data statisik maupun data geospasial. Penggunaan SNK di berbagai sektor sangat masif dan terbuka yang dapat dilihat langsung di lapangan, misalnya patok jalan, maupun dalam laman atau *website* institusi negeri dan swasta. Variasi SNK yang terjadi di lapangan perlu diantisipasi dengan standardisasi SNK melalui 16 metode cara menyingkat. Ke enam belas cara tersebut menjadi tata cara menyingkat sehingga dihasilkan SNK sejumlah 514 kota di Indonesia

sebagai ibu kota negara/provinsi/kabupaten/kota. Hasil penelitian berupa SNK ini telah ditetapkan oleh institusi yang mempunyai tugas di bidang standardisasi dan penilaian kesesuaian dan berlaku secara nasional untuk mendukung keteraturan data menuju satu data SNK tunggal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hasil penelitian ini tidak terlepas dari berbagai pihak yang membantu dalam menyusun SNK baik di forum DKT maupun di lapangan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial yang telah mendukung penganggaran kegiatan, Anggota Komite Teknis 07-01 Informasi Geografi/Geomatika karena aktif dalam memberikan masukan DKT terkait dengan prinsip penyingkatan nama kota, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR yang secara riil menggunakan SNK sebagai identitas patok jalan dan basis datanya, dan Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungan dan Hutan Lindung Tondano, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, yang bersedia menjadi informan sekaligus mendampingi dalam survei lapangan DAS sekaligus SNK.

DAFTAR PUSTAKA

Bachtiar, T. (2022). *Toponimi, Susur Galur Nama Tempat di Jawa Barat 2*. Penerbit Layung Garut.

Badan Informasi Geospasial. (2021). *Gazeter Republik Indonesia Edisi 1.* Penerbit BIG Bogor.

Badan Informasi Geospasial. (2023). Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2023 tentang Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nama Rupabumi Badan Informasi Geospasial. Bogor.

Badan Standardisasi Nasional. (2023). *Standar Nasional Indonesia Penyajian Atlas Taktil (tactile) – Bagian 1: Simbol Unsur Peta Dasar – Ralat 1.* Penerbit BSN Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. (2010). *Standar Nasional Indonesia Singkatan Nama Kota Edisi 2010.* Penerbit BSN Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. (2023). *Standar Nasional Indonesia Singkatan Nama Kota Edisi 2023.* Penerbit BSN Jakarta.

ISO. (2020). *Codes for the representation of names of countries and subdivisions*. ISO Pubhlising.

Kementerian dalam Negeri. (2019). Peraturan Menteri dalam Negeri Nomor 72 Tahun 2019 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri dalam Negeri Nomor 137 Tahun 2017 Tentang Kode dan Data Wilayah Administrasi Pemerintahan. Kementerian dalam Negeri. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nama Rupabumi. Sekretariat Negara. Jakarta.

Sitorus, S. (2019). *Penataan Ruang*. Penerbit IPB Press Bogor.

Yunus, H.S (2008). *Dinamika Wilayah Peri-Urban Determinan Masa Depan Kota*. Penerbit Pustaka Pelajar Yogyakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ESTIMASI STOK KARBON BIOMASSA HUTAN PADA PEMBANGUNAN KOTA BERKELANJUTAN

Studi Kasus di Ibu Kota Nusantara

Forest Biomass Carbon Stock Estimation in Sustainable Urban Development

Nurul Fitri Alya dan Rasendriya Ramanda Darettamarlan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Surabaya, Provinsi Jawa Timur
E-mail: alyanurulfitri@gmail.com

ABSTRAK

Relokasi Ibu Kota Negara akan mengarah pada pengembangan kota hutan, mendorong kelestarian lingkungan dan bertujuan untuk mencapai netralitas karbon. Namun, usulan relokasi juga menimbulkan kekhawatiran dan ketidakpastian. Relokasi ini akan berdampak pada lingkungan Kalimantan karena merupakan paru-paru dunia dan salah satu pulau dengan keanekaragaman hayati tertinggi. Potensi tertinggi akibat perubahan lahan sebelumnya seperti penebangan huta, penanaman sawit, akan berlanjut oleh kegiatan industri yang semakin tinggi juga. Sehingga pembangunan berkelanjutan perlu dipertimbangkan. Kondisi IKN saat ini dengan perubahan lahan yang signifikan dari lahan vegetasi menjadi lahan terbangun, perlu dianalisis secara mendalam. Hal ini nantinya berkaitan dengan penyimpanan cadangan karbon dalam hutan di wilayah tersebut. Salah satu metode yang populer dalam perhitungan cadangan karbon yakni dengan pendekatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). *Artificial Intelligence* telah berkembang pesat dalam beberapa tahun ini, khususnya dalam memprediksi stok karbon hutan. Pendekatan *artificial intelligence* secara umum dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi penilaian stok karbon. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi perhitungan cadangan karbon pada hutan di wilayah Ibu Kota Nusantara dengan pendekatan *machine learning.* Penelitian ini memanfaatkan data citra SAR dan *Digital Elevation Model* untuk melakukan perhitungan estimasi stok karbon di atas permukaan tanah di wilayah Ibu Kota Nusantara dengan menggunakan pendekatan *Random Forest* regresi. Hasil penelitian dihasilkan nilai AGC tahun 2023 mengalami penurunan sebesar 19,7% dari tahun sebelumnya. Studi ini diharapkan dapat menjadi data pendukung dalam proses evaluasi terhadap perubahan lahan oleh pemerintah maupun sektor privat dalam perencanaan strategis perkotaan secara berkelanjutan dan inklusif.

Kata kunci: Ibu Kota Nusantara, stok karbon, biomassa, kecerdasan buatan.

ABSTRACT

Relocating the capital will lead to the development of a forest city, the promotion of environmental sustainability, and the aim for carbon neutrality. However, the proposed relocation also raises concerns and uncertainties. This move will impact the environment of Kalimantan, a critical lung of the world and one of the islands with the highest biodiversity. The potential for adverse effects due to previous land use changes, such as deforestation and palm oil plantations, is likely to continue with increasing industrial activities. Thus, sustainable development needs to be considered. The current state of the new capital city, with significant land conversion from vegetation to built-up areas, requires thorough analysis. This is related to the carbon stock storage in the region's forests. One popular method for calculating carbon stock is through artificial intelligence (AI) approaches. AI has rapidly advanced in recent years, particularly in predicting forest carbon stocks. Generally, AI approaches can enhance the accuracy and efficiency of carbon stock assessments. This research aims to estimate carbon stock calculations in the forests of the new capital city area using machine learning approaches. The study utilizes SAR imagery and Digital Elevation Model data to estimate above-ground carbon stocks in the new capital city area employing a Random Forest regression approach. The study results indicate a 19.7% decline in AGC in 2023 compared to the previous year. This study is expected to provide supporting data for evaluating land-use changes by the government and the private sector in sustainable and inclusive urban strategic planning.

***Keywords**: Ibu Kota Nusantara, carbon stock, above ground biomass, artificial intelligence.*

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia memutuskan untuk memindahkan Ibu kota negara Republik Indonesia dari Provinsi Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta (DKI Jakarta) ke Ibu Kota Nusantara (IKN). Pemindahan Ibu Kota Negara ke Kalimantan mempunyai banyak keuntungan dan kerugian, terutama dari sudut pandang sosial dan lingkungan. Menurut pemerintah, tujuan pemindahan Ibu Kota Negara adalah untuk mewujudkan "Visi Indonesia Emas 2045" melalui transformasi ekonomi dan memastikan pemerataan pembangunan di seluruh wilayah Indonesia, bukan hanya terkonsentrasi di wilayah barat Indonesia.

Pemindahan Ibu Kota Negara ke wilayah baru dapat berdampak besar terhadap hutan di suatu negara. Pembangunan kota baru dapat berdampak langsung pada ekosistem sensitif seperti hutan lindung, hutan bakau, dan lahan gambut. Ekspansi perkotaan dapat menimbulkan ancaman terhadap ekosistem ini, yang menyebabkan fragmentasi habitat, hilangnya keanekaragaman hayati, dan perubahan fungsi ekosistem. Selain itu, kedekatan ibu kota baru dengan kawasan hutan dapat menimbulkan polusi yang menghambat kapasitas produksi hutan, sehingga berdampak negatif terhadap kesehatan hutan. Sehingga, pentingnya memperkirakan perubahan penggunaan lahan dalam konteks ibu kota baru perlu diperhatikan dan dikaji lebih dalam. Konversi lahan hutan dan pertanian yang ada untuk pembangunan perkotaan dapat mengganggu proses hidrologi, mengubah pola topografi eksisting, dan berpotensi berdampak pada sumber daya air dan stabilitas ekosistem di wilayah tersebut (Yasminnajla, 2023; Teo *et al.*, 2020; Bayarsaikahan *et al.*, 2021; Kurniawan *et al.*, 2021). Saat ini, kondisi wilayah Kalimantan timur yang memiliki lahan hutan yang luas yang saat ini mengalami perubahan lahan yang signifikan, mengakibatkan dampak lingkungan terjadi secara signifikan dikarenakan mengalami degradasi hutan akibat deforestasi, yang dapat menimbulkan potensi banjir dan emisi karbon (Saputra *et al.*, 2021).

Di sisi lain, pemindahan ibu kota negara ke wilayah baru dapat memberikan dampak signifikan terhadap pembangunan kota berkelanjutan. Pemerintah seringkali melakukan langkah ini untuk membangun pusat kota yang modern, aman, dan berketahanan dengan fokus pada keberlanjutan. Selain itu, relokasi ibu kota memberikan peluang untuk memajukan praktik berkelanjutan dalam perencanaan dan pembangunan kota. Dengan mengevaluasi kembali strategi promosi dan pemasaran tempat, kota dapat mengadopsi prinsip-prinsip berkelanjutan dan meningkatkan kinerja lingkungannya. Contohnya seperti relokasi Ibu Kota Malaysia, yang bertujuan mengurangi kemacetan dan mendorong pertumbuhan berkelanjutan, menjadi model yang berharga untuk memandu pengembangan ibu kota baru (Kamal, 2022; Boisen *et al.*, 2018; Rachmawati *et al.*, 2021).

Hutan adalah ekosistem kompleks yang ditandai dengan kepadatan pepohonan yang tinggi, beragam spesies tumbuhan, dan beragam satwa liar. Hutan berperan penting dalam penyerapan karbon, konservasi keanekaragaman hayati, dan penyediaan jasa ekosistem. Penyimpanan karbon hutan mengacu pada proses di mana hutan bertindak sebagai penyerap karbon dioksida dari atmosfer dan menyimpannya dalam berbagai komponen seperti pohon, tanah, dan vegetasi. Fungsi hutan sebagai penyerap karbon memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (Chazdon *et al.*, 2016; Sasaki & Putz, 2009; Saatchi *et al.*, 2011). Penyimpanan karbon hutan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk keanekaragaman pohon, praktik pengelolaan hutan, dan perubahan penggunaan lahan. Memahami potensi penyimpanan karbon di berbagai tipe hutan, seperti hutan kota atau cagar alam, sangat penting untuk mengembangkan strategi efektif guna meningkatkan penyerapan karbon (Nasihin *et al.*, 2022). Selain itu, peran hutan primer dan pepohonan yang membusuk dalam menjaga stok karbon menekankan pentingnya melestarikan ekosistem hutan primer untuk penyimpanan karbon jangka panjang (Jacob *et al.*, 2012).

Selain itu, pengelolaan strategis dan konservasi vegetasi hutan di dalam dan sekitar kota dapat memberikan dampak positif terhadap penyimpanan karbon dan keberlanjutan kota. Penelitian telah menunjukkan bahwa upaya penghijauan dan reboisasi di wilayah perkotaan dapat meningkatkan penyimpanan karbon, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan meningkatkan ketahanan ekologi (Wu *et al.*, 2013). Dengan mengintegrasikan pertimbangan penyimpanan

karbon hutan ke dalam perencanaan kota dan strategi pembangunan, kota dapat menciptakan lingkungan yang lebih berkelanjutan dan berketahanan yang bermanfaat bagi kesejahteraan manusia dan ekosistem alam (Zhang *et al.*, 2015).

Untuk menghitung stok karbon di hutan, salah satu komponen penting yang perlu dipertimbangkan adalah *Above Ground Biomass* (AGB) pohon. AGB mengacu pada berat total vegetasi hidup di atas permukaan tanah, termasuk batang pohon, cabang, daun, dan bagian tanaman lain di atas tanah. Memperkirakan biomassa di atas permukaan tanah sangat penting untuk mengukur jumlah karbon yang tersimpan di pepohonan dalam ekosistem hutan. Berbagai penelitian berfokus pada penentuan biomassa di atas permukaan tanah di hutan untuk menilai cadangan karbon dan memahami potensi penyerapan karbon. Dengan mengukur biomassa pohon di atas permukaan tanah menggunakan metode pengambilan sampel lapangan, persamaan biomassa, dan teknologi penginderaan jauh, peneliti dapat memperkirakan jumlah karbon yang tersimpan dalam vegetasi hutan. Penghitungan biomassa di atas permukaan tanah sering kali melibatkan perkalian volume pohon dengan kepadatan kayu dan penerapan faktor perluasan biomassa untuk mengubah biomassa menjadi stok karbon (Wassihun *et al.*, 2019; Achmad & Muryunika, 2023; Hosni *et al.*, 2022).

Perkembangan teknologi di bidang kecerdasan buatan khususnya di bidang pembelajaran mesin (*machine learning*) memberikan dampak besar pada berbagai aplikasi seperti pengolahan gambar dan analisis data penginderaan jauh. Metode pembelajaran mesin yang umum digunakan untuk memprediksi dan menghitung AGB di hutan antara lain *Random Forest, Support Vector Machines* (SVM), *Gradient Boosting* (GB), *Multilayer Perceptron* (MLP), dan *Genetic-Random Forest* (GA- algoritma RF). Teknik pembelajaran mesin ini memanfaatkan berbagai sumber data, seperti sensor satelit, LiDAR, dan data optik, untuk memperkirakan AGB secara akurat (Bennett *et al.*, 2020; Sharma, 2021; Tavasoli & Arefi, 2020; Chen *et al.*, 2022; Adimoolam *et al.*, 2022).

Random Forest, model *machine learning* yang tangguh, sangat cocok untuk menangani kumpulan data yang kompleks dan memprediksi kepadatan AGB pada skala kontinental (Bennett *et al.*, 2020). Selain itu, algoritma *machine learning* seperti *Random Forest* dan *Gradient Boosting Decision Tre*e biasanya digunakan untuk prediksi regresi antara parameter gambar dan biomassa di hutan (Chen *et al.*, 2022). *Multilayer Perceptron* dan algoritma *Random Forest* telah digunakan secara efektif dalam memperkirakan AGB dari data LiDAR terestrial di hutan bakau (Adimoolam *et al.*, 2022).

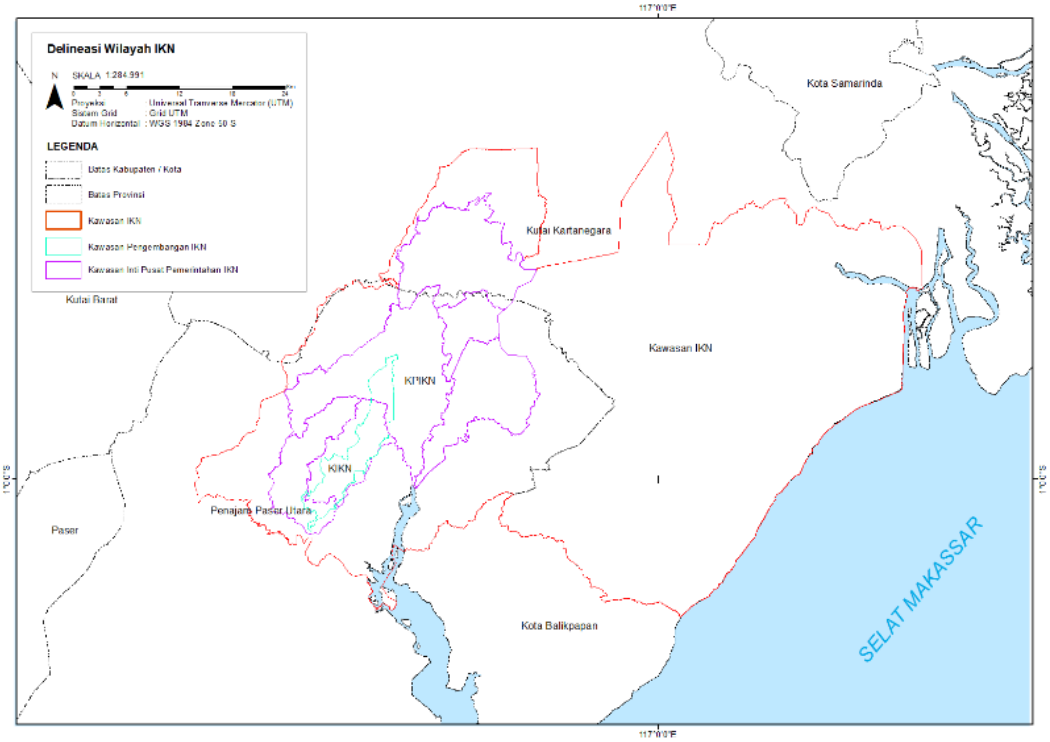
Dari gambaran tersebut, penulis melakukan penelitian dengan tujuan utama untuk melakukan perhitungan estimasi cadangan karbon di wilayah hutan dengan pendekatan *artificial intelligence* pada tahun 2022 dan 2023. Dari pencapaian dan analisis penelitian terdahulu terkait perhitungan *carbon stock di* hutan, penulis melakukan analisis lebih lanjut terkait pengaplikasian metode *machine learning* dengan algoritma *Random Forest dalam* melakukan perhitungan *carbon stock di* wilayah Ibukota Nusantara di Kalimantan Timur. Data yang digunakan dalam penelitian ini yakni data citra satelit pasif Sentinel-1 polarisasi.

METODE

Estimasi jumlah AGB pada studi kasus wilayah IKN terbagi menjadi beberapa langkah pengolahan data, antara lain *preprocessing data,* membangun model regresi, dan perhitungan estimasi total biomassa. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 dataset yang masing-masing merupakan GEDI L4A Raster Aboveground Biomass Density, Sentinel-2 *Surface Reflectance*, dan *Digital Elevation Model* (DEM) pada tahun 2022 dan 2023 dengan pengambilan data rata-rata selama satu tahun menggunakan *cloud computing Google Earth Engine*. GEDI memiliki nilai estimasi *Above Ground Biomass Density* (AGBD) yang akan digunakan sebagai data *ground truth* yang dianggap benar dan variabel prediksi dalam model regresi yang dibangun. Sentinel-2 Surface Reflectance sensor pasif digunakan dalam mengekstraksi *reflectance band dan* perhitungan indeks spektral. Sebagai patokan dalam pengolahan data spasial yang akan dilakukan, turut mengikutsertakan delineasi Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) dan Kawasan Ibu Kota Nusantara (KIKN) dalam format shp.

Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) terletak di Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur, yang merupakan kawasan prioritas untuk pusat pemerintahan dengan luas kurang lebih 6.671 hektar. Beberapa desa eksisting yang beririsan dalam area KIPP ini adalah desa yang terletak di Kecamatan Sepaku, yaitu Desa Pemaluan, Desa Bumi Harapan, dan Desa Bukit Raya. Wilayah Kawasan Ibu Kota Nusantara (KIKN) terletak pada dua kabupaten yang beririsan, yaitu Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara dengan luas kurang lebih 56.180 hektar. Kecamatan yang ada di wilayah ini adalah Kecamatan Sepaku dan Kecamatan loa Kulu yang berisi 13 desa/kelurahan eksisting (11 desa terdiri dari Sungai Payang, Jonggon Desa, Argo Mulyo, Bukit Raya, Bumi Harapan, Karang Jinawi, Semoi Dua, Sukaraja, Sukomulyo, Tengin Baru, Wonosari dan 2 Kelurahan terdiri dari Pemaluan dan Sepaku) (Perpres No. 63 Tahun 2022).

Dilakukan *re-processing* untuk data yang telah dikumpulkan. Pada proses ini, dilakukan *filtering* pada semua data untuk mengekstraksi nilai pada wilayah studi IKN, yang diilustrasikan pada peta area penelitian (**Gambar 1**).



Sumber: Hasil analisis peneliti

Gambar 7. Lokasi penelitian.

Selanjutnya, citra Sentinel-2 dilakukan proses *filtering* terhadap tutupan awan. Kemudian proses komposit *band* pada citra dilakukan untuk menghitung indeks spektral. Indeks spektral yang digunakan antara lain *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI),* dan *Enhanced Vegetation Index (EVI).*

Tabel 1. Indeks Spektral.

Indeks Spektral	Persamaan
NDVI	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$
MNDWI	$\frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)}$
NDBI	$\frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$
EVI	$2.5 \times \left(\frac{NIR - RED}{NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE} + 1\right)$

Digital Elevation Model yang digunakan yakni GLO-30 yang didapat dari European Space Agency dan Copernicus dengan resolusi spasial 30 meter. *Digital Surface Model* (DSM) ini berasal dari DSM yang telah diedit bernama WorldDEM, yang mencakup perataan badan air dan aliran sungai yang konsisten. GLO-30. Data GEDI berisi prediksi Level 4A (L4A) Versi 2 berisi nilai kepadatan biomassa di atas permukaan tanah (AGBD; dalam Mg/ha) dan perkiraan kesalahan standar prediksi dalam setiap sampel jejak laser lokasi geografis. dalam versi ini, butirannya berada di sub-orbit. Data GEDI dilakukan proses *filtering* untuk menyaring nilai yang tidak valid atau tidak dapat diandalkan sebelum menggunakannya, dengan beberapa proses antara lain menghapus semua instrumen yang tidak sesuai kualifikasi kualitas dan nilai *error* relatif yang tinggi. Selain itu, proses *filtering* dilakukan untuk mengekstraksi nilai *slopes* diatas 30%.

Setelah dilakukan *pre-processing,* proses pembuatan model *Random Forest* regresi dilakukan dengan mengekstrak informasi data indeks spektral yang telah dikalkulasi dan DEM untuk dijadikan data *training* atau variabel dependen, dan data nilai estimasi dari GEDI dijadikan sebagai variabel independen. Data *training* nantinya dijadikan data masukan dalam proses pelatihan model. Model regresi yang telah dibangun nantinya akan dikomparasi dengan nilai perhitungan *Root Mean Square* (RMSE) dan koefisien korelasi untuk mengevaluasi performa model yang dihasilkan. Setelah model yang dihasilkan dianggap baik, proses estimasi biomasa total (AGB) dari data AGBD. Nilai AGBD yang dihasilkan masih dalam Megagrams/Ha. Sehingga, perlu di konversi nilai tiap piksel nya ke dalam satuan Hektar.

Random Forest

Random Forest adalah algoritma *machine learning* yang membangun kumpulan prediktor pohon, dimana setiap pohon bergantung pada nilai dari vektor acak yang diambil sampelnya secara independen dan dengan distribusi yang sama untuk semua pohon di hutan Breiman (2001). Algoritma ini mendapatkan popularitas karena keserbagunaannya dalam menangani berbagai masalah prediksi, termasuk efek interaksi tingkat tinggi yang non linier dan kompleks. *Random Forest* dikenal menghasilkan ukuran kepentingan variabel untuk setiap variabel prediktor, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi (Strobl *et al.*, 2007).

Algoritma *Random Forest*, yang diusulkan oleh Leo Breiman and Adele Cutler pada tahun 2001, telah berhasil secara luas sebagai metode klasifikasi dan regresi tujuan umum (Biau & Scornet, 2016). Ini adalah metode pembelajaran ansambel yang menggabungkan beberapa pohon keputusan untuk meningkatkan akurasi prediksi dan mengurangi *overfitting*. *Random Forest* sangat efektif dalam menangani kumpulan data yang besar dan kompleks, menjadikannya *tools* yang berharga dalam aplikasi *machine learning* (Biau & Scornet, 2016).

Random Forest telah diterapkan dalam penelitian untuk memprediksi stok karbon di atas tanah di wilayah seperti Madagaskar, Australia, dan Amazon Barat Bennett *et al.*, (2020). dalam studi tentang penyimpanan karbon tanah dan serasah di Korea Selatan, model *Random Forest* digunakan untuk memetakan stok karbon tanah dan serasah, dengan model terbaik mencapai nilai root mean square error yang rendah (Lee *et al.*, 2020). Selain itu, dalam model prediktif untuk memperkirakan stok karbon dalam sistem agroforestri, *Random Forest* digunakan untuk memperkirakan stok karbon dari variabel fisik dan kimia tanah, dengan menekankan pentingnya stok nitrogen dan sistem penggunaan lahan dalam proses estimasi (Marçal *et al.*, 2021). Selain itu, *Random Forest* telah digunakan untuk menilai struktur vegetasi dan stok karbon di hutan yang dikelola masyarakat, dimana plot melingkar dibuat menggunakan pengambilan sampel acak bertingkat untuk mengevaluasi status vegetasi dan stok karbon (Joshi *et al.*, 2021). Pada penelitian ini, *random forest* diterapkan dalam melakukan estrimasi perhitungan nilai *Aboveground Carbon Stock* (AGC) di wilayah Ibu Kota Nusantara sejak mengalami degradasi hutan dan pembangunan kota secara masif.

Above Ground Biomass

Above Ground Biomass (AGB) mengacu pada berat total vegetasi hidup di atas permukaan tanah dalam suatu ekosistem hutan, termasuk batang pohon, cabang, daun, dan bagian tanaman lain di atas tanah. Ini merupakan komponen penting dalam memperkirakan jumlah karbon yang tersimpan pada pepohonan di dalam hutan. Biomassa di atas permukaan tanah memainkan peran penting dalam penyerapan karbon karena merupakan sumber karbon terbesar di ekosistem terestrial, yaitu sekitar 30% dari total sumber karbon ekosistem terestrial (Kumar dan Mutanga, 2017). Memperkirakan biomassa di atas permukaan tanah sangat penting untuk menilai cadangan karbon, memantau kesehatan hutan, dan memahami potensi penyerapan karbon di hutan. Para peneliti menggunakan berbagai metode, termasuk pengukuran lapangan, data penginderaan jauh, dan algoritma pembelajaran mesin, untuk menghitung biomassa di atas permukaan tanah secara akurat dan memprediksi stok karbon di ekosistem hutan.

Berbagai metode dapat digunakan untuk menghitung biomassa di atas permukaan tanah (AGB) guna memprediksi stok karbon di suatu hutan, antara lain pengukuran lapangan, data penginderaan jauh, dan model alometrik. Salah satu pendekatan yang umum dilakukan adalah memperkirakan AGB melalui pengambilan sampel di lapangan dan mengukur karakteristik pohon seperti diameter setinggi dada (DBH) dan tinggi pohon. Persamaan alometrik, yang menentukan hubungan antara dimensi pohon dan biomassa, sering digunakan untuk menghitung AGB (KHAN *et al.*, 2022; Tanaka *et al.*, 2009; Tanaka *et al.*, 2009; He, 2012). Teknologi penginderaan jauh seperti LiDAR dan data satelit, juga dapat digunakan untuk memperkirakan AGB di hutan. Dengan menganalisis indeks vegetasi, tinggi kanopi, dan parameter penginderaan jauh lainnya, peneliti dapat memperoleh nilai AGB untuk kawasan hutan yang luas (Cao *et al.*, 2014; Lim & Treitz, 2004; Oladoye *et al.*, 2022). Metode-metode ini menawarkan cara yang hemat biaya dan efisien untuk menilai AGB dan memprediksi stok karbon pada skala lanskap.

Estimasi cadangan karbon vegetasi berasal dari 47% total kandungan biomassa di atas permukaan tanah (IPCC, 2006). Persamaan yang digunakan untuk estimasi cadangan karbon yakni sebagai berikut:

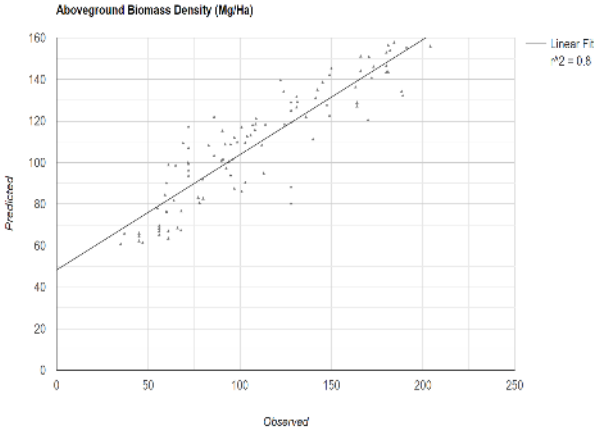
$$AGC = AGB \times 0{,}47 \quad \text{.....(1)}$$

Di mana:
AGC = *aboveground carbon stock,* AGC dan AGB memiliki satuan (ton/piksel).

Nilai ini dikonversi menjadi stok karbon dengan menerapkan faktor konversi yang memperhitungkan kandungan karbon dari berbagai komponen pohon. Langkah ini penting untuk menilai potensi penyerapan karbon di hutan. Transisi dari daerah pedesaan ke perkotaan dapat berdampak signifikan pada cadangan karbon hutan. Memantau lahan hutan dan menghitung perubahan cadangan karbon sangat penting di daerah yang mengalami urbanisasi untuk menilai dampak perubahan penggunaan lahan terhadap emisi karbon (Kiyono *et al.*, 2011).

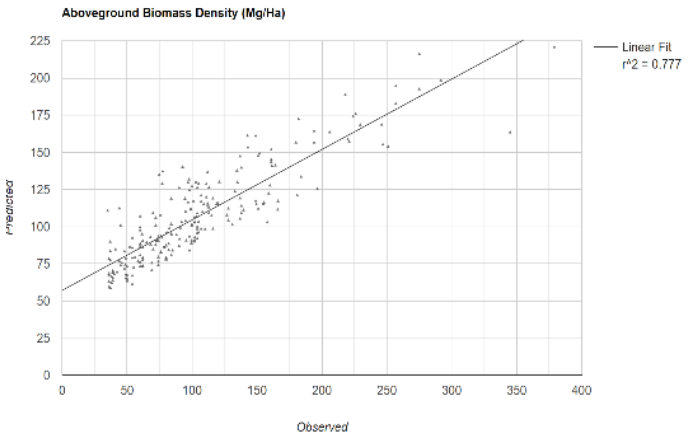
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penghitungan estimasi *Above Ground Biomass* menggunakan metode klasifikasi *Machine Learning* dari dataset yang digunakan pada tahun 2022 dan 2023 memiliki RMSE masing-masing 0,34 dan 0,23 sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan klasifikasi sudah cukup akurat sebagai nilai potensial estimasi dari *Above Ground Biomass*.



Sumber: Hasil analisis peneliti

Gambar 8. Nilai *Above Ground Biomass Density* Tahun 2023.



Sumber: Hasil analisis peneliti

Gambar 9. Nilai *Above Ground Biomass Density* Tahun 2022.

Nilai *Above Ground Biomass* untuk Kawasan Ibu Kota Nusantara (KIKN) dari hasil pengolahan data pada tahun 2022 dan 2023 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai *Above Ground Biomass Density dalam* Mg/ha.

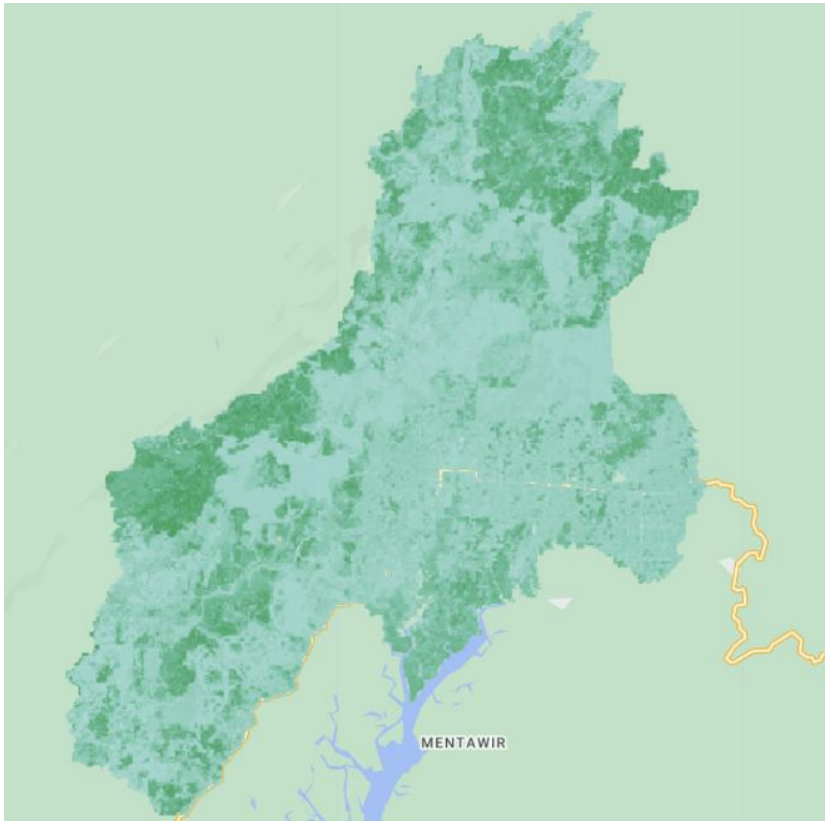
Tahun	Nilai Total AGBD	Nilai Maksimum AGBD	Nilai Minimum AGBD	Nilai Rata-Rata AGBD
2022	6.289.695,36	219,23	52,38	109,89
2023	5.046.925,12	158,47	56,51	88,18

Selain itu, nilai *aboveground carbon stock (*AGC) yang diperoleh dari hasil pengolahan data pada tahun 2022 dan 2023 dirangkum dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai *Above Ground Carbon Stock dalam* Mg.

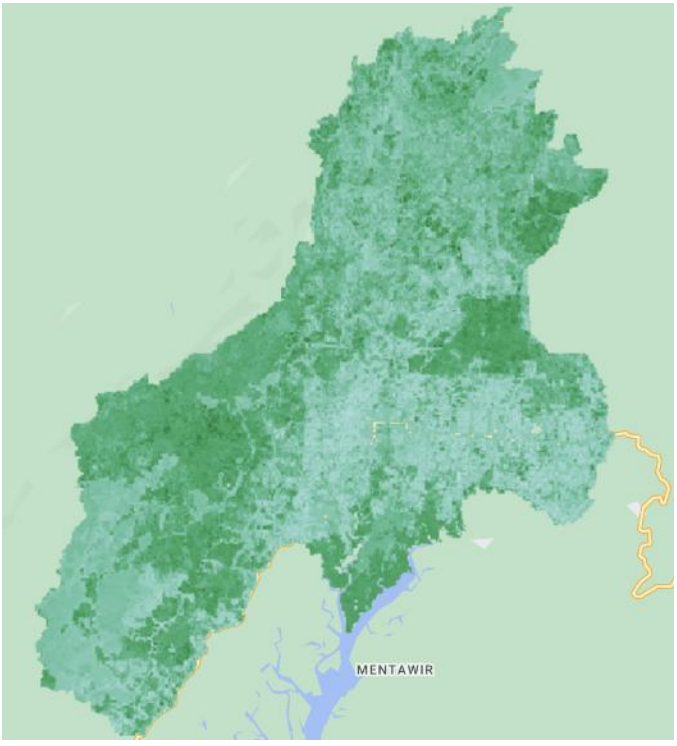
Tahun	Nilai Maksimum AGC	Nilai Minimum AGC	Nilai Rata-Rata AGC
2022	103,04	24,62	51,65
2023	74,48	26,56	41,44

Berdasar **Tabel 2** dan **Tabel 3** terlihat adanya perubahan nilai jumlah *Aboveground Biomass Density (ABGD)* dari dari kedua tahun tersebut. Total jumlah nilai ABGD tahun 2022 lebih banyak dengan perbedaan sekitar 1.242.770,24 Mg/ha dibandingkan tahun 2023 karena adanya perbedaan yang cukup signifikan pada wilayah Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) yang sedang mengalami perkembangan pembangunan aktif dari 2022 sampai dengan 2023 sehingga adanya pengurangan tutupan lahan vegetasi yang menyebabkan estimasi nilai *Above Ground Biomass* berkurang di tahun 2023. Sedangkan wilayah di luar KIPP tidak memiliki perbedaan signifikan dan masih didominasi oleh penggunaan lahan untuk vegetasi karena pembangunan wilayah penyangga IKN belum dilakukan pada tahap 1 pembangunan IKN.



Sumber: Hasil Analisis Peneliti

Gambar 10. Estimasi Nilai Above Ground Biomass Wilayah KIKN Tahun 2023.

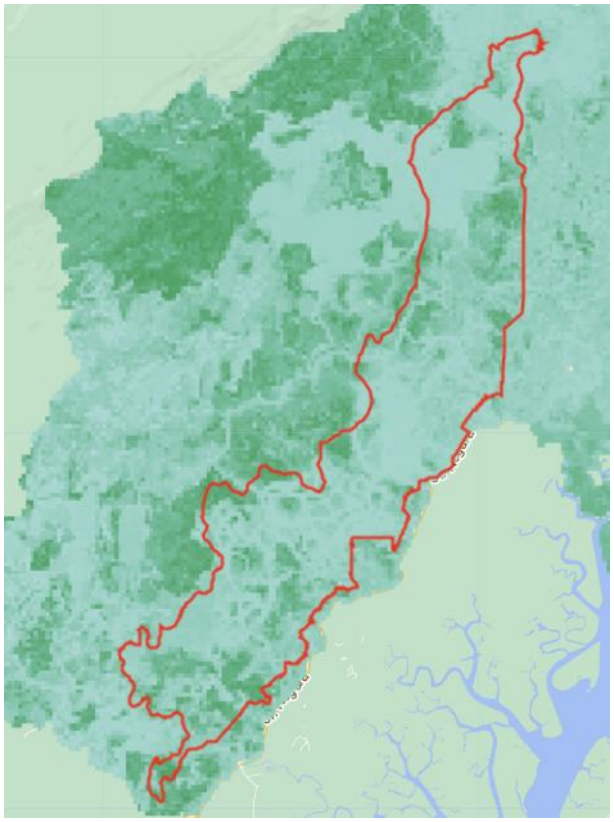


Sumber: Hasil Analisis Peneliti

Gambar 11. Estimasi Nilai Above Ground Biomass Wilayah KIKN Tahun 2022.

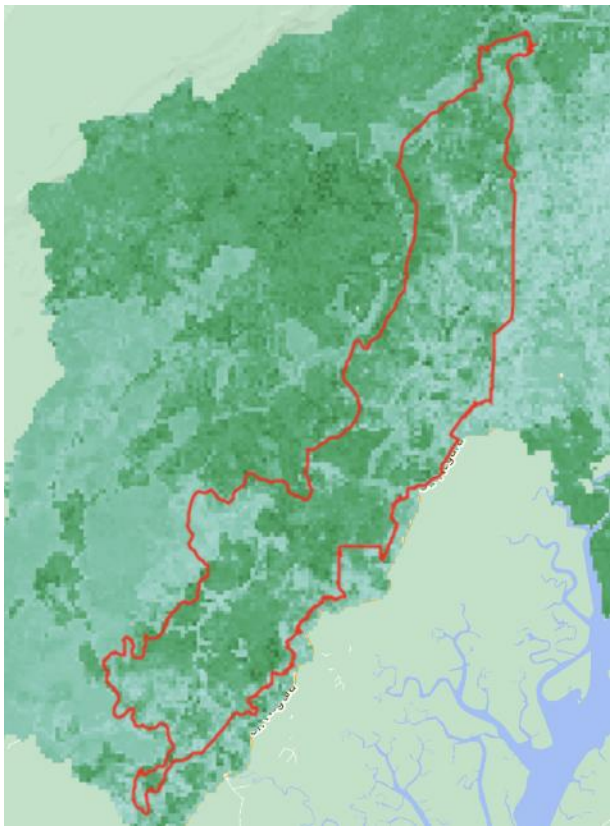
Perbandingan gambar estimasi *Above Ground Biomass di* Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) dengan ditandai polygon berwarna merah gelap pada tahun 2023 memiliki lebih sedikit warna hijau tua yang menandakan bahwa nilai *Above Ground Biomass* lebih kecil dibandingkan wilayah di sekitarnya. Sedangkan pada tahun 2022 lebih banyak memiliki warna hijau tua karena

masih terdapat lebih banyak persebaran vegetasi sebelum adanya perkembangan pembangunan di KIPP.



Sumber: Hasil Analisis Peneliti

Gambar 12. Estimasi Nilai Above Ground Biomass Wilayah KIPP Tahun 2023



Sumber: Hasil Analisis Peneliti

Gambar 13. Estimasi Nilai Above Ground Biomass Wilayah KIPP Tahun 2022

Jika dilihat pada nilai *Above Ground Carbon Stock (AGC)* pada tahun 2022 dan 2023 turut berbanding lurus dengan nilai *Aboveground Biomass Density (ABGD)* sehingga dapat dilihat pada Tabel 2, bahwa nilai *Above Ground carbon stock (AGC)* sangat mempengaruhi hasil dari analisa nilai *Above Ground Carbon Stock (ABGD)*.

Adanya selisih sebanyak 1.242.770,24 Mg/Ha untuk nilai total *Above Ground Biomass Density* memberikan informasi terkait berkurangnya jumlah kanopi pohon yang ada di Kawasan Ibu Kota Nusantara (KIKN) akibat adanya pembangunan yang dilakukan dari tahun 2022-2023. Hal ini turut mempengaruhi nilai maksimum dan minimum *ABGD* yang ada. Adapun penurunan nilai rata-rata *Above Ground Carbon Stock (ABGD)* sebanyak 10,02% dari tahun 2022 ke tahun 2023 menandakan kandungan karbon dari berbagai komponen pohon ikut menurun seiring adanya pembangunan yang signifikan di dalam Kawasan IKN sehingga potensi kemampuan dalam penyerapan karbon di area tersebut di tahun 2023 tidak semaksimal pada tahun 2022. Pembangunan dalam skala besar yang terus dilakukan di Kawasan IKN akan mengakibatkan adanya penurunan *Above Ground Carbon Stock (ABGD)* yang semakin besar tiap tahunnya. Hal ini tidak sesuai dengan prinsip IKN, yaitu pembangunan kota yang berkelanjutan, karena pembangunan yang terjadi akan berdampak pada perubahan iklim yang tidak menentu dan menurunnya kualitas lingkungan.

Sebagai kota yang memiliki tujuan "Kota Dunia Untuk Semua" dengan memiliki prinsip rendah emisi karbon, IKN berpegang pada program penghematan energi 60% untuk konservasi energi pada bangunan dan pemanfaatan infrastruktur dengan bahan bakar Listrik. Selain itu, IKN perlu memiliki jumlah ketersediaan kanopi pohon yang cukup dalam rangka untuk memaksimalkan penyerapan karbon yang ada dari kegiatan pembangunan yang akan dilakukan di IKN, khususnya dalam mendukung pembangunan berkelanjutan untuk Indonesia Emas 2045.

KESIMPULAN

Dari proses pengolahan data serta analisis hasil didapatkan perbandingan nilai maksimum dan minimum dari *Above Ground Biomass* pada tahun 2023 yang terlihat menurun daripada tahun 2022, sedangkan nilai minimum diantara keduanya hampir berada di nilai yang sama. Hal ini menandakan bahwa nilai keberadaan ataupun ukuran dari variabel vegetasi ikut mengalami penyusutan atau pengurangan varietas pada tahun 2023. Hal ini diakibatkan oleh pembangunan infrastruktur yang terjadi di Kawasan IKN dimana turut serta dalam mengurangi variabel vegetasi yang terdiri dari varietas vegetasi dan besaran kanopi pohon. Hal ini menyebabkan adanya penurunan kemampuan penyerapan karbon di lingkungan tersebut dan akan berdampak pada kualitas kehidupan yang direncanakan. Untuk mendukung pembangunan IKN sebagai pembangunan kota yang berkelanjutan, perlu dilakukan perencanaan lebih detail dalam mengganti kawasan hijau yang hilang agar masih dapat sesuai dengan prinsip IKN sebagai *smart city*, khususnya sebagai kota rendah emisi karbon.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad, E. and Muryunika, R. (2023). Above-ground carbon stock estimation based on vegetation index classes of succession burnt peatland forest area in jambi province. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1192(1), 012051. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1192/1/012051

Adimoolam, Y., Pillai, N., Gnanappazham, L., Mishra, D., & Dadhwal, V. (2022). Estimation of above ground volume of mangrove forest trees from terrestrial lidar data using supervised machine learning algorithms. https://doi.org/10.20944/preprints202210.0190.v1

Bayarsaikahan, U., Sukhbaatar, G., Dashzeveg, T., & Lobanov, A. (2021). Seed quality of larix sibirica ledeb. depending on the distance between forest areas and pollution sources around ulaanbaatar city of mongolia. Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal), (4), 23-35. https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-4-23-35

Bennett, A. C., Penman, T. D., Arndt, S. K., Roxburgh, S. H., & Bennett, L. T. (2020). Climate more important than soils for predicting forest biomass at the continental scale. Ecography, 43(11), 1692-1705. https://doi.org/10.1111/ecog.05180

Biau, G. and Scornet, E. (2016). A *Random Forest* guided tour. Test, 25(2), 197-227. https://doi.org/10.1007/s11749-016-0481-7

Boisen, M., Terlouw, K., Groote, P., & Couwenberg, O. (2018). Reframing place promotion, place marketing, and place branding - moving beyond conceptual confusion. Cities, 80, 4-11. https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.08.021

Breiman, L. (2001). Machine Learning, 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/a:1010933404324

Cao, L., Coops, N. C., Innes, J. L., Dai, J., & Guang-hui, S. (2014). Mapping above- and below-ground biomass components in subtropical forests using small-footprint lidar. Forests, 5(6), 1356-1373. https://doi.org/10.3390/f5061356

Chazdon, R., Brancalion, P., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., … & Wilson, S. (2016). When is a forest a forest? forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. Ambio, 45(5), 538-550. https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y

Chen, J., Li, X., Wang, K., Zhang, S., Jun, L., & Sun, M. (2022). Assessment of intertidal seaweed biomass based on rgb imagery. Plos One, 17(2), e0263416. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263416

He, Q. (2012). Estimation of coniferous forest above-ground biomass using lidar and spot-5 data. https://doi.org/10.1109/rsete.2012.6260562

Hosni, A., Teriman, S., Adnan, N., & Kamar, M. (2022). Above-ground biomass estimation for urban forest management using remote sensing. Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 1064(1), 012020. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1064/1/012020

IPCC.2006. Guielines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture,Forestry and other Land Use.4.

Jacob, M., Bade, C., Calvete-Sogo, H., Dittrich, S., Leuschner, C., & Hauck, M. (2012). Significance of over-mature and decaying trees for carbon stocks in a central european natural spruce forest. Ecosystems, 16(2), 336-346. https://doi.org/10.1007/s10021-012-9617-0

Joshi, G. P., Sharma, K. P., & Chettri, M. K. (2021). Vegetation structure and carbon stock of two community managed shorea robusta forests of dhangadhi, nepal. Amrit Research Journal, 2(01), 11-18. https://doi.org/10.3126/arj.v2i01.39883

Kamal, M. (2022). Prospects for the new capital city policy in law and economic perspectives. Substantive Justice International Journal of Law, 5(1), 86. https://doi.org/10.56087/substantivejustice.v5i1.205

Khan, K., Listyanto, T., & Soraya, E. (2022). Moisture content, density, and allometric model for estimating above-ground biomass of peronema canescens trees in the private forest. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 23(2). https://doi.org/10.13057/biodiv/d230258

Kiyono, Y., Saitô, S., Takahashi, T., Toriyama, J., Awaya, Y., Asai, H., … & Maeda, M. (2011). Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. Japan Agricultural Research Quarterly Jarq, 45(2), 233-242. https://doi.org/10.6090/jarq.45.233

Kumar, L. Mutanga, O. (2017). Remote sensing of above-ground biomass. Remote Sensing, 9(9), 935. https://doi.org/10.3390/rs9090935

Kurniawan, I., Bisri, M., Suhartanto, E., Septiangga, B., & Munajad, R. (2021). Projecting land use changes and its consequences for hydrological response in the new capital city of indonesia. Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 930(1), 012044. https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012044

Lee, S., Lee, S., Shin, J., Yim, J., & Kang, J. (2020). Assessing the carbon storage of soil and litter from national forest inventory data in south korea. Forests, 11(12), 1318. https://doi.org/10.3390/f11121318.

Li, W., Wu, J., Liu, L., Li, Y., & Chen, E. (2020). Correlation analysis for tropical forest above ground biomass and vertical reflectivity profile. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, V-3-2020, 111-115. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-v-3-2020-111-2020

Lim, K. and Treitz, P. (2004). Estimation of above ground forest biomass from airborne discrete return laser scanner data using canopy-based quantile estimators. Scandinavian Journal of Forest Research, 19(6), 558-570. https://doi.org/10.1080/02827580410019490

Marçal, M., Souza, Z., Tavares, R., Farhate, C., Oliveira, S., & Galindo, F. (2021). Predictive models to estimate carbon stocks in agroforestry systems. Forests, 12(9), 1240. https://doi.org/10.3390/f12091240

Nasihin, I., Hendrayana, Y., & Lestari, N. I. (2022). Tree diversity and carbon stock in bungkirit urban forest, kuningan district. Proceedings of the 2nd Universitas Kuningan International Conference on System, Engineering, and Technology, UNISET 2021, 2 Dec. https://doi.org/10.4108/eai.2-12-2021.2320226

Oladoye, A., Ojekunle, O., Ige, P., Basiru, A., Oyelowo, O., Ojo, D., … & Ojo, E. (2022). Carbon stock in above and below ground biomass of three age series of pinus carribaea and nauclea diderrichii plantations; omo forest, area j4 ogun state, nigeria. Asian Journal of Environment & Ecology, 58-70. https://doi.org/10.9734/ajee/2022/v17i230290

Rachmawati, R., Haryono, E., Ghiffari, R., Reinhart, H., Permatasari, F., & Rohmah, A. (2021). Best practices of capital city relocation in various countries: literature review. E3s Web of Conferences, 325, 07004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132507004

Saatchi, S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M. A., Mitchard, E. T. A., Salas, W., … & Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(24), 9899-9904. https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108

Sasaki, N. and Putz, F. (2009). Critical need for new definitions of "forest" and "forest degradation" in global climate change agreements. Conservation Letters, 2(5), 226-232. https://doi.org/10.1111/j.1755-263x.2009.00067.x

Sharma, R. (2021). Ensemble Learning of Multi-Source Satellite Sensors Dataset for Estimating Forest Biomass in New England Region. https://doi.org/10.20944/preprints202102.0338.v1

Strobl, C., Boulesteix, A., Zeileis, A., & Hothorn, T. (2007). Bias in *Random Forest* variable importance measures: illustrations, sources and a solution. BMC Bioinformatics, 8(1). https://doi.org/10.1186/1471-2105-8-25

Tanaka, K., Ichie, T., Hattori, D., Itioka, T., Handa, C., Ohkubo, T., … & Ninomiya, I. (2009). Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in sarawak, malaysia. Journal of Tropical Ecology, 25(4), 371-386. https://doi.org/10.1017/s0266467409006129

Tavasoli, N. and Arefi, H. (2020). Comparison of capability of sar and optical data in mapping forest above ground biomass based on machine learning. Iecg 2020. https://doi.org/10.3390/iecg2020-07916

Teo, H., Lechner, A., Sagala, S., & Campos-Arceiz, A. (2020). Environmental impacts of planned capitals and lessons for indonesia's new capital. Land, 9(11), 438. https://doi.org/10.3390/land9110438

Wassihun, A., Hussin, Y., Leeuwen, L., & Latif, Z. (2019). Effect of forest stand density on the estimation of above ground biomass/carbon stock using airborne and terrestrial lidar derived tree parameters in tropical rain forest, malaysia. Environmental Systems Research, 8(1). https://doi.org/10.1186/s40068-019-0155-z

Wu, D., Shao, Q., & Li, J. (2013). Effects of afforestation on carbon storage in boyang lake basin, china. Chinese Geographical Science, 23(6), 647-654. https://doi.org/10.1007/s11769-013-0618-5

Xu, H.Q. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. Int. J. Remote Sens. 2006, 27, 3025–3033.

Yasminnajla, F. (2023). Identification of land cover changes and its impact on biodiversity in kalimantan island. Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 1276(1), 012029. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1276/1/012029

Zhang, D., Zheng, H., Ren, Z., Zhai, C., Shen, G., Mao, Z., … & He, X. (2015). Effects of forest type and urbanization on carbon storage of urban forests in changchun, northeast china. Chinese Geographical Science, 25(2), 147-158. https://doi.org/10.1007/s11769-015-0743-4

URGENSI KETERBUKAAN DATA DAN INFORMASI GEOSPASIAL UNTUK PUBLIK DALAM MENCIPTAKAN PEMBANGUNAN IBU KOTA NUSANTARA YANG BERKUALITAS

(The Urgency of Geospatial Data and Information Disclosure for the Public in Creating of Quality Development of the Nusantara Capital City)

Gabela Evitasari Yulinda dan Akbar Hiznu Mawanda
Badan Informasi Geospasial

Jalan Raya Bogor KM. 48, Cibinong, Bogor
E-mail: gabela.evitasari@big.go.id

ABSTRAK

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, Ibu Kota Negara adalah kota tempat kedudukan pusat pemerintahan suatu negara atau tempat dihimpun unsur administratif eksekutif, legislatif, dan yudikatif. Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2007 menetapkan Jakarta sebagai Ibu Kota Negara Kesatuan Republik Indonesia. Namun seiring waktu timbul permasalahan karena Jakarta tidak hanya menjadi pusat pemerintahan akan tetapi juga menjadi pusat seluruh aktivitas antara lain perdagangan, jasa keuangan, jasa perusahaan, industri, dan bahkan hiburan. Hal ini yang melatarbelakangi dicetuskannya pemilihan dan pembangunan Ibu Kota Negara yang baru sebagai pusat pemerintahan. Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara mengamanahkan bahwa masyarakat dapat berpartisipasi dalam proses pembangunan Ibu Kota Negara. Sejalan dengan hal tersebut, keterbukaan data dan Informasi Geospasial menjadi penting sebagai salah satu bahan bagi publik untuk terlibat dalam mendukung pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) yang berkualitas. Penelitian ini menggunakan metode analisis berbasis regulasi, yang mana identifikasi dan analisis permasalahan berdasarkan pada pendekatan melalui peraturan perundang-undangan. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui sejauh mana keterlibatan publik dalam mendukung pembangunan Ibu Kota Nusantara telah diberikan ruang oleh Pemerintah sebagaimana amanah Undang-Undang. Menyadari pentingnya keterbukaan data dan informasi geospasial terkait dengan Ibu Kota Nusantara ke publik menjadi hal yang esensial. Kelengkapan data dan informasi geospasial yang memadai menjadikan partisipasi masyarakat berjalan efektif dalam pembangunan Ibu Kota Nusantara. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan untuk mewadahi peran publik dalam menciptakan pembangunan Ibu Kota Nusantara yang berkualitas.

Kata kunci: keterbukaan data dan informasi, partisipasi, pembangunan IKN

ABSTRACT

According to Kamus Besar Bahasa Indonesia, The National Capital is the city where the center of government of a country is located or where the executive, legislative, and judicial administrative elements are gathered. Law Number 29 of 2007 establishes Jakarta as the capital of the Unitary State of the Republic of Indonesia. However, over time problems arose because Jakarta was not only the center of government but also the center of all activities, including trade, financial services, corporate services, industry, and even entertainment. These problems are the background to the selection and development of the new National Capital as the center of government. Law Number 3 of 2022 concerning the National Capital mandates that the public can participate in the development process of the National Capital. This is under the importance of openness of Geospatial data and information as a material for the public to support the development of a quality Indonesian capital city. This research uses a regulation-based analysis method, and regulations are used to identify and analyze problems. This research aims to determine the extent of public involvement in supporting the development of the Indonesian Capital City as mandated by law. The results can be used as input to create quality development of the National Capital City.

***Keywords**: development of IKN, participation, openness of data and information*

PENDAHULUAN

Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2007 menetapkan Jakarta sebagai Ibu Kota Negara Kesatuan Republik Indonesia. Namun seiring waktu timbul permasalahan karena Jakarta tidak

hanya menjadi pusat pemerintahan akan tetapi juga menjadi pusat seluruh aktivitas antara lain perdagangan, jasa keuangan, jasa perusahaan, industri, dan bahkan hiburan. Hal ini yang melatarbelakangi dicetuskannya pemilihan dan pembangunan Ibu Kota Negara yang baru sebagai pusat pemerintahan.

Melihat pada sejarah mengenai penetapan Jakarta sebagai pusat bersumber pada kegiatan utama dalam sejarah kolonialisme di Nusantara. Jakarta merupakan warisan dari Pemerintahan Kolonial Hindia Belanda hasil dari pengembangan kota pelabuhan Jayakarta pada tahun 1619. Pemilihan lokasi ibu kota Hindia Belanda ini berdasarkan pertimbangan kepemilikan hak monopoli yang dimiliki oleh VOC atas perdagangan dan aktivitas kolonial di wilayah Jayakarta. Secara *de jure* sejak 1961, Jakarta ditetapkan sebagai Ibu Kota Negara Republik Indonesia berdasarkan Penetapan Presiden Nomor 2 Tahun 1961 jo. Undang-Undang PNPS Nomor 2 Tahun 1961. Setelah itu berbagai Undang-Undang kembali menetapkan Jakarta sebagai Daerah Khusus Ibu Kota (DKI), mulai dari Undang-Undang Nomor 11 Tahun 1990, Undang-Undang Nomor 34 Tahun 1999, dan yang masih berlaku hingga saat ini yaitu Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2007 tentang Pemerintahan Provinsi Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta sebagai Ibu Kota Negara Kesatuan Republik Indonesia. Seluruh rangkaian peraturan yang disahkan sejak tahun 1961 hingga 2007 adalah peraturan yang menetapkan Jakarta sebagai Ibu Kota Negara, yang kemudian di dalamnya mengatur tentang hal-hal mengenai tata kelola, bentuk, dan susunan pemerintahan di Jakarta.

Kamus Besar Bahasa Indonesia mendefinisikan Ibu Kota Negara sebagai kota tempat kedudukan pusat pemerintahan suatu negara atau tempat dihimpun unsur administratif eksekutif, legislatif, dan yudikatif. Keberadaan ibu kota dalam suatu negara menjadi simbol identitas bangsa yang membentuk negara tersebut. Ibu kota negara juga merupakan pusat politik dan memiliki fungsi penting sebagai wujud sebuah kekuasaan.

Di sisi lain, Provinsi DKI Jakarta dalam kedudukannya sebagai daerah otonom pada tingkat provinsi selalu berhadapan dengan permasalahan diantaranya urbanisasi, transportasi, lingkungan, keamanan, pengelolaan kawasan khusus, dan masalah sosial kemasyarakatan lain yang sudah dirasa memerlukan pemecahan masalah secara sinergis melalui berbagai instrumen. Permasalahan tersebut muncul disebabkan Jakarta saat ini tidak hanya menjadi pusat pemerintahan saja akan tetapi juga menjadi pusat segala aktivitas antara lain pusat perdagangan, pusat jasa keuangan, pusat jasa perusahaan, bahkan hingga pusat hiburan. Posisi Jakarta yang saat ini menjadi pusat segala aktivitas fundamental menjadi daya tarik yang sangat kuat bagi masyarakat dari seluruh penjuru Indonesia. Kesempatan untuk mendapatkan lapangan pekerjaan, pendidikan, dan merasakan berbagai fasilitas yang lengkap menjadi magnet kuat bagi masyarakat dalam negeri maupun pendatang dari luar negeri untuk datang ke Jakarta. Hal ini yang mengakibatkan peningkatan terus menerus terjadi setiap tahunnya terhadap jumlah penduduk, baik disebabkan pertumbuhan alami maupun faktor migrasi.

Dengan tingginya daya tarik melalui faktor pemerintahan, ekonomi, dan politik menyebabkan tingginya kegiatan urbanisasi yang perlu diimbangi dengan kemampuan kota dalam memfasilitasi kebutuhan semua penduduknya. Seiring bertambahnya penduduk berarti bertambah pula kebutuhan akan ruang dan sarana prasarana yang semakin sulit dipenuhi di Jakarta. Beberapa permasalahan yang sering dijumpai saat ini yaitu wilayah Jakarta yang menjadi daerah rawan banjir, pencemaran, kerusakan lingkungan hidup, dan tingkat kemacetan tinggi yang juga tidak terbendung. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daya tampung, daya dukung lingkungan Jakarta sudah berat serta adanya keterbatasan pengembangan lahan.

Berdasarkan permasalahan yang dihadapi Jakarta seperti laju urbanisasi yang tinggi, tingkat kemacetan tinggi yang berimplikasi pada kualitas udara yang tidak sehat, keterbatasan suplai air baku, banjir tahunan, dan penurunan muka tanah serta ancaman potensi gempa. Hal inilah yang mendasari tercetusnya pemikiran untuk pemindahan Ibu Kota Negara ke wilayah lain yang dirasa menjadi keniscayaan.

Pembangunan Ibu Kota Nusantara yang baru dirancang mempunyai fungsi sentral dan menjadi simbol suatu negara untuk menunjukkan jati diri bangsa dan negara. Rencana Induk yang menjadi acuan penyusunan perencanaan serta pelaksanaan pembangunan dan pemindahan Ibu Kota Negara telah disusun melalui Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara. Undang-Undang Ibu Kota Negara diterbitkan dalam rangka mengisi kekosongan hukum atas

ketiadaan Undang-Undang yang mengatur secara khusus tentang Ibu Kota Negara. Undang-Undang Ibu Kota Negara ini dapat menjadi dasar pemecah masalah yang di dalamnya mengatur secara khusus tentang berbagai aspek kebutuhan pengelolaan Ibu Kota Negara. Disamping itu dalam Undang-Undang Ibu Kota Negara juga telah mengamanatkan bahwa masyarakat dapat berpartisipasi dalam proses persiapan, pembangunan, pemindahan, dan pengelolaan Ibu Kota Negara melalui kegiatan dalam bentuk konsultasi publik, musyawarah, kemitraan, penyampaian aspirasi, dan/atau keterlibatan lain sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Partisipasi Masyarakat

Partisipasi merupakan salah satu elemen penting dalam tata kelola (*governance*) maka untuk mendorong terciptanya tata kelola yang baik (*good governance*), banyak organisasi memilih isu partisipasi sebagai strategi awal mewujudkan *good governance*. Prinsip dasar yang perlu diperankan oleh pelaksana pembangunan dalam hal pelibatan masyarakat untuk mendukung pelaksanaan pembangunan wilayah sebagai berikut:

a. Menempatkan masyarakat sebagai pelaku yang sangat menentukan dalam proses pembangunan;
b. Memposisikan pemerintah sebagai fasilitator dalam proses pembangunan;
c. Menghormati hak yang dimiliki masyarakat serta menghargai kearifan lokal dan keberagaman sosial budaya;
d. Menjunjung tinggi keterbukaan;
e. Memperhatikan perkembangan teknologi dan profesional.

Prinsip-prinsip tersebut di atas dimaksudkan agar masyarakat sebagai pihak yang paling terkena akibat dari pembangunan wilayah, khususnya dalam hal penataan ruang, harus dilindungi dari berbagai faktor tekanan dan paksaan pembangunan yang diletigimasi oleh birokrasi, yang seringnya tidak dipahami oleh masyarakat. Perlu diingat bahwa masyarakat sebagai bagian dari Rakyat Indonesia sudah sepatutnya mendapatkan perlindungan Hak Asasi Manusia dalam pembangunan wilayah. Beberapa strategi yang dapat dilakukan dalam mendorong proses partisipasi sebagai berikut:

a. Peningkatan kesadaran
    1. Memperkaya konsep-konsep pembangunan partisipatoris dalam pengambilan keputusan publik.
    2. Mendorong kesadaran eksekutif dan legislatif agar lebih membuka diri terhadap partisipasi masyarakat/publik, melalui kegiatan seminar, workshop, dan pelatihan untuk mengangkat aspek partisipasi ke dalam proses pembangunan.
    3. Mendorong permintaan yang lebih besar untuk partisipasi dan akuntabilitas dengan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang kebutuhan dan hak untuk berpartisipasi dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan publik. Kegiatan utama yang dilaksanakan dapat berupa pendampingan, pelantihan, serta sosialisasi publik.
b. Advokasi kebijakan
    1. Membangun *legal framework* berupa kebijakan dan peraturan yang mendorong partisipasi.
    2. Memberikan insentif/penghargaan terhadap inovasi untuk mendorong partisipasi.
    3. Mendorong terbentuknya berbagai partnership antara pemerintah dengan komponen *civil society* dengan jalan mendesain dan melakukan uji coba proyek-proyek inovatif dan partisipatif.
    4. Memantau program/proyek pemerintah khususnya yang mengandung komponen partisipasi.
c. Pengembangan institusi
    1. Mendorong terbentuknya forum sebagai wujud konsultasi publik.

2. Memperbaiki kualtitas partisipasi antara lain dengan menjamin keterlibatan kelompok marjinal dalam proses partisipasi.

d. Pengembangan kapasitas
   1. Mengembangkan berbagai metode alternatif dan teknik-teknik partisipasi.
   2. Membangun sistem informasi dan komunikasi yang baik di berbagai komunitas.
   3. Meningkatkan pelatihan penggunaan metode partisipatoris baik untuk aparat pemerintah, aktivis, Lembaga Swadaya Masyarakat maupun masyarakat.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, penulis dalam hal ini memilih strategi di bidang advokasi kebijakan sebagai pokok analisis, yaitu membangun kebijakan dan peraturan yang dapat mendorong partisipasi.

Keterbukaan Data dan Informasi Geospasial

Dalam rangka mewujudkan pembangunan Ibu Kota Nusantara yang berkualitas perlu adanya keterlibatan masyarakat yang diwadahi oleh pemerintah. Dengan membuka pelibatan publik diharapkan dapat:

1. Tercipta kesepakatan dan aturan main dalam rangka mewujudkann keadilan sosial atas pembangunan suatu wilayah yang disusun sesuai dengan aspirasi masyarakat.
2. Meningkatnya rasa cinta dan memiliki masyarakat terhadap program pembangunan wilayah yang sejalan dengan terakomodasinya aspirasi masyarakat.
3. Meningkatnya peran serta aktif masyarakat dalam pembangunan Ibu Kota Nusantara maka good governance dapat diwujudkan yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas pembangunan wilayah. Hal ini terjadi disebabkan karena penyelenggaraan pembangunan wilayah tersebut akan lebih bisa dilakukan secara transparan, akuntabel, bermoral, dan beretika.
4. Meningkatnya legitimasi program pembangunan Ibu Kota Nusantara yang disepakati secara bersama-sama yang pada akhirnya secara sejalan juga dapat mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan.

Untuk mewujudkan hal-hal tersebut di atas, Pemerintah dapat memulai dengan membangun kebijakan dan peraturan yang dapat mendorong partisipasi masyarakat dengan memberikan publik ruang untuk memanfaatkan data dan informasi sebagai bahan dalam menyalurkan aspirasinya. Kadangkala, kendala yang dimiliki oleh masyarakat untuk terlibat dalam program pemerintah, selain tidak diberikannya ruang gerak untuk berperan aktif, namun juga pemerintah belum sepenuhnya memberikan kesempatan pada masyarakat untuk mendapatkan maupun memanfaatkan data dan informasi terkait.

Pemerintah telah menerbitkan peraturan melalui Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta yang mencabut peraturan sebelumnya yaitu Keputusan Presiden Nomor 20 Tahun 2018 dengan judul peraturan yang sama. Latar belakang dicabutnya Keputusan Presiden Nomor 20 Tahun 2018 adalah memperluas akses berbagi data dan informasi geospasial kepada masyarakat melalui jaringan informasi geospasial nasional.

Pasal 2 Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta mengatur bahwa data dan informasi geospasial diperuntukkan untuk pemegang akses yang terdiri atas:

a. Presiden/Wakil Presiden;
b. Menteri Koordinator Bidang Perekonomian;
c. Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional;

d. Kepala Badan Informasi Geospasial;
e. menteri atau pimpinan lembaga;
f. gubernur;
g. bupati/wali kota; dan
h. masyarakat.

Selanjutnya dalam Pasal 2 ayat (5) dijelaskan bahwa masyarakat terdiri dari orang perseorangan, badan usaha, dan badan hukum.

METODE

Tulisan ini disusun dari hasil penelitian. Karena penelitiannya yang bersifat yuridis normatif dan sesuai dengan karakter perspektif ilmu hukum yaitu hukum sebagai norma sosial, maka pendekatan yang digunakan penulis dalam proses pembuatan tulisan ini adalah pendekatan Peraturan Perundang-undangan (*statue approach*) dan pendekatan konseptual (*conceptual approach*). Pendekatan peraturan perundang-undangan dilakukan dengan menalaah peraturan perundang-undangan. Sedangkan pendekatan konseptual dilakukan dengan menelaaah kerangka filosofis dan konsep-konsep hukum umum yang terdapat di literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta melahirkan rezim hukum baru dalam pelaksanaan percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta, khususnya dari sisi keterbukaan informasi publik terhadap hasil dari pelaksanaan kebijakan tersebut. Keputusan presiden ini sendiri merupakan bagian tidak terpisahkan dari Peraturan Presiden Nomor 23 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 9 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1:50.000. Sebuah peraturan presiden yang dikeluarkan untuk merekonstruksi penerapan percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta yang sebelumnya telah diatur melalui Peraturan Presiden Nomor 9 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1:50.000.

Sebelumnya, kebijakan mengenai akses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta diatur melalui Keputusan Presiden Nomor 20 Tahun 2018 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta. dalam Pasal 2 Keputusan Presiden Nomor 20 Tahun 2018 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta, data dan informasi geospasial hasil dari percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta hanya dapat diakses oleh:

a. Presiden dan Wakil Presiden;
b. Menteri Koordinator Bidang Perekonomian;
c. Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional;
d. Kepala Badan Informasi Geospasial;
e. menteri atau pimpinan lembaga;
f. gubernur; dan
g. bupati/wali kota.

Dari daftar pemegang akses, dapat dilihat bahwa unsur masyarakat atau publik tidak masuk menjadi unsur pemegang akses data dan informasi geospasial hasil dari percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta.

Implementasi dari kebijakan penentuan pemegang akses data dan informasi geospasial hasil dari percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta sebagaimana dimaksud dalam Keputusan

Presiden Nomor 20 Tahun 2018 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta, termasuk dalam kerangka pembangunan Ibu Kota Negara, masih bisa dirasakan hingga saat ini. Masyarakat atau publik masih tidak bisa mengakses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta yang terkait dengan pembangunan Ibu Kota Nusantara seperti Peta Izin Pemanfaatan Kawasan Hutan, Peta Wilayah Izin Usaha Pertambangan, Peta Tanah Ulayat Hak Komunal, Peta Hak Guna Bangunan, Peta Izin Lokasi, dan Peta Hutan Adat.

Ketiadaan unsur masyarakat ini cenderung menciptakan sentimen negatif terhadap implementasi dari Kebijakan Satu Peta. dalam sebuah *press release* yang diterbitkan oleh Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (Walhi) pada tanggal 23 Juni 2020, kebijakan satu peta yang awalnya bertujuan sebagai bagian dari penyelesaian konflik tumpang tindih atas ruang pada akhirnya hanya berjalan atas dasar konsensus yang dibuat antarkementerian dan lembaga. Kondisi tersebut kemudian diperburuk dengan tertutupnya akses publik yang berdampak pada Kebijakan Satu Peta berjalan tanpa adanya pengawasan dan kontrol publik dan berakibat pada ketidaktahuan publik tentang sejauh mana informasi geospasial itu dikompilasi, diintegrasikan, maupun disinkronisasi dalam kerangka Kebijakan Satu Peta.

Secara filosofis, Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta ditujukan untuk membawa perubahan sangat signifikan dalam pelaksanaan kebijakan satu peta terutama dalam rezim siapa saja yang diberikan kewenangan untuk mengakses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta. Sesuai dengan ketentuan Pasal 2 ayat (1) huruf h Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta, masyarakat muncul menjadi salah satu pemegang akses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta. Berdasarkan ketentuan Pasal 2 ayat (5) dari keputusan presiden tersebut, masyarakat memiliki definisi yaitu orang perorangan, badan usaha, dan badan hukum. dalam kerangka pembangunan Ibu Kota Nusantara, masuknya masyarakat sebagai pemegang akses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta akan memperbesar ruang partisipasi publik yang bermakna (*meaningful participation*) dalam pembangunan Ibu Kota Nusantara.

Meskipun secara prinsip keran keterbukaan informasi sekaligus partisipasi publik dalam pembangunan Ibu Kota Nusantara sudah dibuka selebar-lebarnya, namun dalam tataran praktis kebijakan ini masih belum implementatif. Sesuai dengan ketentuan Pasal 4 Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta, disebutkan bahwa pemegang akses yaitu: (a) Presiden dan Wakil Presiden; (b) Menteri Koordinator Bidang Perekonomian; (c) Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional; (d) Kepala Badan Informasi Geospasial, diberikan akses dengan klasifikasi akses mengunduh dan melihat data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta. Sedangkan sesuai dengan ketentuan Pasal 5 Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta, pemegang akses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksnaan kebijakan satu peta yang terdiri atas: (a) menteri atau pimpinan lembaga; (b) gubernur; (c) bupati/wali kota; dan (d) masyarakat, mendapat akses dengan klasifikasi mengunduh dan/atau melihat.

Konsekuensi dari penggunaan istilah ”dan/atau” dalam rumusan pasalnya adalah munculnya beragam variasi opsi klasifikasi akses yang akan diberikan untuk masyarakat. Mulai dari hanya bisa melihat, hanya bisa mengunduh, sampai dengan bisa melakukan keduanya. Selain itu, keputusan presiden ini juga tetap memberi ruang untuk menyatakan sebuah data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta sebagai informasi yang tertutup. Ini dapat dilihat di dalam ketentuan Pasal 3 ayat (4) Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi

Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta. Variatifnya opsi akses yang bisa diberikan kepada masyarakat ini berpotensi menjadi pedang bermata dua. Satu sisi berpotensi memberikan keuntungan untuk masyarakat. Namun di sisi lain, beresiko mempertahankan *status quo* yang mana masyarakat tetap tidak bisa secara bebas mengakses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta.

Berdasarkan ketentuan Pasal 5 ayat (2) Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta, pelaksanaan kewenangan akses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Ketentuan ini memberikan ketidakjelasan terkait peraturan perundang-undangan mana yang dimaksudkan dalam pasal tersebut. dalam tataran normatif, terdapat dua regulasi yang khusus mengatur hal ini yaitu Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Nomor 6 Tahun 2018 tentang Klasifikasi Kewenangan Akses Untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta dan Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Nomor 7 Tahun 2018 tentang Tata Kelola Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta. Dua regulasi tersebut merupakan amanat dari Keputusan Presiden Nomor 20 Tahun 2018. Namun dalam bagian A.7 Lampiran Peraturan Presiden Nomor 23 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 9 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1:50.000, terdapat tanggung jawab yang diberikan Presiden kepada Badan Informasi Geospasial untuk menetapkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial tentang Mekanisme dan Tata Kerja Berbagi Pakai Data dan Informasi Geospasial Kebijakan Satu Peta.

Keberadaan dua regulasi dan satu calon regulasi ini tentu berpotensi menimbulkan tumpang tindih regulasi terkait pelaksanaan kewenangan akses data dan informasi geospasial hasil percepatan pelaksanaan kebijakan satu peta. Situasi ini tentu harus diselesaikan segera oleh pemerintah agar keterbukaan data dan informasi geospasial untuk publik dalam mendukung pembangunan Ibu Kota Nusantara yang berkualitas yang menjadi menjadi salah satu cita-cita dalam Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2023 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara dapat terwujud.

KESIMPULAN

Salah satu sarana untuk mewujudkan asas dan prinsip Pembangunan Ibu Kota Nusantara sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2023 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara adalah keterlibatan masyarakat dalam pembangunan Ibu Kota Negara. Keterlibatan masyarakat dalam pembangunan Ibu Kota Nusantara semakin terlihat ketika terdapat pengaturan mengenai partisipasi masyarakat sebagaimana tercantum dalam Pasal 37 Undang-Undang tersebut. Agar partisipasi masyarakat yang dicita-citakan oleh undang-undang ini terwujud, maka keterbukaan data dan informasi geospasial yang terkait dengan Ibu Kota Nusantara ke publik menjadi hal yang esensial. Oleh sebab itu, pemerintah perlu segera memastikan kelengkapan dan keharmonisan regulasi yang akan menjadi dasar pelaksanaan akses data dan informasi geospasial khususnya hasil percepatan pelakasanaan kebijakan satu peta. Dengan dilengkapi data dan informasi geospasial yang memadai, maka partisipasi masyarakat akan sangat efektif dalam pembangunan Ibu Kota Nusantara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Informasi Geopasial khususnya Kepala Biro Perencanaan, Kepegawaian, dan Hukum, Bapak Akhmad Yulianto Basuki, dan Koordinator Hukum dan Perundang-undangan, Ibu Ida Suryani, yang telah mendukung penulis dalam memberikan

berbagai data serta izin sehingga penelitian ini bisa tetap dilakukan dan menghasilkan tulisan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan kelompok kerja hukum dan perundang-undangan yang telah memberikan dukungan moral kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tulisan ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Sumaatmadja, Nursid. (1988). Geografi Pembangunan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.

Hadjon, Philipus M. (1993). Pengantar Hukum Administrasi Indonesia. Gadjah Mada Indonesia University Press.

Budiharjo, Eko. (1998). Kota yang Berkelanjutan (*Suistanable City*). UI Press.

Sumarto, Hetifah Sj. (2003). Inovasi, Partisipasi, dan Good Governance. Yayasan Obor Indonesia.

RI (Republik Indonesia). (2022). Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara. Sekretariat Negara. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2023). Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2023 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara. Sekretariat Negara. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2010). Peraturan Pemerintah Nomor 68 Tahun 2010 tentang Bentuk dan Tata Cara Peran Masyarakat dalam Penataan Ruang. Sekretariat Negara. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2021). Peraturan Presiden Nomor 23 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 9 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1:50.000. Sekretariat Negara. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2018). Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Nomor 6 Tahun 2018 tentang Klasifikasi Kewenangan Akses Untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2018). Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Nomor 7 Tahun 2018 tentang Tata Kelola Berbagi Data dan Informasi Geospasial Melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2023). Keputusan Presiden Nomor 28 Tahun 2023 tentang Kewenangan Akses untuk Berbagi Data dan Informasi Geospasial melalui Jaringan Informasi Geospasial Nasional dalam Kegiatan Percepatan Kebijakan Satu Peta. Sekretariat Negara. Jakarta.

IDENTIFIKASI BENTUK DAN DISTRIBUSI PUSAT RUANG PERKOTAAN

Pendekatan Utilisasi Big Data dan Analisis Spasial pada Kawasan Perkotaan Yogyakarta

(Identification of Urban Forms and Distribution of Urban Centers: Utilizing a Big Data Approach and Spatial Analysis in the Yogyakarta Urban Area)

Nugroho Purwono
Pusat Riset Kependudukan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Jl. Gatot Subroto No.10, Kuningan Barat, Kec. Mampang Prpt., Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta, 12710
E-mail: inugpurwono@gmail.com

ABSTRAK

Identifikasi bentuk ruang perkotaan menjadi hal penting dalam perencanaan wilayah dan kota. Seiring dengan pesatnya perkembangan fenomena urbanisasi yang dipicu oleh pembangunan infrastruktur, pertumbuhan ekonomi, dan faktor demografi, identifikasi pusat perkotaan menjadi krusial dan memerlukan pendekatan yang lebih inovatif. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi pusat ruang perkotaan dan distribusi spasialnya dengan memanfaatkan teknologi dan informasi data spasial, khususnya pendekatan utilisasi *big data*. Secara konseptual, metode identifikasi yang digunakan didasarkan pada analogi penggambaran konstelasi titik-titik sosial ekonomi yang membentuk pusat aktivitas kota, yang merupakan manifestasi dari pusat ruang perkotaan. Pusat-pusat aktivitas ini direpresentasikan oleh data *Point-of-Interest* (POI). Tingkat kepadatan yang dibentuk oleh POI akan menciptakan puncak yang mewakili pusat-pusat area aktivitas manusia, yang mengindikasikan intensitas penggunaan fungsi ruang perkotaan. Secara praktis, penelitian ini diimplementasikan pada Kawasan Perkotaan Yogyakarta (KPY). Hasil studi menunjukkan bahwa pusat ruang perkotaan di wilayah studi menampilkan bentuk karakter polisentris dengan distribusi spasial yang mengikuti arah perkembangan fisik kotanya. Tren struktur ruang cenderung berkembang ke arah timur laut dari pusat Kota Yogyakarta, dengan puncak kepadatan aktivitas perkotaan yang terkonsentrasi di beberapa titik pada distribusi tersebut. Pada akhirnya, penerapan pendekatan pada studi ini dapat menjadi alternatif praktis guna menunjang analisis dalam perencanaan dan pengembangan wilayah yang lebih efisien di masa depan.

Kata kunci: pusat ruang perkotaan, distribusi spasial, polisentris, POI.

ABSTRACT

Identification of urban spatial forms is essential for regional and urban planning. The rapid urbanization driven by infrastructure, economic, and demographic factors underscores the importance of identifying urban centers through innovative means. This study aims to identify urban spatial centers and their distribution using technology and spatial data information, particularly employing a big data approach. Conceptually, the identification method depicts constellations of socio-economic points that form city activity centers, which are manifestations of urban spatial centers. Point-of-Interest (POI) data represent these activity centers. The density levels formed by POIs create peaks representing the centers of human activity areas, indicating the intensity of urban space functionality. This research is implemented in the Yogyakarta Urban Area (KPY). The research results suggest that urban spatial centers in the study area exhibit a polycentric feature with spatial distribution following the city's physical development direction. The trend of spatial structure tends to develop towards the northeast direction from the center of Yogyakarta City, with peaks of urban activity density concentrated at several points in this distribution. Ultimately, applying this approach in research can be a practical alternative to support more efficient future regional planning and development analyses.

***Keywords**: urban spatial centers, spatial distribution, polycentric, POI.*

PENDAHULUAN

Identifikasi struktur ruang yang mencakup bentuk dan distribusinya merupakan bagian dari proses memahami morfologi ruang perkotaan. Kajian mengenai morfologi ruang telah lama didiskusikan guna memberikan pengetahuan tentang struktur wilayah perkotaan. Kajian tersebut banyak mendefinisikan berbagai tipologi bentuk ruang perkotaan (Davoudi, 2003), yang menjadi dasar untuk justifikasi pengelolaan perkotaan di banyak negara (Meijers, 2013). Konsep morfologi ruang dapat ditelusuri kembali ke sejarah awal perencanaan kota, di mana pendekatan morfologi digunakan untuk membedakan berbagai tipologi kota berdasarkan aspek fungsional dan spasialnya (Burger *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2015).

Sebagai bagian dari kajian mengenai morfologi, studi struktur ruang perkotaan secara bertahap mengalami perubahan seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan peradaban manusia. Gagasan utama studi ini tidak lepas dari bagaimana pola aktivitas manusia di perkotaan mengalami pemusatan dalam berbagai aspek kehidupan seperti ekonomi, sosial, dan budaya (Pierre M & Yves, 2015). Secara hierarkis, struktur ruang perkotaan dibagi menjadi struktur ruang internal dan struktur ruang eksternal. Umumnya, tipologi pusat ruang perkotaan dapat dikategorikan sebagai monosentris atau polisentris. Struktur tersebut mencerminkan aspek spasial dari berbagai kegiatan sosial, ekonomi, dan fungsional manusia pada wilayah tertentu (Meijers, 2013).

Tipologi bentuk dan bentuk ruang berkaitan erat dengan isu perkotaan yang akan ditimbulkan, salah satunya adalah isu sentralisasi pembangunan. Studi yang dilakukan di beberapa kota besar menunjukkan bahwa sentralisasi ini juga mempengaruhi pola dan tingkat urbanisasi (Pradhan *et al.*, 2021). Bahkan, dalam jangka waktu panjang, isu ini diduga menjadi salah satu faktor permasalahan kota seperti kemacetan lalu lintas dan ketimpangan produktivitas wilayah kota secara keseluruhan (Zhao *et al.*, 2010). dalam upaya mengatasi masalah sentralisasi perkotaan, beberapa teori mendukung bahwa solusinya berupa pemecahan pusat atau desentralisasi ruang perkotaan. Desentralisasi ini dapat dilakukan dengan pengembangan struktur kota polisentris. Selain itu, dari segi ekonomi, efektivitas produksi dan distribusi aktivitas di wilayah polisentris umumnya lebih baik daripada di wilayah yang tersentralisasi (Lv *et al.*, 2017). Akan tetapi, proses desentralisasi ini memerlukan metode analisis untuk mengidentifikasi struktur ruang perkotaan secara lebih efisien. Oleh karena itu, terdapat urgensi untuk menerapkan metode indentifikasi untuk menggambarkan struktur ruang perkotaan guna membimbing perencana kota dan para pemangku kepentingan dalam merumuskan pembangunan kota yang lebih baik.

Sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi, banyak teori dan metode telah ditawarkan untuk mengembangkan metode identifikasi dan penggambaran struktur ruang perkotaan. Namun, dalam praktIKNya, metode konvensional masih sering digunakan untuk mengidentifikasi struktur ruang tersebut. Metode konvensional ini melibatkan observasi atau pengamatan langsung di lapangan dengan pengumpulan data primer dan sekunder. Proses identifikasi ini terbatas oleh jumlah, kelengkapan, dan skala data itu sendiri. Lebih lanjut, metode konvensional tersebut cenderung kurang efektif dan efisien, terutama dihadapkan pada kondisi medan perkotaan yang sangat kasuistik.

Berdasarkan telaah sejumlah literatur, secara umum metode dan pendekatan identifikasi struktur ruang dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok. Kelompok pertama mengidentifikasi struktur ruang berdasarkan survei lapangan dan data sensus. Sebagai contoh, penelitian (McMillen, 2001) menggunakan survei kepadatan penduduk untuk memperkirakan struktur ruang perkotaan dari perspektif pusat kepadatan penduduk dan pusat aktivitas atau bisnis. Beberapa penelitian di Indonesia juga mengadopsi pendekatan serupa, di mana proses perolehan dan analisis data sangat bergantung pada survei di lapangan (Muuzi *et al.*, 2020). Namun, kelompok ini memiliki kelemahan, seperti memerlukan ambang batas data yang subjektif dan proses yang kurang efektif karena ketergantungan pada perolehan data di lapangan.

Kelompok kedua mengidentifikasi struktur ruang berdasarkan data bereferensi lokasi dan data geospasial. Metode ini menggunakan pendekatan yang lebih mutakhir dengan memanfaatkan data digital sebagai basis informasi, yang dikenal sebagai *big data*. Metode ini memanfaatkan berbagai jenis data, seperti data lokasi *opensource*, data POI, data *geotagging*, data *check-in* media sosial, dan data tracking GPS moda transportasi publik (Lu *et al.*, 2020). Bahkan, beberapa penelitian

telah mengusulkan pengembangan metode dengan menggabungkan citra satelit dan data *check-in* media sosial untuk mendeteksi struktur ruang perkotaan (Cai *et al.*, 2017). Kelompok ini menawarkan berbagai teknik dalam memanfaatkan *big data* geospasial.

Tabel 13. Perbandingan konsep dan perolehan data dalam studi identifikasi struktur ruang perkotaan.

No	Judul Penelitian, Penulis	Konsep Identifikasi	Metode Perolehan Data
1	*Nonparametric Employment Subcenter Identification* (McMillen, 2001)	Analisis pusat kepadatan penduduk dan pusat pekerjaan per-area	Konvensional, survei lapangan
2	Pola Mobilitas Penduduk Kawasan Pinggiran Kota Baubau (Muuzi *et al.*, 2020)	Analisis pola mobilitas dan aktivitas penduduk	Konvensional, survei lapangan
3	Indetifikasi Pusat Pertumbuhan dan Interaksi Spasial di Provinsi Lampung (Emalia & Farida, 2018)	Interaksi pusat kota dengan daerah pinggiran	Survei, data sekunder
4	*POI Mining for Land Use Classification : A Case Study* (Andrade & Alves, 2020; Jiang *et al.*, 2015)	Integrasi data POI dan Citra Satelit untuk identifikasi guna lahan	*Big data mining, crowd source*
5	*Mapping Urban Spatial Structure Based on Point of Interest Data* (Lu *et al.*, 2020)	Analisis spasial ekonomi perkotaan sebagai distribusi aglomerasi keruangan	*Big data analytic, open source*
6	*Using multi-source geospatial big data to identify the structure of polycentric cities* (Cai *et al.*, 2017)	Segmentasi berbasis objek pada citra dikombinasikan dengan data POI	*Big data analytic, open source*

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, *big data* geospasial telah menjadi sumber informasi yang penting untuk berbagai keperluan, termasuk studi mengenai identifikasi struktur ruang perkotaan. Pemanfaatan *big data* geospasial telah membuka peluang baru dalam mengidentifikasi dan menganalisis pola-pola dalam struktur perkotaan secara lebih efisien dan efektif (Boeing, 2019; Cai *et al.*, 2017). Pendekatan ini mengatasi beberapa kelemahan yang dimiliki oleh metode konvensional yang cenderung terbatas oleh jumlah, kelengkapan, dan skala data, serta ketergantungan pada survei lapangan yang memakan waktu dan biaya (Id *et al.*, 2021).

Dengan mengadopsi pendekatan utilisasi *big data* geospasial, penelitian ini berusaha untuk memberikan contoh metode alternatif yang lebih mutakhir dalam mengidentifikasi struktur ruang perkotaan. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pola-pola perkembangan kota, yang pada gilirannya dapat membantu proses perencanaan dan pengembangan kota yang lebih efisien. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berpotensi untuk meningkatkan efektivitas perencanaan kota, tetapi juga dapat memberikan sumbangan dalam pemahaman teoritis mengenai proses identifikasi perkembangan perkotaan dalam konteks modern yang terus berubah.

METODE

Lokasi, Data, dan Prosedur Pra-Pengolahan

Studi yang dilakukan pada penelitian ini meliputi wilayah Kawasan Perkotaan Yogyakarta (KPY). KPY merupakan entitas wilayah perkotaan (urban) yang berada di Provinsi D.I. Yogyakarta, di mana sebagian besar penduduk di provinsi ini tinggal dan bermukim. Berdasarkan Perda D.I. Yogyakarta No. 5 Tahun 2019 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2013-2039, wilayah KPY mencakup gabungan dari sejumlah kecamatan di Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul yang menjadi wilayah peri-urban Kota Yogyakarta. Secara batas ruang administratif, wilayah KPY mencakup 14 kecamatan dan 45 kelurahan di Kota Yogyakarta, 7 kecamatan dan 31 desa di Kabupaten Sleman, serta 5 kecamatan dan 16 desa di Kabupaten Bantul.

Proses identifikasi struktur ruang perkotaan difokuskan pada pengolahan *big data* geospasial dan penerapan fungsi analisis spasial dalam perangkat *Geographic Information System* (GIS). Data

geospasial yang digunakan mencakup data *crowdsource* dan *opensource*, yang diperoleh dari platform penyedia data peta seperti Google Maps, Bing Maps, dan Open Street Maps (OSM). Jenis data yang dianalisis adalah data *Point of Interest* (POI), yang merupakan representasi titik lokasi simpul aktivitas perkotaan. Kriteria titik ini mencerminkan satu dari enam sektor yang mewakili simpul aktivitas perkotaan pada umumnya, yang dijelaskan secara rinci dalam **Tabel 2**. Sektor-sektor ini mencerminkan konsentrasi aktivitas yang tinggi dan menjadi indikator kunci dalam memahami struktur dan dinamika kota. Dengan mengidentifikasi di mana sektor-sektor ini berada dan bagaimana mereka berinteraksi, hasil analisis dapat mengetahui pusat-pusat perkotaan yang menjadi jantung aktivitas ekonomi, sosial, dan fisik kota. Proses perolehan dataset dilakukan dengan menggunakan aplikasi pihak ketiga (*third party*). Untuk perolehan data dari Google Maps, dilakukan teknik data *scrapping* menggunakan aplikasi tambahan (*plug-in*) yang tersedia pada browser. Sedangkan data dari OSM diekstrak menggunakan aplikasi ekstraktor data, yaitu *HOT Export Tool*.

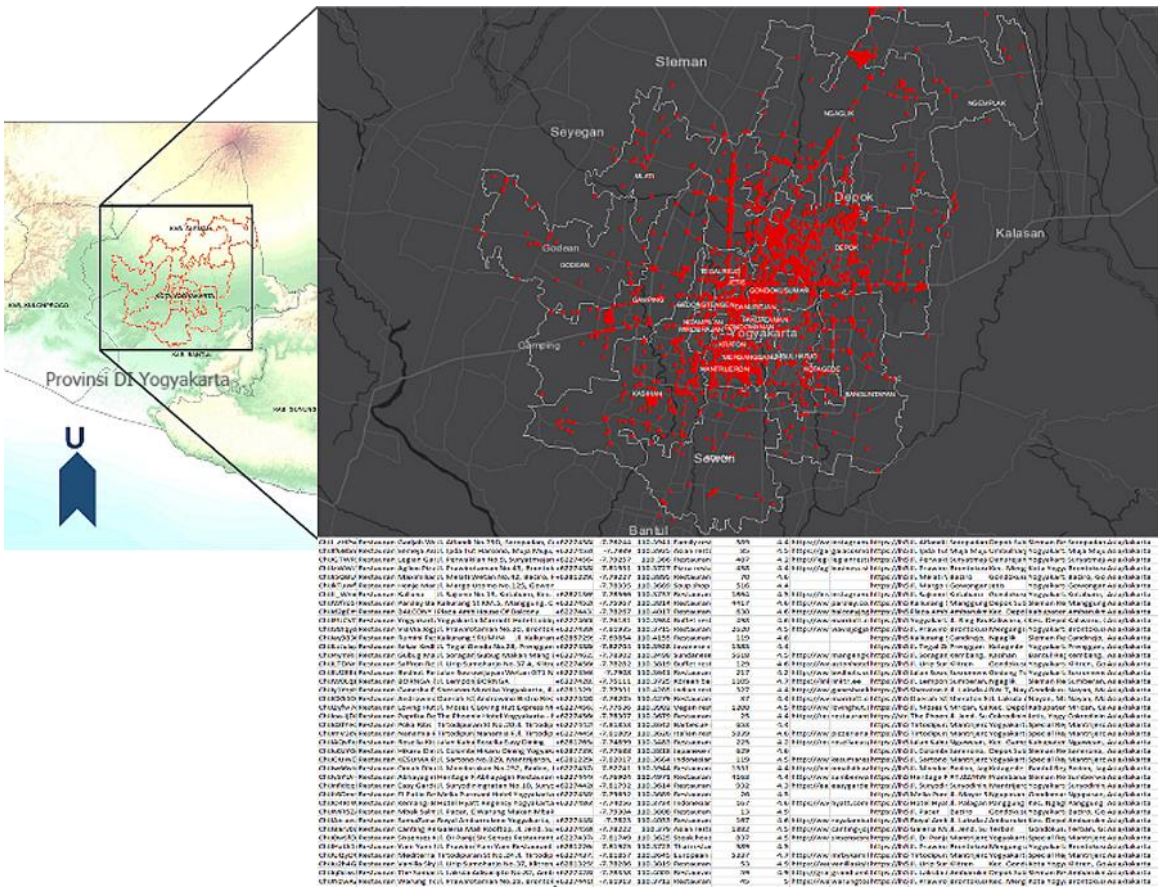
Tabel 2. Kriteria dataset POI berdasar simpul aktivitas perkotaan.

No	Simpul aktivitas	Fungsi	Representasi titik di Google Maps dan OSM	Atribut spasial
1	Sektor perdagangan	*Amenity, Activity*	Pasar, super/mini market, toko, swalayan, warung, restoran, rumah makan, *coffee shop*, kafe, *groceries*, *food and baverages*	Lintang, bujur (X,Y)
2	Sektor jasa dan industri	*Attraction, Activity*	Bank, koperasi/ KSP, ATM, kantor pegadaian, kantor asuransi, pabrik, pergudangan, UMKM	Lintang, bujur (X,Y)
3	Sektor pelayanan publik	*Accessiblity, Amenity*	Kantor kabupaten/ kota, kantor dinas, UPT, kantor kecamatan, kantor desa/ kelurahan, kantor Polres, kantor polsek	Lintang, bujur (X,Y)
4	Sektor kesehatan	*Accessiblity, Accomodation*	Puskesmas, rumah sakit, klinik, praktek dokter, apotek, toko obat	Lintang, bujur (X,Y)
5	Sektor pendidikan	*Accessibility, Accomodation*	Sekolahan (TK, SD, SMP, SMA), politeknik, akademi, institut, universitas	Lintang, bujur (X,Y)
6	Sektor transportasi	*Accessiblity*	Terminal, halte, stasiun, agen bus, pangkalan ojek, pool taksi, bandara	Lintang, bujur (X,Y)

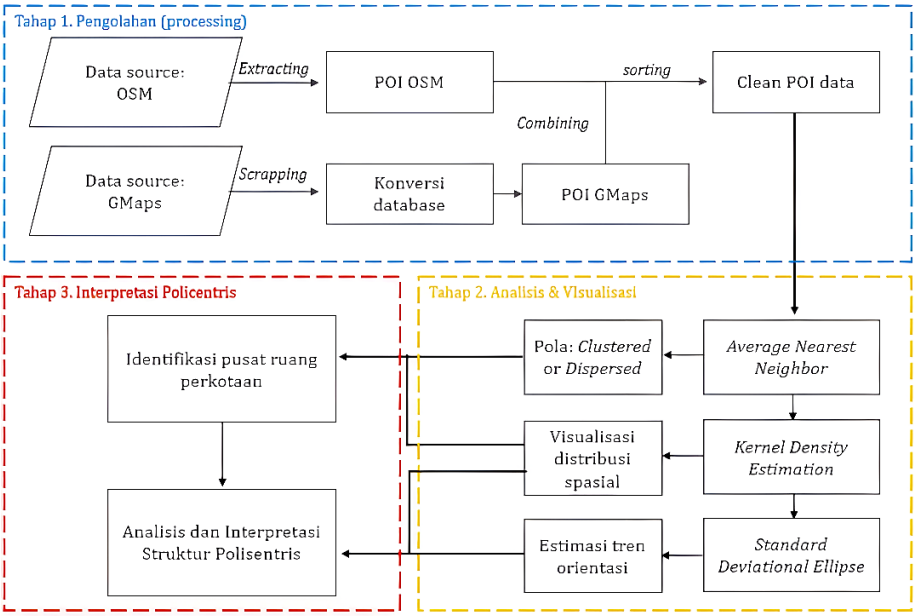
Hasil dari proses data *scrapping* masih berupa data mentah dalam format textual (.csv), sehingga diperlukan tahap "*pre-processing*" yang mencakup sortasi dan konversi ke format data spasial. Sortasi dapat dilakukan menggunakan aplikasi spreadsheet dan disimpan dalam format file database (.dbf). di sisi lain, untuk ekstraksi data POI dari OSM, digunakan *HOT Export Tool*. Hasil ekstraksi ini menghasilkan dataset spasial yang dipilih melalui fungsi *query* yang disediakan oleh aplikasi tersebut. Selanjutnya, dalam tahap pengolahan dataset, kedua dataset dari dua sumber yang berbeda digabungkan untuk melengkapi informasi satu sama lain. Proses ini juga melibatkan penghapusan data yang redundan untuk meminimalisir bias data pada tahapan analisis spasial (Lu *et al.*, 2020). Tahapan analisis spasial menggunakan sejumlah fungsi yang tersedia dalam perangkat GIS, yang secara detail diuraikan pada bagian selanjutnya.

Tahapan Analisis Spasial

Selanjutnya adalah tahapan analisis, di mana data hasil pre-processing ditinjau menggunakan pendekatan spasial. dalam makalah ini, diusulkan tiga langkah utama untuk menjelajahi dan mengidentifikasi struktur ruang perkotaan berdasarkan data POI. Pertama, analisis klaster indexing dilakukan dengan menggunakan fungsi *Average Nearest Neighbor* (ANN). Kedua, proses pemodelan distribusi kepadatan spasial dari data POI dilakukan dengan menggunakan analisis *Kernel Density*. Ketiga, indentifikasi tren orientasi spasial pusat struktur ruang dengan model *Standard Deviational Ellipse* (SDE).



Gambar 14. Cakupan lokasi studi,sebaran dataset *POI*, dan contoh deskripsi dataset POI di wilayah penelitian.

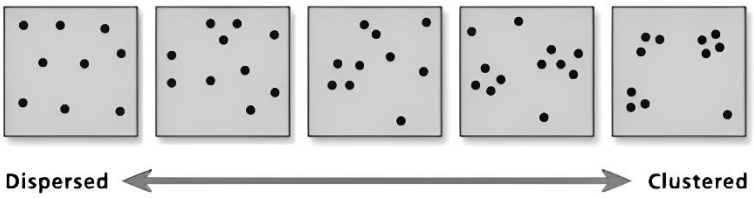


Gambar 2. Alur tahapan pengolahan dan analisis data pada proses identifikasi struktur ruang.

Spatial Indexing

Fungsi *Average Nearest Neighbor* (ANN) digunakan untuk mengukur jarak rata-rata antara setiap fitur POI dan lokasi titik tetangga terdekatnya. Jika jarak rata-rata lebih kecil daripada rata-rata yang diharapkan untuk distribusi acak hipotetis, maka distribusi POI dianggap mengumpul (*clustered*). Sebaliknya, jika jarak rata-rata lebih besar dari distribusi acak hipotetis, maka POI dianggap menyebar (*dispersed*). Rasio tetangga terdekat dihitung dengan membagi

jarak rata-rata yang diamati dengan jarak rata-rata yang diharapkan, yang didasarkan pada distribusi acak hipotetis dengan luas area yang sama (Mitchel, 2005). Hasil perhitungan ANN menjadi indikator statistik untuk mengetahui pola spasial simpul aktivitas perkotaan mulai dari sektor perdagangan sampai dengan sektor transportasi, di mana pola spasial digambarkan oleh hasil perhitungan tersebut.



Gambar 3. Ilustrasi spatial indexing dengan fungsi ANN.

Spatial Density

Prinsip analisis menggunakan fungsi *Kernel Density Estimation* (KDE) adalah mempertimbangkan distribusi spasial dan tingkat agregasi POI di wilayah studi. Estimasi densitas kernel memperkirakan kepadatan ruang pada setiap titik tanpa bergantung pada ukuran output data yang dipilih (Okabe *et al.*, 2009). Secara statistik, fungsi kernel dijelaskan dalam **Persamaan 1**, di mana bobot target, jarak antara titik spasial, jumlah agregasi, dan *bandwidth* menjadi faktor utama. Pemilihan radius bandwidth menjadi penting untuk memvisualisasikan distribusi spasial dengan jelas, serta memudahkan identifikasi struktur polisentris ruang di wilayah penelitian.

$$Pi = \frac{1}{\mathrm{n}\pi\mathrm{R}^2} \mathrm{x} \sum_{j=1}^{n} \left[1 - \frac{D_{ij}^2}{R^2}\right]^2 \quad \text{.....(1)}$$

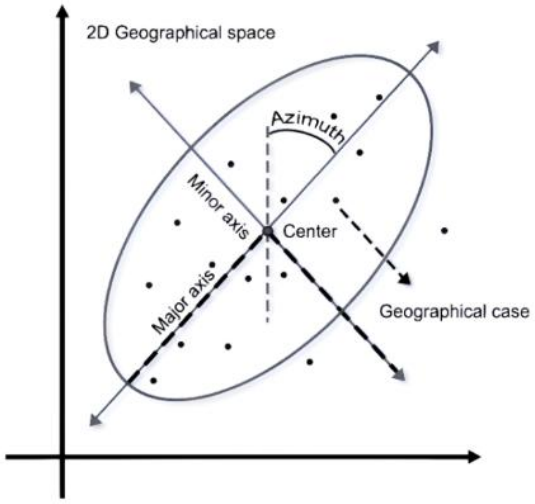
Di mana kj adalah bobot target radius j, Dij adalah jarak antara titik spasial i dan target agregasi j, n adalah jumlah j pada rentang bandwidth R, dan R adalah bandwidth dari area yang dipilih ($Dij < R$). Kepadatan kernel pada setiap titik i dalam ruang dapat didefinisikan bahwa berhubungan dengan titik pusat dengan kepadatan tertinggi, dan menurun pada titik-titik yang bergerak keluar dari titik pusat ini. Ketika radius R mencapai nilai tertentu, densitasnya adalah 0. Menurut studi pada penelitian sebelumnya (Okabe *et al.*, 2009), dan dengan mempertimbangkan kondisi lapangan dari wilayah studi, penelitian ini menetapkan radius bandwidth 1000, 3000, dan 5000 meter. Tahapan ini menjadi sangat penting karena hasil distribusi spasial dapat divisualisasikan dengan jelas, sehingga struktur polisentis ruang di wilayah penelitian dapat dengan mudah diidentifikasi.

Trend Orientation

Metode *Standard Deviational Ellipse* (SDE) merupakan alat analisis yang berguna untuk mengukur arah atau orientasi tren spasial dari distribusi *Point of Interest* (POI) dalam konteks struktur ruang perkotaan. SDE melakukan analisis dengan menghitung jarak standar secara terpisah dalam arah sumbu x dan y kartesian, yang kemudian menentukan sumbu elips yang mencakup distribusi ruang aktivitas perkotaan tersebut (Gong, 2002). Dengan menggunakan konsep ini, SDE mampu menghasilkan poligon elips yang memberikan informasi mengenai orientasi, jarak standar, dan cakupan distribusi POI. Orientasi elips tersebut menggambarkan rotasi sumbu panjang dalam arah searah jarum jam dari arah 00.00, sehingga memungkinkan penilaian terhadap kecenderungan orientasi distribusi aktivitas ruang perkotaan. Identifikasi orientasi ini memiliki nilai penting dalam pemahaman lokasi rata-rata dari banyak distribusi data titik yang ada. Formulasi singkat dari perhitungan SDE dijelaskan pada **Persamaan 2**.

$$\boldsymbol{SDEx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-x)^2}{n}} \;\; ; \;\; \boldsymbol{SDEy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(yi-y)^2}{n}} \quad \text{.....(2)}$$

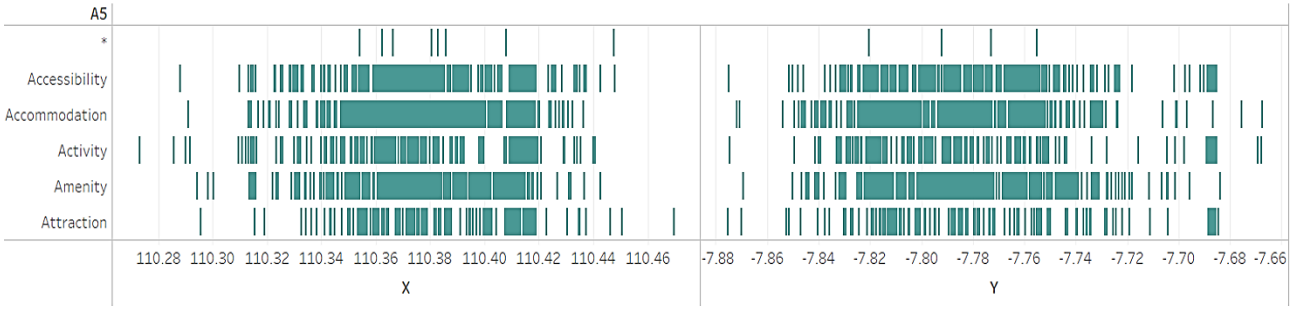
Di mana xi dan yi adalah koordinat untuk fitur i, $\{ X, Y \}$ mewakili pusat rata-rata untuk fitur POI di sepanjang sistem koordinat kartesian, dan n sama dengan jumlah total fitur. Pusat rata-rata sangat penting untuk memahami lokasi rata-rata dari banyak distribusi data titik. Maka output yang dihasilkan dari model SDE berupa poligon elips yang tidak hanya menunjukkan kecenderungan orientasi, tetapi juga memberikan informasi tentang jarak standar dan bidang cakupan distribusi POI (Wang *et al.*, 2015). Dengan demikian, SDE akan menyajikan pemahaman yang lebih baik tentang gambaran pola spasial dalam struktur ruang perkotaan.



Gambar 4. Ilustrasi perhitungan *Standard Deviational Ellipse* (diadopsi dari *Li et al., 2017*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

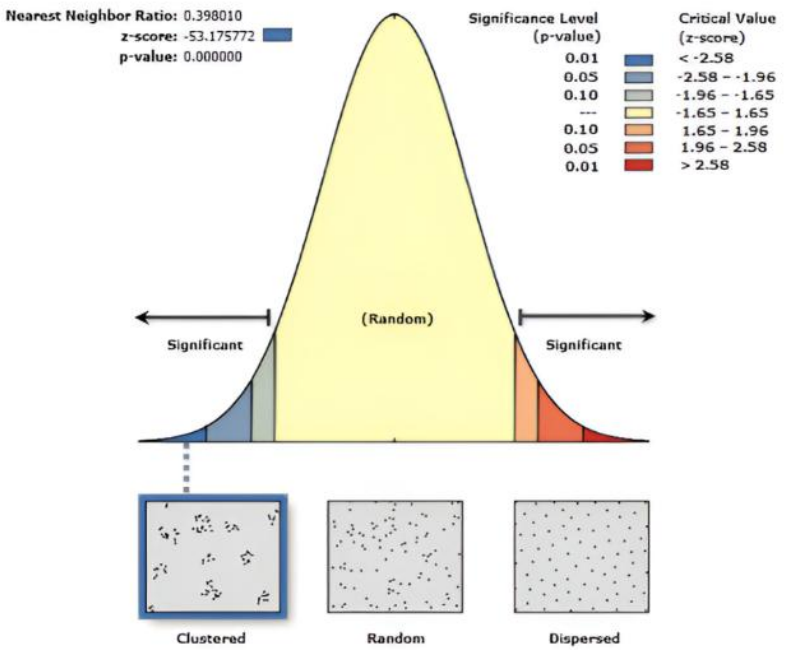
Perolehan tahapan *scraping* data dari Google Maps dan OSM menghasilkan sebanyak 4.121 dataset POI. Namun, setelah melalui proses sortasi dan eliminasi data berulang, jumlah dataset POI yang dihasilkan adalah sebanyak 4.098. Perolehan hasil sortasi data POI ini merupakan tahap penting dalam memastikan data yang bersih, terkategorisasi, dan siap untuk dianalisis. di dalam proses sortasi memungkinkan penghapusan data duplikat yang bisa menyebabkan analisis yang tidak akurat. Data hasil sortasi ini mewakili beragam kriteria titik aktivitas perkotaan mulai sektor perdagangan hingga sektor transportasi. Visualisasi spasial dari dataset POI ini digambarkan pada **Gambar 1**, yang menggambarkan sebaran simpul aktivitas perkotaan di seluruh wilayah studi. Lebih lanjut, perolehan dataset POI tersebut jika diklasifikasikan menurut lima fungsi (5A) komponen perkotaan yang meliputi *accessibility, accomodation, activity, amenity, dan attraction*, maka distribusi titik-titik tersebut cenderung terkonsentrasi pada lokasi koordinat geografis tertentu. Ilustrasi dari distribusi dataset POI tersebut menurut koordinat geografis tersaji dalam grafik pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik Gantt view sebaran lokasi geografis POI menurut komponen 5A di wilayah studi.

Untuk mengidentifikasi adanya struktur polisentris di wilayah penelitian diperlukan sejumlah langkah analisis bertahap dari data-data yang diperoleh. Analisis pertama dilakukan melalui fungsi ANN, yang memberikan informasi mengenai indeks tetangga terdekat dari satu titik ke titik lainnya dalam dataset POI. Hasilnya, analisis ANN menunjukkan bahwa pola spasial titik aktivitas perkotaan cenderung mengelompok (*clustered*). Hal ini dibuktikan secara statistik dengan nilai

nearest neighbor ratio sebesar 0.398 artinya bahwa titik-titik aktivitas masyarakat yang mencakup sejumlah sektor perkotaan terjadi saling berdekatan antara satu dengan lainya. Hasil analisis fungsi ini juga didukung dengan hasil statistik pengujian, diperoleh nilai z yang signifikan dalam hal ini yaitu sangat rendah (negatif). Demikian juga dibuktikan dengan nilai p value yang sangat kecil (hampir mendekati 0), sehingga jika dilakukan *plotting* pada kurva normal nilai tersebut terletak di bagian ekor dari distribusi normal. Secara keseluruhan, analisis ANN dataset penelitian menghasilkan nilai-p kecil dan skor-z yang sangat rendah, artinya ini menunjukkan bahwa pola spasial pola pengelompokkan titik aktivitas perkotaan ini tidak mungkin terjadi secara acak. **Gambar 6** mengilustrasikan ringkasan statistik hasil analisis ANN pada penelitian ini.

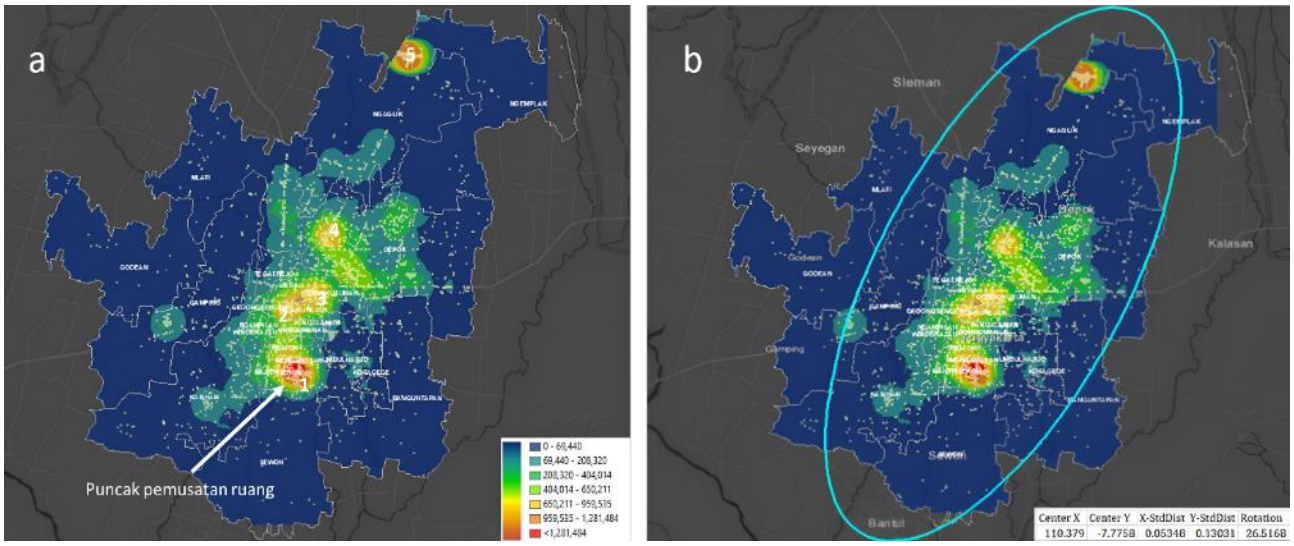


Gambar 6. Ilustrasi ringkasan hasil statistik analisis ANN, dengan nilai rasio 0,398.

Selanjutnya, analisis KDE memberikan gambaran pemusatan struktur ruang di beberapa lokasi di wilayah KPY. Pusat struktur ruang ini secara administratif terletak pada irisan wilayah Kecamatan Mergangsan, Mantrijeron, dan Sewon. Artinya bahwa pola pemusatan berdasar titik POI yang merepresentasikan aktivitas perkotaan di berbagai sektor terkonsentrasi secara spasial di wilayah tersebut. Fenomena ini mengindikasikan bahwa titik POI yang merepresentasikan aktivitas perkotaan berkumpul di wilayah tersebut, kemungkinan dipengaruhi oleh posisi geografis dan aksesibilitas yang tinggi (Garcia-López & Moreno-Monroy, 2018). Namun, di daerah sekitarnya, terutama di bagian timur, selatan, dan barat, tidak terlihat adanya pola pemusatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa titik-titik POI di daerah tersebut tidak memberikan pengaruh besar terhadap pembentukan struktur ruang perkotaan (**Gambar 7.a**).

Hasil berikutnya diperoleh dari analisis model elips standar deviasi atau SDE. Hasil ini menunjukkan arah distribusi struktur ruang yang mengikuti orientasi kepadatan spasial (KDE), dengan kecenderungan distribusi yang bergerak ke arah timur laut dari pusat Kota Yogyakarta. Fenomena ini mengisyaratkan adanya pergeseran distribusi struktur ruang ke wilayah sekitar Kota Yogyakarta, khususnya di Kabupaten Sleman. Hasil model SDE menunjukkan perkembangan distribusi ruang yang mengikuti arah rotasi sumbu sebesar 26,51 derajat. Secara faktual, arah perkembangan ini mengikuti arah perkembangan fisik perkotaan (Selang *et al.*, 2018). Tren arah struktur ruang cenderung berkembang ke arah timur laut dari pusat Kota Yogyakarta, di mana pemusatan struktur ruang tersebut mulai menjalar ke luar wilayah Kota Yogyakarta. Artinya bahwa tren perkembangan struktur ruang saat ini mengalami pergeseran ke wilayah sekitar seperti Kabupaten Sleman, khususnya di sejumlah kecamatan misalnya Kecamatan Depok, Kecamatan Mlati, dan Kecamatan Ngaglik. Namun demikian, perkembangan distribusi ini tetap mengikuti konsep *spatial neighbor* atau kedekatan ruang, di mana Kota Yogyakarta merupakan episenter awal pusat keruangan pada cakupan wilayah ini (Subkhi & Mardiansjah, 2019). Pola ini juga dapat

diartikan sebagai respons terhadap faktor-faktor seperti pertumbuhan penduduk, pembangunan infrastruktur, dan dinamika ekonomi yang mendorong perluasan perkotaan ke arah timur laut. **Gambar 7.b**. mengilustrasikan visualisasi dari model SDE ini, memberikan gambaran yang lebih jelas tentang pergeseran struktur ruang perkotaan yang sedang terjadi.



Gambar 7. **(a.)** Visualisasi pemusatan struktur ruang dengan analisis KDE; **(b.)** tren orientasi arah spasial struktur ruang di wilayah penelitian berdasar model SDE.

Secara keseluruhan, identifikasi struktur ruang polisentris dapat diperoleh dari sejumlah tahapan analisis pada bagian yang sudah dijelaskan sebelumnya. Struktur ruang di wilayah studi menunjukkan terjadinya penyebaran simpul pemusatan dari data kepadatan POI yang mencerminkan desentralisasi kota (**Gambar 7**). Perubahan struktur ruang ini dapat melibatkan faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan perkotaan, seperti faktor geografis, ekonomi, sosial, dan kebijakan (Jansen *et al.*, 2010; Lu *et al.*, 2020; Pierre M & Yves, 2015). Faktor geografis seperti topografi dan kondisi alam dapat memengaruhi pola distribusi ruang perkotaan. Hal ini berkaitan dengan adanya kemungkinan bahwa perkembangan perkotaan cenderung mengikuti arah geografis yang lebih datar sehingga berhubungan dengan konsekuensi logis terhadap aksesibilitas ruang. Selain itu, faktor ekonomi seperti adanya pusat-pusat perdagangan dan industri juga dapat menjadi pendorong utama dalam menentukan lokasi dan orientasi perkembangan perkotaan. Faktor sosial, seperti pertumbuhan penduduk dan migrasi, juga dapat memengaruhi dinamika perkembangan perkotaan dengan menciptakan permintaan akan infrastruktur dan layanan perkotaan yang baru. Selain itu, kebijakan pemerintah, seperti perencanaan tata ruang dan regulasi pembangunan, juga dapat memainkan peran penting dalam mengarahkan perkembangan perkotaan. Dengan memperhatikan faktor-faktor ini, identifikasi struktur polisentris ruang perkotaan dapat tergambarkan dengan jelas, sehingga memberikan wawasan yang lebih komprehensif tentang dinamika ruang perkotaan dan arah perkembangannya.

KESIMPULAN

Identifikasi struktur polisentris perkotaan melalui sejumlah tahapan pada penelitian ini memiliki beberapa keunggulan. Pertama, metode identifikasi struktur ruang perkotaan dengan pendekatan aplikasi *big data* lebih efisien daripada metode konvensional yang mengandalkan survei lapangan. Kedua, analisis spasial mempermudah identifikasi informasi semantik pusat perkotaan dan hubungan keruangannya. Ketiga, deteksi pusat kota tidak terbatas oleh batas administratif, sehingga memungkinkan gambaran hasil yang lebih aktual. Selain itu, analisis perkembangan struktur polisentris menyajikan pemahaman mendalam tentang dinamika distribusi ruang dalam konteks perkembangan perkotaan. Melalui pendekatan seperti model *Standard Deviational Ellipse* (SDE), struktur bentuk kota dapat diidentifikasi arah dan orientasinya, serta memberikan gambaran tentang bagaimana pusat-pusat aktivitas perkotaan berkembang dan merespons lingkungan sosial-ekonomi. Oleh karena itu, hasil analisis spasial dalam identifikasi

struktur ruang perkotaan ini dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terkait arah perkembangan perkotaan.

Melalui tinjauan yang telah dilakukan dalam studi ini, dapat disimpulkan bahwa pendekatan aplikasi *big data* geospasial memungkinkan proses identifikasi bentuk dan distribusi pusat ruang perkotaan di wilayah penelitian. Didukung dengan sejumlah tahapan analisis spasial, maka dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam terhadap struktur ruang serta memberikan gambaran yang lebih terperinci tentang perkembangan dinamika perkotaan. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman secara mendalam, tetapi juga menawarkan alternatif cara yang lebih baik dalam identifikasi struktur ruang perkotaan guna menyajikan informasi yang dapat mendukung kebijakan perencanaan yang lebih efektif untuk masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Apresiasi setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada seluruh Panitia Seminar Nasional Geomatika 2024 atas kesempatan yang telah diberikan dalam forum ilmiah ini. Apresiasi juga penulis berikan kepada para mitra bebestari yang telah mereviu naskah prosiding ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada rekan-rekan DCC atas inspirasi yang diberikan dari rutinitas kopi di pagi hari.

DAFTAR PUSTAKA

Andrade, R., & Alves, A. (2020). POI Mining for Land Use Classification: A Case Study. *International Journal of Geo-Information*, 1–23.

Boeing, G. (2019). Spatial Information and the Legibility of Urban Form: Big Data in Urban Morphology. *International Journal of Information Management*, 1–20.

Burger, M. J., van der Knaap, B., & Wall, R. S. (2014). Polycentricity and the Multiplexity of Urban Networks. *European Planning Studies*, *22*(4), 816–840. https://doi.org/10.1080/09654313.2013.771619

Cai, J., Huang, B., & Song, Y. (2017). Using multi-source geospatial big data to identify the structure of polycentric cities. *Remote Sensing of Environment*, *202*, 210–221. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.039

Davoudi, S. (2003). Polycentricity in European spatial planning: from an analytical tool to a normative agenda. In *European Planning Studies* (Vol. 11, Issue 8, pp. 979–999). Routledge. https://doi.org/10.1080/0965431032000146169

Emalia, Z., & Farida, I. (2018). Indetifikasi Pusat Pertumbuhan dan Interaksi Spasial di Provinsi Lampung. *Jurnal Ekonomi dan Studi Pembangunan*, *19*(April), 61–74. https://doi.org/10.18196/jesp.19.1.4100

Garcia-López, M.-À., & Moreno-Monroy, A. I. (2018). Income segregation in monocentric and polycentric cities: Does urban form really matter? *Regional Science and Urban Economics*, *71*, 62–79. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2018.05.003

Gong, J. (2002). Clarifying the standard deviational ellipse. *Geographical Analysis*, *34*(2), 155–167. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2002.tb01082.x

Huang, D., Liu, Z., & Zhao, X. (2015). Monocentric or Polycentric? The Urban Spatial Structure of Employment in Beijing. *Sustainability*, 11632–11656. https://doi.org/10.3390/su70911632

Id, Z. W., Ma, D., Id, D. S., & Zhang, J. (2021). Identification and analysis of urban functional area in Hangzhou based on OSM and POI data. *PLoS ONE*, 1–20. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251988

Jansen, M., Aachen, R., Stadtbaugeschichte, L. F. G., Seminar, C. I., & Form, U. (2010). *Understanding Urban Forms as Results of a Conditioning System of Interrelated Factors – Some Thoughts on the Issue of Morphologically Defining the City*.

Jiang, S., Alves, A., Rodrigues, F., Ferreira, J., & Pereira, F. C. (2015). Mining point-of-interest data from social networks for urban land use classification and disaggregation. *Computers, Environment and Urban Systems*, *53*, 36–46. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.12.001

Lu, C., Pang, M., Zhang, Y., Li, H., Lu, C., & Tang, X. (2020). Mapping Urban Spatial Structure Based on POI (Point of Interest) Data: A Case Study of the Central City of Lanzhou , China. *International Journal of Geo-Information*.

Lv, Y., Zheng, X., Zhou, L., & Zhang, L. (2017). Decentralization and Polycentricity: Spatial Changes of Employment in Beijing Metropolitan Area, China. *Sustainability*, *9*(10). https://doi.org/10.3390/su9101880

McMillen, D. P. (2001). Nonparametric Employment Subcenter Identification. *Journal of Urban Economics*, *50*(3), 448–473. https://doi.org/https://doi.org/10.1006/juec.2001.2228

Meijers, E. J. (2013). *Metropolitan Labor Productivity and Urban Spatial Structure: Knowledge Infrastructures of the Global Economy* (J. Klaesson, B. Johansson, & C. Karlsson, Eds.; pp. 141–166). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32141-2_7

Mitchel, A. (2005). The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spartial measurements and statistics. In *ESRI Guide to GIS analysis*.

Muuzi, M., Surya, B., & Aksa, K. (2020). Pola Mobilitas Penduduk Kawasan Pinggiran Kota Baubau (Studi Pada Kec. Betoambari dan Kec. Wolio). *Journal of Urban Planning Studies*, *01*(01), 1–20.

Okabe, A., Satoh, T., & Sugihara, K. (2009). A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool. *International Journal of Geographical Information Science*, *23*(1), 7–32. https://doi.org/10.1080/13658810802475491

Pierre M, P., & Yves, Z. (2015). Urban Spatial Structure, Employment and Social Ties: European versus American Cities. *IZA Discussion Papers*, *No. 9166*.

Pradhan, R. P., Arvin, M. B., & Nair, M. (2021). Urbanization, transportation infrastructure, ICT, and economic growth: A temporal causal analysis. *Cities*, *115*, 103213. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103213

Selang, M. A., Iskandar, D. A., & Widodo, R. (2018). Tingkat Perkembangan Urbanisasi Spasial di Pinggiran KPY (Kawasan Perkotaan Yogyakarta) Tahun 2012-2016. *Kota Layak Huni "Urbanisasi dan Pengembangan Perkotaan,"* 32–40.

Subkhi, W. B., & Mardiansjah, F. H. (2019). Pertumbuhan dan Perkembangan Kawasan Perkotaan di Kabupaten: Studi Kasus Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, *7*(2), 105–120. https://doi.org/10.14710/jwl.7.2.105-120

Wang, B., Shi, W., & Miao, Z. (2015). Confidence analysis of standard deviational ellipse and its extension into higher dimensional Euclidean space. *PLoS ONE*, *10*(3), 1–17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118537

Zhao, P., Lü, B., & de Roo, G. (2010). Urban Expansion and Transportation: The Impact of Urban form on Commuting Patterns on the City Fringe of Beijing. *Environment and Planning A: Economy and Space*, *42*(10), 2467–2486. https://doi.org/10.1068/a4350

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS KEMAMPUAN LAHAN BERDASARKAN KAJIAN DAYA DUKUNG DAN DAYA TAMPUNG UNTUK RASIO OPTIMALISASI PENGEMBANGAN WILAYAH IBU KOTA NUSANTARA

(Land Capability Analysis Based on Carrying Capacity Study for Optimization of Development Ratio of Nusantara Capital City Region)

Rahadyan Surya Pradana, Muhamad Nurwahyudin, Syaefunnisa, Muhammad Allif Ziddan Ashiddiqi, dan **Hanif Fawwaz Ali Ahyar**

Sains Informasi Geografi**,** Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi no. 229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154
E-mail: suryapradanarahadyan@gmail.com

ABSTRAK

Meninjau aspek pengembangan wilayah, Ibu Kota Nusantara (IKN) diproyeksikan dapat menggantikan peran ibu kota dengan arahan kota maju dan berkelanjutan serta memperhatikan lingkungan. Hal tersebut tidak terlepas bagi kebutuhan masyarakat asli maupun pendatang akan terus meningkat tentunya juga sangat berkaitan dengan kemampuan lahan untuk menampung pembangunan maupun kependudukan. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis kemampuan, daya dukung, dan daya tampung lahan IKN. Metode uji hasil yang digunakan adalah analisis metode *mix method* dan *Geographic Information System (GIS)*. Metode *GIS* dilakukan untuk membuat parameter satuan kemampuan lahan (SKL) dan analisis kemampuan lahan dengan mengacu pada Permen PU No 20 Tahun 2007. Hasil penelitian ini menunjukan terdapat empat klasifikasi kemampuan lahan yaitu kelas a yakni kemampuan lahan sangat rendah, kelas b yakni kemampuan lahan rendah, kelas c yakni kemampuan lahan sedang, kelas d yakni kemampuan lahan agak tinggi. Kemampuan lahan IKN yang tertinggi terdapat pada kelas c seluas 564.824 Ha, kemudian untuk daya tampung IKN termasuk dalam kawasan potensial pembangunan seluas 108.221 Ha dengan nilai Daya Dukung Permukiman (DDpm) > 1 yang mampu menampung penduduk sebanyak 20.290.511 juta jiwa. Wilayah optimal pembangunan ini terbagi atas tiga Kecamatan yakni: Samboja, Loa Janan, dan Sepaku. Atas pertimbangan hasil perhitungan rasio perbandingan luasan potensial pengembangan tersebut, maka wilayah IKN telah sesuai dengan aspek kemampuan lahan, daya dukung dan daya tampung, sehingga arahan pegembangan wilayah IKN akan lebih optimal dan terencana.

Kata Kunci: IKN, daya dukung, daya tampung, kemampuan lahan, rasio pengambangan

ABSTRACT

Reviewing the aspects of regional development, the Nusantara Capital City (IKN) is projected to replace the role of the capital city with the direction of developed and sustainable city, also environmentally concerned. This is inseparable from the needs of indigenous and migrant communities will continue to increase, of course, also very related to the ability of land to accommodate development and population. The objectives is to analyze the ability, carrying capacity, and land capacity of IKN, with method being used is mixed method analysis and Geographic Information System. The GIS method was conducted to parameterize the land capability unit and analyze the land capability by referring to Permen PU No. 20 of 2007. This research identifies four land capability classifications: class a (very low), class b (low), class c (medium), and class d (rather high) of land capability. The highest land capability of IKN is in class c covering an area of 564,824 hectares, then for the capacity of IKN, it is included in the potential development area of 108,221 hectares with a value of Settlement Support Capacity (DDpm)> 1 which can accommodate a population of 20,290,511 million people. This optimal development area is divided into three sub-districts namely: Samboja, Loa Janan, and Sepaku. Based on the calculation of the ratio of the potential development area, the IKN area is in accordance with the aspects of land capability, carrying capacity and capacity, so that the direction of development of the IKN area will be more optimal and planned.

Keywords: *IKN, carrying capacity, land capability, holding capacity, development ratio*

PENDAHULUAN

Meninjau kondisi ibu kota Jakarta banyak menanggung beban yang berat karena fungsionalitasnya sebagai wilayah pusat. Jakarta diatur sebagai ibu kota sejak ditetapkannya UU Nomor 29 tahun 2007 tentang Pemerintahan Provinsi Daerah Khusus Ibukota Negara Kesatuan Republik Indonesia. Jutaan orang datang dari berbagai daerah untuk mengadu nasib di ibu kota sehingga Jakarta yang direncanakan untuk 600 ribu orang, saat ini dikerumuni oleh 10 juta orang, hal ini merupakan hal yang mengherankan jika berbagai masalah sosial yang berbeda semakin terkait dengan Jakarta seperti kontaminasi, penyumbatan, banjir dan kemelaratan. Masalah-masalah sosial ini tidak hanya mengganggu kesejahteraan penghuninya, tetapi juga menyebabkan kemalangan yang patut dicatat bagi pemerintah. Ibu Kota Nusantara merupakan wilayah yang diproyeksikan sebagai wilayah pemindahan ibu kota yang dimana sudah tercantum pada peraturan presiden nomor 64 tahun 2022, Ibu Kota Nusantara ini terletak di wilayah Provinsi Kalimantan Timur yang termasuk pada zona utama ekuator khatulistiwa dengan hal tersebut wilayah ini memiliki kondisi iklim yang lebih kompleks dibanding dengan wilayah zona lainnya tentunya akan memiliki dampak positif maupun dampak negatif pada wilayah tersebut. Provinsi Kalimantan Timur dipilih berdasarkan bebrapa pentimbangan antaranya adalah keersediaan lahan yang luas, sentralisasi wilayah, daya dukung lingkungan, minim terhadap intervensi bencana dan terjangkau dengan kota eksisting yang sudah berkembang. Dengan pemilihan lokasi tersebut wilayah proyeksi Ibu Kota Nusantara memiliki tingkatan sama dengan provinsi yang akan dijadikan sebagai wilayah ibu kota dengan memiliki 8 prinsip ibu kota negara, pembangunan ini direncanakan memiliki sistem yang berkelanjutan serta memperhatikan aspek lingkungan wilayah.

Dalam pembangunan wilayah tentunya akan memperhatikan banyak faktor untuk mendukung ketercapaian antaranya dengan melakukan peninjauan untuk optimalisasi penataan ruang. Pembangunan ini pun harus dilandaskan atas daya dukung daya tampung lingkungan hidup dikarenakan proyeksi ini tentunya akan berkelanjutan dengan capaian Ibu Kota Nusantara peningkatan kebutuhan ruang dan penggunaan sumberdaya lingkungan harus disertai dengan intervensi kebijakan yang tepat dan optimal untuk mengurangi resiko ketidakseimbangan pembangunan dan perencanaan Kota (Putra & Rudianto, 2018; Samodro *et al.,* 2020), dengan hal tersebut perlu dilakukan pengkajian terkait bagaimana perencanaan dalam pembangunan berbasis ekologi untuk mendukung optimalisasi, optimalisasi ini dapat dilakukan dengan melakukan analisis daya dukung lingkungan yang meliputi daya dukung air, daya dukung udara dan daya dukung jalan (Lukman, 2013; Suharto *et al.,* 2017) yang dinyatakan dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 pada dasarnya perhitungan dan analisis ini dilakukan untuk memonitorisasi kegiatan yang ada di dalamnya. Pelaksanaan ini dilakukan untuk meninjau kembali dan memberikan rekomendasi wilayah yang sesuai dengan pembangunan ekologi lanskap dengan memperhatikan daya dukung lahan, dengan harapan untuk dapat menjadikan wilayah Ibu Kota Nusantara sebagai wilayah yang sesuai dengan perencanaan dan menimbang wilayah bagian yang potensial dikembangkan terlebih dahulu sesuai dengan aspek rasio pengembangan wilayah.

METODE

Lokasi dan Data Penelitian

Wilayah yang digunakan untuk penelitian ini adalah wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) yang terletak di dua kabupaten di Provinsi Kalimantan Timur, yakni Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara. Secara geografis, wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) ini terletak di 117°0′ BT dan 0°38′ LS bagian utara, 117°11′ BT dan 1°15′ LS di bagian selatan, 116°31′ BT dan 0°59′ LS bagian barat, serta 117°18′ BT dan 1°6′ LS di bagian timur. Menurut UU No. 3 Pasal 6 Tahun 2022 Tentang Ibu Kota Negara, Ibu Kota Nusantara (IKN) memiliki wilayah perairan sebesar 68.189 ha dan wilayah daratannya terdiri dari kawasan Ibu Kota Nusantara beserta kawasan inti pusat pemerintahannya seluas 56.180 ha dan kawasan pengembangan Ibu Kota Nusantara seluas 199.962 ha.

Teknik Analisis dan Pengolahan

Penelitian ini menggunakan metode GIS berupa menumpang tindihkan (*overlay*) bahan-bahan dasar menjadi sembilan satuan kemampuan lahan yang mengacu pada penentuan Daya Dukung dan Daya Tampung sebagai pedoman. Dengan teknik *overlay* ini akan menghasilkan nilai kelas kemampuan lahan pada setiap SKL dimana kelas tersebut merepresentasikan kondisi lahan yang paling cocok untuk dikembangkan hingga kondisi lahan yang paling tidak cocok untuk pengembangan (Pratiwi *et al.*, 2023). Analisis daya dukung lahan pada kajian ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi kemampuan lahan dan kebutuhan ruang untuk pengembangan berbagai kegiatan perkotaan. Untuk dapat menghitung daya dukung lahan, terdapat tahapan yang perlu dilakukan.

a. Menghitung Ketersediaan lahan potensial untuk pengembangan kawasan perkotaan berdasarkan kemampuan lahan.
b. Menghitung kebutuhan lahan untuk pengembangan berbagai fungsi ruang perkotaan.
c. Mengidentifikasi status daya dukung lahan Kota Bandung berdasarkan rasio antara kebutuhan ruang dan kemampuan lahan.

Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

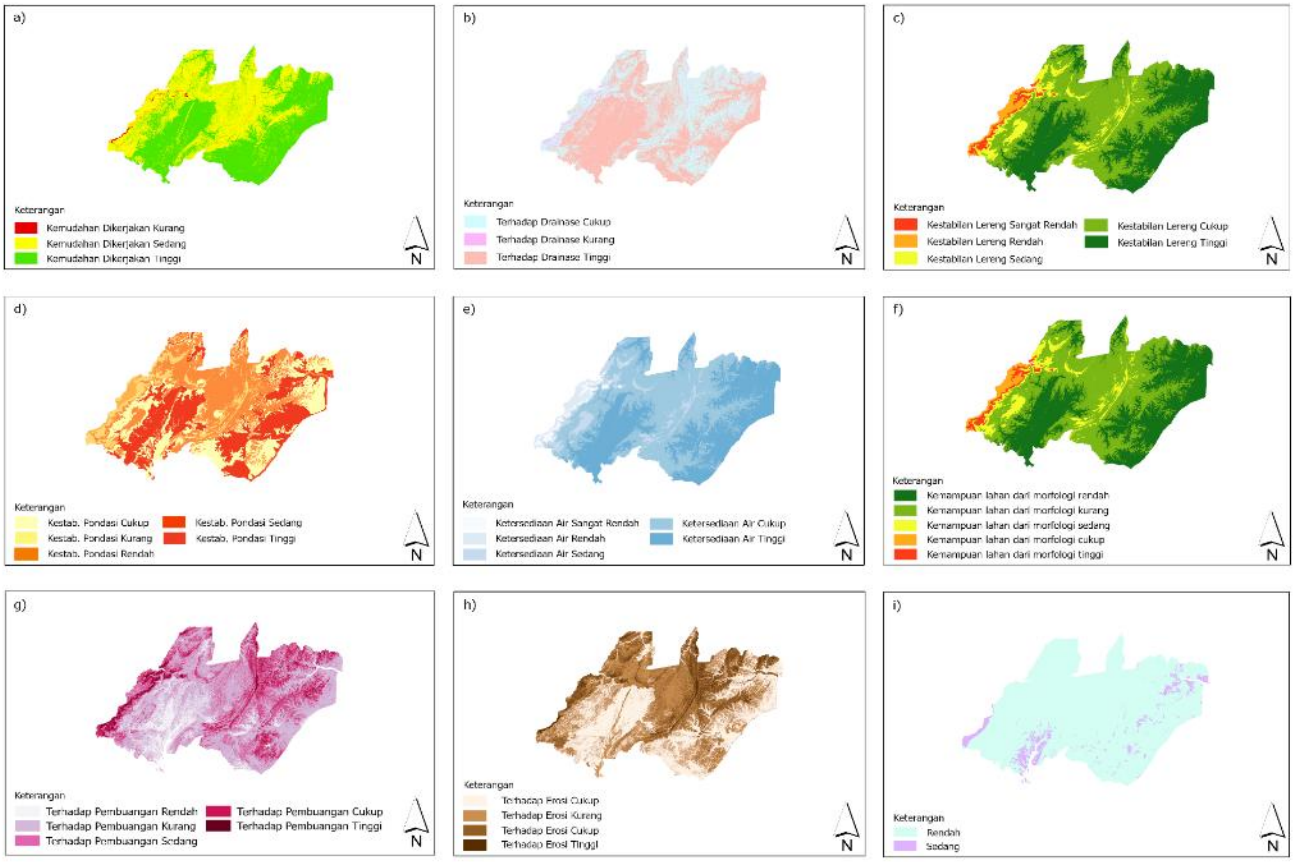
1. Studi literatur, dilakukan dengan mencari referensi-referensi relevan dengan penelitian yang dilakukan dari jurnal, artikel, dsb.
2. Persiapan data, dilakukan dengan mengumpulkan data-data dasar yang diperlukan dari setiap parameter yang dibutuhkan untuk penelitian ini.
3. Pengolahan dan analisis data, dilakukan dengan melakukan proses *skoring dan overlay* pada setiap parameter di SKL kemudian menggabungkan seluruh SKL dengan proses yang sama sehingga dapat dianalisis terkait kemampuan lahan, daya dukung daya tampung lahannya, serta rasio arahan wilayah potensial pengembangan Ibukota Nusantara



Gambar 1. Diagram alir pengolahan data satuan kemampuan lahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Satuan Kemampuan Lahan



Gambar 2. Peta hasil analisis satuan kemampuan lahan (SKL) yang dianalisis penulis, (a) SKL kemudahan dikerjakan, (b) SKL Terhadap Drainase, (c) SKL Kestabilan Lereng, (d) SKL Morfologi, (e) SKL Ketersediaan Air, (f) SKL Kestabilan Pondasi, (g) SKL Pembuangan Limbah, (h) SKL Terhadap Erosi , (i) SKL Bencana Alam

SKL Morfologi

Tabel 1. SKL morfologi Ibu Kota Nusantara.

SKL Morfologi	Luas (Ha)	Persen (%)
Kemampuan Lahan dari Morfologi Rendah	103.097	40,26
Kemampuan Lahan dari Morfologi Kurang	122.408	47,80
Kemampuan Lahan dari Morfologi Sedang	19.531	7,63
Kemampuan Lahan dari Morfologi Cukup	5.725	2,24
Kemampuan Lahan dari Morfologi Tinggi	5.307	2,07
Total	256.068	100

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

SKL Kemudahan Dikerjakan

Tabel 2. SKL kemudahan dikerjakan Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Kemudahan Dikerjakan	Luas (Ha)	Persen (%)
Kemudahan dikerjakan kurang	2655	1,04
Kemudahan dikerjakan sedang	103773	40,53
Kemudahan dikerjakan tinggi	149612	58,43
Total	256041	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

SKL Kestabilan Lereng

Tabel 3. SKL kestabilan lereng Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Kestabilan Lereng	Luas (Ha)	Persen (%)
Kestabilan Lereng Sangat Rendah	5.307	2,07
Kestabilan Lereng Rendah	5.725	2,24
Kestabilan Lereng Sedang	19.531	7,63
Kestabilan Lereng Cukup	122.407	47,80
Kestabilan Lereng Tinggi	103.096	40,26
SKL Kestabilan Lereng	256.067	100,00
Total	256.067	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

SKL Kestabilan Pondasi

Tabel 4. SKL kestabilan pondasi Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Kestabilan Pondasi	Luas (Ha)	Persen (%)
Terhadap Kestabilan Pondasi Rendah	4319	1,69
Terhadap Kestabilan Pondasi Kurang	16589	6,48
Terhadap Kestabilan Pondasi Sedang	87215	34,07
Terhadap Kestabilan Pondasi Cukup	89765	35,07
Terhadap Kestabilan Pondasi Tinggi	58102	22,70
Total	255992	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

SKL Ketersediaan Air

Tabel 5. SKL ketersediaan air Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Ketersediaan Air	Luas (Ha)	Persen (%)
Ketersediaan Air Sangat Rendah	5307	2,07
Ketersediaan Air Rendah	5725	2,24
Ketersediaan Air Sedang	19531	7,63
Ketersediaan Air Cukup	122408	47,80
Ketersediaan Air Tinggi	103097	40,26
Total	256068	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

SKL Terhadap Erosi

Tabel 6. SKL terhadap erosi Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Terhadap Erosi	Luas (Ha)	Persen (%)
Erosi Sangat Rendah	93485	36,51
Erosi Kurang	89504	34,96
Erosi Cukup Tinggi	58526	22,86
Erosi Tinggi	14527	5,67
Total	256041	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

SKL Drainase

Tabel 7. SKL drainase Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Drainase	Luas (Ha)	Persen (%)
Kemampuan Drainase Kurang	7217	2,82
Kemampuan Drainase Cukup	100274	39,16
Kemampuan Drainase Tinggi	148551	58,02
Total	256042	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

SKL Pembuangan Limbah

Tabel 8. SKL pembuangan limbah Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Pembuangan Limbah	Luas (Ha)	Persen (%)
Terhadap Pembuangan Limbah Rendah	24192	9,60
Terhadap Pembuangan Limbah Kurang	121224	48,11
Terhadap Pembuangan Limbah Sedang	51424	20,41
Terhadap Pembuangan Limbah Cukup	47949	19,03
Terhadap Pembuangan Limbah Tinggi	7176	2,85
Total	251965	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

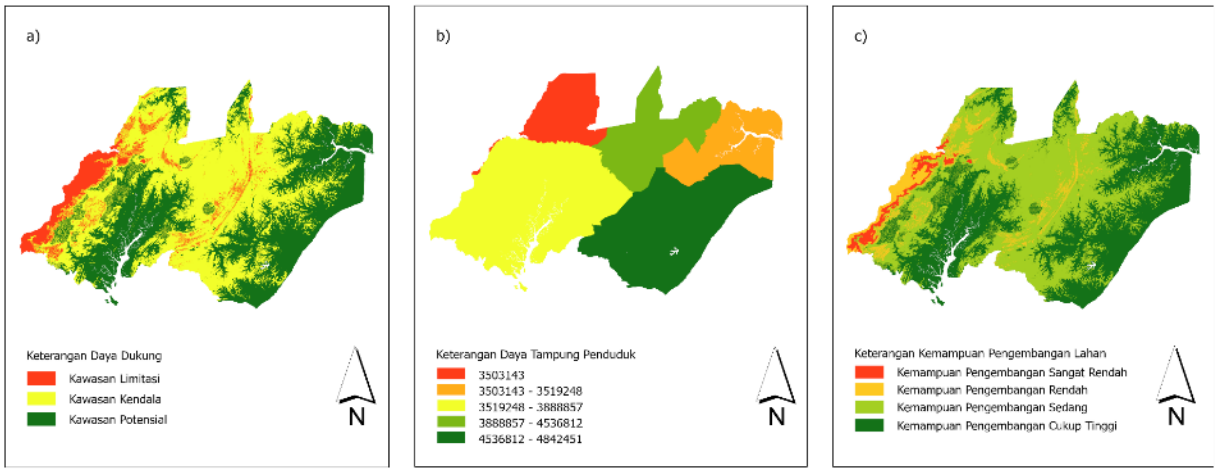
SKL Terhadap Bencana Alam

Tabel 9. SKL terhadap bencana alam Ibu Kota Negara Nusantara.

SKL Terhadap Bencana Alam	Luas (Ha)	Persen (%)
Potensi Bencana Alam Rendah	239087	94,08
Potensi Bencana Alam Sedang	15038	5,92
Total	254126	100,00

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

Nilai Kemampuan Lahan



Gambar 3. Peta hasil analisis kemampuan wilayah berdasarkan satuan kemampuan lahan (SKL) (a) peta daya dukung IKN (b) peta daya tampung penduduk per kecamatan di IKN (c) peta kemampuan pengembangan lahan

Hasil analisis pada **Tabel 10** menunjukkan wilayah Ibu Kota Nusantara memiliki kemampuan pengembangan sedang dengan luas mencapai 121.903,16 ha dengan porsi 48,47% dari luas total lahan IKN. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas lahan di IKN layak untuk dikembangkan untuk keperluan pembangunan baik skala kecil maupun skala besar.

Tabel 10. Hasil Kemampuan Lahan IKN

Kelas Kemampuan Lahan	Kelas Pengembangan Lahan	Luas (Ha)	Persen (%)
a	Kemampuan Pengembangan Sangat rendah	5.336,43	2,12
b	Kemampuan Pengembangan Rendah	16.064,70	6,39
c	Kemampuan Pengembangan Sedang	121.903,16	48,47
d	Kemampuan Pengembangan Agak Tinggi	108.221,75	43,03

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

Hasil analisis pada **Tabel 11** menunjukkan bahwa kawasan daya dukung mayoritas adalah Kawasan Kendala yang mana memiliki luas 108.221,75 ha dengan porsi 48,47% yang mana

memerlukan masukan teknologi bagi pembangunan dan pengembangan permukiman. Kawasan potensial seluas 108.221,75 ha dengan porsi 43,03% dan Kawasan Limitasi seluas 21.401,13 ha.

Tabel 11. Hasil Daya Dukung IKN.

Daya Dukung	Luas (Ha)	Persen (%)
Kawasan Limitasi	21.401,13	8,51
Kawasan Kendala	121.903,15	48,47
Kawasan Potensial	108.221,75	43,03

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

Analisis Daya Dukung dan Daya Tampung

Analisis ini bertujuan untuk melihat dan mengetahui seberapa mampu suatu wilayah dalam menyediakan lahan permukiman guna menampung jumlah penduduk untuk bertempat tinggal secara layak dapat dilihat pada **Tabel 12.**

Tabel 12. Hasil analisis daya dukung IKN.

		Komponen Daya Dukung			
Administrasi Wilayah	Jumlah Penduduk	LWp	LPm x 60%	DDPm	Nilai DDPm
IKN Nusantara	264.337	1.082.217.52	64.9330.516,8	184.695,46	DDPm > 1

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

Hasil analisis dari perhitungan menggunakan parameter yang dibutuhkan dalam menganalisis komponen daya dukung menunjukkan bahwa nilai luas wilayah pengembangan (LWp) 1.082.217 ha yang mana akan dijadikan sebagai luas wilayah pengembangan Ibu Kota Nusantara. Luas lahan yang dapat dikembangkan menjadi permukiman (LPm) adalah hasil dari perkalian antara LWp dengan koefisien 60% dari luas total LWp sehingga didapatkan sebesar 649.330,2 ha. Daya dukung permukiman (DDPm) yang dihasilkan dari Luas lahan yang dapat dikembangkan menjadi permukiman (LPm) dibagi dengan Jumlah penduduk dan koefisien luas lahan per kapita dengan hasil Daya dukung permukiman mencapai 184.695 dengan hasil nilai DDPm > 1 yang artinya daya dukung permukiman tinggi, masih mampu menampung penduduk untuk bermukim dalam wilayah IKN tersebut.

Hasil daya dukung permukiman tertinggi terdapat pada Kecamatan Sepaku dengan nilai Daya dukung permukiman (DDPm) mencapai 104,27. Diikuti yang terendah adalah Kecamatan Loa Janan dengan nilai DDPm mencapai 67,24. Nilai DDPm dipengaruhi oleh jumlah penduduk dan luas wilayah. jika rasio luas wilayah pengembangan (LWp) dengan Jumlah penduduk kecil, maka nilai DDPm akan semakin besar. Seperti halnya Kecamatan Sepaku yang memiliki nilai DDPm 104,97 yang mana dikarenakan penduduknya sedikit dan LWp nya besar. Seluruh Kecamatan di IKN memiliki nilai DDPm > 1 sehingga daya dukung permukiman tinggi, masih mampu menampung penduduk untuk bermukim dalam wilayah IKN tersebut.

Tabel 13. Hasil analisis daya dukung IKN per kecamatan.

Administrasi Kecamatan	Jumlah Penduduk	Komponen Daya Dukung			
		LWp	LPm x 60%	DDPm	Nilai DDPm
Loa Janan	67.471	100.566	60.339,6	67,24	DDPm > 1
Loa Kulu	51.639	77.653	46.591,8	67,84	DDPm > 1
Muara Jawa	41.561	78.010	46.806	84,68	DDPm > 1
Samboja	66.617	107.341	64.404,6	72,69	DDPm > 1
Sepaku	37.049	86.203	51.721,8	104,97	DDPm > 1

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

Analisis daya tampung adalah kemampuan suatu wilayah untuk menerima dan menampung jumlah penduduk yang optimal. Analisis daya tampung berguna untuk respon terhadap dinamika pertumbuhan penduduk yang saat ini sulit untuk dihindari. Analisis daya tampung sesuai dengan administrasi kecamatan di IKN dapat dilihat pada **Tabel 14.**

Tabel 14. Hasil analisis daya tampung IKN per kecamatan

Administrasi Wilayah	DDPm	Komponen Daya Tampung		
		Jumlah Penduduk	Daya Tampung (Jiwa)	Sisa Daya Tampung (Jiwa)
Loa Janan	67,24	67.471	4.536.812	4.469.341
Loa Kulu	67,84	51.639	3.503.143	3.451.503
Muara Jawa	84,68	41.561	3.519.248	3.477.687
Samboja	72,69	66.617	4.842.451	4.775.834
Sepaku	104,97	37.049	3.888.857	3.851.808

Sumber: Hasil analisis penulis (2024)

Data daya tampung adalah data hasil DDPm dikali dengan jumlah penduduk. Hasilnya, daya tampung permukiman tertinggi terdapat pada Kecamatan Loa Janan dengan daya tampung sebesar 4.536.812 jiwa dengan sisa daya tampung dari penduduk eksisting dengan jumlah 4.469.341 jiwa. Daya tampung terendah pada Kecamatan Loa Kulu dengan daya tampung sebesar 3.503.143 jiwa dan sisa daya tampung sebesar 3.451.503. Dari data pada **Tabel 14** diasumsikan penduduk yang dapat ditampung di Ibu Kota Nusantara tersisa 20.024.174 jiwa dan tentunya dengan pertimbangan melalui pendekatan kelingkungan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan lahan wilayah IKN tertinggi berada di kelas C atau kemampuan lahan sedang dengan luas sebesar 121.903,16 ha yang setara dengan 48,47% luas total lahan IKN. Sedangkan untuk daya dukung dan daya tampung IKN dari luas wilayah pengembangannya sebesar 1.082.217 ha akan menghasilkan daya dukung permukiman sebesar 184.695 dengan nilai DDPm > 1 yang berarti wilayah IKN masih mampu menampung penduduk untuk bermukim. Wilayah dengan daya tampung penduduk tertinggi berada di Kecamatan Loa Janan dengan daya tampung sebesar 4.536.812 jiwa, sedangkan wilayah dengan daya tampung penduduk terendah berada di Kecamatan Loa Kulu dengan daya tampung sebesar 3.503.143 jiwa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hasil Analisis Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh kontributor yang ikut serta dalam penulisan naskah seminar nasional BIG 2024 serta tentunya juga kepada pembimbing yang turut serta membantu dan memberi masukan, selain itu juga penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh instansi yang memfasilitasi data sehingga dalam penulisan naskah seminar nasional BIG ini berjalan dengan baik dan terstruktur.

DAFTAR PUSTAKA

Adhe Dodit Hermawan, & Iwan Rudiarto. (2023). Daya Dukung Permukiman dan Kesesuaian Pola Ruang Kawasan Permukiman di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota, 19(1), 48–63. https://doi.org/10.14710/pwk.v19i1.23914

Andika Saputra Hasanuddin *et al.*, (2022). Analisis Pengembangan Kawasan Kota Baru Pattallassang. Journal of Urban Planning Studies, 2(3), 230–241. https://doi.org/10.35965/jups.v2i3.305

Irjadi A *et al.*, (2020). EVALUASI PEMANFAATAN TERHADAP KEMAMPUAN LAHAN di KOTA BITUNG. SPASIAL, 7(3), 278–289. https://doi.org/10.35793/sp.v7i3.30845

JISIP (Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan). (n.d.). Ejournal.mandalanursa.org. http://ejournal.mandalanursa.org/index.php/JISIP/index

Mochamad Alif Khula Muttaqin. (2023). Penentuan Daya Dukung dan Daya Tampung Menggunakan Analisis Kemampuan Lahan di Kecamatan Lowokwaru Kota Malang. DEMOS Journal of Demography Ethnography and Social Transformation, 3(1), 23–41. https://doi.org/10.30631/demos.v3i1.1788

Manoi, A. A. H. W., Mononimbar, W., & Poluan, R. J. (2022). Evaluation of Land Suitability for Settlement Area in North Minahasa Regency (Research Location: District Of Kalawat, Airmadidi, Kauditan and Kema) Evaluasi Kesesuaian Lahan Permukiman di Kabupaten Minahasa Utara (Studi Kasus: Kecamatan Kalawat, Airmadidi, Kauditan dan Kema). SPASIAL, 9(1), 1–12. https://doi.org/10.35793/sp.v9i1.40293

Ruwayan, D. K. H., Kumurur, V., & Mastutie, F. (2020). Analisis Daya Dukung dan Daya Tampung Lahan di Pulau Bunaken. Spasial, 7(1), 94–103. https://doi.org/10.35793/sp.v7i1.27788

Ramadhan, A., & Mazhi, K. Z. (2022). Kajian Daya Dukung Lahan Perkotaan dalam Rangka Optimalisasi Penataan Ruang Kota Bandung. Journal of Regional and Rural Development Planning (Jurnal Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Perdesaan), 6(3), 212–232. https://doi.org/10.29244/jp2wd.2022.6.3.212-232

PU (Pekerjaan Umum). (2007). Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2007 tentang Pedoman Analisis Aspek Fisik dan Lingkungan, Ekonomi serta Sosial Budaya dalam Penyusunan Rencana Tata Ruang.

RI (Republik Indonesia). (2022). Peraturan Presiden Nomor 64 Tahun 2022 tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Strategis Nasional Ibu Kota Nusantara Tahun 2022 - 2042 . Pemerintah Republik Indonesia. Indonesia.

RI (Republik Indonesia). (2007). Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Sekretariat Negara. Jakarta.

RI (Republik Indonesia). (2007). Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2007 tentang Pemerintahan Daerah Khusus Ibukota Jakarta Sebagai IbuKota Negara Kesatuan Republik Indonesia. Sekretariat Negara. Jakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

IMPLEMENTASI KONSEP *SMART CITY* KOTA SAMARINDA DALAM MENDORONG PERTUMBUHAN IBU KOTA NUSANTARA (IKN)

(Implementation of The Smart City Concept of Samarinda City to Encourage The Growth of The Indonesian Capital/Ibu Kota Nusantara (IKN))

Zakiyatul Afiyah[1] dan Natalia[2]
[1]Program Studi Magister Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
[2]Program Studi Magister Ekonomika Pembangunan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur Sinduadi Sleman, Sendowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: zakiyatulafiyah@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Kota Samarinda merupakan salah satu kota penyangga Ibu Kota Nusantara (IKN) dan memiliki aktivitas pada sektor ekonomi yang tinggi. Aspek keberlanjutan ekonomi merupakan aspek yang penting dalam perencanaan IKN. Salah satu tujuan dari pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals (SDGs)* yaitu mewujudkan pertumbuhan ekonomi inklusif. Untuk mencapai hal tersebut maka implementasi *smart city* perlu dilaksanakan. *Smart city* adalah konsep kota cerdas yang bertujuan untuk mendukung kegiatan adaptasi dengan teknologi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi *smart city* dalam tata kelola Kota Samarinda dalam mendorong pertumbuhan IKN dan mengetahui faktor penghambat implementasi konsep tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis deskriptif kualitatif dengan menganalisis kegiatan implementasi *smart city*. Implementasi *smart city di* Kota Samarinda mengalami perubahan secara bertahap seiring dengan pembangunan IKN. Makalah ini menyoroti terkait implementasi *smart governance, smart branding, smart economy, smart living, smart society, dan smart environment*. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa program *smart city* sudah berkembang, namun terdapat beberapa hambatan yang perlu ditingkatkan pada setiap dimensi. Rekomendasi yang dapat dilakukan agar implementasi *smart city* dapat berjalan dengan baik adalah dengan meningkatkan pemeliharaan *website* yang sudah dibuat agar dapat memudahkan masyarakat dalam mengakses layanan tersebut. Hambatan yang ada perlu diatasi untuk mewujudkan pembangunan IKN yang berkelanjutan dengan meningkatkan pelaksanaan *smart city* di Kota Samarinda. Penerapan *smart city* di Kota Samarinda masih banyak hal yang perlu diatasi kedepannya. Rekomendasi mencakup pemantauan dari pihak terkait, kemampuan beradaptasi untuk jangka panjang, dan perlindungan pada ekosistem.

Kata kunci: Implementasi, *Smart City*, Kota Samarinda, IKN

ABSTRACT

Samarinda City is one of the supporting cities for the Indonesian Capital City/Ibu Kota Nusantara (IKN) and has high activity in the economic sector. Economic sustainability is an important aspect of IKN planning. One of the goals of sustainable development or Sustainable Development Goals (SDGs) is to realize inclusive economic growth. To achieve it, a smart city needs to be implemented. Smart City is an intelligent city concept that aims to support adaptation activities with technology. This study aims to analyze the implementation of smart cities in Samarinda City governance to encourage the growth of IKN and determine the factors inhibiting the implementation of this concept. This study used a qualitative descriptive analysis method by analyzing smart city implementation activities. The implementation of smart cities in Samarinda has gradually changed along with the development of IKN. This paper highlights this implementation related to smart governance, smart branding, smart economy, smart living, smart society, and smart environment. Based on the research results, it is known that the smart city program has been developed, but several obstacles need to be improved in each dimension. For the implementation of a smart city, Samarinda needs to maximize the website to make it easier for the public to access the service. To realize sustainable IKN development, there are still many things that need to be fixed in the future. The recommendations given include monitoring from related parties, long-term adaptability, and ecosystem protection.

***Keywords**: Implementation, Smart City, Samarinda City, IKN*

PENDAHULUAN

Ibu Kota Nusantara (IKN) sebagai pusat pemerintahan baru di Indonesia berusaha untuk menjadi sebuah pusat pemerintahan yang modern dan efisien. Salah satu upayanya adalah dengan menerapkan konsep pembangunan *smart city* atau kota pintar. Konsep *smart city* dapat meningkatkan efisiensi melalui pemanfaatan teknologi informasi dalam pengelolaan sebuah kota. Berdasarkan pernyataan Presiden Joko Widodo, pemindahan IKN adalah langkah untuk mempercepat pembangunan, meratakan pertumbuhan, dan memberdayakan kawasan Indonesia timur. Penetapan IKN diharapkan dapat menjadi pendorong untuk mengembangkan pusat-pusat ekonomi baru di berbagai wilayah lain di Indonesia (Liputan6.com, 2023).

Implementasi konsep *smart city* di IKN bertujuan untuk mengubahnya menjadi sebuah kota yang sehat, efisien, produktif, ramah bagi pejalan kaki dan pengguna sepeda, serta menyediakan layanan keamanan, kesehatan, dan pendidikan yang dapat menjadi pusat inovasi global (Wisnubroto, 2023). Pembangunan kota cerdas di IKN menjadi salah satu prioritas Kominfo. Saat ini, Kominfo telah menyusun peta jalan digital sebagai panduan strategis untuk mengembangkan *smart city* di Indonesia dan sebanyak 100 kota telah mulai menerapkan konsep *smart city*. Menurut Muhammad Faisal yang menjabat sebagai Kepala Dinas Komunikasi dan Informatika (Diskominfo) Provinsi Kalimantan Timur (Kaltim) menyatakan bahwa pengembangan *smart city* di IKN akan memberikan manfaat bagi daerah tersebut, terutama dalam mempercepat proses transformasi digital. Tiga kota penyangga yang berada di sekitar IKN yaitu Balikpapan, Samarinda, dan Bontang yang termasuk dalam program 100 *smart city* di Indonesia (Diskominfo Kaltim, 2022).

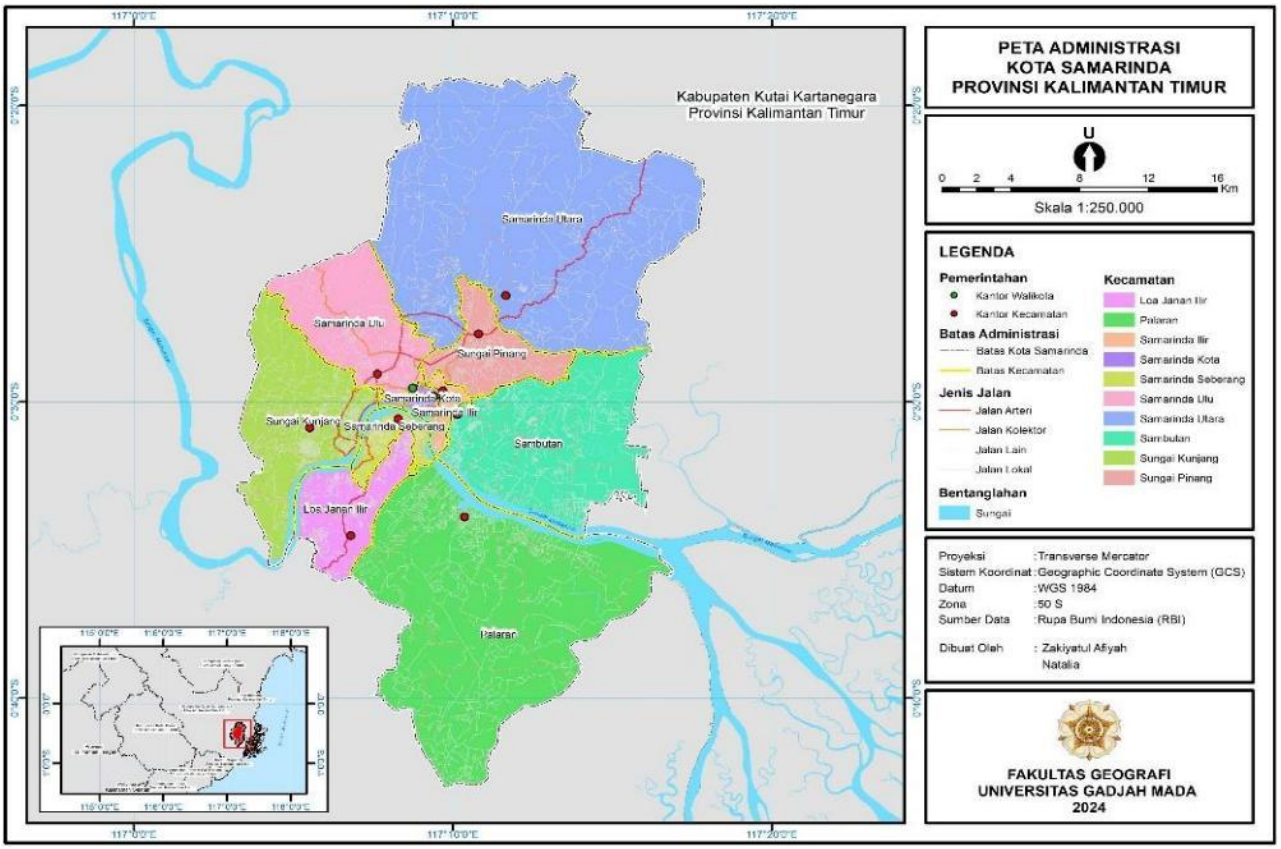
Salah satu pusat perekonomian regional yang penting di Kalimantan Timur adalah Kota Samarinda yang memegang posisi strategis dalam berbagai sektor seperti perdagangan, industri, jasa, dan pemukiman yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi *smart city* dalam tata kelola Kota Samarinda dalam mendorong pertumbuhan IKN dan mengetahui faktor penghambat implementasi konsep tersebut.

Smart City merupakan sebuah konsep dimana layanan perkotaan diselenggarakan melalui kolaborasi antara pemerintah daerah dan pemangku kepentingan, dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi. Konsep ini berlaku di wilayah perkotaan yang memiliki karakteristik geografis, sosiologis, dan administratif kota, serta memiliki standar tertentu untuk meningkatkan efisiensi, kegunaan yang tepat, integrasi, dan visi masa depan. Hal ini dilakukan dengan memanfaatkan potensi teknologi informasi dan komunikasi (TIK), sumber daya manusia (SDM), dan ekosistem yang ada (Djunaedi *et al.*, 2018).

METODE

Kota Samarinda adalah Ibu Kota Provinsi Kalimantan Timur yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Kutai Kartanegara. Secara astronomis, Kota Samarinda terletak di antara $117^0$03’00” BT – $117^0$18’14” BT dan $00^0$19’02” LS – $00^0$42’34” LS dengan luas wilayah sebesar 718 km^2 atau 71.800 Ha (Polresta Samarinda, 2022).

Kebijakan dan program pembangunan Kota Samarinda tercantum dalam dokumen perencanaan pembangunan seperti Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) tahun 2021-2026, Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP) tahun 2005-2025, dan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Samarinda Tahun 2014-2034, mengadopsi pendekatan perencanaan berdasarkan enam pilar *smart city* yaitu *smart governance*, *smart branding*, *smart economy*, *smart living*, *smart society*, dan *smart environment* (Pemkot Samarinda, 2022). Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kualitatif dengan metode analisis deskriptif (Prayuda *et al.*, 2023). Adapun yang menjadi fokus penelitian adalah mengetahui implementasi konsep *Smart City* dan faktor penghambatnya di Kota Samarinda. Penelitian ini menggunakan sumber data sekunder yang diperoleh dari laporan-laporan, jurnal, *website* yang berkaitan dengan penerapan *Smart City di* Kota Samarinda. Teknik pengumpulan data menggunakan penelitian kepustakaan dengan mengumpulkan informasi melalui berbagai macam referensi yang berkaitan dengan fokus penelitian (Sari, 2020).



Sumber Data: Rupa Bumi Indonesia, diolah)

Gambar 1. Lokasi Penajam Paser Utara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Smart Governance dan Penghambatnya

Implementasi Smart Governance

Berdasarkan perhitungan skor evaluasi variabel peningkatan kapasitas pemerintah daerah dalam mendukung aspek *smart governance* yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu (Nugroho & Septiana, 2023) diketahui bahwa Kota Samarinda mempunyai tingkat kapasitas sebesar 2,1 yang menggambarkan berada pada klasifikasi sedang. Hal ini terjadi karena tidak semua variabel tergolong dalam variabel berkapasitas tinggi, terdapat satu variabel yang mempunyai skor rendah. **Tabel 1** menyajikan penilaian terhadap beberapa variabel terkait aspek *smart governance*:

Tabel 1. Skor rata - rata variabel pada aspek *smart governance.*

Variabel	Rata - Rata Skor
Partisipasi masyarakat	1,4 (rendah)
Keterbukaan data	2,4 (tinggi)
Implementasi kebijakan	2,3 (sedang)
Kualitas pelayanan publik	2,4 (tinggi)
Kepemimpinan	2,1 (sedang)
Reformasi regulasi	2,0 (sedang)
Inovasi	2,0 (sedang)
Pemanfaatan TIK	2,3 (sedang)
Rata – rata	2,1 (sedang)

Sumber: Nugroho & Septiana (2023)

Hambatan dalam Implementasi Smart Governance

Beberapa hambatan dalam implementasi *smart governance* untuk mencapai visi Kota Samarinda sebagai *smart city* yaitu meliputi beberapa faktor, baik internal maupun eksternal.

Faktor internal yaitu kurangnya keterlibatan aktif sumber daya operator, adanya kepentingan sektoral dari beberapa Organisasi Perangkat Daerah (OPD) terkait dengan alokasi anggaran untuk pemeliharaan aplikasi atau situs *website*, dan kekurangan infrastruktur pendukung. Sedangkan dari faktor eksternal meliputi sikap apatis masyarakat dan hambatan dalam pengembangan serta integrasi aplikasi karena kebijakan satu data dari pemerintah pusat (Prayuda *et al.*, 2023)

Smart Branding **dan Penghambatnya**

Implementasi Smart Branding

Strategi implementasi terkait dengan *smart branding* adalah melibatkan organisasi pedagang kaki lima dan sektor informal lainnya dalam bidang perdagangan, meningkatkan partisipasi koperasi dan usaha kecil menengah, serta melibatkan peran aktif dari Dinas Pariwisata dan pusat ekonomi lokal yang strategis di Kalimantan Timur, terutama di Kota Samarinda untuk merubah pasar tradisional menjadi pusat perdagangan modern (Widiastuti *et al.*, 2019). Implementasi *smart branding* dapat memberikan kemudahan investasi dalam pelayanan yang lebih efisien yaitu melalui pengembangan infrastruktur teknologi dan penyediaan sumber daya manusia yang berkualitas di pasar tenaga kerja, menata pedagang kaki lima dan sektor informal lainnya di bidang perdagangan, dan meningkatkan partisipasi koperasi dan usaha kecil menengah serta peran pariwisata dan ekonomi kreatif, pertanian, peternakan dan perikanan melalui berbagai media termasuk media sosial, acara promosi, dan kolaborasi dengan pihak swasta untuk mendukung pertumbuhan ekonomi masyarakat.

Hambatan Implementasi Smart Branding

Hambatan dalam implementasi *smart branding* di Kota Samarinda yaitu anggaran APBD (Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah) yang terbatas sehingga menghambat "*branding*" Kota Samarinda. Selain itu, terdapat etnik yang bersifat heterogen yang cukup menyulitkan proses "*branding*" karena banyaknya latar belakang budaya dan pemikiran beragam yang harus disatukan (Widiastuti *et al.*, 2019).

Smart Economy **dan Penghambatnya**

Implementasi Smart Economy

Sejak pandemi *Covid-19*, Pemerintah Kota Samarinda telah mengembangkan *marketplace* lokal dalam bentuk aplikasi bernama Behambinan. Aplikasi ini membantu masyarakat Kota Samarinda dalam aktivitas berbelanja tanpa harus keluar rumah. Kontribusi Behambinan juga dinilai membantu UMKM lokal meningkatkan pendapatan yang terdampak oleh pandemi *Covid-19*. *Smart economy* dapat diimplementasikan dengan menerapkan transaksi *cashless*, terutama di lingkungan pemerintah. Selain itu juga dapat dilakukan sosialisasi atau edukasi kepada masyarakat agar transaksi *cashless* mulai dibudayakan. Strategi pengembangan *smart economy* di Kota Samarinda juga diterapkan melalui Program Pembangunan dan Pemberdayaan Masyarakat (Probebaya) yang direncanakan oleh Pemerintah Kota Samarinda pada bulan Juni 2021. Probebaya merupakan tindak lanjut dari Permendagri No. 130 Tahun 2018 dan merupakan program prioritas pada masa Pemerintahan Walikota Andi Harun. Tujuan dari Probebaya adalah untuk mempercepat peningkatan kesejahteraan masyarakat melalui pendekatan gotong royong yang berbasis pada struktur wilayah (Arsyad *et al.*, 2022).

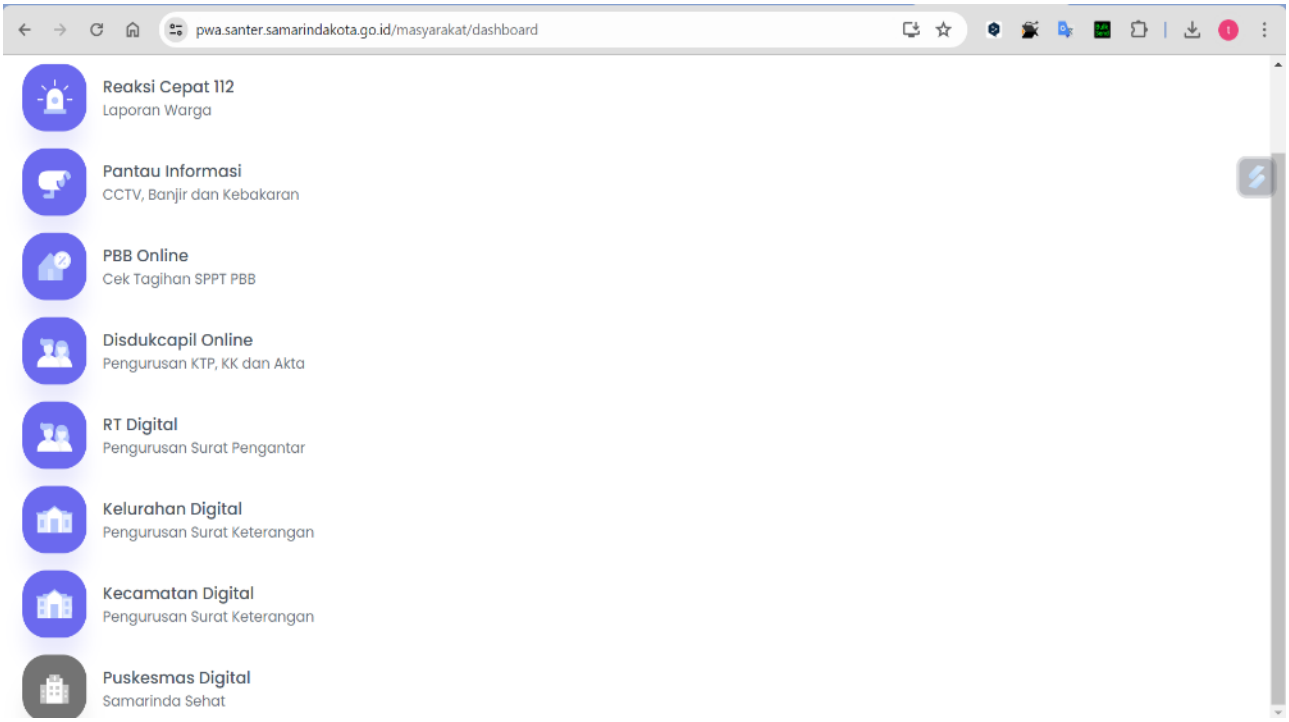
Hambatan dalam Implementasi Smart Economy

Beberapa hambatan dalam implementasi *smart economy* meliputi keterbatasan akses teknologi dan infrastruktur digital yang memadai seperti koneksi internet yang tidak stabil atau jangkauan akses internet *broadband* yang terbatas, kurangnya kesadaran dan keterampilan digital di kalangan masyarakat dan pelaku usaha, yang dapat menghambat adopsi teknologi digital untuk meningkatkan produktivitas dan daya saing ekonomi. Keterbatasan pengetahuan dan keterampilan digital di kalangan masyarakat dan pelaku usaha lokal juga menjadi faktor penghambat dalam menerapkan *smart economy* di Kota Samarinda.

Smart Living **dan Penghambatnya**

Implementasi Smart Living

Seluruh aspek yang terjadi pada kota berawal dari kehidupan masyarakat sehari-hari (Vinod Kumar, 2020). Masyarakat yang tinggal kota memiliki beban dan budayanya masing-masing yang menjadi perilaku di kota. dalam membangun *smart living* akan dipengaruhi melalui teknologi dalam penyediaan transportasi, logistik yang tentram, aman, dan ramah. Saat ini, Pemerintah Kota Samarinda telah membuat situs bernama satu aplikasi terintegrasi (SANTER) untuk memudahkan masyarakat menerima informasi terkait Samarinda melalui pwa.santer.samarindakota.go.id. Masyarakat dapat mengakses 45 titik CCTV Kota Samarinda melalui situs tersebut. Pada situs ini juga terintegrasi dengan kelurahan dan kecamatan digital. Selain itu, pada situs ini juga memiliki layanan panggilan darurat 112 untuk memudahkan masyarakat dalam menyampaikan permasalahan yang sedang terjadi.



Sumber: https://pwa.santer.samarindakota.go.id//masyarakat/dashboard

Gambar 2. Tampilan aplikasi Santer.

Pada aspek kesehatan, Pemerintah Kota Samarinda menyiapkan aplikasi SIKDA. Aplikasi ini memiliki beberapa fitur untuk mendapatkan data jumlah penderita penyakit dan tenaga kesehatan (Idris & Zulaikha, 2021). Website Dinas Kesehatan Kota Samarinda sendiri tidak bisa kami akses saat kami mencobanya. Namun saat kami mengunjungi *playstore*, aplikasi tersebut sudah tidak tersedia lagi. Sedangkan pada aplikasi santer, pelayanan ini belum tersedia dikarenakan fitur puskesmas digital yang terdapat pada aplikasi tersebut belum dapat digunakan.

Hambatan dalam Implementasi Smart Living

Beberapa hambatan dalam implementasi *smart living* beberapa dapat terlihat pada penyampaian implementasi *smart living* sebelumnya yaitu, kesulitan dalam mengakses *website* tersebut, belum optimalnya pemeliharaan dan perawatan pada *website* dan kurangnya promosi akses tersebut sehingga dikhawatirkan belum dapat optimal digunakan oleh masyarakat.

***Smart Society dan* Penghambatnya**

Implementasi Smart Society

Menurut Van Lendegem (2011), *key driver* pada aspek ini adalah meningkatnya pola edukasi, tersedianya *remote e-education solution* dan masyarakat yang menerima informasi dengan baik. Dinas Perpustakaan dan Kearsipan Kota Samarinda telah membuat inovasi dengan memberikan pelayanan peminjaman online melalui inlislite.samarindakota.go.id. Namun, layanan ini

mengharuskan untuk mengambil buku fisik secara langsung, belum adanya buku digital untuk fasilitas membaca buku secara online.

Hambatan dalam Implementasi Smart Society

Keterbatasan sumber daya yang memadai agar dapat memanfaatkan teknologi *smart society* dengan lebih optimal. Belum banyaknya buku digital membuat akses daring inlislite.samarindakota.go.id menjadi hambatan tersendiri bagi pemerintah Samarinda. Dengan meningkatkan manajemen sumber daya, dapat dilakukan pengembangan proyek *Smart City* yang lebih efektif dan efisien.

Smart Environment **dan Penghambatnya**

Implementasi Smart Environment

Sebagai salah satu kota dengan sumber daya alam, menjadi tantangan tersendiri bagi Kota Samarinda dalam menciptakan lingkungan yang nyaman untuk ditinggali bagi masyarakat maupun wisatawan. sebuah inovasi yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Samarinda dalam menunjang *smart environment* menggunakan teknologi *truck road sweeper* yang dapat digunakan untuk menyaring pasir halus (Einsbie Grata Myn & Adji Zahra Salsabila, 2022).

Hambatan dalam Implementasi Smart Environment

Hambatan yang dialami Pemerintah Kota Samarinda dalam menerapkan *smart environment* adalah peran serta masyarakat dalam menanamkan kesadaran kebersihan kendaraan sehingga menimbulkan pasir halus terus menerus. Selanjutnya dari sisi pemerintah, belum adanya daur ulang polutan pasir halus (*grid*) dalam melakukan pengkajian ulang kebijakan yang tidak selaras melalui peraturan daerah (Einsbie Grata Myn & Adji Zahra Salsabila, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa program *smart city* sudah berkembang namun terdapat beberapa hambatan yang perlu ditingkatkan pada setiap dimensi. Rekomendasi dalam implementasi konsep *smart city* tersebut adalah meningkatkan pemeliharaan *website* yang sudah dibuat agar dapat memudahkan masyarakat dalam mengakses layanan tersebut, meningkatkan program pendidikan atau sosialisasi dan kesadaran masyarakat tentang manfaat dan cara penerapan teknologi dalam kehidupan sehari – hari, serta meningkatkan kolaborasi atau kerja sama antara perusahaan teknologi, lembaga akademis, dan organisasi non pemerintah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian ini, yaitu Universitas Gadjah Mada dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP).

DAFTAR PUSTAKA

Arrohman, Z. D., Andriani, W., Gunawan, G. (2023). Analisis Penerapan Smart Living dalam Pembangunan Smart City di Kota Tegal. *Jurnal Cahaya Mandalika,* Volume 4, Nomor 2. https://doi.org/10.36312/jcm.v4i2.1448

Arsyad, A. W., Siburian, E. S., Nurasimah, Pasapan, N. L., Arisandi, M., & Putra, R. Y. F. (2022). KOMUNIKASI dalam MEMBANGUN SMART ECONOMY di KOTA SAMARINDA. *Jurnal Riset Inossa*, *4*(2), 78–91. https://doi.org/10.54902/jri.v4i2.77

Diskominfo Provinsi Kalimantan Timur. (2022). "Faisal: Smart City Dimulai dari Smart Government". https://diskominfo.kaltimprov.go.id/index.php/berita/faisal-smart-city-dimulai-dari-smart-government. Diakses pada 1 April 2024

Djunaedi, A., Permadi, D., Nugroho, L., Widyawan, W., Rachmawati, R., Hidayat, A., dan Achmad, K.A. (2018). *Membangun Kota dan Kabupaten Cerdas: Sebuah Panduan bagi Pemerintah Daerah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

Einsbie Grata Myn & Adji Zahra Salsabila. (2022). Policy Innovation of Smart Environment by the Recycling Project Method at the Samarinda City Environment Service: Indonesian. *Formosa Journal of Applied Sciences*, *1*(7), 1443–1452. https://doi.org/10.55927/fjas.v1i7.2194

Hsu, W.-L., Chen, W.-T., Kuo, H.-H., Shiau, Y.-C., Chern, T.-Y., Lai, S.-C., & Fan, W.-H. (2020). Establishment of Smart Living Environment Control System. *Sensors and Materials*, *32*(1), 183. https://doi.org/10.18494/SAM.2020.2581

Idris, E.A. & Zulaikha, F. (2021). Hubungan Jenis Kelamin Terhadap Kejadian DHF pada Anak di TK RA AL Kamal 4 di Wilayah Bukuan Kota Samarinda. *Borneo Student Research*. eISSN: 2721-5725, Vol 2, No 3, 2021.

Nugroho, R. A. & Septiana, A.A.M. (2023). Evaluation Of Local Government Capacity In Supporting Government Aspects (Samarinda City Case Study). *Indonesia Governance Journal*. Volume 6, Number 1, Pages 37-44. https://doi.org/10.24905/igj.6.1.2023.37-44

Noor, H. F., Kusuma, A.R., dan Irawan, B. 2020. Implementasi Peraturan Walikota Nomor 8 Tahun 2018 Tentang Masterplan Smart City Pada Pilar Smart Environment Kota Samarinda. *eJournal Administrasi Publik,* 8 (1): 9030 – 9042. Diakses pada 3 April 2024, dari https://ejournal.ap.fisip-unmul.ac.id/site/?p=3099

Prayuda, D.A., Irawan, B., Apriani, F. (2023). Faktor Penghambat Implementasi Smart Governance dalam Mewujudkan Samarinda Smart City. *eJournal Administrasi Publik*. Volume 11, Nomor 4, 987 - 994. Diakses pada 1 April 2024, dari https://ejournal.ap.fisip-unmul.ac.id/site/?p=4794.

Prayogo, Dimas. (2022). "Efektivitas Command Center Sebagai Pusat Pengendali Penanggulangan Keadaan Darurat dan Bencana di Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur (Studi Kasus Layanan Samarinda Siaga 112). Diakses pada 3 April 2024, dari http://eprints.ipdn.ac.id/8063/

Peraturan Wali Kota Samarinda. (2022). Masterplan Samarinda Smart City Plus Tahun 2022 - 2025. Diakses pada 3 April 2024, dari https://jdih.samarindakota.go.id/storage/Peraturan/2023-02/03/peraturan-wali-kota-samarinda-nomor-79-tahun-2022-tentang-masterplan-samarinda-smart-city-plus-tahun-2022-2025079.pdf.

Sari, Milya. (2020). Penelitian Kepustakaan (*Library Research*) dalam Penelitian Pendidikan IPA. *Journal Natural Science.* 6 (1), 41–53. https://doi.org/10.15548/NSC.V6I1.1555

Tim News. (2023). "Mengusung Konsep Smart City, IKN Nusantara Akan Berdampingan dengan Alam".https://www.liputan6.com/news/read/244996/mengusung-konsep-smart-city-IKN-nusantara-akan-berdampingan-dengan-alam?page=3. Diakses pada 30 Maret 2024

Widiastuti, T., Mihardja, E. and Agustini, P. (2019). Smart City Branding Strategy of the Samarinda in East Kalimantan. *In Proceedings of the Second International Conference on Social, Economy, Education and Humanity (ICoSEEH 2019) - Sustainable Development in Developing Country for Facing Industrial Revolution 4.0, pages 238-245*. DOI: 10.5220/0009118902380245.

Widodo, Ervina Meillin dan Nur Rahmawati Syamsiyah. 2021. Identifikasi Program Pengembangan Kota Hijau (P2kh) Pada Ruang Terbuka Hijau dalam Mewujudkan Konsep Smart City (Studi Kasus : Taman Samarendah di Samarinda). Diakses pada 3 April 2024, dari https://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/12649

Wisnubroto, Kristantyo. (2023). "Implementasi IKN Kota Cerdas". https://www.indonesia.go.id/kategori/editorial/7747/implementasi-IKN-kota-cerdas?lang=1. Diakses pada 30 Maret 2024

Vinod Kumar, T. M. (2020). Smart Living for Smart Cities. dalam T. M. Vinod Kumar (Ed.), Smart Living for Smart Cities (hlm. 3–71). *Springer Singapore.* https://doi.org/10.1007/978-981-15-4615-0_1

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS KESESUAIAN LAHAN UNTUK PERMUKIMAN DI IBU KOTA NUSANTARA BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

(*Geographic Information System-Based Analysis of Land Suitability for Settlement in The Ibu Kota Nusantara*)

Alif Alfarezy, Adithya Kresna Sumaamijaya, Desviana Dwi Haryani, Eva Zahara, dan Ridho Alfi Mubarok

Sains Informasi Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung 40154, Indonesia
E-mail: alif.alfarezy26@upi.edu

ABSTRAK

Permukiman adalah bagian ekosistem yang berfungsi sebagai tempat tinggal manusia dan mendukung kehidupan. Kesesuaian lahan untuk permukiman melibatkan evaluasi kemampuan area tersebut sebagai tempat tinggal manusia. Penelitian ini bertujuan menganalisis penggunaan optimal lahan untuk pengembangan permukiman di Ibu Kota Nusantara, calon ibu kota baru Indonesia yang sesuai dengan karakteristik dan kondisi fisik lahan pembangunan. Kesalahan dalam penataan ruang untuk permukiman akan berdampak fatal dan berpengaruh pada berbagai aspek kehidupan. Parameter penelitian meliputi kemiringan lereng dalam 5 kelas: kurang dari 8%, 8-15%, 15-25%, 25-45%, dan lebih dari 45%. Selain itu, menggunakan data curah hujan tahunan antara kurang dari 13,6 mm/tahun hingga lebih dari 34,8 mm/tahun. Tekstur tanah yang diamati dari jenis tanah berdasarkan taksonomi tanah yang hasilnya menjadi 3 kelas yakni halus, sedang, dan kasar. Parameter terakhir adalah penggunaan lahan. Metode skoring overlay dan pembobotan serta analisis deskriptif kuantitatif digunakan untuk menentukan kesesuaian lahan untuk permukiman di IKN. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa terdapat empat klasifikasi kesesuaian lahan untuk permukiman, yaitu sangat sesuai, sesuai, cukup sesuai dan tidak sesuai. Untuk tingkat kesesuaian lahan permukiman sangat sesuai memperoleh luas lahan 499,604 km^2, tingkat kesesuaian lahan permukiman sesuai memperoleh luas lahan 1949,186 km^2, tingkat kesesuaian lahan permukiman cukup sesuai memperoleh luas lahan 111.042 km^2, dan tingkat kesesuaian lahan permukiman tidak sesuai memperoleh luas lahan 0,028 km^2. Penelitian ini penting untuk merencanakan pengembangan permukiman di IKN dengan memperhitungkan karakteristik dan kondisi alamiah lahan secara komprehensif.

Kata kunci: IKN, kesesuaian lahan, pemanfaatan lahan, permukiman, skoring

ABSTRACT

Settlements are part of the ecosystem that serves as a place for humans to live and support life. The suitability of land for settlements involves evaluating the ability of the area as a place for human habitation. This research aims to analyze the optimal use of land for settlement development in the Nusantara Capital City, Indonesia's prospective new capital city, by the characteristics and physical conditions of the development land. Errors in spatial planning for settlements will have a fatal impact and affect various aspects of life. The research parameters include slope in 5 classes: less than 8%, 8-15%, 15-25%, 25-45%, and more than 45%. In addition, annual rainfall data between less than 13.6 mm/year to more than 34.8 mm/year was used. Soil texture is observed from soil types based on soil taxonomy which results in 3 classes namely fine, medium, and coarse. The last parameter is land use. The overlay and weighting scoring method and quantitative descriptive analysis were used to determine land suitability for settlement in IKN. The results of data processing show that there are four classifications of land suitability for settlements, namely highly suitable, moderately suitable, suitable, and unsuitable. For the level of land suitability of highly suitable settlements, a land area of 499,604 km^2 was obtained, the level of land suitability of suitable settlements obtained a land area of 1949,186 km^2, the level of land suitability of moderately suitable settlements obtained a land area of 111.042 km^2, and the level of land suitability of unsuitable settlements obtained a land area of 2.8157 hectares 0.028 km^2. The results of this study are important for settlement planning in the IKN by comprehensively considering the characteristics and natural conditions of the land.

***Keywords**: IKN, land suitability, land use, settlement, scoring*

PENDAHULUAN

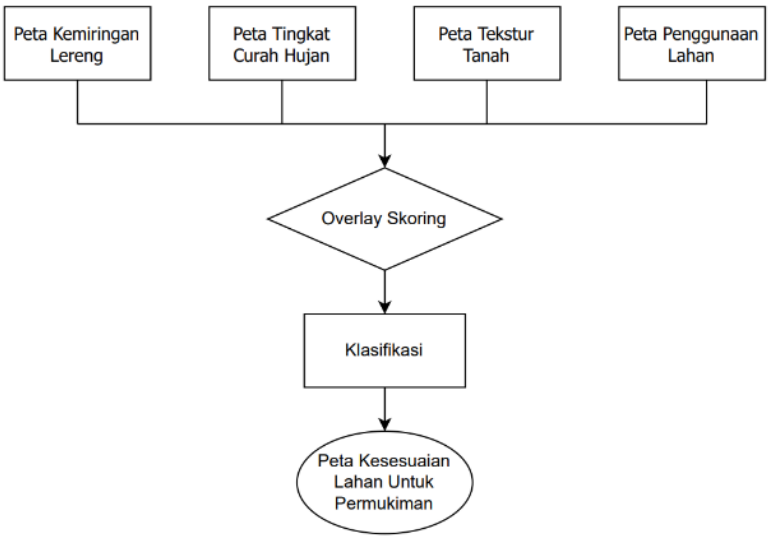
Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur merupakan proyek konstruksi besar yang dapat membawa perubahan signifikan terhadap tata ruang wilayah Indonesia termasuk pada penggunaan lahan. Kalimantan Timur didominasi oleh penggunaan lahan vegetasi dengan luas penggunaan lahan permukiman hanya sekitar 1,24% dan sisanya lahan pertambangan serta penggunaan lahan lainnya (BPS, 2020). Sedangkan pada tahun 2023 atau setelah pemerintah melakukan konstruksi IKN, terjadi peningkatan luas lahan permukiman menjadi 2,90% dan akan terus meningkat. Hal ini menyebabkan perubahan pada penggunaan lahan di Kalimantan Timur dan harus dilakukan penyesuaian lahan permukiman agar dapat mengatasi ketidakseimbangan kondisi lahan dan penggunaannya.

Penggunaan lahan permukiman menjadi prioritas dalam pengembangan kawasan yang harus sesuai dengan aturan tata ruang wilayah seperti yang tercantum pada ketentuan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW). Pada Faktor spasial, lahan permukiman memiliki peran yang krusial dalam penetapan pembangunannya. Hal ini disebabkan pengaruh dari daya dukung hunian dan ketahanan lahan pada lingkungan yang harus selaras dengan lingkungan sekitarnya (SutIKNo, 1982). Pembangunan pemukiman yang tidak sesuai dengan peruntukkan lahan dapat mengakibatkan lingkungan memiliki kualitas yang buruk (Gabriela, 2023). dalam hal ini diperlukan analisis penggunaan optimal lahan yang mencakup kondisi fisik, geologi dan penggunaan lahan untuk mengetahui tingkat kesesuaian lokasi pembangunan permukiman di IKN dan dapat mendukung pengembangan kawasan yang sesuai dengan ketentuan RTRW.

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam analisis kesesuaian lahan untuk permukiman merupakan salah satu cara efektif yang dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasi parameter yang digunakan. Untuk menghasilkan peta kesesuaian lahan, parameter yang digunakan adalah data kemiringan lereng, tingkat curah hujan, tekstur tanah dan penggunaan lahan. Dengan demikian, SIG dapat membantu dalam menentukan kelas kesesuaian lahan yang cocok dengan kriteria yang telah ditetapkan untuk penentuan lokasi permukiman di Ibu Kota Nusantara.

METODE

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dan metode pembobotan skoring overlay. Skoring digunakan untuk mengidentifikasi serta mengklasifikasi kesesuaian lahan pada daerah Ibu Kota Nusantara. Data-data yang digunakan sebagai parameter pembuatan peta kesesuaian lahan untuk permukiman terdiri dari: kemiringan lereng, tingkat curah hujan, tekstur tanah, dan penggunaan lahan, data-data tersebut diolah dan dilakukan pendekatan dengan analisis SIG (Sistem Informasi Geografis).



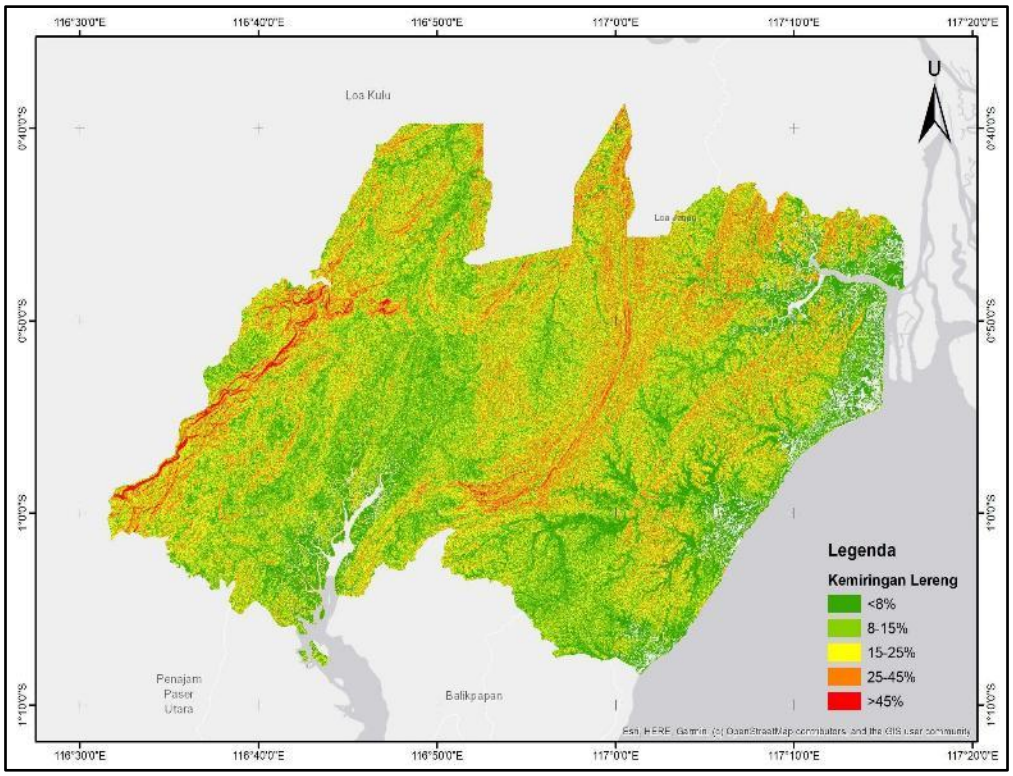
Gambar 1. Tahap pengolahan data.

Klasifikasi kesesuaian lahan dibagi menjadi empat kelas klasifikasi. Data-data yang digunakan dalam pembuatan merupakan hasil dari pengolahan serta analisis berbasis SIG, sehingga dapat menghasilkan peta kesesuaian lahan untuk permukiman di Ibu Kota Nusantara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Kemiringan Lereng

Pada pengolahan peta kemiringan lereng diperlukan data citra DEMNAS yang mencakup daerah Ibu Kota Nusantara. Proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *tool Slope dan* diklasifikasikan dengan *tool Reclassify* pada aplikasi ArcGIS. Klasifikasi kemiringan lereng menggunakan parameter yang bersumber dari SK Mentan No.837/KPTS/UM/11/1980 dengan parameter klasifikasi kelas kemiringan lereng datar (<8%), landai (8-15%), agak curam (15-25%), curam (25-40%), dan agak curam (>40%). Hasil pengolahan yang telah dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Sumber: Hasil pengolahan data DEMNAS

Gambar 2. Peta kemiringan lereng Ibu Kota Nusantara.

Berdasarkan hasil pengolahan dan klasifikasi yang dilakukan, dapat diketahui bahwa kemiringan lereng di kawasan Ibu Kota Nusantara yang mendominasi adalah kemiringan lereng pada kelas klasifikasi agak curam dengan tingkat kemiringan 15-25%. Daerah dengan klasifikasi tersebut terdapat di hampir seluruh wilayah IKN seluas 701,12 km^2. Adapun hasil analisis ini disajikan pada **Tabel 1**.

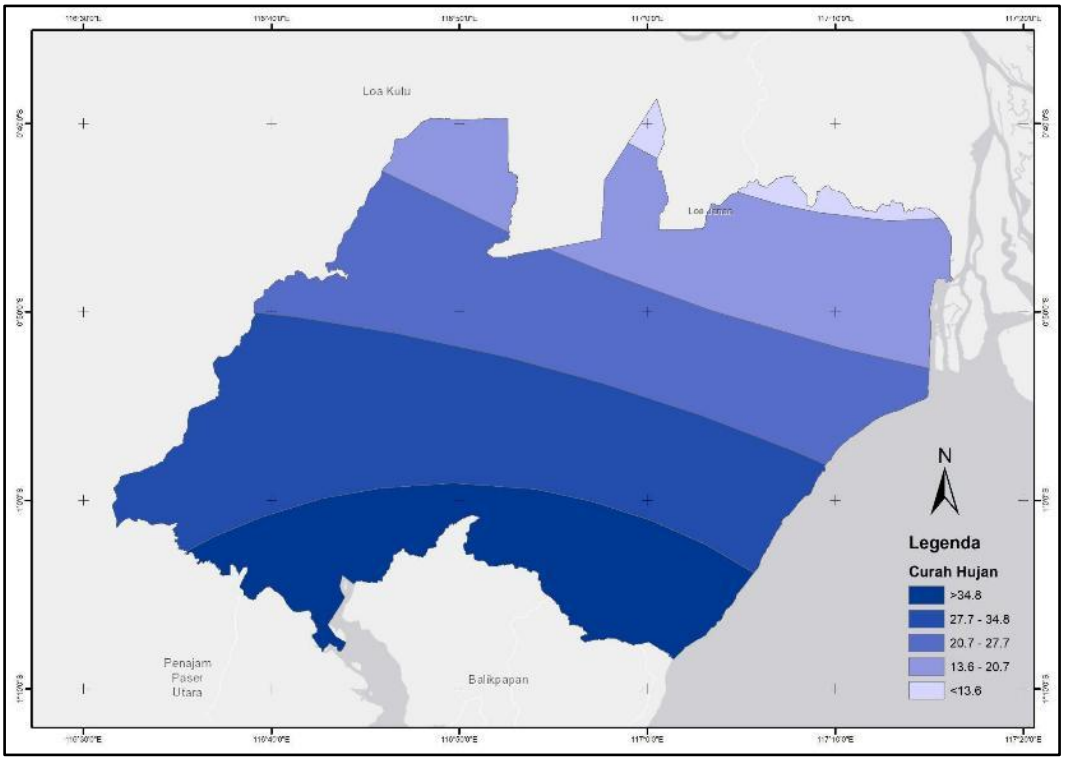
Tabel 1. Klasifikasi dan luas parameter kemiringan lereng IKN.

Kelas	Kemiringan	Skor	Luas (Km^2)
Datar	<8%	5	653,22
Landai	8-15%	4	699,87
Agak Curam	15-25%	3	701,12
Curam	25-45%	2	374,57
Sangat Curam	>45%	1	31,512

Sumber: Hasil perhitungan kemiringan lereng

Peta Curah Hujan

Berdasarkan **Gambar 3**, titik lokasi stasiun terdapat pada utara dan selatan wilayah IKN. Digunakan teknik interpolasi nilai curah hujan antara kedua stasiun sehingga menghasilkan sebaran hujan seperti yang disajikan pada peta. Nilai curah hujan bagian selatan IKN cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi daripada bagian utara.



Sumber: Hasil pengolahan data curah hujan BMKG (2023)

Gambar 3. Peta Curah Hujan Ibu Kota Nusantara.

Berdasarkan hasil analisis, nilai curah hujan sangat rendah dengan rata-rata <13,6 mm/tahun memiliki luas sebesar 42.675 km². Luas tersebut tergolong pada luasan yang cukup rendah dibandingkan dengan kelas curah hujan lainnya. Luas wilayah curah hujan tertinggi didapatkan pada kelas curah hujan tinggi dengan nilai rata-rata tahunan 27,7 - 34,8 mm/tahun yaitu seluas 927.160 km². Data hasil pengolahan disajikan pada Tabel 2.

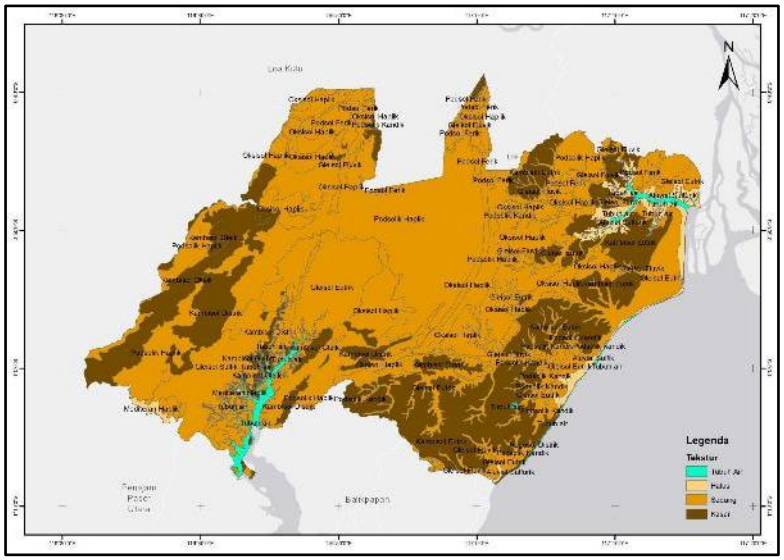
Tabel 2. Klasifikasi dan Luas Parameter Curah Hujan IKN.

Kelas	Curah Hujan	Skor	Luas (km²)
Sangat Rendah	<13,6	1	42.675
Rendah	13,6 - 20,7	2	522.822
Sedang	20,7 - 27,7	3	691.870
Tinggi	27,7 - 34,8	4	927.159
Sangat Tinggi	>34,8	5	488.939

Sumber: Hasil pengolahan data curah hujan (2023)

Peta Tekstur Tanah

Peta Tekstur Tanah dibuat berdasarkan peta jenis tanah yang selanjutnya dianalisis tekstur tanahnya berdasarkan referensi dari buku Klasifikasi Tanah Nasional dari Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian Tahun 2016. Hasil klasifikasi tekstur tanah berdasarkan jenis tanah dapat dilihat pada **Tabel 3**.



Sumber: Peta Jenis Tanah

Gambar 4. Peta Tekstur Tanah Ibu Kota Nusantara.

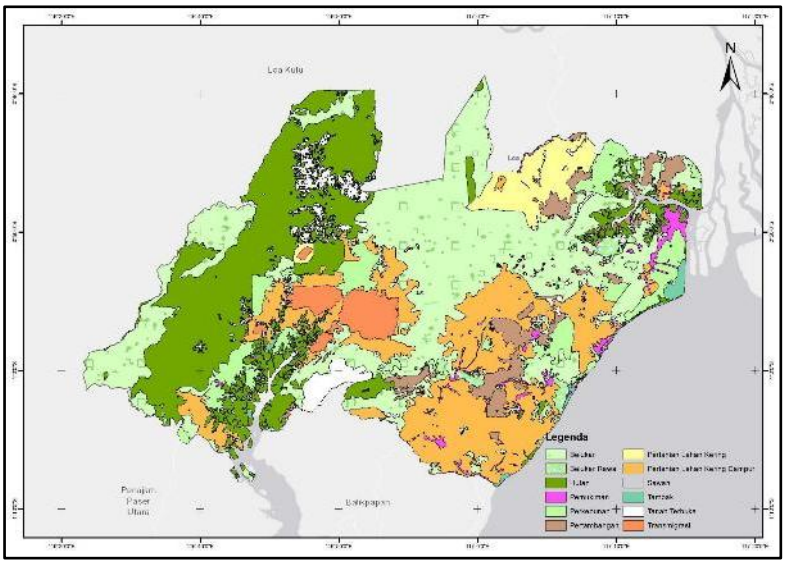
Tabel 3. Klasifikasi tekstur tanah berdasarkan jenis tanah.

Jenis Tanah	Tekstur	Skor
Aluvial	Halus	1
Gleisol	Sedang	2
Kambisol	Kasar	3
Mediteran	Halus	1
Oksisol	Sedang	2
Podsol	Sedang	2
Regosol	Kasar	3

Sumber: Hasil klasifikasi tekstur tanah berdasarkan jenis tanah

Peta Penggunaan Lahan

Pada parameter penggunaan lahan, data yang digunakan adalah data tutupan lahan Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2019 yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Pengolahan dilakukan dengan memotong *shapefile* tutupan lahan menggunakan *tools clip* pada aplikasi ArcGIS sesuai dengan batas wilayah IKN. Sehingga, didapatkan peta penggunaan lahan IKN seperti yang tersaji pada Gambar 5.



Sumber: Data tutupan lahan BIG (2019)

Gambar 5. Peta Penggunaan Lahan Ibu Kota Nusantara.

Penggunaan lahan di wilayah IKN diklasifikasikan ke dalam 12 jenis penggunaan lahan. Wilayah IKN didominasi oleh penggunaan lahan belukar yang banyak terdapat di bagian tengah dan tersebar di wilayah IKN. Luas tutupan lahan belukar ini mencapai 854,81 km^2 seperti pada Tabel 4.

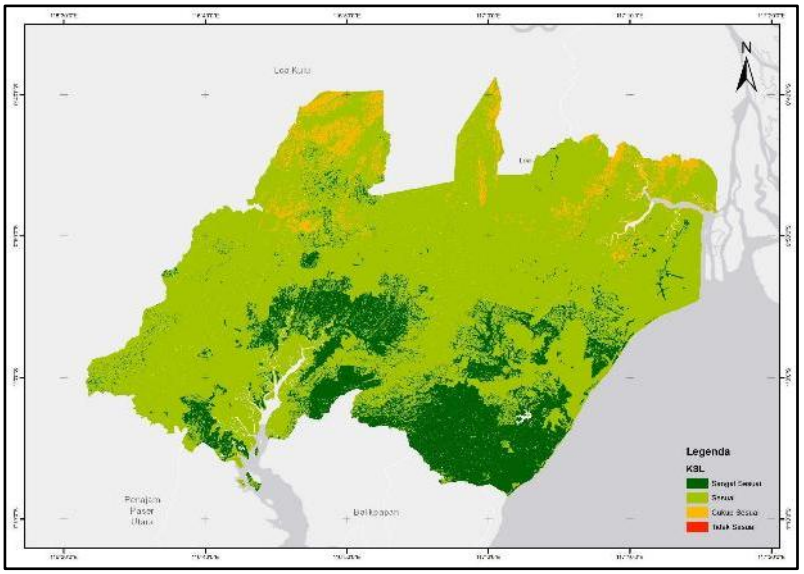
Tabel 4. Klasifikasi dan Luas Parameter Penggunaan Lahan IKN

No	Penggunaan Lahan	Skor	Luas (km^2)
1	Belukar	2	854,81
2	Belukar Rawa	0	34,32
3	Hutan	1	632,52
4	Pemukiman	4	34,5
5	Perkebunan	1	167,46
6	Pertambangan	1	104,43
7	Pertanian Lahan Kering	3	96,86
8	Pertanian Lahan Kering Campur	3	469,44
9	Sawah	3	3,82
10	Tambak	1	15,57
11	Tanah Terbuka	4	98
12	Transmigrasi	4	74,45

Sumber: Data tutupan lahan IKN tahun 2019

Peta Kesesuaian Lahan

Berdasarkan visualisasi peta pada **Gambar 6**, didapatkan hasil berupa area dengan tingkat kesesuaian lahan tinggi hingga rendah (tidak sesuai). Warna hijau pada peta menunjukkan area yang sesuai untuk pembangunan lahan pemukiman, sedangkan warna merah menunjukkan area yang tidak sesuai untuk pembangunan pemukiman. Berdasarkan visualisasi peta pada **Gambar 6** menunjukkan bahwa hampir seluruh wilayah di IKN sesuai untuk pembangunan pemukiman. Adapun area dengan kelas cukup sesuai (warna kuning) berada pada wilayah utara IKN. Area dengan kelas cukup sesuai merupakan area dengan kondisi fisik lereng yang cukup curam ditandai dengan keberadaan sungai dan gawir sungai. Penentuan kesesuaian lahan pada peta di atas merupakan hasil pengolahan pembobotan pada setiap parameter yang dianalisis. Adapun skor akhir dari proses pembobotan yang dilakukan akan disajikan pada **Tabel 5.**



Sumber: Hasil olahan (2024)

Gambar 6. Peta Kesesuaian Lahan Permukiman di Ibu Kota Nusantara.

Berdasarkan analisis, didapatkan hasil bahwa area dengan kelas kesesuaian lahan sangat sesuai memiliki luas sebesar 499,604 km^2. Kelas kesesuaian lahan sesuai menjadi area terluas di

wilayah IKN dengan luas 1949.186 km^2. Area dengan kesesuaian lahan cukup sesuai memiliki luas 111.042 km^2. Terdapat pula area dengan kelas kesesuaian lahan tidak sesuai memiliki luas sebesar 0.028 km^2. Pernyataan ini memberikan informasi bahwa wilayah IKN sudah sesuai untuk pembangunan kawasan permukiman.

Tabel 5. Hasil akhir pembobotan dan penentuan kelas kesesuaian lahan.

Skor	Kelas Kesesuaian Lahan	Luas (km^2)
4 - 5	Tidak Sesuai	0.028
6 - 8	Cukup Sesuai	111.042
9 - 13	Sesuai	1949.186
14 - 17	Sangat Sesuai	499.604

Sumber: Hasil Olahan (2024)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data parameter untuk analisis kesesuaian lahan untuk permukiman di Ibu Kota Nusantara dapat diambil kesimpulan bahwa untuk mendapatkan hasil kesesuaian lahan di wilayah IKN, dibutuhkan parameter pendukung data kesesuaian lahan yang terdiri dari data kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah dan penggunaan lahan yang diolah dengan menggunakan aplikasi sistem informasi geografis (SIG). Selain itu, dari hasil yang diperoleh terhadap empat parameter meliputi: (a) Peta kemiringan lereng diklasifikasi ke dalam 5 kelas, luas daerah yang mendominasi terdapat pada kemiringan lereng agak curam dengan luas sebesar 701,12 km^2; (b) Peta curah hujan memiliki 5 kelas klasifikasi, luas daerah tertinggi terdapat pada kelas curah hujan tinggi dengan luas sebesar 927.160 km^2; (c) Peta jenis tanah diklasifikasikan menjadi 3 kelas tekstur dan didominasi oleh jenis tanah dengan tekstur sedang; (d) Peta penggunaan lahan dibagi menjadi 12 jenis klasifikasi penggunaan lahan. Luas terbesar terdapat pada penggunaan lahan belukar sebesar 854,81 km^2. Berdasarkan hasil parameter yang diolah dan dilakukan pembobotan, maka dihasilkan peta kesesuaian lahan IKN yang dibagi ke dalam empat kelas klasifikasi. Wilayah terluas terdapat pada klasifikasi kesesuaian lahan yang sesuai dengan luas sebesar 1949.186 km^2. Dengan demikian, wilayah IKN dinilai sudah sesuai untuk pembangunan kawasan permukiman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Paa penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) dan instansi lainnya atas kerja sama serta penyediaan data yang sangat berharga. Penulis mengakui betapa pentingnya peran BIG dalam menyediakan data geospasial yang akurat dan terpercaya, yang telah menjadi landasan utama dalam analisis dan penelitian ini. Ketersediaan data dari BIG tidak hanya memfasilitasi penelitian ini, tetapi juga menjadi sumbangan berharga bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang geospasial. Terima kasih juga disampaikan kepada semua instansi terkait lainnya yang telah berkontribusi dalam penyediaan data untuk penelitian ini. Dukungan dan kerjasama yang diberikan oleh semua pihak telah memungkinkan penulis untuk menghasilkan informasi yang berkualitas dan bermanfaat bagi pembangunan Ibu Kota Negara yang baru.

DAFTAR PUSTAKA

Alfianto, F. (2017). Analisa Kesesuaian Lahan Untuk Lokasi Pengembangan Permukiman Menggunakan Metode Scoring (Studi Kasus: Surabaya Timur). Skripsi. Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 47 hlm.

Gabriela I. Sarira, G. I. S., Mononimbar, W., & Siregar, F. O. P. (2023). Evaluasi Kesesuaian Lahan Permukiman di Kota Palopo. Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan dan Arsitektur, 12(2), 78–88.

Janthy Trilusianthy Hidayat, M. Yogie Syahbandar, & M. Jamalul Ihsan. (2023). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman di Kawasan Perkotaan Kota Sampit Kabupaten Kotawaringin Timur. Jurnal Cahaya Mandalika Issn 2721-4796 (Online), 3(1), 172-181.

Kapita, H. (2023). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman Perkotaandi Kecamatan Morotai Selatan. Jurnal Teknik, 03 No.2(No. 2), 99-107.

Ndun, L A L. Samin, M. Rahmawati, A. (2021). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman di Kecamatan Kota Soe Kabupaten Timur Tengah Selatan berbasis Sistem Informasi Geografis. Jurnal Geografi, 17(1), 61-75.

Nurfikasari, M F. & Yuliani, E. (2021). Studi Literatur: Analisis Kesesuaian Lahan Terhadap Lokasi Permukiman. Jurnal Kajian Ruang, 1(1), 78-92.

Putra, R A G. & Papaliya, F S. (2019). EVALUASI KESESUAIAN LAHAN PERMUKIMAN TERHADAP TATA RUANG WILAYAH di SALATIGA. Universitas Kristen Satya Wacana.

S, Subardja D. Ritung, S. Anda, M. Sukarman. Suryani, E. Subandiono, R E. (2016). Petunjuk Teknis KLASIFIKASI TANAH NASIONAL Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian.

Sarita, W., Kumurur, V. A., & Makarau, V. H. (2022). Analisis Kesesuaian Lahan Permukiman Berbasis Kemampuan Lahan di Kabupaten Halmahera Utara. Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan dan Arsitektur, 11(1), 41–50

Satria, M. & Rahayu, S. (2013). Evaluasi Kesesuaian Lahan Permukiman di Kota Semarang Bagian Selatan. Jurnal Teknik PWK, 2(1), 160-167

DAMPAK PEMBANGUNAN IBU KOTA NUSANTARA (IKN) TERHADAP HARGA TANAH

Studi Kasus Kabupaten Penajam Paser Utara

(*The Impact of The Development of The Nusantara Capital City (IKN) on Land Prices*)

Natalia

Program Studi Magister Ekonomika Pembangunan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Alamat Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur Sinduadi Sleman, Sendowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: natalia1992@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Pada 2019, Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU) terpilih menjadi lokasi ibu kota baru dengan nama Nusantara. Kebijakan ini memberikan perubahan terhadap lingkungan sekitar termasuk lahan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui dampak dari pembangunan IKN terhadap harga tanah bagi lingkungan sekitar. dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode *pre-post* atau *before-after comparison* untuk mengetahui dampak dari penetapan IKN. Penentukan dampak dengan metode ini yaitu dengan membandingkan hasil dari waktu sebelum adanya intervensi dan setelah intervensi ditetapkan. Peneliti mencoba membandingkan harga tanah dengan menggunakan zona nilai tanah (ZNT) sebelum adanya intervensi di tahun 2017 dan setelah adanya intervesi tersebut di tahun 2023. Penelitian ini dilakukan di 3 kecamatan di Kabupaten PPU, yaitu kecamatan Babulu, Waru dan Penajam yang berada di sekitar Kawasan IKN. Peneliti memperoleh dampak kausal terhadap harga tanah setelah ditetapkannya Ibu Kota Nusantara di Penajam Paser Utara. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat terjadi kenaikan harga tanah setelah penetapan IKN sebesar 62.3%. Hal ini dapat diketahui dengan menambahkan variabel kontrol pada regresi. Diharapkan penelitian ini dapat membantu dalam memperkaya literatur empiris yang ada mengenai evaluasi dampak pembangunan ibu kota baru terhadap harga tanah

Kata kunci: harga tanah, IKN, perencanaan kota.

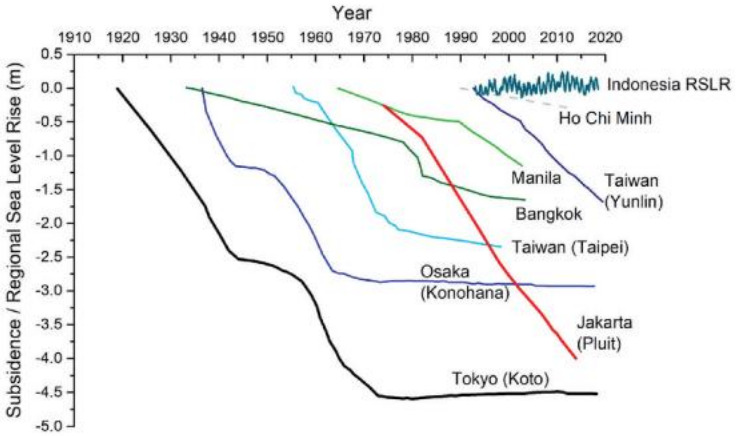
ABSTRACT

In 2019, Penajam Paser Utara (PPU) Regency was selected as the location of the new capital city of Indonesia under the name Nusantara. This policy provides changes to the surrounding environment including land. The study aims to determine the impact of the IKN development on land prices for the surrounding environment. In this study, the researcher used a pre-post or before-after comparative impact evaluation method to determine the impact of the development of the IKN. The research method is to compare before and after the intervention is established. The researcher tried to compare land prices using land value zones (ZNT) before the intervention in 2017 and after the intervention in 2023. This study was conducted in 3 sub-districts in PPU Regency, namely Babulu, Waru, and Penajam sub-districts around the IKN area. The researcher obtained a causal impact on land prices after the construction of the Capital City (Nusantara) in Penajam Paser Utara. The results of this study indicate that there was an increase in land prices after the establishment of IKN by 62.3%. This can be seen by adding control variables to the regression. It is hoped that this research can help enrich the existing empirical literature on evaluating the impact of new capital city development on land prices.

***Keywords**: land price, IKN, urban planing.*

PENDAHULUAN

Pada Tanggal 29 April 2019, Presiden Joko Widodo mengumumkan bahwa akan memindahkan ibu kota negara keluar Pulau Jawa dan hal ini tercantum pada RPJMN 2020-2024 (Nainggolan, 2022). Berdasarkan kajian Kementerian PPN/Bappenas, pemindahan ini dikarenakan salah satunya adalah untuk mengurangi beban Jakarta dan Jabodetabek (Witarni, 2022). Letak geografis Jakarta yang berdekatan dengan laut ditambah dengan beban bangunan dan infrastruktur yang tinggi menimbulkan permasalahan pada penurunan permukaan tanah (Ramadhanis *et al.*, 2017). Hal ini membuat jakarta rentan terhadap banjir jika terjadi hujan atau air laut yang pasang.



Sumber: Takagi *et al.*,(2021)

Gambar 15. Tingkat penurunan permukaan tanah di kota-kota di Asia.

Penggunaan air tanah yang berlebihan ditambah beban kontruksi/bangunan yang tinggi menyebabkan penurunan drastis pada permukaan tanah di Jakarta. Penurunan pada kota Jakarta mengalami penurunan tertinggi dibandingkan kota-kota lain di asia. Ditambah lagi, penurunan ini melebihi kenaikan permukaan laut hingga 60 kali lipat (Takagi *et al.*, 2021). Hal lain yang mendasari permindahan ibu kota ke luar pulau jawa adalah pembangunan yang tersentralisasi pada pulau jawa sehingga belum merata pada luar pulau jawa.

Pada 2019, Presiden Joko Widodo mengumumkan bahwa Ibu Kota akan dipindahkan ke Provinsi Kalimantan Timur (Silalahi, 2019). Melalui UU No. 3 Tahun 2022, terpilihlah Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU) dan sebagian Kabupaten Kutai Kartanegara sebagai lokasi ibu kota baru bernama Ibu Kota Nusantara (IKN). IKN akan berkawasan di wilayah hutan produksi untuk mengurangi benturan dengan masyarakat lokal. Dengan adanya IKN maka ditunjuklah otorita IKN sebagai lembaga yang melaksanakan pemerintahan di wilayah IKN. Dibentuk pula konsep pertanahan baru yaitu aset dalam penguasaan otorita ibu kota nusantara atau ADP. ADP pada IKN akan digunakan perumahan, industri dan perkantoran untuk menarik minat investor.

Walaupun IKN akan dibangun dilingkungan yang dapat dikatakan tidak berpenduduk, namun perpindahan ibu kota ke IKN akan memberikan dampak pada komunitas/masyarakat di daerah maupun di sekitar IKN (Sukapti, 2022). dalam menggalang dukungan publik telah dirancang pula skema kompensasi bagi masyarakat yang terdampak sosial dan ekonomi sehingga tetap memprioritaskan hak dan kesejahteraan penduduk setempat (Syaban & Appiah-Opoku, 2023).

Menurut (Safra & Zuliarso, 2020), isu utama yang terjadi di IKN adalah masalah tanah dikarenakan pengelolaan lahannya masih menganut hukum adat dan sistem warisan sehingga tidak ada legalitasnya seperti yang terjadi di Desa Pemaluhan, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara. Hal ini dapat menimbulkan permasalahan karena dikhawatir akan terjadi pengambilan alih hak tanah tanpa ganti rugi atau tumpang tindih kepemilikan tanah antara warga sekitar maupun pemerintah. Tindakan para penduduk dianggap sebagai penguasaan atas tanah yang tidak dimilikinya (Simarmata, 2023).

Permasalahan lain adalah harga tanah di PPU yang kian meningkat. Menurut Ketua Asosiasi Pengembang Perumahan dan Permukiman Seluruh Indonesia (APERSI) Kabupaten Penajam Paser Utara terjadi peningkatan secara signifikan pada harga tanah di wilayah IKN sampai 3 (tiga) kali lipat (Dewi, 2022). Jika harga terlalu meningkat dikhawatirkan akan menyulitkan masyarakat lokal dalam memiliki hunian di lingkungan aslinya sendiri. Urbanisasi dapat berpengaruh pada harga tanah di suatu wilayah. Sebagai contoh urbanisasi yang cepat di Kuala Lumpur dan Yangon membuat kurangnya ketersediaan lahan dan meningkatnya harga pada lahan yang tersisa akibat ketatnya persaingan (Wahi *et al.*, 2018)

Lokasi dan Demografis

Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU) terletak di Provinsi Kalimantan Timur. PPU memiliki luas wilayah 3.333,06 Km^2 yang berbatasan dengan Kabupaten Kutai Kartanegara di bagian utara,

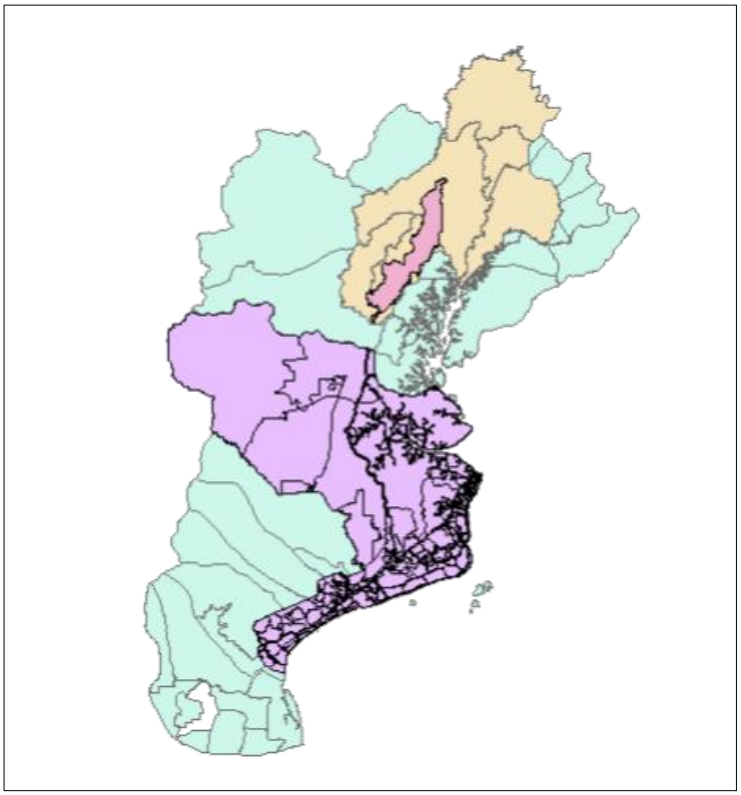
Kabupaten Paser di bagian selatan dan barat, Kabupaten Kutai Barat dibagian barat dan Kota Balikpapan di bagian timur. Kabupaten PPU juga berbatasan dengan Selat Makassar di bagian selatan dan timur. Terdapat empat kecamatan yang berada di Kabupaten PPU yaitu, Babulu, Waru, Penajam dan Sepaku (BPS, 2024). Beberapa kawasan di kecamatan Sepaku masuk dalam kawasan IKN. Kedepannya, wilayah kecamatan Sepaku yang tidak masuk dalam kawasan IKN akan dimasukan dalam kecamatan baru bernama Benua Taka. Saat ini pemerintah masih melakukan kajian terkait hal tersebut (Purwaniawan, 2024).

Populasi pendudukan Kabupaten PPU tercatat sebesar 196.566 jiwa pada sensus penduduk tahun 2020. 45,7% penduduk PPU bekerja di bidang jasa, dilanjutkan pada pertanian sebesar 38,48%, dan sisanya bekerja pada industri atau manufaktur.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada 3 kecamatan di Kabupaten PPU, yaitu kecamatan Babulu, Waru dan Penajam. Kecamatan sepaku berwarna hijau di bagian atas pada peta masih termasuk wilayah Kabupaten PPU namun wilayah yang berwarna merah dan kuning adalah kecamatan Sepaku sudah menjadi IKN. Wilayah kecamatan sepaku tidak dimasukan dalam penelitian ini dikarenakan data ZNT wilayah tersebut tidak tersedia karena keterbatasan data dan Berdasarkan Peraturan Gubernur Kalimantan Timur Nomor 6 Tahun 2029 tentang Pengendalian, Peralihan, Penggunaan Tanah dan Perizinan pada Kawasan Calon Ibu Kota Negara dan Kawasan Penyangga, wilayah tersebut terletak pada daerah *land freezing*.



Sumber: Kantor Wilayah Badan Pertanahan Nasional Provinsi Kalimantan Timur

Gambar 16. Lokasi Penajam Paser Utara

Pre/Post Impact Evaluation

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan *Pre-post comparison* atau yang juga dikenal dengan *before and after comparision*. dalam metode ini mencoba untuk menentukan dampak dengan membandingkan hasil dari waktu ke waktu (Gertler *et al.*, 2016).

Rata-rata nilai ZNT sebelum intervensi dimulai adalah estimasi kontrafaktual sebagai *pre*, lalu dibandingan rata-rata nilai setelah adanya intervensi sebagai *post*.

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data zona nilai tanah (ZNT) yang didapatkan dari Kantor Wilayah Badan Pertanahan Nasional Provinsi Kalimantan Timur. ZNT gambaran nilai tanah yang mempunyai perbedaan nilai satu zona dengan zona lainnya karena menggunakan perbandingan harga pasar dan biaya yang dimuat. dalam penilaian ini akan mempertimbangkan jenis wilayah, kepadatan pemukiman, karakteristik wilayah dan kondisi pendataran tanah (Nurahmani, 2023). Data ini akan terdiri dari 2 tahun yaitu sebelum adanya pengumuman IKN (2017) dan setelah adanya pengumuman IKN (2023). dalam metode ini menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Lnznt_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y23_t + \Gamma x_i + U_{it} \quad (1)$$

$Lnznt_{it}$ merupakan *dependent variable*, i adalah observasi tanah dan t adalah waktu observasi. β_0 adalah *intercept* dari $Lnznt_{it}$ ketika $Y23_t$ adalah nol, β1 adalah koefisien dari $Y23_t$, Γxi adalah covariat dan U_{it} adalah *error term*.

Tabel 1. Deskripsi variabel

Kategori	Kode	Keterangan
Dependent	Lnznt	log natural znt
Independent	y23	dummy, 1 = post (setelah program/intervensi) dan 0 adalah pre (sebelum program/i
	jmlpnddk	Jumlah Penduduk per desa/kelurahan
	nm_kec	Nama Kecamatan
	nm_kel_des	Nm_Kel_Des
	lswlyah	Luas Wilayah
	jarakkec	Jarak ke Ibukota Kecamatan
	jmlsklh	Jumlah sekolah per kecamatan
	dsignkt	1=sinyal kuat 0=lemah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada **Tabel 3** kolom satu menyajikan pengaruh penetapan IKN terhadap harga tanah di sekitarnya tanpa adanya variabel kontrol dummy sinyal *handphone*. Harga tanah meningkat setelah pembangunan IKN seiring dengan jumlah sekolah dilingkungan tersebut. Hal ini sejalan penelitian Hu *et al.* (2020) bahwa para orang tua ingin membeli rumah di wilayah sekolah untuk memperoleh pendidikan yang lebih baik bagi anak mereka, sehingga terjadi peningkatan properti dari suatu wilayah. Peningkatan 1 unit sekolah dapat meningkatkan harga tanah sebesar 1.8%, ceteris paribus. Berbeda dengan luas wilayah dan jarak kecamatan, harga tanah menurun seiring dengan bertambahnya luas wilayah dan jarak kecamatan setelah pembangunan IKN. Kenaikan 1km jarak ke kecamatan dapat menurunkan harga tanah sebesar 4%, ceteris paribus.

Tabel 2. Deskripsi statistik

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
znt	412	271025.24	432764.61	0	4800000
lnznt	410	11.746	1.358	8.294	15.384
y23	412	.527	.5	0	1
jmlpnddk	412	5991.158	3975.978	885	13919
lswlyah	412	55.704	53.839	8.96	347.09
jarakkec	412	12.18	13.862	0	63
jmlsklh	412	119.629	43.963	24	155
dsignkt	412	.968	.175	0	1

Kemudian pada kolom dua, sepertinya sinyal *handphone* dalam suatu wilayah tidak menunjukkan adanya berpengaruh signifikan dalam peningkatan harga tanah setelah

pembangunan IKN. Kolom tiga dan empat menunjukkan ketika ditambahkan efek tetap, tidak ada perbedaan hasil antara koefisien kolom ini, namun terjadi perubahan standar deviasi pada variabel dummy intervensi sebelum dan setelah adanya program pembangunan IKN daripada kolom dua, hal ini menunjukan bahwa adanya kenaikan harga tanah sebesar 62.3% setelah pembangunan IKN. Secara keseluruhan, seluruh variabel kontrol berpengaruh signifikan terhadap harga tanah namun tidak berpengaruh pada dummy sinyal hp.

Tabel 14. Pengaruh penetapan IKN terhadap harga tanah.

	(1) lnznt	(2) lnznt	(3) lnznt	(4) lnznt
y23	0.620**	0.623**	0.623**	0.623*
	(0.166)	(0.167)	(0.172)	(0.063)
jmlpnddk	0.000**	0.000**	0.000*	0.000
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
lswlyah	-0.004*	-0.004*	-0.004*	-0.004
	(0.001)	(0.001)	(0.002)	(0.002)
jarakkec	-0.040**	-0.040**	-0.040**	-0.040**
	(0.004)	(0.004)	(0.004)	(0.003)
jmlsklh	0.018**	0.018**	0.018**	0.018**
	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.001)
dsignkt		0.061	0.061	0.061
		(0.241)	(0.284)	(0.062)
_cons	9.676**	9.612**	9.612**	9.612**
	(0.435)	(0.519)	(0.575)	(0.206)
Controls				
Kecamatan FE	Tidak	Tidak	Tidak	Ya
Kelurahan FE	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
N	410	410	410	410
R-sq	0.446	0.446	0.446	0.446
Adj. R-sq	0.439	0.438	0.438	0.438

KESIMPULAN

Kebijakan pemindahan ibukota merupakan kebijakan yang diambil untuk mengatasi persoalan yang terjadi di Jakarta dan ketimpangan pembangunan di Indonesia. Studi ini mengukur dampak intervensi tersebut terhadap harga tanah dalam hal ini menggunakan nilai dari zona nilai tanah (ZNT) di tiga wilayah di Penajam Paser Utara. Hasil penelitian ini menunjukan bahwa setelah adanya penetapan IKN di Kabupaten PPU terjadi kenaikan harga tanah yang signifikan terhadap harga tanah sebesar 62,3%. Hasil ini terbukti *robust* terhadap perbedaan spesifikasi model sehingga meningkatkan kredibilitas temuan ini. Artikel ini diharapkan dapat memperluas literatur empiris yang ada mengenai evaluasi dampak pembangunan ibu kota baru terhadap harga tanah sehingga dapat membantu negara-negara lain yang juga melakukan atau akan melakukan penerapan kebijakan tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Magister Ekonomika Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada atas dukungan, saran dan bimbingan dalam pembuatan artikel ini. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih pada kantor wilayah badan pertanahan Nasional Provinsi Kalimantan Timur yang telah memfasilitasi ketersediaan data yang dibutuhkan dalam pembuatan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik Jakarta Penajam Paser Utara, 2023. Kecamatan Penajam dalam Angka 2023. Jakarta, Pusat: Badan Pusat Statistik

Badan Pusat Statistik Jakarta Penajam Paser Utara, 2023. Kecamatan Waru dalam Angka 2023. Jakarta, Pusat: Badan Pusat Statistik

Badan Pusat Statistik Jakarta Penajam Paser Utara, 2023. Kecamatan Babulu dalam Angka 2023. Jakarta, Pusat: Badan Pusat Statistik

Badan Pusat Statistik Jakarta Penajam Paser Utara, 2017. Kecamatan Penajam dalam Angka 2017. Jakarta, Pusat: Badan Pusat Statistik

Badan Pusat Statistik Jakarta Penajam Paser Utara, 2017. Kecamatan Waru dalam Angka 2017. Jakarta, Pusat: Badan Pusat Statistik

Badan Pusat Statistik Jakarta Penajam Paser Utara, 2017. Kecamatan Babulu dalam Angka 2017. Jakarta, Pusat: Badan Pusat Statistik

Dewi, Fitri Sartina (2022). "IKN Pindah, Harga Tanah di Penajam Paser Utara Naik 3 Kali Lipat". Ekonomi Bisnis. https://ekonomi.bisnis.com. Diakses pada 21 Maret 2024

Gertler, P. J., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L. B., & Vermeersch, C. M. J. (2016). *Impact Evaluation in Practice, Second Edition*. Washington, DC: Inter-American Development Bank and World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0779-4

Hu, Lirong, Shenjing He, Yun Luo, Shiliang Su, Jing Xin, dan Min Weng. (2020). "A Social-Media-Based Approach to Assessing the Effectiveness of Equitable Housing Policy in Mitigating Education Accessibility Induced Social Inequalities in Shanghai, China." Land Use Policy 94:104513. doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104513.

Kementerian PPN/Bappenas. 2022. Rencana Induk IKN dalam Lampiran UU IKN. https://bappeda.kaltimprov.go.id. Diakses pada 21 Maret 2024.

Kodir, A., Hadi, N., Astina, I. K., Taryana, D., Ratnawati, N., & Idris. (2021). The dynamics of community response to the development of the New Capital (IKN) of Indonesia. dalam Sumarmi, N. H. P. Meiji, J. H. G. Purwasih, A. Kodir, E. H. S. Andriesse, D. C. Ilies, & K. Miichi, Development, Social Change and Environmental Sustainability (1 ed., hlm. 57–61). Routledge. https://doi.org/10.1201/9781003178163-13

Nainggolan, Edward UP (2022). Urgensi Pemindahan Ibu Kota Negara. https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kanwil-kalbar. Diakses pada 18 Maret 2023

Peraturan Pemerintah Nomor 12 Tahun 2023 tentang Pemberian Perizinan Berusaha, Kemudahan Berusaha, dan Fasilitas Penanaman Modal Bagi Pelaku Usaha di Ibu Kota Nusantara.

Peraturan Presiden Nomor 62 Tahun 2022 tentang Otorita Ibu Kota Nusantara.

Peraturan Presiden Nomor 65 Tahun 2022 tentang Perolehan Tanah dan Pengelolaan Pertanahan di Ibu Kota Nusantara.

Purwaniawan, Nyaman Bagus (2024). ANTARA, https://www.antaranews.com/berita/4015260/pemkab-sebut-tidak-semua-wilayah-sepaku-masuk-IKN

Ramadhanis, Z., Prasetyo, Y. and Yuwono, B. D. (2017) 'Analisis korelasi spasial dampak penurunan muka tanah terhadap banjir di jakarta utara', Jurnal Geodesi Undip, 6(3), pp. 77–86.

Sabrié, M. (2019). Yangon "Emerging Metropolis": Challenges for the Authorities and Resilience of the Yangonites. Moussons, 33, 33–64. https://doi.org/10.4000/moussons.4892

Safra IA & Zuliarso E (2020) Analisis sentimen persepsi masyarakat terhadap pemindahan ibu kota baru di Kalimantan Timur pada media sosial Twitter. Proceeding SENDIU 2020. 214-219.

Silalahi SAF (2019) Dampak ekonomi dan resiko pemindahan ibu kota negara. Info Singkat 11 (16):19-24.

Simarmata, R. (2023). tumpang tindih penguasaan tanah di wilayah ibu kota negara "nusantara". Veritas et Justitia, 9(1), 1–33. https://doi.org/10.25123/vej.v9i1.6504

Sukapti, & Martinus Nanang. Pembangunan Ibu Kota Nusantara: Akankah mengeksklusi Masyarakat Lokal (lagi)?. Konferensi Nasional Sosiologi IX APSSI 2022, 1 – 3 Juni 2022. Balikpapan.

Syaban, A. S. N., & Appiah-Opoku, S. (2023). Building Indonesia's new capital city: An in-depth analysis of prospects and challenges from current capital city of Jakarta to Kalimantan. Urban, Planning and Transport Research, 11(1), 2276415. https://doi.org/10.1080/21650020.2023.2276415

Takagi, H., Esteban, M., Mikami, T., Pratama, M. B., Valenzuela, V. P. B., & Avelino, J. E. (2021). People's perception of land subsidence, floods, and their connection: A note based on recent surveys in a sinking coastal community in Jakarta. Ocean and Coastal Management, 211. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105753 211

Wahi, N., Mohamad Zin, R., Munikanan, V., Mohamad, I., & Junaini, S. (2018). Problems and Issues of High Rise Low Cost Housing in Malaysia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 341, 012027. https://doi.org/10.1088/1757-899X/341/1/012027

OPTIMASI PENGGUNAAN LAHAN BERBASIS EMISI KARBON DAN PERTUMBUHAN EKONOMI

Studi Kasus di Kota Bandung

(Land Use Optimization Based On Carbon Emissions and Economic Growth)

Ruhyana Aditiya Sudrajat[1] dan Mayandi Daratamia[2]
[1]Institut Teknologi Nasional
[2]Institut Teknologi Sumatera

Jl. PKH. Mustopha No.23, Neglasari, Cibeunying Kaler, Bandung, Jawa Barat 40124
E-mail: ruhyanaaditiya@gmail.com

ABSTRAK

Sepanjang tahun 2003 – 2016, Kota Bandung telah menyumbang emisi karbon dengan estimasi sebesar 6.852,70 Ton CO2eq dari perubahan guna lahan. Sejalan dengan emisi yang terjadi, Kota Bandung juga mengalami pertumbuhan ekonomi di atas 6,19% selama rentang tahun 2011 – 2023. Ironisnya pertumbuhan ekonomi yang positif tersebut belum mencapai target pertumbuhan ekonomi berdasarkan pendekatan LPE. Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini menawarkan pemanfaatan lahan menggunakan konsep optimasi. Konsep tersebut adalah mengatur alokasi lahan yang terbatas untuk mencapai target optimasi. Target optimasi yang pertama (Zmax1) adalah target penurunan emisi, sedangkan target yang kedua (Zmax2) adalah target pertumbuhan ekonomi. Target tersebut ditentukan menggunakan metode analisis isi terhadap dokumen pembangunan dan perencanaan ruang Kota Bandung. Berdasarkan metode analisis isi, kemudian dirumuskan target penurunan emisi adalah 9% mengacu pada target dalam Dokumen Perubahan Rencana Strategis Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung 2018-2023 dan target pertumbuhan ekonomi dengan pendekatan LPE sebesar >11% mengacu pada RPJPD Kota Bandung 2005 – 2025. Kedua target tersebut diasumsikan terealisasi tahun 2025.

Kata kunci: optimasi lahan, target optimasi, analisis isi

ABSTRACT

From 2003 - 2016, the City of Bandung contributed carbon emissions of 6,852.70 Tons of CO2eq from land use change. In line with the emissions that occurred, Bandung city also experienced economic growth above 6,19% from 2011 to 2023. Despite positive economic growth, the target for economic growth based on the LPE approach has yet to be reached. However, this study aims to address these issues by offering a land use optimization concept. The idea is to allocate a limited amount of land to achieve the optimization target. The first optimization target, Zmax1, is the emission reduction target, while the second target, Zmax2, is the target for economic growth. These targets are determined through content analysis of the Bandung City development and spatial planning document. After the analysis, the emission reduction target is formulated to be 9%, in alignment with the targets set in the Document on Changes to the Bandung City Environmental Service Strategic Plan 2018-2023. Meanwhile, the economic growth target is set with an LPE approach of over 11%, referencing the Bandung RPJPD 2005-2025. Both targets are expected to be met by 2025.

***Keywords**: land optimization, target optimization, content analysis*

PENDAHULUAN

Ketersediaan ruang yang terbatas, seringkali menciptakan permasalahan yang memberikan dampak besar dalam kehidupan manusia (Kementerian Pekerjaan Umum, 2007). Sebagai contoh permasalahan keruangan yang sering terjadi adalah terciptanya *conflict of interest* yang kemudian mendorong terjadinya perubahan guna lahan. Adanya perubahan guna lahan ini memberikan dampak salah satunya pada lingkungan. Sepanjang tahun 2003 – 2016, Kota Bandung telah menyumbang emisi karbon sebesar 6.852,70 Ton CO_2^{eq} dari perubahan guna lahan. Sejalan dengan emisi yang terjadi, Kota Bandung juga mengalami pertumbuhan ekonomi di atas 6,19%

selama rentang tahun 2011 – 2023 (update 2011-2024). Ironisnya pertumbuhan ekonomi yang positif tersebut belum mencapai target pertumbuhan ekonomi berdasarkan pendekatan LPE. Secara *trend*, fenomena pengembangan wilayah yang terjadi adalah pertumbuhan ekonomi yang diiringi oleh peningkatan emisi sehingga menyebabkan degradasi lingkungan. Salah satu konsep yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan ruang dengan optimasi lahan. Alokasi optimal penggunaan lahan adalah kegiatan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan tipe lahan dengan menentukan penggunaan lahan yang tepat (Zhang *et al.*, 2012 dalam Walangitan,2012). Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan optimasi lahan yang mempertimbangkan penurunan emisi (Zmax1) dan pertumbuhan ekonomi (Zmax2).

METODE

Analisis Isi

Analisis isi (*content analysis*) adalah suatu metode penelitian yang menggunakan penelusuran pustaka bukan sekedar sebagai langkah awal dalam menyiapkan kerangka penelitian (*research design*) untuk memperoleh informasi sejenis, memperdalam kajian teori atau mempertajam metodologi, namun sekaligus memanfaatkan sumber kepustakaan tadi sebagai bahan kajiannya (Ahmad, 2018). Penelitian ini menggunakan landasan teori sebagai kerangka penelitian. Teori yang digunakan adalah optimasi lahan yang memadupadakan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan penurunan emisi sebagai targetnya. Berikut adalah tahapan – tahapan dalam melakukan analisis isi:

1. Merumuskan pertanyaan penelitian
   Kegiatan merumuskan disini adalah menentukan apa yang ingin diketahui lewat analisis isi, hal-hal apa saja yang menjadi masalah penelitian dan ingin dijawab lewat analisis isi. Penelitian ini ingin menjawab apa saja yang menjadi target pertumbuhan ekonomi dan penurunan emisi dalam dokumen perencanaan spasial dan sektoral Kota Bandung.
2. Memilih sampel yang akan dianalisis
   Penelitian ini menggunakan data dari semua dokumen pembangunan dan perencanaan ruang yang terkait dengan Kota Bandung. Dokumen– dokumen tersebut dipilih berdasarkan landasan teori tentang target optimasi yang ingin dicapai yaitu pertumbuhan ekonomi dan penurunan emisi. Dokumen – dokumen yang digunakan:
   a) Rencana Pembangunan Rendah Karbon Daerah Provinsi Jawa Barat 2020-2030;
   b) Dokumen RTRW Kota Bandung 2011 – 2031/Peraturan Daerah Kota Bandung Nomor 5 Tahun 2022 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bandung Tahun 2022-2042;
   c) Dokumen RDTR Kota Bandung 2015 – 2035/Peraturan Daerah Kota Bandung Nomor: 10 Tahun 2015 Tentang Rencana Detail Tata Ruang dan Peraturan Zonasi Kota Bandung Tahun 2015 – 2035;
   d) RPJPD Kota Bandung 2005 – 2025;
   e) Perubahan RPJMD Kota Bandung 2018 – 2023;
   f) Perubahan Rencana Strategis Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung 2018-2023.
3. Menentukan kategori yang akan diterapkan
   Konstruksi kategori merupakan alat yang digunakan untuk mengupas permasalahan penelitian, kategori berfungsi memilah isi pesan yang tersurat menjadi gambaran (berupa data) yang dapat dianalisa untuk menjawab permasalahan yang diajukan (Ahmad, 2018). Ada tiga hal yang perlu dipertimbangkan dalam membuat kategori yaitu: 1) kategori harus relevan dengan tujuan-tujuan studi; 2) kategori-kategorinya hendaklah fungsional; dan 3) sistem kategori-kategorinya harus dapat dipakai. Penelitian ini mengkonstruksi kategori berdasarkan bentuk dan interpretasi pertumbuhan ekonomi dan penurunan emisi.
4. Melakukan analisis atau *coding* (interpretasi)
   Tahapan *coding* dilakukan dengan menandai semua kata, frasa atau kalimat dalam semua dokumen sampel yang termasuk ke dalam kategori. *Highlight* kata, frasa dan kalimat yang dimaksud adalah:
   a) Kata yang disebutkan dalam bentuk target pertumbuhan ekonomi (LPE) dan target penurunan emisi.

b) Kata yang memiliki kesamaan makna (definisi) dengan bentuk target laju pertumbuhan ekonomi (LPE) dan target penurunan emisi.
c) Kata yang menunjukkan upaya tersebut merupakan bagian dari bentuk target pertumbuhan ekonomi (LPE) dan target penurunan emisi yaitu dilihat dari pilihan targetnya (baik kata yang sama atau memiliki kesamaan makna).

5. Menarik kesimpulan
   Tahapan ini menarik sintesa atau hasil dari temuan – temuan selama proses *coding*. Kesimpulan dalam penelitian ini yaitu target yang dikatakan sebagai target pertumbuhan ekonomi dan target penurunan emisi dalam sampel dokumen – dokumen perencanaan spasial dan sektoral.

Analisis *Linier Programming*

Langkah-langkah awal yang harus ditentukan dalam penyelesaian masalah dengan metode program linear adalah dengan menentukan 3 faktor utama, yaitu:
1) Target Optimasi Lahan, terdiri target penurunan emisi dan pertumbuhan ekonomi;
2) Fungsi tujuan Zmax = c1x1 + c2x2 + c3x3 + c4x4+ .... cnxn;
3) Limitasi Optimasi Lahan, terdiri dari aturan serta asumsi yang mempengaruhi nilai setiap variabel; (Christian, 2013). Fungsi tujuan kemudian akan menjadi model optimasi lahan.

Analisis Linear *programming* yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan bantuan program aplikasi *solver*. Perhitungan yang dilakukan melalui dua tahapan. Tahap pertama adalah perhitungan fungsi tujuan Zmax1. Apabila target optimasi Zmax1 telah terpenuhi, hasil dari perhitungan tersebut ditransformasi kedalam fungsi tujuan Zmax2. Apabila target optimasi Zmax1 belum terpenuhi, maka perhitungan fungsi tujuan Zmax2 belum dapat dilakukan.

A. Target Optimasi Lahan
   Zmax1 : Target penurunan emisi tahun 2025
   Zmax2 : Target Nilai PDRB tahun 2025 (Berdasarkan target LPE)

B. Fungsi Tujuan
   Zmax1 = Data aktivitas * Faktor emisi.....(1)
   = Luas perubahan guna lahan * Perubahan nilai emisi
   = (Guna lahan tahun 2003 – Guna lahan tahun 2025) * Δ Faktor emisi
   = Cadangan karbon tahun 2003 – Cadangan karbon tahun 2025
   = Cadangan karbon tahun 2003 – ∑[(x1* FEx1) + (x2* FEx2) + (x3* FEx3) + (x4* FEx4) + (x5* FEx5) + (x6* FEx6) + (x7* FEx7) + (x8* FEx8) + (x9* FEx9) + (x10* FEx10) + (x11* FEx11) + (x12* FEx12) + (x13* FEx13) + (x14* FEx14) + (x15* FEx15) + (x16* FEx16)]

Di mana:
x1 : Hutan Lahan rendah sekunder kerapatan rendah
x2 : Kebun Campuran
x3 : Ladang dengan hortikultura
x4 : Sawah dengan padi terus menerus
x5 : Semak belukar
x6 : Bangunan permukiman kota
x7 : Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan perkantoran)
x8 : Jaringan jalan aspal
x9 : Terminal Bandara
x10 : Stadion dan saran olahraga
x11 : Stasiun
x12 : Hutan kota, jalur hijau dan taman kota
x13 : Permukaan diperkeras lain (Tanah kosong)
x14 : Terminal bus
x15 : Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan industri)
x16 : Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan perdagangan)

FExn : Nilai Faktor Emisi suatu guna lahan
Cadangan karbon tahun 2003: 85.839,34 Ton CO_2^{eq}

$$Zmax2 = \sum[(x1*c1) + (x2*c2) + (x3*c3) + (x4*c4) + (x5*c5) + (x6*c6) + (x7*c7)] \ldots.(2)$$

Di mana:
x1 : Kawasan peruntukan hutan produksi
x2 : Kawasan peruntukan pertanian
x3 : Kawasan peruntukan pertambangan
x4 : Kawasan peruntukan permukiman
x5 : Kawasan peruntukan industri
x6 : Kawasan peruntukan pariwisata
x7 : Kawasan peruntukan perdagangan dan jasa
c : Koefisien produktivitas lahan (Rp Juta/Ha)

C. Limitasi Optimasi Lahan

$$A11X1 + A12X2 + ... + A1nXn \geq B1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$
$$A21X1 + A22X2 + ...+ A2nXn \geq B2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$
$$Am1X1 + Am2X2 + ... + AmnXn \geq Bm \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$
$$X1, X2, X3, ... Xn \geq 0$$

Di mana:
A : Aturan dan asumsi yang membatasi nilai x.
B : Batasan maksimal suatu variabel
X : Guna Lahan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Target Optimasi Lahan

Target Optimasi Lahan dilandaskan pada target yang dicanangkan Kota Bandung. Target pertumbuhan ekonomi dilihat dari kata LPE atau yang memiliki makna sejenis, sedangkan target penurunan emisi dilihat dari kata penurunan emisi yang memiliki makna sejenis. Identifikasi target– target tersebut tersebar dalam dokumen – dokumen perencanaan dan pembangunan Kota Bandung. Berdasarkan hasil analisis, target optimasi Zmax1 yaitu target penurunan emisi terdapat pada dokumen Rencana Pembangunan Rendah Karbon Daerah Provinsi Jawa Barat 2020-2030 dan RPJMD Kota Bandung 2018 – 2023. Apabila dilihat dari efektivitas cakupan realisasi target, maka target penurunan emisi yang paling sesuai adalah berdasarkan target dalam dokumen RPJMD Kota Bandung 2018 – 2023. Hal ini karena target tersebut memiliki cakupan penerapan hanya satu Kota Bandung, sedangkan dokumen lainnya yang memiliki target penurunan emisi yaitu Rencana Pembangunan Rendah Karbon Daerah Provinsi Jawa Barat 2020-2030 memiliki cakupan pelaksanaan satu provinsi.

Target penurunan emisi tahun 2025 adalah berdasarkan target dalam dokumen Perubahan Rencana Strategis Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung 2018-2023 yaitu sebesar 9%. Emisi Kota Bandung berdasarkan pendekatan *Backward Looking*, dalam rentang tahun 2003 – 2016 adalah sebesar 6.852,70 Ton CO_2^{eq}. Target penurunan emisi tahun 2025 adalah 6.848,05 Ton CO_2^{eq} – 9% = 6.235,96 Ton CO_2^{eq}, sehingga Zmax1 = 6.235,96 Ton CO_2^{eq}.

Tabel 15. Target optimasi lahan

No.	Dokumen	Kata kunci		Keterangan
		Laju Pertumbuhan Ekonomi (LPE)	Penurunan Emisi	
1	Rencana Pembangunan Rendah Karbon Daerah Provinsi Jawa Barat 2020-2030	-	X	Target Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca: 121.765.650 ton CO_2eq (9,49%)
2	RTRW Kota Bandung 2022 – 2042	-	-	-
3	RDTR Kota Bandung 2015 – 2035	-	-	-
4	RPJPD Kota Bandung 2005 - 2025	X	-	LPE > 11%
5	Perubahan RPJMD Kota Bandung 2018	X	X	LPE 5,05% ; Target Penurunan

No.	Dokumen	Kata kunci		Keterangan
		Laju Pertumbuhan Ekonomi (LPE)	Penurunan Emisi	
	- 2023			Emisi Gas Rumah Kaca 1,5%;
6	Perubahan Rencana Strategis Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung 2018-2023		X	Target Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca 9%

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Target optimasi Zmax2 yaitu target pertumbuhan ekonomi terdapat pada dokumen RPJPD Kota Bandung 2005 – 2025 dan RPJMD Kota Bandung 2013 – 2018. Apabila dilihat dari waktu realisasi target optimasi lahan dalam penelitian yaitu pada tahun 2025, maka yang paling mendekati waktu tersebut adalah target dalam dokumen RPJPD Kota Bandung 2005 – 2025. Selain itu target dalam dokumen tersebut memiliki nilai yang lebih besar (11%) dari pada dokumen lainnya (5,05%), sehingga lebih memberikan dampak terhadap kondisi emisi Kota Bandung. Target pertumbuhan ekonomi tahun 2025 adalah berdasarkan target dalam dokumen RPJPD Kota Bandung 2005 – 2025 yaitu sebesar > 11%. Berdasarkan hasil estimasi PDRB Kota Bandung 2025, maka Zmax2 = 246.407.931,21 (Juta Rp). Estimasi PDRB Kota Bandung sampai pada tahun 2025 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 16. Estimasi PDRB Kota Bandung 2025.

Tahun	PDRB (Juta Rp)	LPE	Keterangan
2010	102.154.914,72		Eksisting
2011	110.234.437,46	7,91%	Eksisting
2012	119.632.249,59	8,53%	Eksisting
2013	129.005.461,88	7,84%	Eksisting
2014	138.960.941,47	7,72%	Eksisting
2015	149.580.378,93	7,64%	Eksisting
2016	161.227.831,96	7,79%	Eksisting
2017	172.851.960,77	7,21%	Eksisting
2018	185.084.180,00	7,08%	Eksisting
2019	197.642.890,00	6,79%	Eksisting
2020	193.144.950,00	-2,28%	Eksisting
2021	200.414.030,00	3,76	Eksisting
2022	211.250.670,00	5,41%	Eksisting
2023	221.969.130,00	5,07%	Eksisting
2024-2025	246.407.93121	>11%	Target RPJPD 2024 - 2025

Sumber: BPS Kota Bandung, 2023

Limitasi Optimasi Lahan

Berdasarkan hasil analisis terhadap dokumen – dokumen pembangunan dan perencaan ruang Kota Bandung, dihasilkan beberapa bentuk limitasi optimasi lahan untuk fungsi tujuan Zmax1. Limitasi optimasi lahan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 17. Limitasi optimasi lahan.

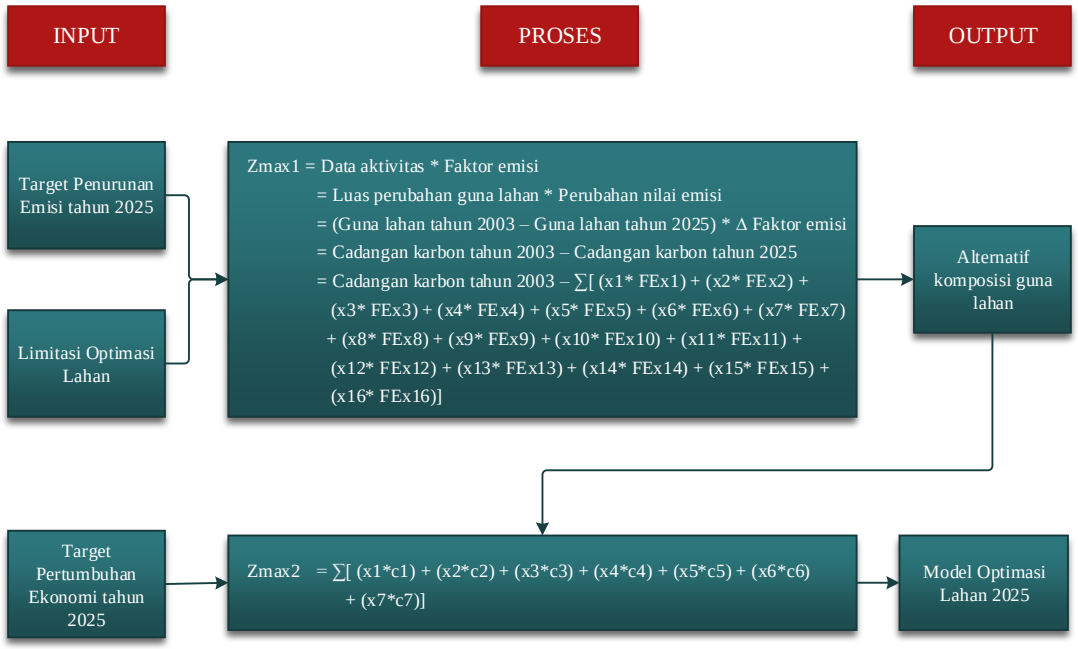
Guna Lahan	Notasi	Luas (Ha)	Keterangan
Hutan Lahan rendah sekunder kerapatan rendah	=	2,88	Sesuai dengan peruntukkan kawasan pelestarian alam yaitu Taman Hutan Raya Juanda berdasarkan Rencana Pola Ruang Kota Bandung 2022-2042
Semak belukar	=	0,00	Asumsi lahan harus habis tergunakan
Bangunan permukiman kota	>=	10615	Asumsi lahan permukiman tidak dapat berkurang berdasarkan Rencana Pola Ruang Kota Bandung 2022-2042
	>=	8908,82	Asumsi lahan permukiman tidak dapat berkurang dari kondisi eksisting tahun 2003
Bangunan Industri	=	928	Sesuai dengan peruntukkan kawasan peruntukan industri berdasarkan Rencana Pola Ruang Kota Bandung 2022-2042
	>=	912,10	Asumsi lahan industri tidak berkurang dari kondisi

Guna Lahan	Notasi	Luas (Ha)	Keterangan
			eksisting tahun 2003
Bangunan perkantoran	=	274	Sesuai dengan peruntukkan kawasan perkantoran berdasarkan Rencana Pola Ruang Kota Bandung 2022-2042
Bangunan perdagangan dan jasa	=	3096	Sesuai dengan peruntukkan kawasan perdagangan dan jasa berdasarkan Rencana Pola Ruang Kota Bandung 2022-2042
	>=	52,88	Asumsi lahan perdagangan dan jasa tidak berkurang dari kondisi eksisting tahun2003
Jaringan jalan aspal	=	1045,33	Asumsi lahan sarpras tetap, sesuai eksisting 2003
Terminal Bandara	=	107,10	Asumsi lahan sarpras tetap, sesuai eksisting 2003
Stadion dan saran olahraga	=	62,01	Asumsi lahan sarpras tetap, sesuai eksisting 2003
Stasiun	=	9,56	Asumsi lahan sarpras tetap, sesuai eksisting 2003
Hutan kota, jalur hijau dan taman kota	=	570	Sesuai dengan peruntukkan RTH berdasarkan Rencana Pola Ruang Kota Bandung 2022-2042
Permukaan diperkeras lain (Tanah kosong)	=	0,00	Asumsi lahan harus habis tergunakan
Terminal bus	=	6,57	Asumsi lahan sarpras tetap, sesuai eksisting 2019 berdasarkan dinas perhubungan Kota Bandung

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Optimasi Lahan Berbasis Emisi

Analisis *linier programming* yang dilakukan untuk mencapai dua target optimasi. dilakukan melalui dua tahapan. Tahap pertama adalah melakukan perhitungan fungsi tujuan Zmax1 yaitu target penurunan emisi. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan target penurunan emisi yang telah ditentukan dan limitasi optimasi lahan kedalam fungsi tujuan Zmax1. Hasil dari fungsi tujuan tersebut adalah alternatif komposisi gunalahan yang telah mencapai target penurunan emisi. Tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan fungsi tujuan Zmax2. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan hasil dari perhitungan fungsi tujuan Zmax1 dan limitasi optimasi lahan kedalam fungsi tujuan Zmax2.



Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gambar 17. Bagan alur analisis *linier programming.*

Tahap pertama dalam analisis *Linear Programming* adalah melakukan perhitungan fungsi tujuan Zmax1 yaitu target penurunan emisi. Berikut adalah fungsi tujuan Zmax1.

Zmax1 = 85.839,34 – ∑[(x1* FEx1) + (x2* FEx2) + (x3* FEx3) +

(x4* FEx4) + (x5* FEx5) + (x6* FEx6) + (x7* FEx7) + (x8* FEx8)+
(x9* FEx9) + (x10* FEx10) + (x11* FEx11) + (x12* FEx12) +
(x13* FEx13) + (x14* FEx14) + (x15* FEx15) + (x16* FEx16)]

6.235,96 = 85.839,34 − ∑[(x1* FEx1) + (x2* FEx2) + (x3* FEx3) +
(x4* FEx4) + (x5* FEx5) + (x6* FEx6) + (x7* FEx7) + (x8* FEx8)+
(x9* FEx9) + (x10* FEx10) + (x11* FEx11) + (x12* FEx12) +
(x13* FEx13) + (x14* FEx14) + (x15* FEx15) + (x16* FEx16)]

85.839,34 − 6.235,96 = ∑[(x1* FEx1) + (x2* FEx2) + (x3* FEx3) +
(x4* FEx4) + (x5* FEx5) + (x6* FEx6) + (x7* FEx7) + (x8* FEx8)+
(x9* FEx9) + (x10* FEx10) + (x11* FEx11) + (x12* FEx12) +
(x13* FEx13) + (x14* FEx14) + (x15* FEx15) + (x16* FEx16)]

79.603,38 = ∑[(x1*169) + (x2*30) + (x3*10) + (x4*2) + (x5*30) + (x6*4) +
(x7*4) + (x8*2,5) + (x9*0) + (x10*4) + (x11*0) + (x12*4) +
(x13*2,5) + (x14*0) + (x15*4) + (x16*4)]

Tahap selanjutnya setelah merumuskan fungsi tujuan Zmax 1 dan limitasi target optimasi adalah menggunakan program aplikasi *solver*. Berdasarkan program aplikasi *solver* terdapat beberapa skenario yang harus disusun guna mencapai target penurunan emisi. Beberapa skenario tersebut diatur terhadap penentuan limitasi yang digunakan dari serangkaian aturan dan asumsi yang telah disusun.

Fungsi tujuan Zmax1 berhasil menghasilkan tiga alternatif komposisi guna lahan berdasarkan skenario yang disusun. Skenario 1 menggunakan limitasi yang telah ditentukan, hanya saja pada limitasi guna lahan permukiman, bangunan industri, serta bangunan perdagangan dan jasa mengikuti berdasarkan aturan dari RTRW Kota Bandung tahun 2022-2042. Skenario 2 menggunakan limitasi yang telah ditentukan, hanya saja pada limitasi guna lahan permukiman, bangunan industri, serta bangunan perdagangan dan jasa diasumsikan lebih besar dari kondisi eksisting tahun 2003. Skenario 3 menggunakan limitasi yang telah ditentukan, hanya saja pada limitasi guna lahan bangunan permukiman menggunakan asumsi lebih besar dari kondisi eksisting. Hasil dari tiap skenario tersebut menunjukkan hanya skenario 1 saja yang tidak dapat mencapai target penurunan emisi. Kemudian skenario 2 menghasilkan nilai terbesar yaitu 190.437,12 Ton CO2eq.

Tabel 18. Hasil analisis linier programming fungsi tujuan Zmax1.

Guna Lahan	Skenario 1		Skenario 2		Skenario 3	
	Luas (Ha)	ΔC (Ton CO2eq)	Luas (Ha)	ΔC (Ton CO2eq)	Luas (Ha)	ΔC (Ton CO2eq)
X1	2.88	486.72	2.88	486.72	2.88	486.72
X2	42.06	1,261.86	4,807.26	144,217.81	1,748.24	52,447.22
X3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X6	10,615.00	42,460.00	8,908.82	35,635.29	8,908.82	35,635.29
X7	274.00	1,096.00	274.00	1,096.00	274.00	1,096.00
X8	1,045.33	2,613.33	1,045.33	2,613.33	1,045.33	2,613.33
X9	107.10	0.00	107.10	0.00	107.10	0.00
X10	62.01	248.05	62.01	248.05	62.01	248.05
X11	9.56	0.00	9.56	0.00	9.56	0.00
X12	570.00	2,280.00	570.00	2,280.00	570.00	2,280.00
X13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X14	6.57	0.00	6.57	0.00	6.57	0.00
X15	928.00	3,712.00	912.10	3,648.40	928.00	3,712.00
X16	3096.00	12384.00	52.88	211.53	3096.00	12384.00
Total	16.758,51	66,541.96	16.758,51	190,437.12	16.758,51	110,902.60

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Tahap kedua adalah mencapai Zmax2 = 246.407.931,21 (Juta Rp) Komposisi Guna Lahan yang sudah didapatkan dari fungsi tujuan Zmax1, kemudian dimasukkan kedalam fungsi tujuan

Zmax2. 16 Variabel dari fungsi tujuan Zmax1 diubah menjadi 7 variabel dengan melihat kemiripan karakteristIKNya.

Tabel 19. Konversi variabel guna lahan.

16 Variabel	7 Variabel
Hutan Lahan rendah sekunder kerapatan rendah	Kawasan peruntukan hutan produksi
Kebun Campuran	Kawasan peruntukan pertanian
Ladang dengan hortikultura	
Sawah dengan padi terus menerus	
Semak belukar	
Bangunan permukiman kota	Kawasan peruntukan permukiman
Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan perkantoran)	
Jaringan jalan aspal	
Terminal Bandara	
Stadion dan saran olahraga	
Stasiun	
Hutan kota, jalur hijau dan taman kota	
Permukaan diperkeras lain (Tanah kosong)	
Terminal bus	
Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan industri)	Kawasan peruntukan industri
Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan perdagangan)	Kawasan peruntukan perdagangan dan jasa
-	Kawasan peruntukan pertambangan
-	Kawasan peruntukan pariwisata

Sumber: Hasil Analisis

Tahap selanjutnya setelah mendapatkan variabel x adalah mencari nilai koefisien pada fungsi tujuan Zmax2. Nilai koefisien tersebut didapatkan dari nilai produktivitas guna lahan. Nilai produktivitas adalah nilai PDRB dari setiap guna lahan yang dibagi dengan luasannya. Data PDRB dan guna lahan yang digunakan adalah tahun 2016.

Hasil perhitungan pada fungsi tujuan Zmax2 menunjukkan dari tiga skenario, hanya skenario 2 saja yang tidak dapat mencapai target pertumubuhan ekonomi Kemudian skenario 1 menghasilkan nilai terbesar yaitu 413.774.753,96 (Juta Rp.)

Tabel 20. Hasil Analisis Linier Programming Fungsi tujuan Zmax2.

Guna Lahan	Koef. (Juta Rp/Ha)	Skenario 1		Skenario 2		Skenario 3	
		Luas (Ha)	PDRB (Juta Rp)	Luas (Ha)	PDRB (Juta Rp)	Luas (Ha)	PDRB (Juta Rp)
x1	21	2.88	59.20	2.88	59.20	2.88	59.20
x2	114	42.06	4,777.54	4,807.26	546,025.24	1,748.24	198,571.20
x3	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x4	3.863	12,689.57	49,017,111.52	10,983.39	42,426,505.53	10,983.39	42,426,505.53
x5	46.059	928.00	42,742,477.82	912.10	42,010,090.20	928.00	42,742,477.82
x6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x7	104.009	3,096.00	322,010,327.90	52.88	5,500,103.75	3,096.00	322,010,327.90
Total		16.759	413,774,753.96	16.759	90,482,783.91	16.759	407,377,941.64

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Hasil analisis *linier programming* dari ketiga skenario menunjukkan bahwa skenario 3 adalah yang terbaik karena mampu mencapai kedua target optimasi lahan. Skenario 1 hanya mencapai target optimasi pertumbuhan ekonomi dan belum mencapai target optimasi penurunan emisi. Sedangkan Skenario 2 hanya mencapai target optimasi penurunan emisi dan belum mencapai target optimasi pertumbuhan ekonomi.

Tabel 21. Alternatif Hasil Analisis Liner Programming

Guna Lahan	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
X1	2.88	2.88	2.88
X2	42.06	4,807.26	1,748.24
X3	0.00	0.00	0.00
X4	0.00	0.00	0.00
X5	0.00	0.00	0.00
X6	10,615.00	8,908.82	8,908.82
X7	274.00	274.00	274.00
X8	1,045.33	1,045.33	1,045.33
X9	107.10	107.10	107.10
X10	62.01	62.01	62.01
X11	9.56	9.56	9.56
X12	570.00	570.00	570.00
X13	0.00	0.00	0.00
X14	6.57	6.57	6.57
X15	928.00	912.10	928.00
X16	3096.00	52.88	3096.00
Cadangan Karbon (Ton CO2eq)	66,541.96	190,437.12	110,902.60
Target Cadangan Karbon (Ton CO2eq)	79,603.38	79,603.38	79,603.38
PDRB (Juta Rp)	413,774,753.96	90,482,783.91	407,377,941.64
Target PDRB (Juta Rp)	246,407,931.21	246,407,931.21	246,407,931.21

Sumber: Hasil Analisis, 2019

KESIMPULAN

Hasil dari analisis menunjukkan pemanfaatan lahan yang optimum berdasarkan pertimbangan pertumbuhan ekonomi dengan penurunan emisi ditunjukkan pada Tabel 8. Komposisi guna lahan tersebut mampu mencapai target penurunan emisi (penurunan emisi 9% = cadangan karbon tahun 2025 sebesar 79.603,38 TonCO_2^{eq}) dan pertumbuhan ekonomi (LPE >11% yang diasumsikan menjadi PDRB senilai 246.407.931,21 (Juta Rp)), sehingga dapat dikatakan bahwa target optimasi lahan dalam penelitian ini berhasil tercapai.

Tabel 22. Guna lahan optimum tahun 2025.

No.	Guna Lahan	Luas (Ha)
1	Hutan Lahan rendah sekunder kerapatan rendah	2.88
2	Kebun Campuran	1,748.24
3	Ladang dengan hortikultura	0.00
4	Sawah dengan padi terus menerus	0.00
5	Semak belukar	0.00
6	Bangunan permukiman kota	8,908.82
7	Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan perkantoran)	274.00
8	Jaringan jalan aspal	1,045.33
9	Terminal Bandara	107.10
10	Stadion dan saran olahraga	62.01
11	Stasiun	9.56
12	Hutan kota, jalur hijau dan taman kota	570.00
13	Permukaan diperkeras lain (Tanah kosong)	0.00
14	Terminal bus	6.57
15	Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan industri)	928.00
16	Bangunan industri, perdagangan dan perkantoran (Bangunan perdagangan)	3096.00
	Total	1,6758.51

Sumber: Hasil Analisis, 2019

Berdasarkan penelitian ini, beberapa saran dan rekomendasi yang dapat digunakan bagi pihak-pihak terkait:

1. Berkolaborasi dengan instansi pemerintahan untuk mempermudah akses data spasial yang lebih komprehensif dan terkini sehingga dapat lebih akurat merepresentasikan kondisi nyata.

2. Metode dan alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini masih memiliki keterbatasan, sehingga diharapkan dapat menghasilkan hasil penelitian yang lebih baik di masa depan.
3. Sebaiknya dalam merencanakan tata ruang dapat mengutamakan sinergi dari tiga pilar pembangunan berkelanjutan, bukan hanya salah satunya saja.
4. Penurunan emisi dapat didorong dengan mengalokasikan pemanfaatan lahan untuk hutan sekunder lahan rendah dengan kerapatan rendah, kebun campuran, serta hutan kota, jalur hijau, dan taman kota.
5. Meningkatkan pengawasan dalam pemanfaatan ruang untuk mencegah terjadinya penyalahgunaan yang dapat menimbulkan masalah di masa mendatang.
6. Penelitian optimasi lahan di masa depan dapat menggunakan tiga target optimasi dari tiga pilar pembangunan berkelanjutan.
7. Meningkatkan intensifikasi kegiatan di kawasan yang mendukung pertumbuhan ekonomi sehingga dapat mengoptimalkan hasil dari kegiatan tersebut tanpa banyak menghabiskan lahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami ucapkan pada Tuhan YME atas berkat rahmat dan karunia-Nya yang senantiasa tercurah limpah kepada penulis. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kota Bandung dan semua instansi terkait atas sifat kooperatif selama pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga kami sampaikan pada semua pihak yang telah ikut serta membantu dalam proses pengumpulan data sampai penyajian.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, F., Santosa, I., Dewi, S., Setyanto, P., Thamrin, S., Wulan, Y. C., & Suryaningrum, F. (2013). *Pedoman Teknis Perhitungan Baseline Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan: Buku I Landasan Ilmiah.* Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Republik Indonesia.

Ahmad, J. (2018). Desain Penelitian Analisis Isi (Content Analysis). 1-20.

Christian, S. (2013). Penerapan Linear Programming untuk Mengoptimalkan Jumlah Produksi dalam Memperoleh Keuntungan Maksimal pada CV Cipta Unggul Pratama. *Journal The WINNERS, 14*(1), 55-60.

Dewi, S., Johana, F., Agung, P., Zulkarnain, M. T., Asmara, D. H., & Gamma Galudra, S. A. (2013). *Perencanaan Penggunaan Lahan Untuk Mendukung Pembangunan Rendah Emisi* (1st ed.). Bogor: World Agroforestry Centre (ICRAF).

Hsieh, H.-F., & Shannon, S. E. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *QUALITATIVE HEALTH RESEARCH, 15*(9), 1277-1288.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2007). *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang.* Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007.

Muhaimin, M., & Pamungkas, A. (2014). Optimalisasi Penggunaan Lahan Untuk Memaksimalkan Pendapatan Pemerintah Daerah Kabupaten Sidoarjo (Studi Kasus: Kecamatan Waru). *Jurnal Teknik Pomits, 3*(2), 87-91.

Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches* (7th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.

Puspita, I. B. (2017). Jurnal Online Institut Teknologi Nasional. *Mewujudkan Perencanaan Tata Ruang yang Ramah Lingkungan melalui Analisis Emisi Berbasis Lahan*, 1-9.

Puspita, I. B., Raharjo, S. Y., & Utari, E. G. (2016). Optimalisasi Pemanfaatan Ruang Kota di Kota Batam Dengan Prinsip Pembangunan Rendah Karbon. Bandung: Seminar Nasional Institut Teknologi Nasional.

RI (Republik Indonesia). (2007). *Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang.* Jakarta: Sekretariat Negara.

PEMETAAN TINGKAT KEBAHAGIAAN DI PERKOTAAN DENGAN METODE *GROSS NATIONAL HAPPINESS INDEX* (GNHI) DI KOTA YOGYAKARTA TAHUN 2023

(Mapping of Happiness Levels in Urban Areas Using The Gross National Happiness Index/GNHI Method in Yogyakarta City in 2023)

Niken Ayu Safitri[1], Dwi Wahyuningrum[1], Fahmi Amhar[2]
[1]Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
[2]Badan Riset & Inovasi Nasional

Alamat: UPN Kampus II, Jl. Babarsari 2, Yogyakarta
E-mail: 117200052@student.upnyk.ac.id

ABSTRAK

Kebahagiaan adalah perasaan puas dalam hidup yang dianggap sebagai pondasi kehidupan yang berarti dan tujuan bagi individu. Meskipun beberapa aspeknya subjektif, penelitian terus mengukur kebahagiaan dalam perkembangan zaman. Pengukuran kebahagiaan di suatu wilayah dapat membantu pemerintah dalam keputusan kebijakan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Menurut BPS, Provinsi DIY memiliki indeks kebahagiaan yang rendah, di urutan ke-22 dengan indeks kebahagiaan 71,7. Penelitian ini memfokuskan pada tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta hingga ke tingkat kecamatan dengan menggunakan metode pengukuran *Gross National Happiness Index* (GNHI). Analisis juga dilakukan terkait autokorelasi spasial di wilayah kecamatan Kota Yogyakarta berdasarkan nilai GNHI. Metode yang digunakan mencakup Indeks Moran Global dan analisis *Local Indicator of Spatial Association* (LISA) menggunakan program R pada *software* RStudio. Hasil analisis menunjukkan variasi tinggi GNHI antara kecamatan, dengan tertinggi di Kecamatan Mantrijeron (74%) dan terendah di Kecamatan Wirobrajan (54%). Selain itu, ditemukan autokorelasi spasial global di setiap kecamatan, dengan empat kecamatan menunjukkan korelasi spasial signifikan secara lokal: Mantrijeron, Ngampilan, Wirobrajan, dan Gedongtengen.

Kata kunci: kebahagiaan, GNHI, autokorelasi spasial, Indeks Moran, LISA

ABSTRACT

Happiness is a sense of life satisfaction that is considered the foundation of a meaningful life and the goal for individuals. Although some aspects of happiness are subjective, research continues to measure happiness in the development of time. Measuring happiness in a region can assist the government in policy decisions to improve the welfare of society. According to BPS, the Special Region of Yogyakarta (DIY) has a low happiness index, ranked 22nd with a happiness index of 71.7. This research focuses on the level of happiness in the city of Yogyakarta down to the district level using the Gross National Happiness Index (GNHI) measurement method. Analysis is also conducted regarding spatial autocorrelation in the districts of Yogyakarta City based on GNHI values. The methods used include the Global Moran Index and Local Indicator of Spatial Association (LISA) analysis using the R program in RStudio software. The analysis results show high variation in GNHI between districts, with the highest in Mantrijeron District (74%) and the lowest in Wirobrajan District (54%). Furthermore, global spatial autocorrelation was found in each district, with four districts showing significant local spatial correlation: Mantrijeron, Ngampilan, Wirobrajan, and Gedongtengen.

***Keywords**: happiness, GNHI, spatial autocorrelation, Moran Index, LISA*

PENDAHULUAN

Kebahagiaan secara sederhana dapat diartikan sebagai kesejahteraan emosional positif dan sering digunakan untuk menggambarkan kesejahteraan subjektif seseorang (Diener, Oishi, & Lucas, 2003). Secara umum kebahagiaan akan berhubungan dengan perasaan kepuasan hidup seseorang dan juga kesejahteraan, jika seseorang merasakan kepuasan hidup yang tinggi artinya ia memiliki tingkat kebahagiaan yang tinggi (Veenhoven, 1994). Pada dasarnya teori kebahagiaan akan menjadi bervariasi bagi setiap orang, karena kebahagiaan dan kesejahteraan merupakan

tujuan hidup bagi seluruh individu maupun masyarakat (Erna Suprihartiningsih *et al.*, 2023). Kebahagiaan merupakan salah satu aspek penting didalam kehidupan. Setiap individu memiliki tujuan untuk merasakan kesejahteraan dan kebahagiaan (Awaludin, 2017). dalam beberapa penelitian telah dilakukan kajian terkait pengukuran tingkat kebahagiaan yang dapat digunakan oleh pemerintah untuk pengambilan kebijakan dalam merencanakan program pembangunan daerah untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk. Tingkat kebahagiaan yang disajikan dalam penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan metode *Gross National Happiness Index* (GNHI) yang mengukur kebahagiaan berdasarkan sembilan variabel, yaitu variabel kesejahteraan psikologi, kesehatan, *good governance*, keanekaragaman ekologi dan ketahanan, penggunaan waktu, pendidikan, keanekaragaman budaya dan ketahanan, vitalitas komunitas, dan standar hidup.

Teknik dalam penyajian tingkat kebahagiaan paling sering dilakukan menggunakan metode konvensional statistik dengan penyediaan data berupa nilai tingkat kebahagiaan. Namun, metode analisis spasial menjadi isu yang semakin relevan dalam melakukan kajian feomena spasial. Adanya kajian spasial dapat menjelaskan mengenai pentingnya faktor lingkungan sekitar atau ketetanggaan sebagai penentu kebahagiaan (Matthews, 2008). Faktor ketetanggaan yang akan mempengaruhi nilai indeks kebahagiaan akan dapat dikaji melalui analisis distribusi geografis dari nilai indeks kebahagiaan yang dihasilkan. Fenomena sosial seperti ini akan memiliki kerentanan terhadap efek spasial seperti adanya autokorelasi yang secara tidak disadari terjadi. Namun, karena fenomena sosial ini diasumsikan stasioner (homogen), maka teknik statistik konvensional (non-geografis) tidak mampu menggambarkan permasalahan tersebut agar mudah dipahami oleh pengamat. Informasi lokasi menjadi salah satu hal yang penting ketika mengkaji fenomena sosial yang terjadi secara stasioner pada suatu wilayah. Berdasarkan hal tersebut, data geografis dapat mengungkapkan pola – pola yang dapat menjadi kepentingan bagi pemerintah setempat (Sepúlveda-Murillo *et al.*, 2020).

Sistem informasi geografis merupakan keilmuan multi disipilin, didalamnya terdapat teknik untuk menganalisis data spasial yang mana dapat menjelaskan analisis hubungan antar wilayah berdasarkan fenomena sosial yang terjadi di wilayah tersebut. Salah satu teknik analisis spasial tersebut merupakan analisis autokorelasi spasial. Konsep analisis autokorelasi spasial ini didasarkan pada hukum pertama geografi yang dikemukakan oleh seorang geografer dan kartografer asal Amerika, yang bernama Waldo Rudolf Tobler pada tahun 1970. Ia menyatakan bahwa "segala sesuatu berhubungan dengan segala sesuatu yang lain, tetapi hal – hal yang berdekatan lebih berkaitan daripada hal – hal yang berjauhan" (Daniel Z Sui, 2004).

Autokorelasi spasial merupakan suatu metode untuk melakukan penaksiran terkait adanya korelasi antar satu lokasi dengan lokasi tetangganya berdasarkan data pengamatan. Analisis autokorelasi spasial dapat menentukan hubungan dari adanya kemiripan dari objek di dalam suatu ruang (jarak, waktu, dan wilayah). Metode ini akan menjelaskan kondisi nilai pengamatan di wilayah j apakah dipengaruhi oleh nilai pengamatan di wilayah sekitarnya (Mailanda *et al.*, 2022). Analisis autokorelasi spasial dapat dilakukan secara global dan lokal, dimana terdapat beberapa metode untuk melakukan analisis autokorelasi secara global, yaitu metode *Joint Count Statistik*, Moran's I, Geary's C Ratio, dan General (Getis-Ord) G. Selain itu, terdapat metode untuk melakukan analisis korelasi lokal, seperti *Anselin's Local Indicator of Spatial Association* (LISA) dan Getis-Ord G_i.

Indeks Moran atau biasa dinotasikan dengan (*I*) merupakan sebuah metode untuk melakukan analisis autokorelasi spasial secara global. Indeks Moran pertama kali dikemukakan oleh Patrick Alfred Pierce Moran pada tahun 1950. Indeks Moran merupakan suatu ukuran untuk menjelaskan keterhubungan adanya korelasi spasial antara suatu wilayah yang dikaji dengan wilayah tetangganya berdasarkan nilai yang dikaji pada wilayah tersebut (dalam hal ini nilai indeks kebahagiaan). Analisis ini mengkaji autokorelasi spasial secara keseluruhan, namun ia tidak dapat memberikan informasi pola spasial pada wilayah tertentu. Maka dari itu, adanya analisis lokal untuk melengkapi kajian terkait pola kecenderungan adanya hubungan spasial di setiap wilayah yang akan dikaji dengan menggunakan salah satunya adalah metode LISA (Mailanda *et al.*, 2022).

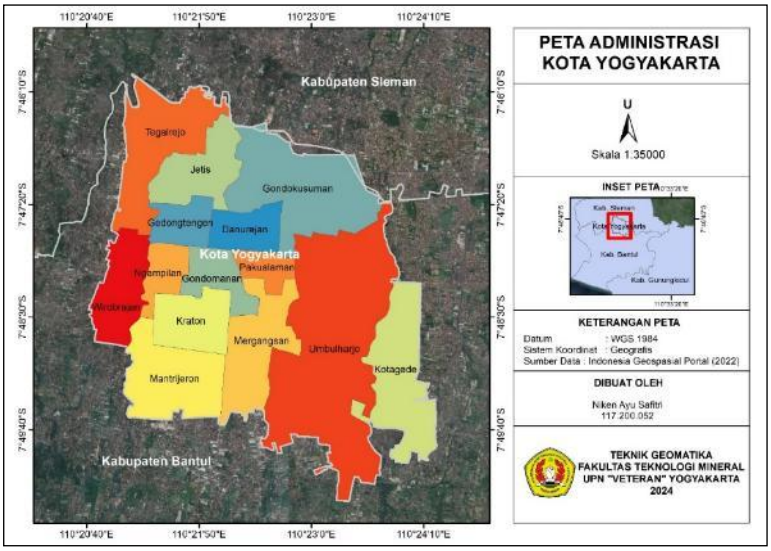
Lokal Indicator of Spatial Association (LISA) merupakan metode untuk menganalisis autokorelasi spasial secara lokal, atau dapat dikatakan juga sebagai Indeks Moran Lokal. Informasi kecenderungan adanya hubungan antar setiap lokasi pengamatan dapat dilakukan dengan metode LISA, dengan luaran adanya informasi terkait tingkat signifikansi suatu wilayah berhubungan secara spasial dengan wilayah tetangganya yang disebabkan oleh persebaran data yang dikaji (dalam hal ini data indeks kebahagiaan). Berdasarkan definisi operasional, LISA merupakan perhitungan statistik apa pun yang memenuhi dua persyaratan berikut: a) LISA untuk setiap wilayah pengamatan memberikan indikasi sejauh mana pengelompokan spasial yang signifikan dari nilai-nilai serupa di sekitar observasi tersebut, b) jumlah LISA untuk semua observasi sebanding dengan indikator autokorelasi spasial global (Anselin, 1995).

Dalam analisis autokorelasi spasial, metode perhitungan analisis dapat dilakukan menggunakan salah satu software statistik, yaitu R Studio yang dapat menjalankan program R. R merupakan bahasa pemrograman yang diciptakan oleh Ross Ihaka dan Robert Gentleman dan dikembangkan oleh John Chamber dan kawan – kawannya melalui projek GNU pada Bell Laboratories. Selain itu, R juga bukan hanya sekedar bahasa, namun juga sebuah lingkungan (*environment)* yang dapat digunakan untuk melakukan komputasi statistik dan grafik atau dapat melakukan visualisasi data (Faisal & Nugrahadi, 2019). Program R ini mampu untuk menjalankan analisis Indeks Moran amupun analisis LISA untuk menentukan autokorelasi spasial pada suatu fenomena yang terjadi di wilayah yang diamati.

Maka dari itu adanya pengukuran tingkat kebahagiaan bertujuan untuk melakukan pemantauan berdasarkan aspek wilayah untuk melakukan pengambilan kebijakan dalam rangka meningkatkan skor kebahagiaan di setiap wilayahnya (Sukmana, 2017). dalam pemantauan tiap wilayahnya, maka dapat dilakukan analisis untuk mengetahui apakah kebahagiaan di suatu wilayah dipengaruhi oleh wilayah disekitarnya. Harapannya adalah untuk memudahkan pemerintah dalam pengambilan kebijakan untuk pembangunan wilayah.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Kota Yogyakarta yang merupakan ibu kota Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Letak Kota Yogyakarta berada di tengah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Luas wilayah Kota Yogyakarta sebesar 32,5 km^2 yang terbagi menjadi 14 kecamatan, yaitu Kecamatan Mantrijeron, Kecamatan Kraton, Kecamatan Mergangsan,Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Pakualaman, Kecamatan Gondokusuman, Kecamatan Wirobrajan, Kecamatan Gondomanan, Kecamatan Tegalrejo, Kecamatan Jetis, Kecamatan Danurejan, Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Kota Gede, dan Kecamatan Gedongtengen. Peta administrasi Kota Yogyakarta disajikan pada **Gambar 1**.

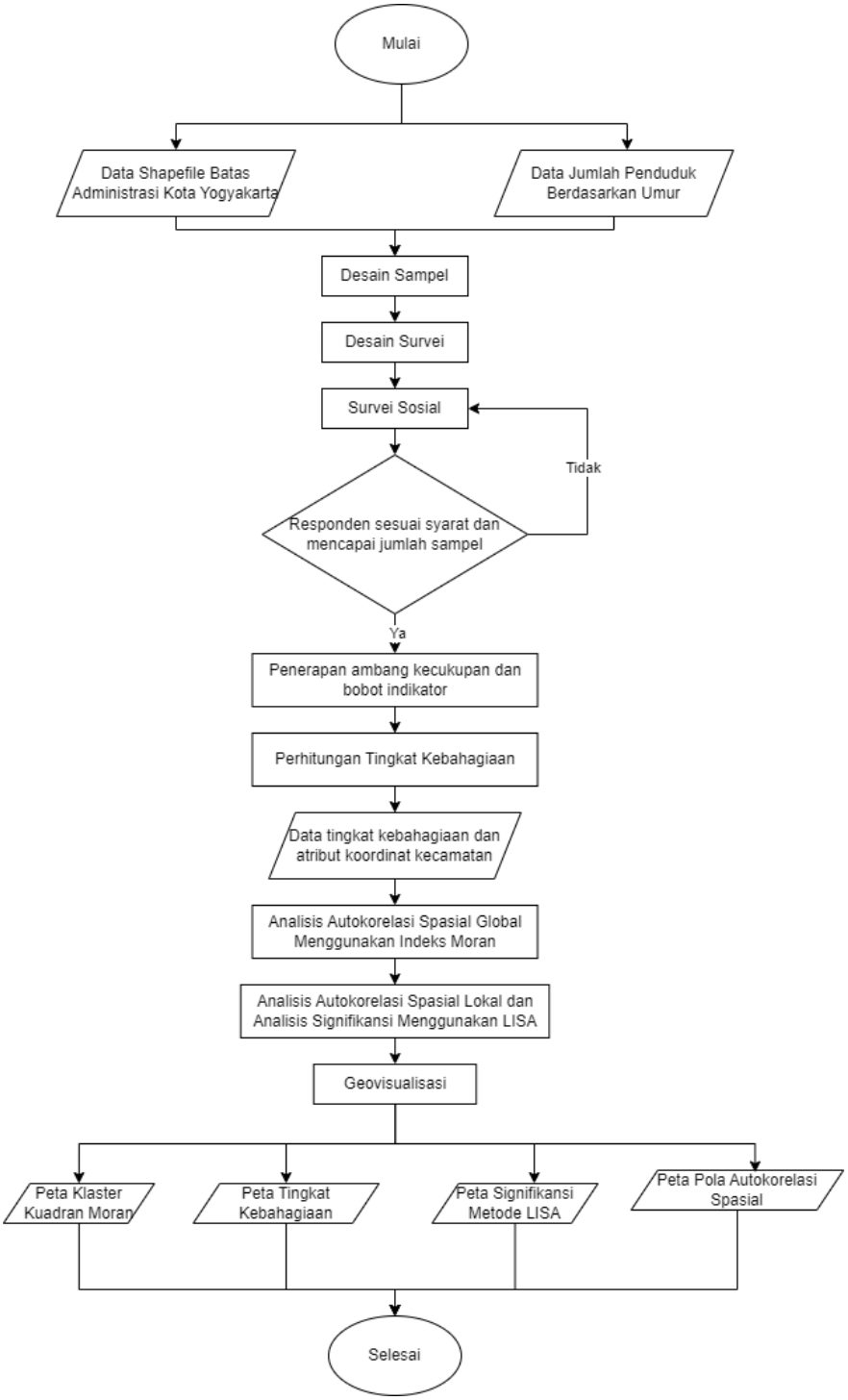


Gambar 1. Peta Administrasi Kota Yogyakarta.

Alat yang digunakan untuk membuat sistem ini terdiri dari *hardware dan software*, yaitu: (a) Perangkat Keras, meliputi MSI Bravo 15 B5DD, Processor AMD Ryzen 5 5600H, dan RAM 8 GB; serta (b) Perangkat Lunak, meliputi Sistem operasi Windows 11, Microsoft Excel, ArcMap ArcGIS, dan R Studio. Sementara data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

a. Data jumlah penduduk menurut kelompok umur dan jenis kelamin di Kota Yogyakarta dan di setiap Kecamatan di Kota Yogyakarta tahun 2022.
b. Data *Shapefile* Batas Administrasi Kota Yogyakarta Tahun 2022. Data diperoleh dari situs Indonesia Geospasial Portal yang diakses pada 24 Januari 2024 (https://tanahair.indonesia.go.id/).

Prosedur analisis autokorelasi spasial pada wilayah Kota Yogyakarta berdasarkan nilai indeks kebahagiannya dapat dijelaskan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir analisis autokorelasi spasial.

Metode Sampling

Penentuan desain sampel menggunakan metode *stratified sampling* atau strata sampling. Teknik sampling ini membagi populasi menjadi beberapa kelompok yang tidak saling tumpeng tindih, dan kemudian mengambil sampel secara acak dari setiap kelompok. Kelompok tersebut dinamakan strata. Perlunya menerapkan batas responden yang ingin diteliti dengan menerapkan kriteria pada saat pengambilan data. Berdasarkan data dari BPS usia minimum seseorang termasuk ke dalam usia produktif yaitu pada usia 15 tahun ke atas, maka berdasarkan data BPS dapat diketahui jumlah penduduk Kota Yogyakarta yang berusia di atas 15 tahun dapat disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Jumlah Populasi Sasaran.

No	Kecamatan	Jumlah penduduk usia > 15 tahun
1	Mantrijeron	28.305
2	Kraton	17.587
3	Mergangsan	25.350
4	Umbulharjo	55.700
5	Kotagede	26.157
6	Gondokusuman	34.354
7	Danurejan	16.979
8	Pakualaman	8.563
9	Gondomanan	11.895
10	Ngampilan	14.464
11	Wirobrajan	22.131
12	Gedongtengen	15.701
13	Jetis	21.546
14	Tegalrejo	29.560
	Total	328.292

Penentuan sampel pada masing – masing kecamatan dilakukan menggunakan metode *stratified sampling* dengan menghitung jumlah sampel pada setiap kecamatan berdasarkan Persamaan 1.

$$P_k = \left(\frac{Nk}{N}\right) x \; n \qquad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
P_k : ukuran sampel pada strata k, (k = 1,2,3,..)
N_k : jumlah sub-populasi sasaran k, (k = 1,2,3,..)
N : Jumlah populasi sasaran
n : total ukuran sampel

Desain Survei

Berdasarkan modul "*An Extensive Analysis of GNH Index*" yang dirilis oleh Negara Bhutan tahun 2012, desain survei meliputi perumusan variabel penelitian didasarkan pada tujuan penelitian, parameter dan teknik analisa yang digunakan sesuai dengan modul tersebut dengan menerapkan skala likert yang telah ditentukan pada setiap indikator variabel yang digunakan. Desain pertanyaan, bobot penilaian pada setiap indikator, dan ambang batas kecukupan untuk melakukan survei telah disesuaikan berdasarkan modul yang digunakan dalam mengukur indeks kebahagiaan menggunakan alat ukut GNHI (Ura *et al*., 2012).

Analisis Tingkat Kebahagiaan

Analisis tingkat kebahagiaan pada penelitian ini menggunakan metode *Gross National Happiness* (GNH) yang diukur menggunakan metode perhitungan Akire-Foster (2007, 2011). Metode perhitungan Alkire-Foster ini digunakan untuk menganalisis konsep multidimensional

seperti perhitungan tingkat kebahagiaan, kemiskinan, dan ketidaksetaraan (Ura *et al.*, 2012).

Gross National Happiness (GNH) merupakan suatu metode untuk mengukur kualitas suatu negara dengan cara yang lebih holistik. GNHI pertama kali diadakan pada tahun 1972 oleh raja ke-4 Negara Bhutan, yaitu Jigme Singye Wangchuck melalui aksi publik untuk mempromosikan kesejahteraan dan kebahagiaan bagi masyarakatnya (Ura *et al.*, 2012). Untuk melakukan perhitungan GNH Index, maka dilakukan langkah-langkah berikut (Ura *et al.*, 2012):

a. Pemilihan indikator yang sesuai dengan tujuan penelitian. Informasi indikator dan bobot indikator GNHI dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Bobot Indikator GNHI.

Variabel	Bobot Variabel	Indikator	Bobot Indikator	Bobot Total
Kesejahteraan	1/9	Kepuasan Hidup	33%	4%
Psikologis	1/9	Keseimbangan Emosi Positif	17%	2%
	1/9	Keseimbangan Emosi Negatif	17%	2%
	1/9	Spiritualitas	33%	4%
Kesehatan	1/9	Catatan Kesehatan Diri	20%	2%
Good Governance	1/9	Partisipasi Politik	40%	4%
	1/9	Kebebasan Politik	10%	1%
	1/9	Kinerja Pemerintah	10%	1%
	1/9	Penyediaan Layanan	40%	4%
Keanekaragaman Ekologi dan Ketahanan	1/9	Tanggungjawab Terhadap Lingkungan	10%	1%
	1/9	Isu-isu Lingkungan	10%	1%
Penggunaan Waktu	1/9	Penggunaan Waktu Kerja	50%	6%
	1/9	Penggunaan Waktu Tidur	50%	6%
Pendidikan	1/9	Melek Huruf/Keaksaraan	30%	3%
	1/9	Kualifikasi Pendidikan	30%	3%
	1/9	Pengetahuan	20%	2%
	1/9	*Value*/Norma	20%	2%
Keanekaragaman Budaya dan Ketahanan	1/9	Bahasa	20%	2%
	1/9	Partisipasi Budaya	30%	3%
	1/9	Keterampilan Seni	30%	3%
Vitalitas Komunitas	1/9	Hubungan Masyarakat	30%	3%
	1/9	Hubungan Keluarga	30%	3%
	1/9	Keamanan	40%	4%
Standar Hidup	1/9	Pendapatan Rumah Tangga Per-Kapita	34%	4%
	1/9	Kepemilikian Aset	33%	4%
	1/9	Kualitas Rumah	33%	4%

b. Penerapan ambang kecukupan pada GNH dilakukan menggunakan *sufficiency threshold* untuk setiap indikator. Dilakukan pengukuran dengan perolehan skor 1 apabila indikator yang diukur memenuhi ambang kecukupan, sedangkan akan diberi skor 0 apabila indikator yang diukur belum memenuhi ambang kecukupan. Hasil skor 0 dan 1 sebagai identifikasi kecukupan pada ambang batas yang kemudian dikalikan dengan bobot pada masing-masing indikator.

c. Penerapan bobot untuk masing – masing indikator yang telah memenuhi ambang kecukupan dengan menggunakan **Persamaan 2**. Bobot masing – masing indikator dapat dilihat pada **Tabel 2**.

$$P_1 = W_1I_1 + W_2I_2 + \ldots + W_nI_n \quad (2)$$

Keterangan:

P_1 : Indeks kebahagiaan orang ke-1

P_n : Indeks kebahagiaan orang ke-n

I_n : Skor 1 jika responden termasuk ke dalam ambang kecukupan pada 304 indikator kebahagiaan, Skor 0 jika responden tidak termasuk ke dalam ambang kecukupan pada 304 indikator kebahagiaan.

W_n : bobot dari indikator kebahagiaan

d. Penerapan ambang batas kebahagiaan (*happiness threshold*). Ambang batas kebahagiaan mengambarkan kategori hasil dari masing-masing 305ndicator. Ambang batas kebahagiaan merupakan tingakatan kategori kebahagiaan yang digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kebahagiaan seseorang berdasarkan pemenuhan kecukupan, penetapan ambang batas kebahagiaan mengikuti *A Short Guide to Gross National Happiness Index* yang dapatdilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Ambang Batas Kebahagiaan.

Kategori Kebahagiaan		Presentase pemenuhan kecukupan pada variabel
Sangat Bahagia	Bahagia (66%-100%)	77%-100%
Bahagia		66%-76%
Hampir Bahagia	Belum Bahagia (0%-65%)	50%-65%
Tidak Bahagia		0%-49%

e. Perhitungan terhadap nilai *Headcount ratio* (H) untuk menentukan presentase populasi masyarakat yang termasuk ke dalam kelas belum bahagia (*not-yet-happy people*) pada masing – masing kecamatan di Kota Yogyakarta, dengan menggunakan Persamaan 3.

$$H = \frac{q}{n} \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan:
H : presentase orang yang termasuk ke dalam kategori belum bahagia
q : jumlah individu yang dikategorikan belum bahagia multidimensi
n : total populasi

f. Perhitungan terhadap nilai *breadth* yang merupakan nilai intensitas dari kelas *not-yet-happy people* (A) untuk mengetahui intensitas masyarakat yang tidak merasakan kepuasan dalam kelas "belum bahagia". Perhitungannya menggunakan persamaan 4.

$$A = \frac{P1+P2+P3+\cdots+Pn}{q} \quad \text{.....(4)}$$

Keterangan:
A : presentase orang yang termasuk kategori belum bahagia dan juga tidak merasakan kecukupan
Pn : Indeks kebahagiaan orang ke-n (P1, P2, P3,..)
q : jumlah individu yang dikategorikan belum bahagia multidimensi

g. Perhitungan indeks kebahagiaan diperoleh melalui persamaan 5.

$$GNHI = 1 - (H \times A) \quad \text{.....(5)}$$

h. Melakukan geovisualisasi hasil analisis tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta.

Analisis Autokorelasi Spasial

Autokorelasi spasial pada pemetaan tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta dilakukan dengan menggunakan dua buah analisis, yaitu pada analisis global dan analisis lokal. Analisis global dilakukan untuk menentukan hubungan data indeks kebahagiaan di seluruh kecamatan dengan aspek geografinya. Kemudian, analisis lokal digunakan untuk menentukan tingkat signifikansi data indeks kebahagiaan yang diamati pada setiap kecamatan di Kota Yogyakarta dalam suatu aspek keruangan untuk diketahui pengaruh pada wilayah tetangganya. Untuk melakukan analisis autokorelasi spasial menggunakan program R pada *software* R Studio dapat dilakukan dengan langkah – langkah seperti:

a. Melakukan instalasi *library* yang diperlukan dalam analisis autokorelasi spasial. Beberapa *library* yang digunakan adalah GWmodel, spdep, sp, readxl, ggplot2, dan dplyr.
b. Melakukan input data untuk analisis autokorelasi spasial yaitu data atribut, dan data spasial. Data atribut mencakup nilai indeks kebahagiaan pada setiap kecamatan dan nilai informasi koordinat lokasi pada setiap kecamatan. Data spasial mencakup data *shapefile* batas

administrasi Kota Yogyakarta. dalam melakukan input data dilakukan penulisan skrip yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.

```
#INPUT DATA
#data deskriptif
data=read_excel('datafix.xlsx')
head(data)

data.2023=data$Y.2023
#----------------------------------
#----------------------------------
#koordinat SHP#
longlat=cbind(data$Long,data$Lat)
nrow(longlat)

```

Gambar 3. *Input* Data pada R Studio.

c. Melakukan analisis autokorelasi spasial global menggunakan metode indeks moran.
   1) Melakukan pembobotan spasial menggunakan metode *Adaptive Gaussian Kernel*. Penulisan skrip untuk menjalankan metode pembobotan ini ditunjukkan **Gambar 4**.

```
#-------------------------------------------------------------------
                              #PEMBOBOT FUNGSI KERNEL#
#-------------------------------------------------------------------
w11=gw.dist(dp.locat = longlat)
w2=gw.weight(vdist = w11, bw=2,kernel = "gaussian",adaptive = TRUE)
dlist1=mat2listw(w2)
```

Gambar 4. Penulisan Program Pembobotan Spasial Kernel.

   2) Analisis indeks moran (I) digunakan untuk pengukuran autokorelasi spasial di suatu wilayah secara global atau menyeluruh. Nilai Indeks Moran berkisar antara -1 dan 1. Terdapat tiga kondisi hubungan spasial yang dapat dijelaskan oleh perhitungan Indeks Moran, yaitu:
      Jika $-1 \leq I < 0$, maka autokorelasi spasial bernilai negatif
      Jika $0 \leq I < 1$, maka autokorelasi spasial bernilai positif
      Jika $I = 0$, maka tidak ada autokorelasi spasial
      Perhitungan Indeks Moran dapat dilakukan setelah melakukan pembobotan spasial pada data yang dikaji dengan menuliskan skrip yang ditunjukkan pada Gambar 5.
      - Hipotesis
        H0 : $I = 0$ (Tidak terdapat autokorelasi spasial)
        H1 : $I \neq 0$ (Terdapat autokorelasi spasial)
      - Tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$
      - Uji statistik dan perhitungan Indeks Moran menggunakan fungsi moran.test yang ditunjukkan pada **Gambar 5**.

```

#-------------------------------------------------------------
#INDEKS MORAN#
#INDEKS KEBAHAGIAAN (Y)

moran.test(data.2023,dlist1,randomisation = F) #tahun 2023
#-------------------------------------------------------------
```

Gambar 5. Perhitungan Indeks Moran.

d. Melakukan analisis autokorelasi spasial lokal menggunakan metode LISA.
   1) Melakukan analisis LISA dengan konsep perhitungannya yaitu membandingkan nilai hasil analisis LISA dengan tingkat signifikansi yang digunakan pada penelitian ini.
      Hipotesis
      H0 : $I = 0$ (Tidak terdapat autokorelasi spasial)
      H1 : $I \neq 0$ (Terdapat autokorelasi spasial)

Uji statistik dan perhitungan LISA menggunakan fungsi lokal moran yang ditunjukkan pada **Gambar 6**.

```
#LOCAL MORAN#
#-------------------------------------------------------------
#-------------------------------------------------------------
lmoran1.23 <- localmoran(data.2023,dlist1) %>% as.data.frame()
#-------------------------------------------------------------
```

Gambar 6. Perhitungan LISA.

2) Pembuatan *scale* data dan *lagged* data berdasarkan indeks moran untuk menghasilkan *moran's scatterplot* menggunakan skrip yang ditunjukkan pada **Gambar 7** dan dilanjut pada **Gambar 8**.

Langkah pembuatan *scale* data dan *lagged* data dilakukan untuk melakukan klasifikasi beberapa data yang termasuk ke dalam kelas kuadran I, II, III, IV.

- Kuadran I (*High – High*), untuk identifikasi wilayah dengan nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh wilayah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi.
- Kuadran II (*Low – High*), untuk identifikasi wilayah dengan nilai pengamatan rendah dikelilingi oleh wilayah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi.
- Kuadran III (*Low – Low*), untuk identifikasi wilayah dengan nilai pengamatan rendah dikelilingi oleh wilayah yang mempunyai nilai pengamatan rendah.
- Kuadran IV (*High – Low*), untuk identifikasi wilayah dengan nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh wilayah yang mempunyai nilai pengamatan rendah.

```
# padronize the variable and save it to a new column#
data$scale.data.23<- scale(data.2023)  %>% as.vector()

# create a spatially lagged variable and save it to a new column
data$lag.data.23 <- lag.listw(dlist1, data$scale.data.23)

data$quad_sig.23 <- NA

# high-high quadrant
data[(data$scale.data.23 >= 0 &
        data$lag.data.23 >= 0), "quad_sig.23"] <- "High-High"
# low-low quadrant
data[(data$scale.data.23 <= 0 &
        data$lag.data.23 <= 0), "quad_sig.23"] <- "Low-Low"
# high-low quadrant
data[(data$scale.data.23 >= 0 &
        data$lag.data.23 <= 0), "quad_sig.23"] <- "High-Low"
# low-high quadrant
data[(data$scale.data.23 <= 0 &
        data$lag.data.23 >= 0), "quad_sig.23"] <- "Low-High"

lmoran1.23$quad_sig.23= data$quad_sig.23
#write.table(lmoran1.23,"local moran 2023.csv")
```

Gambar 7. Pembuatan *Scale* dan *Lag* Data.

```
# moran scatterplot dasar
x1 <- data$scale.data.23
moran.plot(x1, dlist1,labels = data$OBJECTID)
```

Gambar 8. Visualisasi *Moran's Scatterplot.*

3) Perhitungan signifikansi menggunakan metode LISA.

Perhitungan signifikansi bertujuan untuk melakukan klasifikasi beberapa data yang termasuk ke dalam kelas signifikan atau tidak signifikan, berdasarkan perhitungan lokal moran menggunakan metode LISA. Konsep perhitungannya dilakukan dengan pengujian nilai statistika antara nilai Pr(z != E(Ii)) terhadap nilai (α) yang digunakan, yaitu sebesar 5%. Pengujian dilakukan dengan menuliskan skrip yang ditunjukkan pada **Gambar 9**.

```
#--------------------PERHITUNGAN SIGNIFIKANSI-----------------------------
#-------------------------------------------------------------------------
data$sig.23 <- NA

#high-high quadrant
data[(lmoran1.23$`Pr(z != E(Ii))` <= 0.05), "sig.23"] <- "Signifikan"
#low-low quadrant
data[(lmoran1.23$`Pr(z != E(Ii))` > 0.05), "sig.23"] <- "Tidak Signifikan"

lmoran1.23$sig.23=data$sig.23
write.table(lmoran1.23,"local moran_Pembobotan Kernel.csv")
```

Gambar 9. Perhitungan Signifikansi Berdasarkan LISA

e. Pemetaan analisis autokorelasi spasial pada R Studio.
Skrip untuk melakukan visualisasi peta autokorelasi spasial menggunakan R Studio dapat ditunjukkan pada **Gambar 10** yang menghasilkan peta kelas kuadran moran. Kemudian **Gambar 11** menunjukkan skrip untuk menghasilkan peta signifikansi menggunakan metode LISA.

```
#----------------PEMETAAN INDEKS MORAN 2023-----------------------------
library(ggplot2)
#gabung data dengan shp
#import peta dengan shp
shp.Jogja=read_sf("Shp_Jogja/Kota_Jogja.shp")

#-------------------------------------------------------------------------
#-------------------------------------------------------------------------
#menggabungkan data ke file Shp
library(dplyr)
gabung.Jogja=left_join(shp.Jogja,data,by="OBJECTID")
#-------------------------------------------------------------------------
#Pemetaan 2023#
plot.Jogja.2023 = ggplot(data=gabung.Jogja) +
  geom_sf(mapping=aes(fill =quad_sig.23)) +
  geom_sf_text(aes(label=Kec),size=3) +
  scale_fill_manual(values=c("red", "#56B4E9", "green", "yellow")) +
  labs(fill="category")
plot.Jogja.2023
```

Gambar 10. Skrip Pemetaan Indeks Moran.

```
#---------------PEMETAAN SIGNIFIKANSI AUTOKORELASI SPASIAL----
#-------------------------------------------------------------
plot.Jogja.sig = ggplot(data=gabung.Jogja) +
  geom_sf(mapping=aes(fill =sig.23)) +
  geom_sf_text(aes(label=wadmkc),size=3) +
  scale_fill_manual(values = c("#28E2E5", "#DF536B")) +
  labs(fill="signifikansi")

plot.Jogja.sig
```

Gambar 11. Skrip Pemetaan Signifikansi Berdasarkan LISA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Sampel Penelitian

Hasil desain sampel penelitian tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta menggunakan metode GNHI ditunjukkan pada **Tabel 4**. Penentuan sampel didasarkan pada metode *stratified sampling* yang bertujuan untuk mengetahui jumlah sampel pada setiap strata agar dapat dilakukan analisis pada setiap strata yang merupakan strata kecamatan. Hasilnya menunjukkan bahwa kecamatan yang memiliki jumlah penduduk yang lebih banyak akan membutuhkan jumlah responden yang lebih banyak, dan juga sebaliknya. Maka dari itu, Kecamatan Umbulharjo memiliki jumlah sampel yang lebih banyak, yaitu dibutuhkan sejumlah 65 orang untuk merepresentasikan tingkat kebahagiaan di wilayah Kecamatan Umbulharjo.

Sampel total yang dihasilkan sejumlah 384 orang untuk merepresentasikan tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta. Sampel tersebut sebenarnya tidak mampu merepresentasikan fenomena tingkat kebahagiaan di suatu wilayah, karena pada dasarnya pengukuran tingkat kebahagiaan ini bersifat personal, yang artinya bahwa jawaban dari setiap responden akan

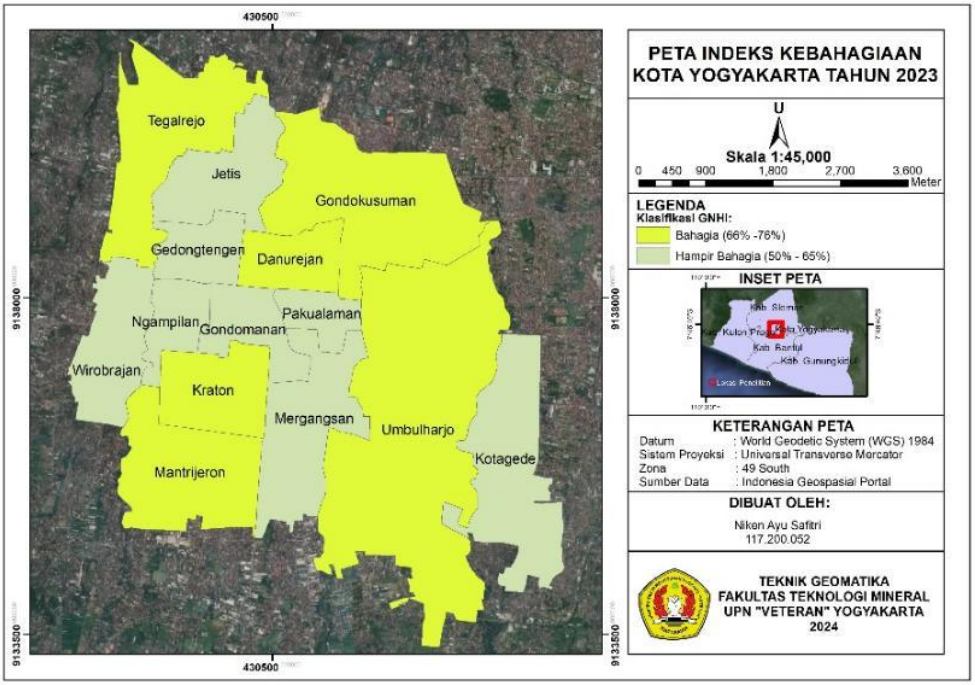
mewakili perasaan, kondisi, dan situati hanya pada dirinya sendiri. Maka dari itu, pengukuran tingkat kebahagiaan ini akan lebih baik apabila dilaksanakan dengan melakukan sensus kependudukan yang mengukur terkait 9 variabel tingkat kebahagiaan berdasarkan metode GNHI pada seluruh jumlah penduduk di Kota Yogyakarta yang termasuk ke dalam kriteria penelitian. Pada penelitian ini, hasil desain sampel dilakukan hanya untuk menghasilkan suatu model tingkat kebahagiaan pada setiap kecamatan di Kota Yogyakarta.

Tabel 4. Jumlah Sampel Responden Setiap Kecamatan.

No	Kecamatan	Jumlah Sampel
1	Mantrijeron	33
2	Kraton	21
3	Mergangsan	30
4	Umbulharjo	65
5	Kotagede	31
6	Gondokusuman	40
7	Danurejan	20
8	Pakualaman	10
9	Gondomanan	14
10	Ngampilan	17
11	Wirobrajan	26
12	Gedongtengen	18
13	Jetis	25
14	Tegalrejo	35
	Total	384

Analisis Tingkat Kebahagiaan

Hasil pemetaan tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta ditunjukkan pada **Gambar 12** yang hanya menghasilkan dua kelas kebahagiaan "hampir bahagia" dan kelas "bahagia". Berdasarkan data hasil kuisioner, maka didapatkan analisis tingkat kebahagiaan yang diukur menggunakan metode Gross Natonal Happiness Index (GNHI). Hasilnya menunjukkan bahwa nilai tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta yang memiliki nilai tertinggi berada di Kecamatan Mantrijeron dengan nilai GNHI sebesar 73,98 % atau 74 %. Kemudian nilai GNHI terendah terdapat pada Kecamatan Wirobrajan dengan nilai sebesar 53,96 % atau 54%. hasil perhitungan nilai indeks kebahagiaan pada setiap kecamatan di Kota Yogyakarta disajikan pada **Tabel 5**.



Gambar 12. Peta indeks kebahagiaan Kota Yogyakarta tahun 2023.

Tabel 5. Nilai (H) dan (A) untuk menentukan GNHI.

No	Kecamatan	*Headcount Ratio* (H)	*Intensity of Not Yet Happy* (A)	GNHI
1	Mantrijeron	1/2	0,501746	73,98%
2	Umbulharjo	5/9	0,546413	70,12%
3	Kraton	4/7	0,526667	69,90%
4	Gondokusuman	4/7	0,564141	67,34%
5	Tegalrejo	4/7	0,590778	66,47%
6	Danurejan	3/5	0,566204	66,03%
7	Pakualaman	2/3	0,497937	65,14%
8	Mergangsan	2/3	0,544389	63,71%
9	Gondomanan	2/3	0,539383	62,66%
10	Kotagede	5/7	0,533389	61,90%
11	Jetis	5/7	0,543268	61,52%
12	Gedongtengen	7/9	0,530714	58,72%
13	Ngampilan	5/6	0,542381	55,33%
14	Wirobrajan	4/5	0,565051	53,96%

Nilai indeks kebahagiaan yang dihasilkan tentunya belum mampu merepresentasikan indeks kebahagiaan di setiap kecamatan secara valid. Berdasarkan jumlah sampel yang dihasilkan, yaitu sebesar 384 jiwa dibandingkan dengan jumlah populasi sasaran sebesar 328.292 jiwa, menunjukkan hasil persentase sampel sebesar 0,12 % dari jumlah total penduduk yang termasuk ke dalam kriteria responden untuk pengukuran tingkat kebahagiaan. Persentase ini terbilang sangat kecil untuk dapat memvalidasi hasil analisis tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta. Maka dari itu, hasil analisis tingkat kebahagiaan pada penelitian kali ini tidak dapat dilakukan uji validasi untuk melakukan pembuktian terbalik kepada masyarakat di wilayah kajian.

Penelitian ini hanya merupakan model pengukuran tingkat kebahgiaan yang mana apabila dilakukan uji validasi tentunya perlu melakukan uji terhadap keseluruhan masyarakat Kota Yogyakarta yang termasuk ke dalam kriteria, yaitu sejumlah 328.292 jiwa karena pengukuran tingkat kebahagiaan ini bersifat personal. Apabila hasil analisis tingkat kebahagiaan ini dilakukan uji validasi, maka hasilnya kemungkinan tidak mampu memenuhi ekspektasi dari beberapa individu. Adanya keterbatasan dalam penelitian ini membuat analisis tingkat kebahgiaan hanya menggunakan data sampel pada setiap kecamatannya yang memang belum mampu untuk merepresentasikan nilai tinkgat kebahagiaan pada suatu wilayah.

Analisis Autokorelasi Spasial Global

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terkait keterhubungan antar wilayah yang dipengaruhi oleh nilai GNHI, maka didapatkan kesimpulan bahwa didapatkan pola sebaran tingkat kebahagiaan di Kota Yogyakarta, dimana hasil analisis autokorelasi spasial menunjukkan adanya korelasi spasial suatu lokasi pengamatan dengan pengamatan di sekitarnya yang dipengaruhi oleh nilai indeks kebahagiaan pada setiap kecamatan.

Autokorelasi spasial secara global hanya mampu menentukan konfigurasi dari keseluruhan wilayah apakah mengandung autokorelasi atau tidak, tetapi ia tidak dapat menunjukkan keterhubungan setiap satu wilayah dengan wilayah lainnya. Berdasarkan kajian ini maka dapat disimpulkan bahwa nilai statistik Indeks Moran (I) berdasarkan analisis autokorelasi global adalah sebesar 0,37938410, dimana pada saat melakukan uji hipotesis maka didapatkan kesimpulan hipotesis bahwa tolak H_0.

Berdasarkan pola terbentuknya autokorelasi spasial pada wilayah kajian Kota Yogyakarta dalam kaitannya dengan sebaran nilai Indeks Kebahagiaan, maka akan menghasilkan beberapa bentuk pola yang dianalisis melalui uji permutasi pada program R. kemudian melalui uji permutasi juga dapat diketahui metode pembobotan spasial yang aik digunakan untuk analisis autokorelasi spasial global yang dapat ditunjukkan pada tabel 6. Didapatkan hasil bahwa metode pembobotan spasial yang paling baik digunakan adalah metode *Adaptive Gaussian Kernel* dengan nilai *p-value* sebesar 0,01193 yang artinya jika *p-value* ≤ 0,05 maka secara signifikan terdapat autokorelasi pada wilayah kajian.

Tabel 6. Hasil Autokorelasi Spasial Global Menggunakan Indeks Moran.

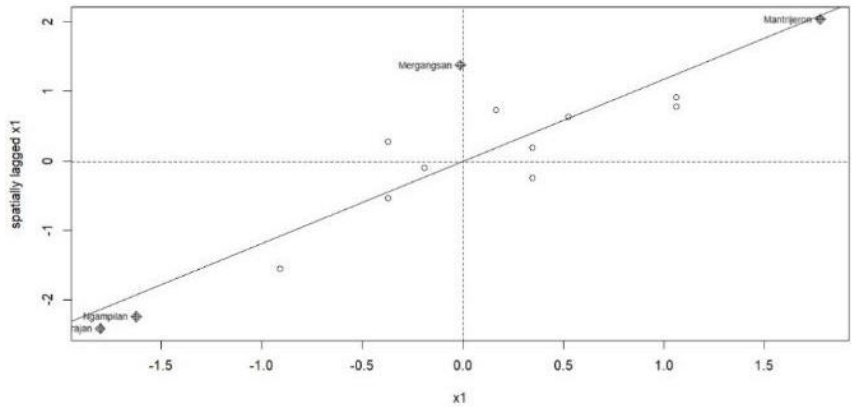
No	Pembobotan Spasial	*p-value*	Indeks Moran Global (*I*)	Autokorelasi Spasial
1	*Inverse Distance Weighting* (IDW)	0,1349	-0,024452415	Negatif, tidak signifikan
2	K-*Nearest Neighbour* (KNN)	0,01193	0,63344505	Positif, signifikan
3	*Adaptive Gaussian Kernel*	0,0001045	0,37938410	Positif, signifikan
4	*Queen Contiguity*	0,4772	-0,06773681	Negatif, tidak signifikan

Analisis Autokorelasi Spasial Lokal

Berdasarkan proses pengolahan menggunakan program R, nilai analisis LISA menghasilkan beberapa nilai dan klasifikasi yang ditunjukkan pada **Tabel 7**. Kemudian mengasilkan suatu model *moran's scatterplot* yang membagi setiap wilayah pengamatan kedalam kelas kuadran moran. Hasilnya ditunjukkan pada **Gambar 13**.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Analisis Autokorelasi Spasial Lokal Menggunakan LISA.

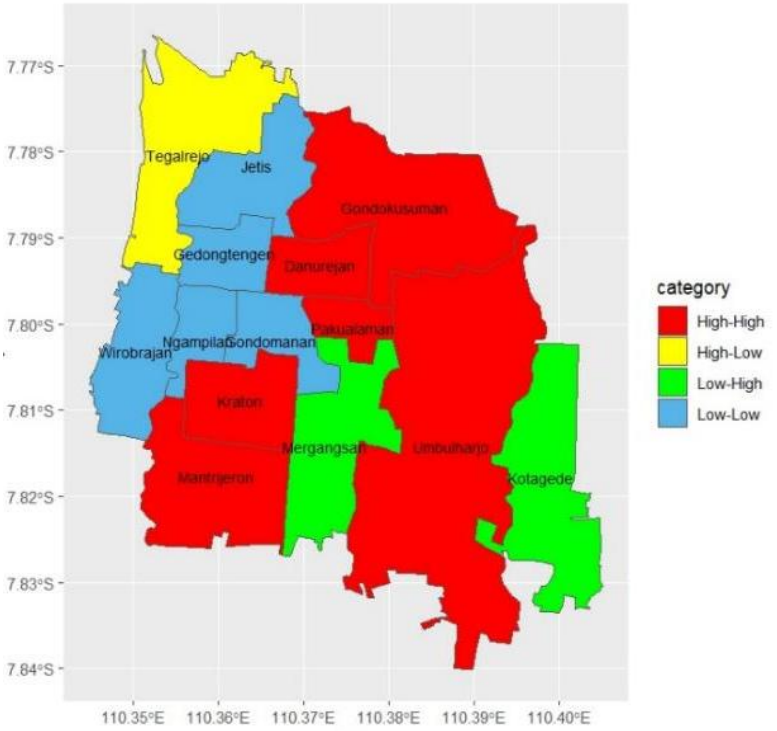
No	Kecamatan	Ii	E.Ii	Var.Ii	Z.Ii	Pr(z != E(Ii))	Kuadran	Signifikansi
1	Gondokusuman	0,35917661	-0,041234946	0,309412733	0,719842544	0,471621947	High-High	Tidak Signifikan
2	Danurejan	0,07068379	-0,038539099	0,173347767	0,262333977	0,793063969	High-High	Tidak Signifikan
3	Tegalrejo	-0,09148746	-0,02240749	0,175785297	-0,164763456	0,869130168	High-Low	Tidak Signifikan
4	Pakualaman	0,13141849	-0,00953171	0,03838192	0,719452895	0,471861916	High-High	Tidak Signifikan
5	Mergangsan	-0,01895251	-4,02E-05	0,000203938	-1,324330302	0,185393371	Low-High	Tidak Signifikan
6	Jetis	0,21383899	-0,033093656	0,210337043	0,538419305	0,590287601	Low-Low	Tidak Signifikan
7	Mantrijeron	3,89661119	-0,618394376	3,143480545	2,54655407	0,010879236	High-High	Signifikan
8	Umbulharjo	1,04772578	-0,224394685	1,657611722	0,988068003	0,323119345	High-High	Tidak Signifikan
9	Kraton	0,89350290	-0,391115126	1,485313203	1,054059167	0,29185583	High-High	Tidak Signifikan
10	Ngampilan	3,91981487	-0,896788898	3,046767299	2,759442052	0,005790015	Low-Low	Signifikan
11	Gondomanan	0,02145957	-0,014758628	0,046635308	0,167714055	0,866808239	Low-Low	Tidak Signifikan
12	Wirobrajan	4,68393923	-0,711003167	3,166415494	3,031816142	0,002430872	Low-Low	Signifikan
13	Kotagede	-0,11072699	-0,020131095	0,196772023	-0,204233432	0,838171087	Low-High	Tidak Signifikan
14	Gedongtengen	1,51907697	-0,227486831	0,783878791	1,972695247	0,048530294	Low-Low	Signifikan



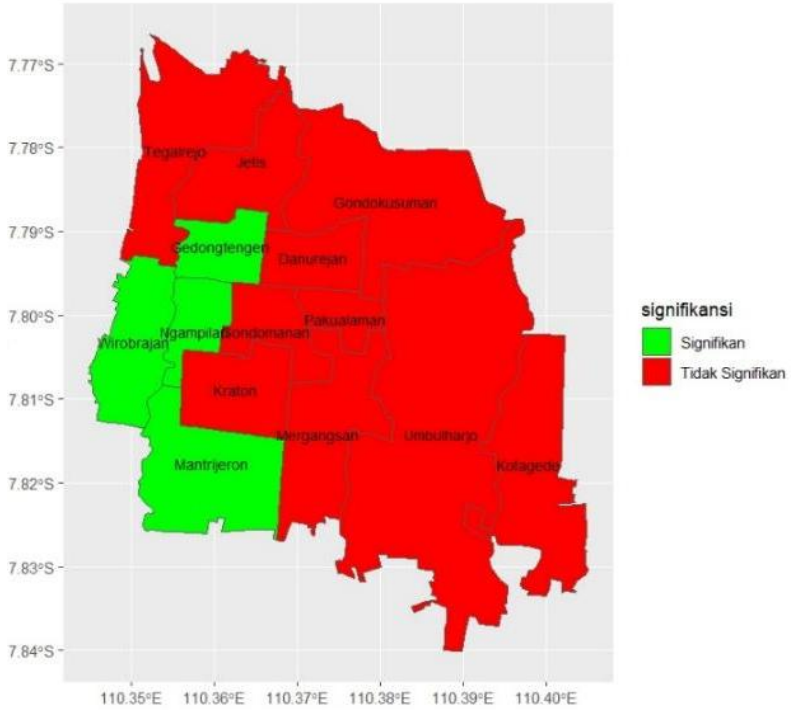
Gambar 13. Hasil *Moran's Scatterplot.*

Terdapat hasil visualisasi peta kelas kuadran moran didapatkan melalui analisis LISA pada R Studio yang ditunjukkan pada **Gambar 14**. Peta ini belum dapat menunjukkan bahwa sebaran datanya signifikan. Kemudian terdapat hasil visualisai peta signifikansi hasil analisis autokorelasi spasial lokal yang ditunjukkan pada **Gambar 15**. Hasilnya menunjukkan bahwa autokorelasi spasial secara lokal terjadi secara signifikan hanya pada wilayah Kecamatan Wirobrajan,

Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Gedongtengen dan Kecamatan Mantrijeron.



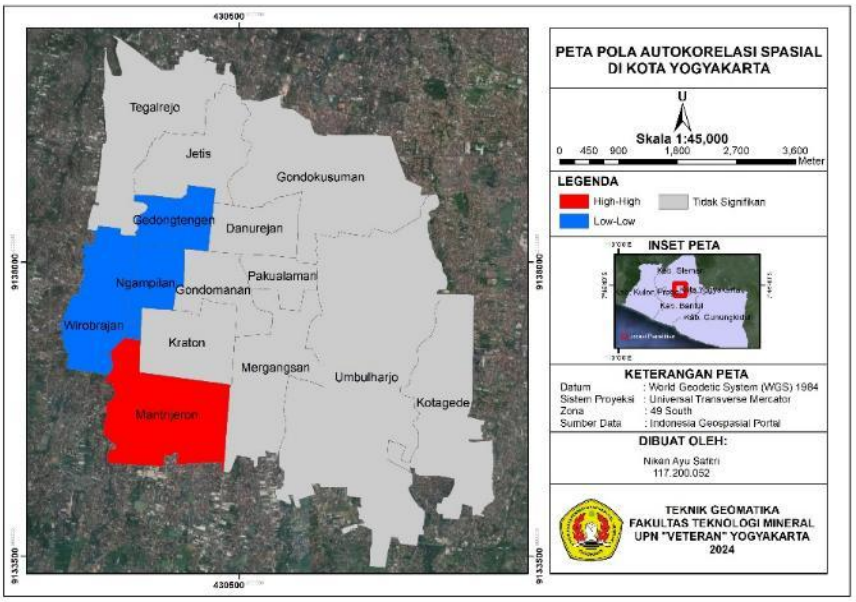
Gambar 14. Peta Kelas Kuadran Moran Visualisasi R Studio.



Gambar 15. Peta Signifikansi Analisis LISA Hasil Visualisasi R Studio.

Berdasarkan hasil analisis autokorelasi spasial global dan lokal maka didapatkan suatu luaran hasil overlay dua peta, yaitu peta kelas kuadran moran dan peta signifikansi analisis LISA yang menghasilkan suatu peta pola sebaran autokorelasi spasial. Peta tersebut ditunjukkan pada **Gambar 16** yang dapat menjelaskan pola spasial yang terjadi di wilayah Kota Yogyakarta akibat dari fenomena sosial yang merupakan tingkat kebahagiaan pada level kecamatan. Visualisasi pola spasial ini dapat menjelaskan bahwa hubungan autokorelasi spasial hanya terjadi di wilayah bagian barat Kota Yogyakarta dimana kecamatan yang memiliki nilai yang rendah dikelilingi oleh wilayah yang memiliki nilai yang rendah pula. Contohnya pola spasial yang terjadi pada Kecamatan

Ngampilan sebagai wilayah yang menjadi pengamatan.



Gambar 16. Peta Pola Autokorelasi Spasial di Kota Yogaykarta Berdasarkan Nilai Tingkat Kebahagiaan.

KESIMPULAN

Pengukuran indeks kebahagiaan di Kota Yogyakarta menggunakan metode Gross National Happiness Index (GNHI), menghasilkan dua tingkat kelas kebahagiaan, yaitu kelas "bahagia" dan "hampir bahagia". Kelas "bahagia" merupakan wilayah yang memiliki indeks kebahagiaan pada rentang nilai 66% sampai 76%. Sementara kelas "hampir bahagia" memiliki indeks kebahagiaan pada rentang nilai 50% sampai 65%. Indeks kebahagiaan tertinggi di Kota Yogyakarta dimiliki oleh Kecamatan Mantrijeron dengan nilai sebesar 73,98% atau 74%. Sementara indeks kebahagiaan terendah dimiliki oleh Kecamatan Wirobrajan dengan nilai sebesar 53,96% atau 54%.

Terdapat beberapa kelemahan dalam penelitian ini yang perlu diperhatikan. Ukuran sampel yang digunakan untuk melakukan pengukuran kebahagiaan relatif kecil hanya sebesar sebesar 0,12 % dari bagian total penduduk yang termasuk ke dalam kriteria responden. Hal tersebut dikarenakan desain sampel dilakukan untuk efisiensi penelitian. Satu sampel tidak dapat merepresentasikan kebahagiaan bagi sampel lainnya, atau bisa dikatakan bahwa variabilitas data yang diperoleh dari responden mungkin dipengaruhi oleh faktor subjektivitas pribadi mereka. Jika uji terbalik dilakukan akan tidak mampu menggambarkan kondisi yang sama ketika sebelum dengan sesudah penelitian. Penelitian ini sangat rentan terhadap perubahan kondisi dan keadaan setiap individu yang menjadi sampel penelitian sebelumnya. Terakhir, penelitian ini terbatas pada periode waktu tertentu, sehingga perubahan dinamika yang terjadi di luar periode tersebut tidak terakomodasi. Saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu perlunya dilakukan sensus kependudukan terkait pengukuran kebahagiaan menggunaka metode GNHI. Pengukuran perlu dilakukan secara berkala sesuai dengan periode yang ditentukan agar dapat membandingkan pengukuran periode pertama dengan selanjutnya untuk menjadi bahan kajian.

Kajian autokorelasi spasial dilakukan di Kota Yogyakarta untuk mengkaji keterhubungan antara pola persebaran data indeks kebahagiaan dengan aspek lokasi ketetanggaannya. Berdasarkan perhitungan Indeks Moran terdapat korelasi spasial pada wilayah kecamatan di Kota Yogyakarta secara global. Analisis LISA mengidentifikasi adanya korelasi spasial secara signifikan hanya pada wilayah Kecamatan Mantrijeron, Kecamatan Ngampilan, Kecamatan Wirobrajan, dan Kecamatan Gedongtengen. Untuk kecamatan lainnya teridentifikasi tidak signifikan dalam menunjukkan adanya autokorelasi spasial secara lokal.

Geovisualisasi menghasilkan sejumlah empat buah peta, yaitu Peta Indeks Kebahagiaan Kota Yogyakarta Tahun 2023, Peta Klaster Kuadran Moran di Kota Yogyakarta, Peta Signifikansi Metode LISA di Kota Yogyakarta, dan Peta Pola Autokorelasi Spasial di Kota Yogyakarta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta dan Badan Riset & Inovasi Nasional atas dukungan yang diberikan. Terima kasih juga kepada Ibu Dwi Wahyuningrum, S.T., M.Eng atas bimbingan dan saran yang berharga. Penghargaan khusus kepada keluarga dan teman-teman penulis atas motivasi dan dukungannya selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, *27*(2), 93–115. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x

Awaludin, A. (2017). Martin Seligman and Avicenna on Happiness. *Tasfiyah*, *1*(1), 1. https://doi.org/10.21111/tasfiyah.v1i1.1840

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Danurejan dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Gedongtengen dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Gondokusuman dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Gondomanan dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Jetis dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan KotagedeDalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Kraton dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Mantrijeron dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Mergangsan dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Ngampilan dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Pakualaman dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Tegalrejo dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Umbulharjo dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Wirobrajan dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kecamatan Danurejan dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Badan Pusat Statistik (BPS). "Kota Yogyakarta dalam Angka 2023". Diakses dari https://jogjakota.bps.go.id/, diakses pada tanggal 21 Oktober 2023.

Daniel Z Sui. (2004). Tobler's First Law of Geography: A Big Idea for a Small World? *Annals of the Association of American Geographers*, *94*(2), 269–277. http://www.jstor.org/stable/3693983

Erna Suprihartiningsih, Ahmad, A. C., & Amin, C. (2023). Fuzzy-Set Qualitative Comparative Analysis: Studi Kasus Index Kebahagiaan di Indonesia Tahun 2021. *Jurnal Sosial Ekonomi dan Humaniora*, *9*(1), 117–128. https://doi.org/10.29303/jseh.v9i1.174

Mailanda, R., Kusnandar, D., & Huda, N. M. (2022). Analisis Autokorelasi Spasial Kasus Positif Covid-19 Menggunakan Indeks Moran dan Lisa. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, *11*(3), 483–492.

Sepúlveda-Murillo, F. H., Soto-Builes, N. M., Checa-Olivas, M., & Chica-Olmo, J. (2020). Mapping spatial variability of quality of life in the city of Medellín, Colombia. *Estudios de Economia Aplicada*, *38*(1), 1–11. https://doi.org/10.25115/eae.v38i1.2973

Ura, K., Alkire, S., & Zangmo, T. (2012). GNH and GNH Index. *The Centre for Bhutan Studies*, *May*, 1–60.

PEMETAAN KONFLIK KEPEMILIKAN LAHAN DI KAWASAN SEMPADAN DANAU TOBA MENGGUNAKAN DATA SATELIT LANDSAT

Studi Kasus Kabupaten Toba Samosir

(*Mapping Land Ownership Conflicts in the Lake Toba Border Area Using Landsat Satellite Data: A Case Study of Toba Samosir District*)

Devi Julieta R. Al Musfi[1], Kuswantoro[1], Mulyanto Darmawan[2], Yosef Prihanto[2], Dewayany Sutrisno[2], Aninda Wisaksanti Rudiastuti[2], Darmawan Cahya[2], Farid Rifai[2]., D.S. Nurwiyanti[3], dan Amelia Novianti[3]

[1]Jurusan Geografi, Fak. MIPA, Universitas Indonesia
[2]Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
[3]Kementerian ATR/BPN

Depertemen Geografi FMIPA-UI. Gedung H Kampus UI Depok, Depok, 16424
E-mail: devi.julieta@ui.ac.id

ABSTRAK

Kawasan sempadan Danau Toba yang merupakan area transisi daratan dan perairan memiliki tiga fungsi penting sekaligus yaitu konservasi, produksi, dan pariwisata. Peningkatan aktivitas pembangunan pariwisata dan pertumbuhan populasi sekitar kawasan danau Toba telah memicu konflik kepemilikan lahan. Hasil analisis perubahan lahan menggunakan data satelit Landsat tahun 2010-2021 menunjukkan terjadinya perubahan tutupan lahan di wilayah sempadan yang didominasi oleh perubahan penutup lahan hutan menjadi lahan terbuka. Sejalan dengan perubahan penggunaan lahan tersebut, maka terjadi juga peningkatan sertifikat kepemilikan tanah di Kawasan sempadan danau toba. Kepemilikan di kawasan sempadan tentunya menyalahi peraturan yang ada, karena kawasan sempadan merupakan kawasan penyangga yang berfungsi sebagi kawasan perlindungan terhadap air dan lingkungan untuk danau toba. Hasil riset menunjukkan kepemilikan lahan oleh penduduk meningkat lebih dari 50% di area sempadan, khususnya terdapat di Kecamatan Siantarnarumonda, Kecamatan Porsea, Kecamatan Baligae, dan Kecamatan Laguboti. Hal ini tentunya akan menimbulkan persoalan konflik kepemilikan lahan dan membutuhkan penyelesaian. Paper ini membahas perubahan lahan pada kawasan sepandan dan mengulas permasalahan yang terjadi atas kepemilikan lahan. Pendekatan geospasial dengan metode nature base solution (NBS) diharapkan dapat membantu menyelesaikan persoalan konflik kepentingan dan konflik kepemilikan di kawasan sempadan.

Kata kunci : kepemilikan lahan, sempadan, danau Toba, Landsat.

ABSTRACT

The 'sempadan' area of Lake Toba, is a transition area between land and water and has three important functions simultaneously: conservation, production, and tourism. The increase in tourism development activities and population growth around Lake Toba has triggered land ownership conflicts. The results of land change analysis using Landsat satellite data from 2010 to 2021 show changes in land cover in border areas dominated by changes from forest land to open land. Along with these changes, there is also an increase in land ownership certificates in the Lake Toba border area. Ownership in border areas certainly violates existing regulations, as the border area serves as a buffer zone that functions as a protection area for water and the environment for Lake Toba. The research found that land ownership by residents has increased by more than 50% in 'sempadan' areas, especially in the districts of Siantarnarumonda, Porsea, Baligae, and Laguboti. This will certainly lead to land ownership conflict issues and require resolution. This paper discusses changes in land in border areas and discusses the problems that arise from land ownership. Geospatial approaches with the nature-based solution (NBS) method are expected to help resolve conflicts of interest and land ownership conflicts in border areas.

Keywords: *land tenure, border, Toba lake, Landsat.*

PENDAHULUAN

Kawasan pesisir pantai dan danau merupakan area dengan fungsi produktif, fungsi lingkungan, dan fungsi tempat tinggal (Lloyd *et al.*, 2013). Fungsi produktif merupakan kawasan pemanfaatan berupa perikanan, akuakultur, dan pariwisata yang menandakan bahwa kawasan pesisir sebagai area ekonomi vital masyarakat sekitar (Diegues, 2008). Fungsi lingkungan merupakan kawasan yang memainkan peran penting terhadap ekosistem pesisir serta memelihara keanekaragaman hayati, menurunkan bahaya bencana alam, serta menjaga keseimbangan ekologis (Phelan *et al.*, 2020). Sementara, fungsi tempat tinggal merupakan kawasan permukiman manusia yang berdampingan dengan alam serta memiliki hidup yang dipengaruhi oleh laut. Beragamnya fungsi pemanfaatan di kawasan sempadan seringkali menimbulkan konflik pemanfaatan lahan.

Danau Toba adalah salah satu danau di Indonesia yang ditetapkan sebagai danau prioritas tertuang dalam Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2021 tentang Penyelamatan Danau Prioritas Nasional. Pengabaian penyelamatan danau dapat menyebabkan perubahan lingkungan yang menurut Mueller et al (2016) mengakibatkan masalah ekologi, ekonomi, dan sosial budaya bagi masyarakat. Oleh karena itu, penyusunan rencana pemanfaatan ruang wilayah Kawasan Danau Toba perlu dilakukan. Rencana Tata Ruang Kawasan Danau Toba ditetapkan dalam Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Danau Toba dan Sekitarnya. Tujuan penyusunan rencana tata ruang adalah menjaga fungsi dan kualitas lingkungan danau tetap lestari dan berkelanjutan (Mahulae, 2019).

Implementasi dari Peraturan Presiden No 81 Tahun 2014 menimbulkan konflik pemanfaatan pada kawasan Danau Toba khususnya wilayah sempadan (Sianipar *et al.*, 2021). Lahan di kawasan pesisir Danau Toba telah dimanfaatkan oleh masyarakat secara turun temurun pada kegiatan sehari – hari dalam bentuk permukiman, budidaya pertanian, maupun aktivitas ekonomi lainnya (Sinaga *et al.*, 2019). Peraturan Presiden No 81 Tahun 2014 tentu memiliki pengaruh besar terhadap kehidupan masyarakat di kawasan pesisir sehingga berpotensi menimbulkan konflik penggunaan lahan.

Konflik kepemilikan tanah dapat terjadi di berbagai wilayah begitu pula dengan Ibukota Nusantara (IKN). Pembangunan IKN tidak luput dari keberadaan masyarakat adat yang ada di kawasan IKN. Keberadaan masyarakat adat ini menghambat pembangunan yang ada di IKN (Hidayat, 2023). Meskipun demikian, keberadaan masyarakat adat harus menjadi salah satu bagian dari pembangunan IKN karena memiliki kehidupan sosial budaya historis. Oleh karena itu, konflik agraria di IKN seperti kepemilikan tanah.

Kepemilikan Lahan

Kepemilikan lahan merupakan sebuah kepemilikan atau hal legal suatu individu terhadap sebidang tanah atau suatu properti (Basana *et al.*, 2023). Pernyataan tersebut mengartikan bahwa suatu individu maupun organisasi tersebut mempunyai hak untuk menggunakan, menguasai, mengalihkan hingga menjual tanah atau properti tersebut sesuai dengan hukum yang ada. Faktor utama yang menyebabkan konflik kepemilikan lahan terjadi di kawasan pesisir Danau Toba adalah pertumbuhan penduduk dan perkembangan pariwisata. Pertumbuhan penduduk menyebabkan bertambahnya pemukiman serta lahan terbangun lainnya. Selain itu, perkembangan pariwisata di Danau Toba saat ini belum dilakukan dengan begitu baik (Hajar *et al.*, 2021). Adanya konflik kepemilkan lahan juga dapat menin bulkan konflik sosial (Hjalager, 2020).

Kawasan Sempadan Danau Toba

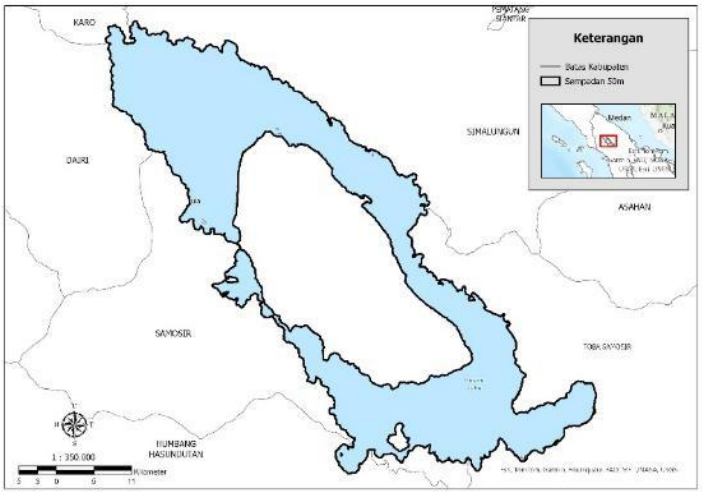
Menurut Peraturan Presiden No. 81 Tahun 2014, sempadan danau merupakan luasan lahan yang mengelilingi serta berjarak tertentu dari tepi danau yang ditetapkan sebagai kawasan pelindung danau. Penetapan lebar sempadan danau adalah berjarak 50 meter sesuai dengan karakteristik wilayah danau. Penetapan kawasan sempadan tersebut bertujuan untuk melestarikan lingkungan di sekitar Danau Toba yang akhir – akhir ini mengalami kerusakan berupa penurunan muka air danau hingga tercemarnya air Danau Toba akibat penggunaan lahan yang intens (Aziz *et al.*, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konflik kepemilikan lahan yang terjadi di kawasan sempadan Danau Toba dengan menggunakan analisis citra satelit. Pertanyaan riset yang ingin diketahui dalam kegiatan ini adalah : (1) Bagaimana perubahan tutupan lahan di kawasan pesisir Danau Toba (2) Bagaimana sebaran konflik kepemilikan lahan di kawasan pesisir Danau Toba setelah diberlakukannya Peraturan Presiden No 81 Tahun 2014; (3) Bagaimana usulan tata kelola berkelanjutan berdasarkan kasus kepemilikan lahan pesisir di seluruh dunia?.

METODE

Lokasi Penelitian

Danau Toba terletak pada pulau Sumatera tepatnya di provinsi Sumatera Utara. Secara geografis, danau ini terletak diantara 2°21′32′′–2°56′28′′ N dan 98°26′35′′–99°15′40′′ E. Permukaan danau memiliki panjang 100 kilometer dan lebar 30 kilometer serta kedalaman mencapai 508 meter. Area Danau Toba telah diakui memiliki manfaat dalam bidang pariwisata, pertanian, industri, perkebunan, bahkan debitnya digunakan untuk pembangkit listrik di Sumatera Utara. dalam penelitian ini, wilayah penelitian yang diteliti adalah kawasan yang memiliki jarak 50 meter dari badan air Danau Toba atau yang biasa disebut dengan kawasan sempadan Danau Toba.



Gambar 1. Wilayah penelitian.

Data yang Digunakan

Data yang digunakan pada penelitian tersaji dalam **Tabel 1**.

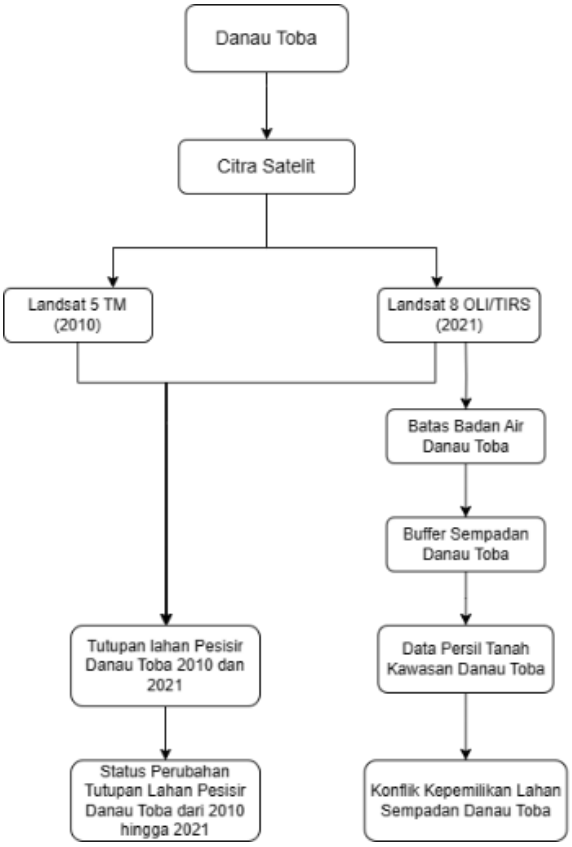
Tabel 1. Data yang digunakan.

No	Data	Jenis Data	Sumber
1.	Landsat 5 TM (Band 321)	Sekunder	Google Earth Engine
2.	Landsat 8 OLI/TIRS (Band 432)	Sekunder	Google Earth Engine
3.	Persil Tanah Kabupaten Toba	Sekunder	Kementrian ATR/BPN
4.	Vektor Kepemilikan Tanah Kabupaten Toba	Sekunder	Kementerian ATR/BPN

Analisis Data

Pengumpulan data dan pengolahan data tutupan lahan dilakukan di Google Earth Engine (GEE) dengan satelit Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI / TIRS. Metode klasifikasi yang dilakukan adalah *supervsed classification* untuk menentukan lima klasifikasi tutupan lahan yaitu permukiman, ladang, hutan, lahan terbuka, dan semak belukar dengan daerah penelitian berupa *buffer* 1 km dari muka air danau Toba pada tahun 2010 dan 2021. Hasil klasifikasi lahan pada tahun 2010 dan 2021 tersebut kemudian dilakukan analisis overlay untuk menentukan status perubahan lahan yang terjadi di tahun 2010 hingga tahun 2021.

Analisis konflik dilakukan dengan analisis peta konflik lahan sempadan Danau Toba. Peta konflik lahan sempadan Danau Toba dibuat dengan menambahkan data vektor kepemilikan tanah kawasan Danau Toba yang telah dilakukan *spatial join* dengan data persil tanah kawasan Danau Toba dalam bentuk excel. peta konflik lahan disajikan dengan tampilan temporal yang menunjukkan perkembangan bangunan sebelum tahun 2014 dan setelah tahun 2014.



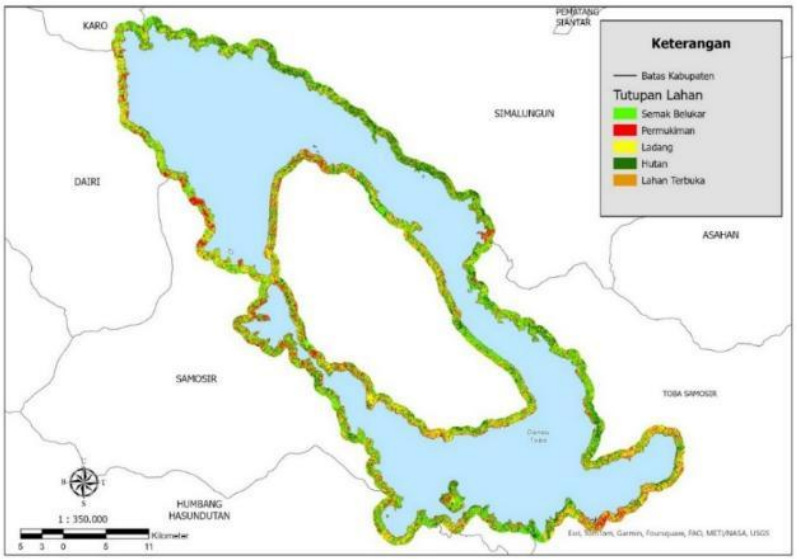
Gambar 2. Diagram *flow chart.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

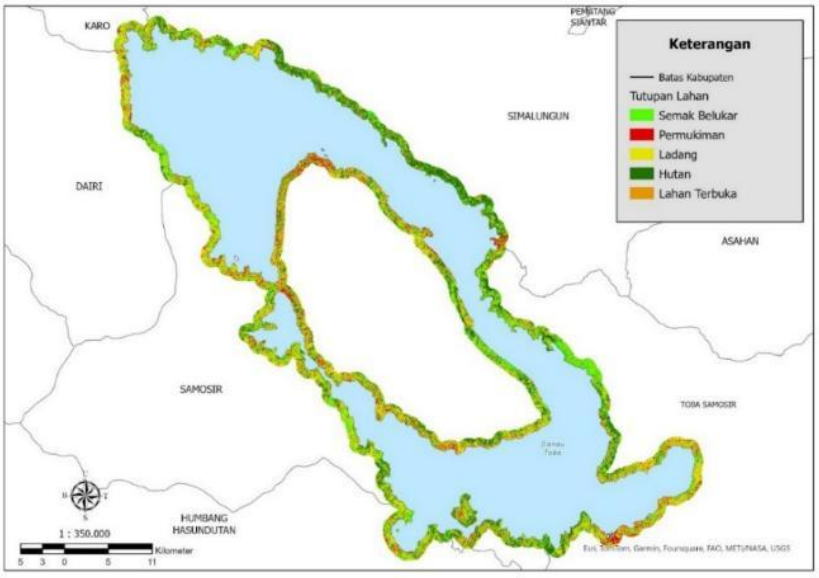
Perubahan Tutupan Lahan Pesisir Danau Toba Tahun 2010 dan Tahun 2021

Pada tahun 2010 (**Gambar 3**), pesisir Danau Toba masih banyak di tutupi oleh hutan dan semak belukar terutama pada pesisir kabupaten Simalungun. Terdapat sedikit ladang di bagian utara pesisir kabupaten Simalungun, dan kumpulan permukiman di bagian Selatan yang menjorok ke pesisir. Kabupaten Toba Samosir, Tapanuli Utara, Samosir, Humbang Hasundutan dan Karo memiliki dominasi tutupan lahan ladang dan semak belukar, sedangkan tutupan lahan hutan tergolong sedikit. Kabupaten Dairi dan pesisir Pulau Samosir memiliki dominasi tutupan lahan ladang. Pesisir pulau Samosir juga memiliki permukiman yang cukup banyak dan hutan yang sedikit.

Pada tahun 2021 (**Gambar 4**), Kabupaten Simalungun mengalami kenaikan tutupan lahan hutan dan pemukiman. Kabupaten Toba Samosir mengalami kenaikan tutupan lahan ladang yang sangat signifikan serta penurunan pemukiman dan hutan. Kabupaten Tapanuli Utara mengalami kenaikan tutupan lahan hutan yang disertai pula dengan naIKNya tutupan lahan ladang. Kabupaten Humbang Hasundutan mengalami perubahan dominasi tutupan lahan dimana pada tahun 2010 didominasi oleh semak belukar sedangkan tahun 2021 berubah menjadi ladang. Kabupaten Samosir mengalami penurunan tutupan lahan permukiman dan kenaikan tutupan lahan ladang. Begitu pula dengan kabupaten Dairi yang mengalami penurunan tutupan lahan permukiman dan beberapa ladang berubah menjadi semak belukar. Kabupaten Karo mengalami kenaikan tutupan lahan ladang dimana pada tahun 2010 merupakan semak belukar.



Gambar 3. Peta tutupan lahan pesisir Danau Toba tahun 2010.



Gambar 4. Peta tutupan lahan pesisir Danau Toba tahun 2021.

Status Kepemilikan Tanah

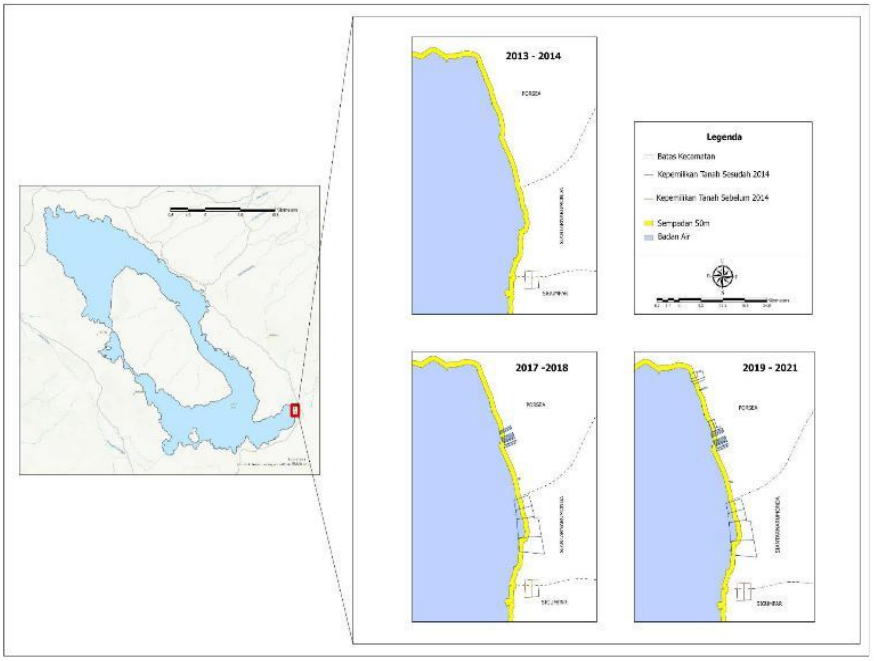
Tabel 2 merupakan daftar status kepemilkan tanah di beberapa kecamatan di Kabupaten Toba Samosir yang berupa hak milik, hak pakai, dan hak guna bangunan. Status yang paling mendominasi adalah hak milik.

Tabel 2. Data status kepemilikan tanah.

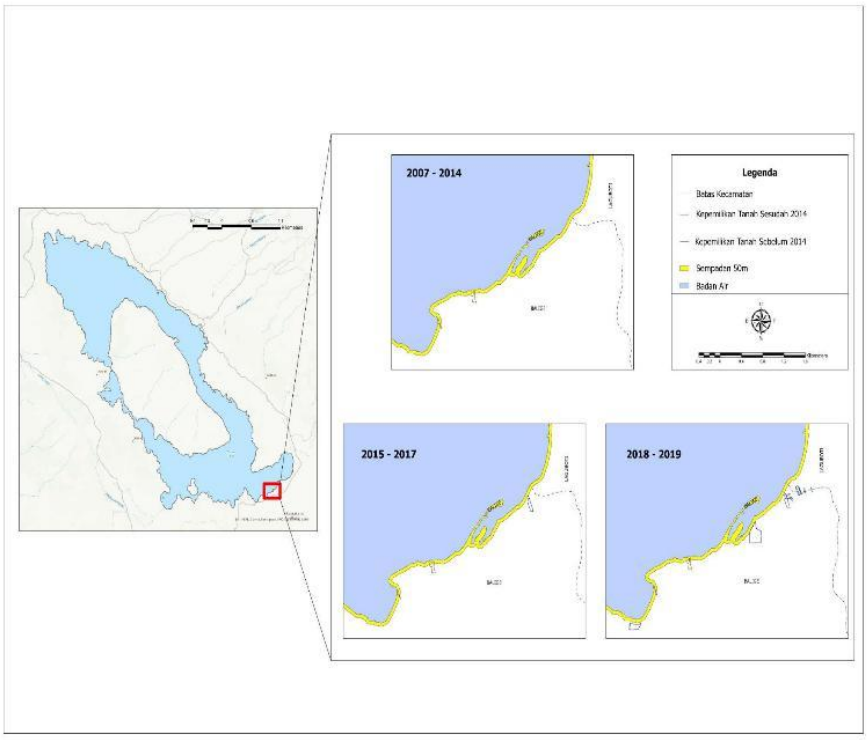
No	Kecamatan	Status Kepemilikan Tanah di Sempadan		
		Hak Milik	Hak Pakai	Hak Guna Bangunan
1	Porsea	27	1	2
2	Sigumpar	2	0	0
3	Laguboti	12	1	0
4	Balige	23	2	0
5	Siantanarumonda	4	0	0
6	Ajibata	4	2	0
	Total	62	6	2

Konflik Kepemilkan Tanah Sempadan Danau Toba

Berdasarkan data yang didapatkan oleh Kementrian ATR/BPN terdapat kenaikan kepemilikan Tanah. Berdasarkan **Gambar 5** terjadi kenaikan kepemilikan lahan masuk sempadan bahkan sampai ke badan air pada kecamatan Siantarnarumonda dan kecamatan Porsea yang terjadi pada tahun 2017 – 2018. Kepemilkan tanah bertambah lagi di kabupaten Porsea pada sekitar tahun 2019 – 2021. Kepemilikan tanah setelah tahun 2014 juga terjadi di kecamatan Baligae dan Laguboti. Berdasarkan **Gambar 6**, kenaikan kepemilikan lahan di kecamatan Baligae terjadi di tahun 2015 – 2017 dan mengalami kenaikan kembali pada tahun 2018 – 2019 bersamaan dengan kecamatan Laguboti.



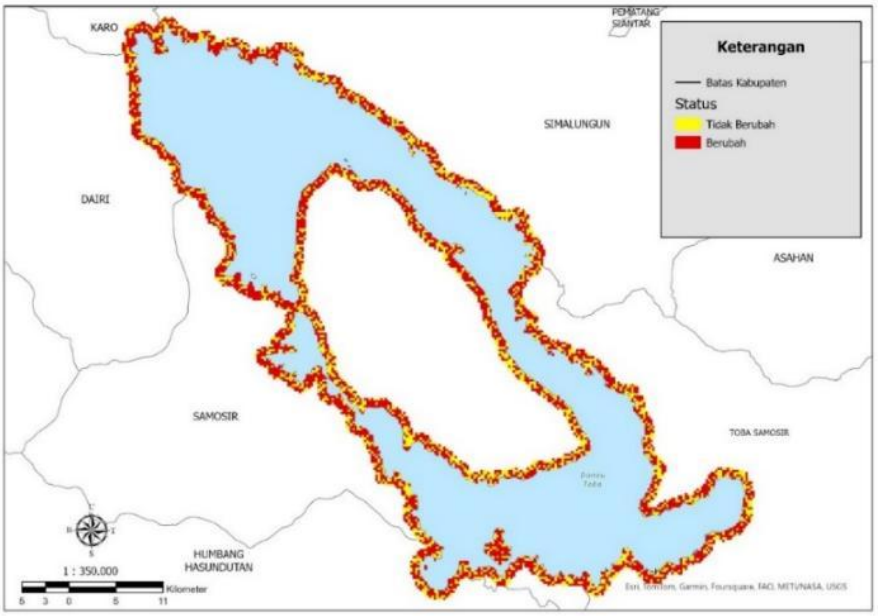
Gambar 5. Peta Wilayah Kepemilikan Tanah Kecamatan Siantarnarumonda dan Kecamatan Porsea



Gambar 6. Peta Wilayah Kepemilikan Tanah Kecamatan Baligae dan Kecamatan Laguboti

Status Perubahan Tutupan Lahan

Pertanyaan penelitian pertama dijelaskan dengan **Gambar 7** dan **Tabel 3**. Berdasarkan **Gambar 7**, dari tahun 2010 hingga tahun 2012 tutupan lahan di pesisir danau Toba sebagian besar mengalami perubahan. Perubahan tutupan lahan terjadi akibat faktor manusia dan faktor alam yang saling berinteraksi (Meng *et al.*, 2023). Bertambahnya populasi manusia memicu bertambahnya kepemilikan lahan oleh individu atau organisasi sehingga pemanfaatan suatu lahan dapat diubah (Ariti *et al.*, 2015). Populasi manusia yang bertambah di kawasan pesisir disebabkan oleh ekosistem pesisir yang menguntungkan sehingga dapat memajukan ekonomi manusia. dalam **Tabel 3**, terlihat bahwa tutupan lahan paling banyak berubah menjadi lahan ladang (sawah dan perkebunan). Hal ini terjadi karena alasan ekonomi masyarakat daerah pesisir Danau Toba. Sebagian besar masyarakat pesisir Danau Toba masih mengandalkan pertanian dan perkebunan sebagai kegiatan ekonomi (Tobing & Kennedy, 2017). Eksploitasi sempadan danau berlebihan berupa banyaknya ladang menyebabkan air danau terkontaminasi sehingga air berbahaya untuk dikonsumsi (Thu Minh *et al.*, 2020).



Gambar 7. Peta Status Perubahan Tutupan Lahan Pesisir Danau Toba dari Tahun 2010 hingga Tahun 2021.

Tabel 3. Luasan tutupan lahan akhir.

No	Tutupan Lahan Akhir (2021)	Luasan (m^2)
1.	Permukiman	32.721.029
2.	Semak Belukar	65.595.283
3.	Ladang	96.717.421
4.	Hutan	48.444.150
5.	Lahan Terbuka	18.870.466
	Total Perubahan	262.348.349
	Tidak Berubah	152.293.196

Konflik Kepemilikan

Pertanyaan penelitian kedua dijelaskan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**. Berdasarkan **Gambar 5** dan **Gambar 6** terjadi penambahan kepemilikan lahan di kawasan sempadan danau Toba. Penambahan kepemilikan lahan pada kasus sempadan danau Toba ini disebabkan oleh adanya masyarakat adat yang masih memanfaatkan lahan secara tradisional dan bersifat komunal. Terdapat banyak klaim oleh masyarakat danau Toba atas kepemilikan tanah terutama di hutan berupa klaim tanah adat ataupun tanah leluhur. Kepemilikan lahan tersebut disebut dengan "Golat" yang merupakan tanah warisan secara turun temurun pada marga tertentu yang terdapat di wilayah tersebut (Sitindaon, 2020). Adanya kepemilikan lahan oleh masyarakat dapat

mengganggu upaya perlindungan kawasan sempadan yang diatur dalam peraturan presiden No 81 tahun 2014 sehingga terjadilah konflik. Kepemilikan lahan memicu adanya eksploitasi sumber daya alam berlebihan yang berdampak kepada kualitas air danau serta memicu terjadinya perubahan tutupan lahan yang berdampak pada ekosistem alami danau Toba (Adjei-Poku *et al.*, 2023; Asante *et al.*, 2017).

Berdasarkan pada peta status perubahan tutupan lahan danau Toba, tutupan lahan yang mengalami kenaikan secara signifikan pada tahun 2010 hingga tahun 2021 adalah tutupan lahan ladang (sawah dan perkebunan). Pada tahun 2021, ladang menjadi tutupan lahan terbanyak di wilayah pesisir danau Toba. Hal tersebut mengindikasikan bahwa masyarakat sekitar danau Toba masih memanfaatkan ladang sebagai kegiatan ekonomi utama mereka. Banyaknya pertanian dan perkebunan di sempadan danau akan berakibat buruk pada pada kualitas air danau. Pertanian dan perkebunan akan menyalurkan limbah pupuk dan pestisida yang mengandung BOD dan COD ke perairan danau Toba. Konsentrasi BOD dan COD perairan diatur di dalam Peraturan Gubernur Sumatera Utara No-1 Tahun 2009 mengenai Baku Mutu Air Danau Toba di Sumatera Utara (Garno *et al.*, 2020). Apabila kandungan BOD dan COD melebihi konsentrasi maksimum yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur tersebut, maka air di danau Toba tidak/belum layak menjadi air minum atau wisata air.

Usulan Tata Kelola Berkelanjutan

Pertanyaan penelitian ketiga berupa usulan tata kelola berkelanjutan dapat dilakukan dengan:

1. Melakukan pengawasan serta penegakan hukum yang ketat : adanya Peraturan Presiden No 81 yang ditetapkan pada tahun 2014 mengenai kawasan lindung sempadan dana Toba seharusnya sudah diketahui oleh masyarakat setempat dan dipatuhi. Oleh karena itu, dibutuhkan evaluasi terkait pengawasan rutin, penegakan hukum yang ketat, serta edukasi lebih lanjut kepada masyarakat terhadap Peraturan Presiden No.81 Tahun 2014 agar tidak ada lagi masyarakat yang melanggar peraturan.
2. Mengembangkan Pariwisata yang berbasis *Nature-based Solutions* (NBS) : *Nature-based Solutions* merupakan serangkaian cara yang dilakukan dengan memanfaatkan ekosistem alam dalam mengatasi tantangan sosial – lingkungan seperti pariwisata (Rice, 2019). Awal mula istilah NBS digunakan adalah pada tahun 2008 oleh World Bank yang kemudian di promosikan di International Union for Conservation of Nature (IUCN) (Hanson *et al.*, 2020). NBS dapat meningkatkan kesehatan lingkungan, mitigasi terhadap perubahan iklim, serta keberlajutan ekonomi dalam area pesisir dan kelautan (O'Leary *et al.*, 2023). NBS memiliki kesesuaian dengan Peraturan Presiden No.81 Tahun 2014 Pasal 112 (2) yaitu kegiatan pariwisata yang diperbolehkan adalah pariwisata yang berbasis air untuk mengurangi pencemaran air danau. NBS telah di sukses di lakukan di Singapura dengan mengimplementasikan strategi '*Garden City*'. Strategi tersebut terbukti mampu menarik perhatian wisatawan sekaligus menjaga kesehatan lingkungan ekosistem. NBS memiliki beberapa pendekatan. Pendekatan yang sesuai dengan konflik kepemilikan lahan ini adalah *Restorative* yang terdiri atas *Ecological Restoration, Forest Landscape Restoration*, dan *Ecological Engineering* serta juga pendekatan *Infrastructure* yang terdiri atas *Natural Infrastructure* dan *Green Infrastructure* (Cohen-Shacham *et al.*, 2019).
3. Melakukan analisis kesesuaian lahan multikriteria. Pertanian masih menjadi kegiatan ekonomi utama masyarakat pesisir danau Toba. Oleh karena itu, masyarakat yang memiliki lahan di sempadan cenderung memanfaatkan lahan menjadi sawah atau perkebunan yang tentunya akan mengkontaminasi kualitas air danau Toba. Peta kesesuaian lahan terutama untuk lahan sawah dan perkebunan dengan multikriteria yang melibatkan masyarakat dan pemerintah untuk mencegah konflik sosial terjadi. Metode ini dilakukan oleh Uruguay yaitu pada penelitian Bojórquez-Tapia *et al.*, (2001) dan Rodriguez-Gallego *et al.*, (2012).

KESIMPULAN

Tutupan lahan di kawasan sempadan danau Toba mengalami perubahan yang sangat siginifikan pada tahun 2010 hingga 2021 terutama kenaikan tutupan lahan ladang (sawah dan perkebunan). Kepemilikan tanah kawasan sempadan danau Toba juga mengalami kenaikan di kecamatan Siantarnarumonda, kecamatan Porsea, kecamatan Baligae, dan kecamatan Laguboti di atas tahun 2014 dimana peraturan presiden No.81 Tahun 2014 sudah diimplementasikan. Kepemilikan lahan di kecamatan Siantarnarumonda bahkan sampai ke badan danau yang mengindikasikan adanya budidaya perairan yang menyalahi aturan. Kepemilikan lahan di sempadan danau didominasi oleh hak pakai terutama di kecamatan Porsea. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka perlu dilakukan pengawasan serta penegakan hukum secara ketat agar dapat meminimalisir hingga mencegah terjadinya konflik. Selain itu, pembangunan pariwisata dapat dilakukan denga pendekatan *Natur-based Solution* (NBS) agar kelestarian ekosistem dapat terjaga serta meningkatkan ketertarikan turis. Untuk mengatasi kepemilikan tanah yang sudah ada agar pemanfaatan tanah tidak memperburuk lingkungan, maka dilakukan analisis kesesuaian lahan multikriteria yang melibatkan masyarakat dan pemerintah. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah meneliti tentang perencanaan *Nature-based Solutions* (NBS) pada pariwata pesisir danau Toba serta analisis kesesuaian lahan multikriteria agar perkembangan berkelajutan di pesisir danau Toba dapat diimplementasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Adjei-Poku, B., Afrane, S. K., Amoako, C., & Inkoom, D. K. B. (2023). Customary land ownership and land use change in Kumasi: An issue of chieftaincy sustenance? *Land Use Policy*, *125*, 106483. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106483

Ariti, A. T., van Vliet, J., & Verburg, P. H. (2015). Land-use and land-cover changes in the Central Rift Valley of Ethiopia: Assessment of perception and adaptation of stakeholders. *Applied Geography*, *65*, 28–37. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.10.002

Asante, W. A., Acheampong, E., Boateng, K., & Adda, J. (2017). The implications of land tenure and ownership regimes on sustainable mangrove management and conservation in two Ramsar sites in Ghana. *Forest Policy and Economics*, *85*, 65–75. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.08.018

Aziz, F., Kusratmoko, E., & Manessa, M. D. M. (2020). Google earth engine application for estimating changes in water surface area of Lake Toba. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *500*(1), 012028. https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012028

Basana, S., Yamin, M., Kalo, S., & Nasution, F. A. (2023). ANALISIS YURIDIS ATAS KLAIM HAK MILIK ATAS TANAH OLEH INSTANSI PEMERINTAH. *Prosiding Forum Ilmiah Berkala Kesehatan Masyarakat*, *6*(1), Article 1. https://doi.org/10.34012/jihp.v6i1.3554

Bojórquez-Tapia, L., Díaz, S., & Ezcurra, E. (2001). GIS-based approach for participatory decision making and land suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, *15*, 129–151. https://doi.org/10.1080/13658810010005534

Cohen-Shacham, E., Andrade, A., Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson, C. R., Renaud, F. G., Welling, R., & Walters, G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, *98*, 20–29. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014

Diegues, A. C. (2008). *Marine protected areas and artisanal fisheries in Brazil*. International Collective in Support of Fishworkers. http://hdl.handle.net/1834/19431

Garno, Y. S., Nugroho, R., & Hanif, M. (2020). Kualitas Air Danau Toba di Wilayah Kabupaten Toba Samosir dan Kelayakan Peruntukannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *21*(1), Article 1. https://doi.org/10.29122/jtl.v21i1.3277

Hajar, S., Supriyono, B., Muluk, M. R. K., & Said, A. (2021). Tourism Potential Planning Based Governance in the Lake Toba Area. *I T A L I E N I S C H*, *11*(2), Article 2.

Hanson, H. I., Wickenberg, B., & Alkan Olsson, J. (2020). Working on the boundaries—How do science use and interpret the nature-based solution concept? *Land Use Policy*, *90*, 104302. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104302

Hidayat, R. (2023). Konflik Agraria Masyarakat Adat dalam Pemindahan Ibu Kota Negara. *Prosiding Konferensi Nasional Sosiologi (PKNS)*, *1*(1), 140-151.

Hjalager, A.-M. (2020). Land-use conflicts in coastal tourism and the quest for governance innovations. *Land Use Policy*, *94*, 104566. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104566

Lloyd, M. G., Peel, D., & Duck, R. W. (2013). Towards a social–ecological resilience framework for coastal planning. *Land Use Policy*, *30*(1), 925–933. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.06.012

Mahulae, P. J. M. (2019). Deskripsi Permasalahan Upaya Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan di Danau Toba Sumatera Utara (Problem Description Of Sustainable Tourism Development Effort On Toba Lake North Sumatera). *Inovasi*, *16*(1), 11-20.

Meng, C., Wu, C., Wu, J., Zhang, Q., Xin, L., Li, J., Li, D., & Song, C. (2023). Spatiotemporal changes of coastal land use land cover and its drivers in Shanghai, China between 1989 and 2015. *Ocean & Coastal Management*, *244*, 106802. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106802

Mueller, H., Hamilton, D. P., & Doole, G. J. (2016). Evaluating services and damage costs of degradation of a major lake ecosystem. *Ecosystem Services*, *22*, 370–380. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.02.037

O'Leary, B. C., Fonseca, C., Cornet, C. C., de Vries, M. B., Degia, A. K., Failler, P., Furlan, E., Garrabou, J., Gil, A., Hawkins, J. P., Krause-Jensen, D., Le Roux, X., Peck, M. A., Pérez, G., Queirós, A. M., Różyński, G., Sanchez-Arcilla, A., Simide, R., Sousa Pinto, I., … Roberts, C. M. (2023). Embracing Nature-based Solutions to promote resilient marine and coastal ecosystems. *Nature-Based Solutions*, *3*, 100044. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100044

Phelan, A. (Anya), Ruhanen, L., & Mair, J. (2020). Ecosystem services approach for community-based ecotourism: Towards an equitable and sustainable blue economy. *Journal of Sustainable Tourism*, *28*(10), 1665–1685. https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1747475

Rice, L. (2019). Nature-based solutions for urban development and tourism. *International Journal of Tourism Cities*, *6*(2), 431–448. https://doi.org/10.1108/IJTC-05-2019-0069

Rodriguez-Gallego, L., Achkar, M., & Conde, D. (2012). Land Suitability Assessment in the Catchment Area of Four Southwestern Atlantic Coastal Lagoons: Multicriteria and Optimization Modeling. *Environmental Management*, *50*(1), 140–152. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9843-4

Sianipar, A. R., Ginting, N., & Marisa, A. (2021). STUDY OF CHANGES IN LAND USE REVIEWED FROM TOURISM DEVELOPMENT FACTORS IN ARTERI ROAD CORRIDOR, BALIGE DISTRICT (YEAR 2009-2019). *International Journal of Education and Social Science Research*, *04*(04), 186–202. https://doi.org/10.37500/IJESSR.2021.4413

Sinaga, I. N., Sejati, A. W., Muktiali, M., & Rahayu, S. (2019). Mapping of Land Use Shifting in Tourism Area of Lake Toba, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *313*(1), 012019. https://doi.org/10.1088/1755-1315/313/1/012019

Sitindaon, M. H. (2020). Transformasi Tutupan Lahan Pada Kawasan Hutan Wilayah Kawasan Strategis Nasional Danau Toba. *Jurnal Planoearth*, *5*(2), 88–94. https://doi.org/10.31764/jpe.v5i2.2610

Thu Minh, H. V., Avtar, R., Kumar, P., Le, K. N., Kurasaki, M., & Ty, T. V. (2020). Impact of Rice Intensification and Urbanization on Surface Water Quality in An Giang Using a Statistical Approach. *Water*, *12*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/w12061710

Tobing, S. J. L., & Kennedy, P. S. J. (2017). Pengelolaan Ekosistem Danau Toba Secara Berkelanjutan (Sustainable Development). *Seminar Nasional dan Call Papers Seminar Inovasi Manajemen, Ekonomi dan Akuntansi Blue Economy Menembus Globalisai*. http://repository.uki.ac.id/6658/

PEMETAAN HUBUNGAN TINGKAT PENDIDIKAN KEPALA DAERAH DENGAN INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA DAERAHNYA

Studi Kasus di Pulau Jawa

Mapping the Relationship Between the Education Level of Regional Leaders and the Human Development Index of Their Region

Amalia Diva K Purwanta[1], Lysa Dora Ayu Nugraini[1], Fahmi Amhar[2]
[1]Universitas Pembangunan Nasional"Veteran" Yogyakarta
[2]Badan Riset & Inovasi Nasional

UPN Kampus II, Jl. Babarsari 2, Yogyakarta
E-mail: amaliadivapurwanta277@gmail.com

ABSTRAK

Pendidikan merupakan faktor kunci dalam pembangunan manusia yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan hubungan antara Tingkat Pendidikan Akhir (TPA) kepala daerah di Pulau Jawa dengan Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Informasi mengenai gelar dan tingkat pendidikan tiap bupati/walikota didapat melalui website daerah dan artikel terkait. Data IPM didapatkan melalui BPS tiap provinsi untuk 3 tahun pertama bupati/walikota menjabat. Peta hubungan tingkat pendidikan dengan IPM dilakukan dengan menggunakan peta choropleth bivariat. Peta choropleth bivariat adalah varian peta yang menggunakan palet warna 2 dimensi untuk menampilkan 2 tipe data atau 2 parameter yang berbeda. Untuk tingkat PT, dikelaskan menjadi 3 golongan, yaitu kelas 1 berupa SMA/sederajat, kelas 2 berupa Diploma dan Sarjana, dan kelas 3 berupa Pendidikan Tinggi Lanjutan seperti Magister dan Doktoral. Nilai Pertumbuhan Indeks Pembangunan Manusia (PIPM) selama 3 tahun pemimpin menjabat. PIPM dikelaskan menjadi 3 yang ditentukan oleh rentang nilai dengan menggunakan natural break. Setiap daerah akan memiliki nilai PT dan nilai PIPM. Setelah dilakukan visualisasi hubungan Pendidikan Akhir(PT) dengan Pertumbuhan Indeks Pembangunan Manusia, terdapat 41 dari 119 merupakan daerah dengan hubungan antara PT dan PIPMyang berbanding lurus. Hal ini dapat dikatakan bahwa tingkat pendidikan suatu kepala daerah dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi nilai pertumbuhan indeks pembangunan manusia.

Kata kunci: tingkat pendidikan kepala daerah, Indeks Pembangunan Manusia.

ABSTRACT

Education is a key factor in sustainable human development. This research aims to map the relationship between the Final Education Level (TPA) of regional heads on the island of Java and the Human Development Index (HDI). Information regarding the degree and education level of each regent/mayor was obtained through regional websites and related articles. HDI data is obtained through BPS for each province for the first 3 years of regent/mayor office. The map of the relationship between education level and HDI was carried out using a bivariate choropleth map. Bivariate choropleth maps are a map variant that uses a 2-dimensional color palette to display 2 types of data or 2 different parameters. The PT level is classified into 3 groups, namely class 1 in the form of SMA/equivalent, class 2 in the form of Diploma and Bachelor's degrees, and class 3 in the form of Advanced Higher Education such as Masters and Doctoral. Human Development Index Growth Value (PIPM) during the leader's 3 years in office. PIPM is classified into 3 which are determined by a range of values using a natural break. Each region will have a PT value and a PIPM value. After visualizing the relationship between Final Education (PT) and Human Development Index Growth, there are 41 out of 119 areas with a directly proportional relationship between PT and PIPM. It can be said that the level of education of a regional head can be one of the factors that influence the growth value of the human development index.

***Keywords**: education level of regional leaders, Human Development Index*

PENDAHULUAN

Kepimpinan dalam sebuah organisasi adalah satu hal yang sangat penting. Peran seorang pemimpin dalam satu organisasi sangat besar pengaruhnya dalam kehidupan organisasi tersebut untuk keberlangsungan yang tidak lepas dari komitmen organisasional dimana bawahan memiliki komitmen terhadap tempat bekerja dan rasa saling memiliki untuk bekerja lebih aik serta mendukung pencapaian organisasi. dalam organisasi pemerintahan, pemimpin adalah pribadi terpusat yang memiliki penahruh besar terhadap organisasinya yang dapat dilihat dari sikap dan perilakunya selama bertugas (Jannah *et al.*, 2022). Kepala daerah, seperti yang dinyatakan pada ayat 1, bertanggung jawab atas setiap daerah. Gubernur sebagai pemimpin provinsi, bupati sebagai pemimpin kabupaten dan walikota sebagai pemimpin kota. Sebagai pemimpin kepala daerah berdasarkan peraturan perundang-undangan dan kebijakan yang ditetapkan secara Bersama oleh legislatiif dan eksekutif,pemimpin mengelola tugas pemerintah yang diberikan kepala daerah. Pemimpin juga memiliki wewenang untuk membuat Keputusan dan menetapkan Keputusan(Angraini *et al.*, 2018).

Presiden sebagai kepala negara dan kepala pemerintahan di Indonesia memiliki tanggung jawab untuk meningkatkan kesejahteraan Masyarakat sesuai dengan undang-undang. Presiden Jokowi ingin menjadikan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) sebagai prioritas utama dalam kepemimpinannya. Hal ini dikarenakan setiap daerah wajib menyesuaikan kebijakannya dengan Pembangunan nasional dalam hal meningkatkan kesejahteraan Masyarakat, kepeimpinan kepala daerah provinsi dan kabupaten/kota memiliki peran penting dalam mengebangkan Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Keadilan social bagi seluruh rakyat Indonesia adalah sila kelima dari Pancasila, yang dapat diterapkan di setiap wilayah Indonesia (Fakhrizal, 2022).

IPM adalah suatu tolak ukur angka kesejahteraan suatu daerah atau negara yang dilihat berdasarkan tiga dimensi yaitu: angka harapan hidup pada waktu lahir (*life expectancy at birth*), angka melek huruf (*literacy rate*) dan rata- rata lama sekolah (*mean years of schooling*), serta kemampuan daya beli (*purchasing power parity*). Indeks ini pertama kali dikembangkan oleh pemenang nobel India Amartya Sen dan Mahbub ul Haq, seorang ekonom Pakistan dibantu oleh Gustav Ranis dari Yale University dan Lord Meghnad Desai dari London School of Economics. Menurut data BPS, Indonesia mengalami ketidakmerataan dalam Pembangunan manusia (Apsari *et al.*, 2018). Keputusan yang dibuat oleh pemerintah setempat dimana pemimpin daerah adalah salah satu orang yang memiliki kekuatan untuk membuat Keputusan tersebut dapat mempengaruhi indikator-indikator tersebut.

Untuk mendukung pembangunan utama yang ada di Indonesia, sumber daya manusia yang berkualitas tinggi sangat diperlukan (Putri, 2020). Untuk menghasilkan sumber daya manusia yang berkualitas tinggi, pendidikan adalah bagian penting dari peningkatan kualitas sumber daya. Oleh karena itu, pendidikan memainkan peran penting dalam Pembangunan negara Indonesia(Kurniawan & Febbia, 2021). Pendidikan adalah salah satu hal yang penting dan merupakan investasi dalam sumber daya manusia. Selain itu, tingkat pendidikan berpengaruh terhadapt tingkat pembangunan manusia suatu negara. Hal ini dapat disebabkan karena pendidikan merupakan salah satu elemen utama pembangunan manusia (Widodo *et al.*, 2012).

Dengan mempertimbangkan uraian diatas, visualisasi hubungan tingkat pendidikan dengan nilai IPM dapat dikaitkan. Replikasi visual yang jelas berdasarkan lokasi dapat dilakukan dengan menggunakan visualisasi peta. Peta choropleth bivariate, yaitu jenis peta tematik yang menampilkan dua variabel atau lebih pada satu peta dengan warna sesuai dengan informasi yang terkandung didalam fitur-fitur peta tersebut. dan menggunakan palet warna dua dimensi untuk menunjukkan hubungan antara dua variable (Anderson *et al.*, 2022). Pada penelitian ini, digunakan dua variable berupa nilai pertumbuhan IPM dan Tingkat Pendidikan akhir bupati/walikota di Pulau Jawa

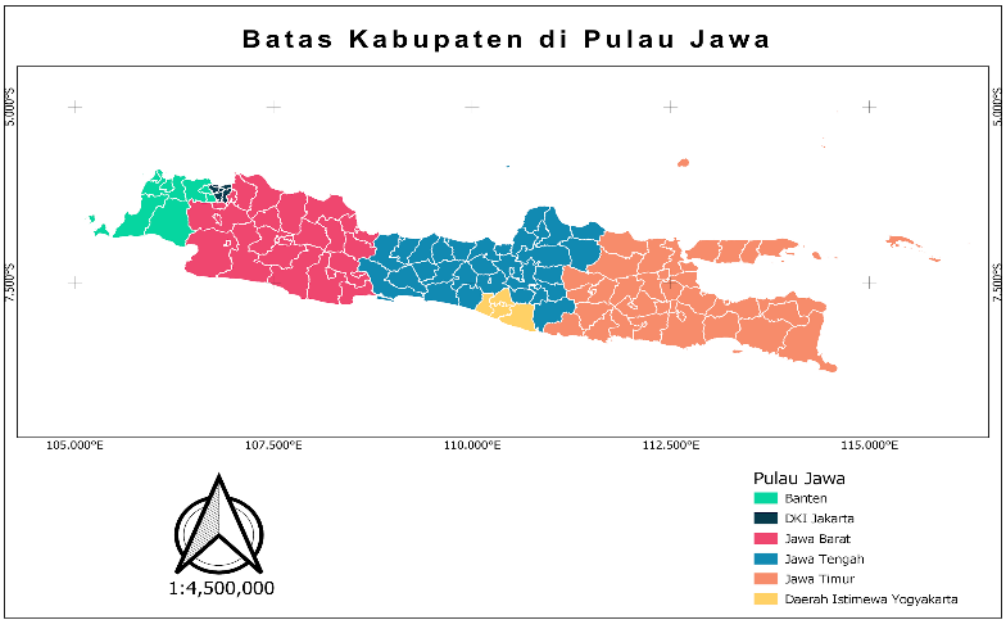
METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Pulau Jawa, yang melingkupi provinsi Banten, Daerah Khusus Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan Jawa Timur dengan jumlah kabupaten yaitu 119. Pulau Jawa terletak di bagian tengah Indonesia antara Pulau Sumatera di sebelah barat dan Pulau Bali di sebelah timur. Pulau Jawa terbentang diantara 5° 49' dan 8°48' Lintang Selatan serta antara 105° 20' dan 114° 37' Bujur Timur.

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta administrasi Kabupaten/Kota Pulau Jawa, informasi pendidikan terakhir dan tahun menjabat Bupati atau Walikota, dan pertumbuhan nilai Indeks Pembangunan Manusia (IPM) pada 3 tahun pertama Bupati atau Walikota menjabat. Data tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak QGIS versi 3.20.3. Tahapan pengolahan pertama yang dilakukan adalah pencarian data. Untuk data administrasi Kabupaten atau Kota Pulau Jawa didapatkan melalui situs https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web. Batas administrasi Kabupaten/Kota di Pulau Jawa tertampilkan pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Batas Administrasi Kabupaten/Kota di Pulau Jawa.

Data selanjutnya adalah informasi mengenai Bupati/Walikota yang menjabat. Informasi yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah tahun menjabat, tingkat pendidikan terakhir, dan bidang pendidikan terakhir yang telah diselesaikan. Informasi tersebut didapat melalui *website* masing-masing Kabupaten/Kota maupun artikel yang berkaitan. Bupati/Walikota yang ditampilkan dalam penelitian ini merupakan Bupati/Walikota yang menjabat setidaknya 3-4 tahun.

Setelah didapatkan informasi mengenai Bupati/Walikota dengan tahun masa jabatannya, dilakukan pendataan mengenai nilai Indeks Pembangunan Manusia (IPM) pada 3 tahun pertama menjabat. Nilai IPM yang digunakan dalam penelitian ini merupakan nilai pertumbuhan tahun pertama ke tahun ketiga Bupati/Walikota menjabat. Nilai pertumbuhan ini dihitung dengan **Persamaan 1**.

$$\text{PIPM} = \frac{IPM_{t3} - IPM_{t1}}{IPM_{t1}} \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

dimana:

PIPM = nilai pertumbuhan IPM (%),

IPM_{t3} = nilai IPM tahun ketiga,

IPM_{t1} = nilai IPM tahun pertama.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan visualisasi hubungan antara tingkat pendidikan akhir Bupati/Walikota dengan nilai pertumbuhan IPM selama 3 tahun pertama menjabat. Visualisasi dilakukan dengan menggunakan peta choropleth bivariat. Peta choropleth bivariat merupakan peta yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara dua variabel yang berkaitan terhadap geografi. Variabel yang dimaksud adalah tingkat pendidikan terakhir dan nilai pertumbuhan IPM. dalam melakukan visualisasi tersebut, data yang didapat perlu dilakukan pengkelasan. Pengkelasan dalam tiap variabel ditetapkan menjadi 3 kelas. dalam pengkelasan tingkat pendidikan terakhir, terbagi menjadi 3 kelas yaitu kelas 1 berupa SMA atau sederajat, kelas 2 berupa Diploma dan Sarjana, dan kelas 3 berupa Pendidikan Tinggi Lanjutan seperti Magister dan Doktoral. Setelah dilakukan pengkelasan, *scoring* dilakukan. Skor memiliki nilai 1 hingga 3 dimana nilai 1 merupakan kelas 1, nilai 2 merupakan kelas 2, dan 3 merupakan kelas 3. Pengkelasan tersebut ditampilkan pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Pengkelasan tingkat pendidikan Bupati/Walikota.

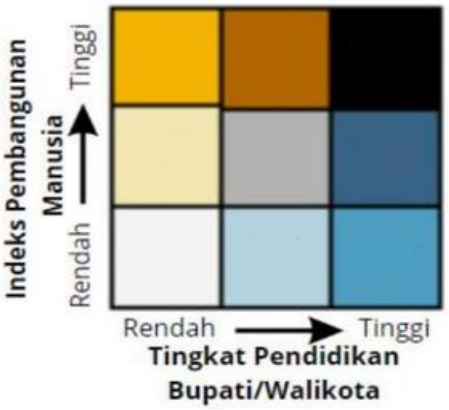
Tingkat Pendidikan	Skor
SMA/SLTA/Pesantren/sederajat	1
Diploma atau Sarjana	2
Magister / Doktoral	3

Variabel kedua yaitu nilai pertumbuhan IPM. Setelah masing-masing Kabupaten/Kota memiliki nilai PIPM, dilakukan pengkelasan menjadi 3 kelas. Kelas tersebut didasarkan pada rentang nilai terendah dengan nilai tertinggi yang dilakukan menggunakan *Natural Break.* Sehingga, pengkelasan dan *scoring* didapatkan pada **Tabel 2**. Skor memiliki nilai A-C dengan A merupakan PIPM dengan nilai kurang dari 0,97, B dengan rentang 0,97 hingga 1,65, dan C dengan nilai lebih dari 1,65.

Tabel 2. Pengkelasan pertumbuhan nilai IPM.

PIPM	Skor
<0,97	A
0,97 - 1,65	B
>1,65	C

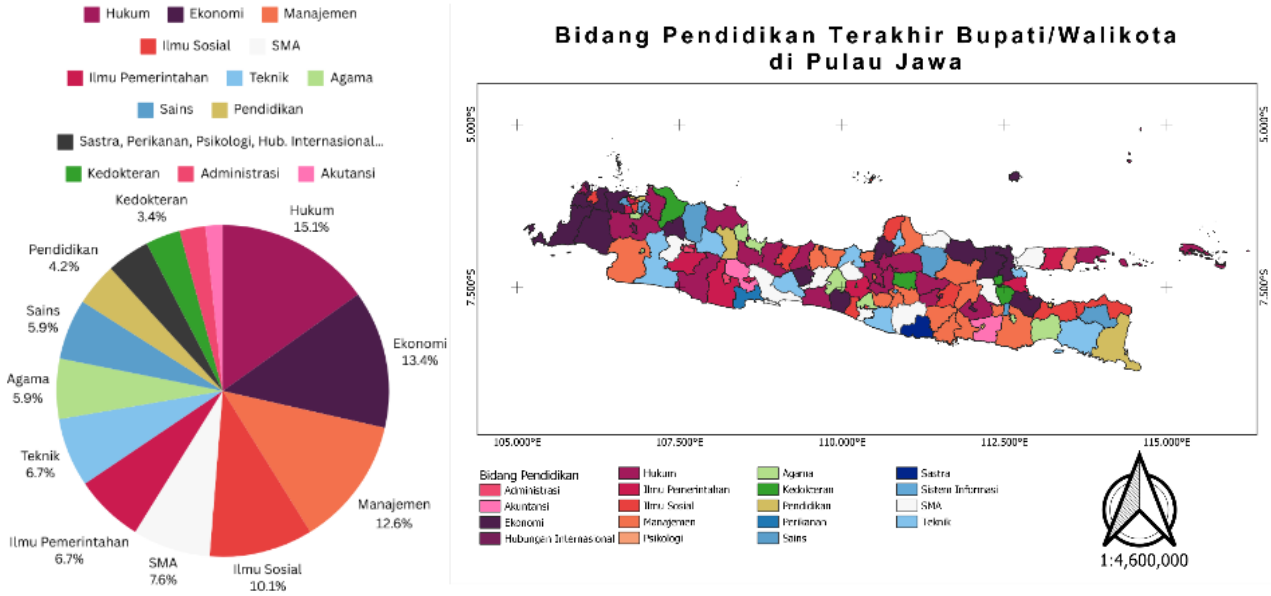
Setelah dilakukan *scoring* pada kedua variabel, penggabungan skor terhadap keduanya. Penggabungan dilakukan dengan memberi warna pada masing-masing variabel. Untuk variabel PIPM, diberi warna biru. Maka, jika nilai PIPM semakin tinggi, maka warna akan semakin biru. Sedangkan untuk variabel tingkat pendidikan terakhir diberi warna kuning ke jingga. Dimana, semakin tinggi skor pada tingkat pendidikan terakhir maka semakin jingga warnanya. Jika kedua variabel memiliki hubungan yang berbanding lurus, tampilan akan diwakilkan dengan warna keabuan.



Gambar 2.Pewarnaan pada Peta *Choroplet Bivariat* terhadap dua variabel.

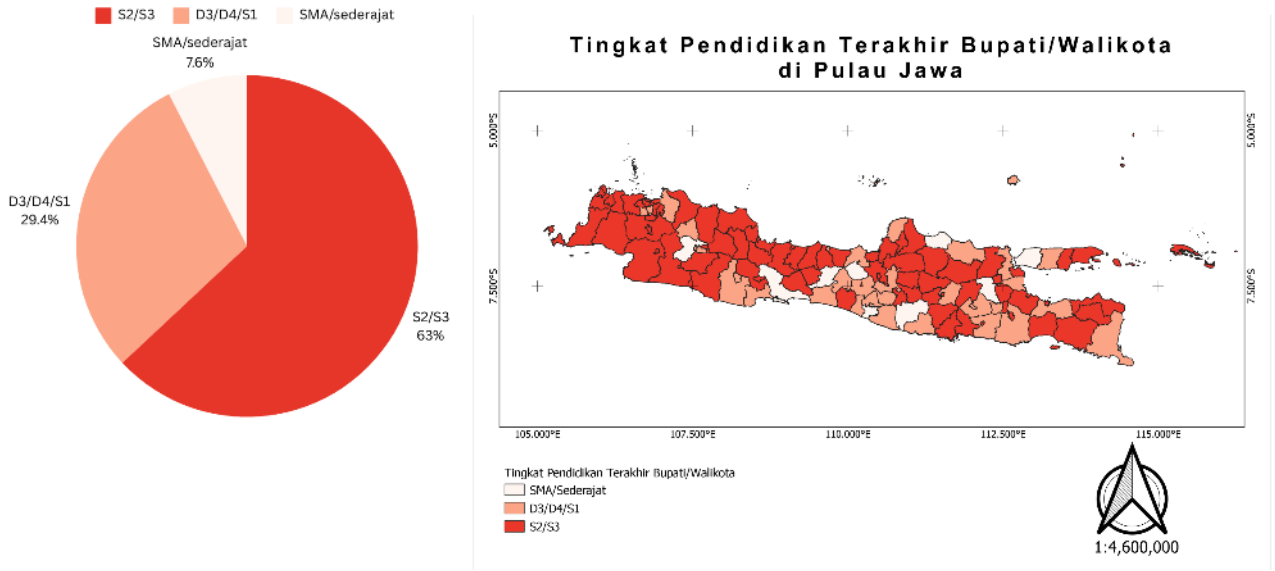
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencarian data untuk informasi bupati walikota di Pulau Jawa terkait bidang pendidikan terakhir tertampilkan pada **Gambar 3**. Data didapat melalui website kabupaten atau kota masing2 maupun artikel terkait. dalam tampilan peta, terdapat 18 bidang berbeda. Bidang yang berhubungan dengan sosial ditampilkan dalam lingkup warna merah sedangkan untuk bidang selain sosial ditampilkan dengan warna hijau dan biru. Adapun area yang berwarna putih dimana bupati atau walikota memiliki tingkat pendidikan terakhir berupa SMA/SLTA/Pesantren/sederajat. Persentase bidang pendidikan terakhir terbesar merupakan bupati/walikota yang berada di bidang hukum sebesar 15,1 persen ,diikuti dengan ekonomi 13,4 persen, manajemen 12,6 persen, Ilmu sosial 10,1 persen, SMA 7,6 persen, ilmu pemerintahan 6,7 persen, teknik 6,7 persen, agama 5,9 persen, sains 5,9 persen, pendidikan 4,2 persen, kedokteran 3,4 persen, administrasi 2,5 persen, akuntansi 2,5 persen, dan lainnya berupa sastra, perikanan, psikologi, hubungan internasional, dan sistem informasi senilai 4,2 persen.



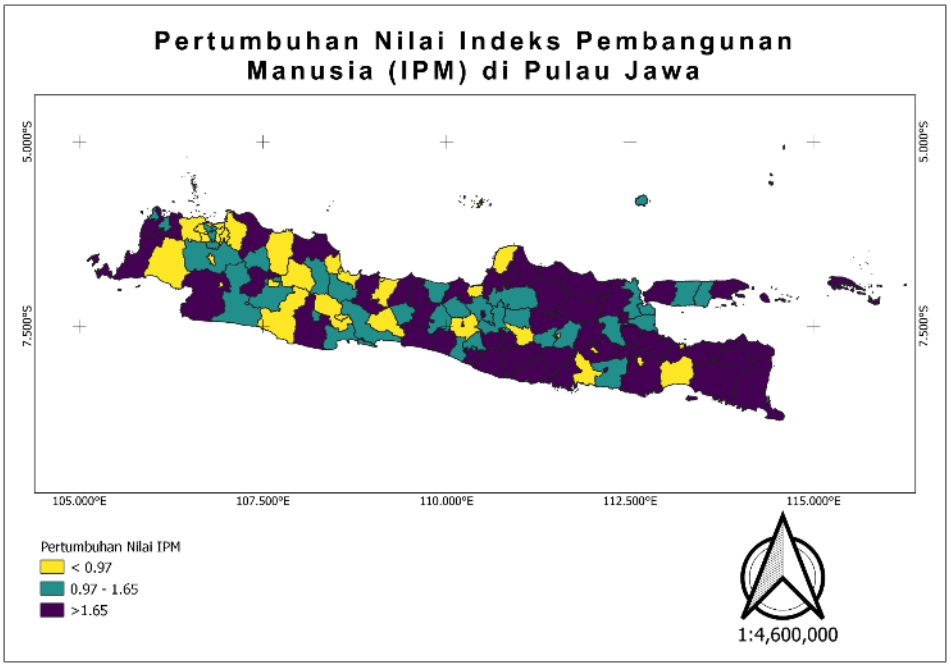
Gambar 3. Diagram dan peta bidang pendidikan terakhir Bupati/Walikota.

Setelah didapatkan informasi tersebut, terdapat tingkat pendidikan terakhir yang ditampilkan pada **Gambar 4**. **Gambar 4** merupakan peta tingkat pendidikan terakhir bupati/walikota di Pulau Jawa. Tingkat pendidikan terakhir tersebut dibedakan menjadi 3 yaitu SMA/sederajat, Diploma/Sarjana, dan Magister/Doktoral. Untuk SMA/sederajat ditampilkan dengan warna putih, Diploma/Sarjana berwarna merah muda, dan Magister/Doktoral berwarna merah. Berdasarkan pengumpulan dan visualisasi data tingkat pendidikan terakhir bupati atau walikota di Pulau Jawa, terdapat 9 orang Bupati atau Walikota dengan tingkat pendidikan terakhir SMA/sederajat, 35 orang dengan tingkat pendidikan terakhir Diploma/sarjana, dan 75 orang dengan Magister/Doktoral.



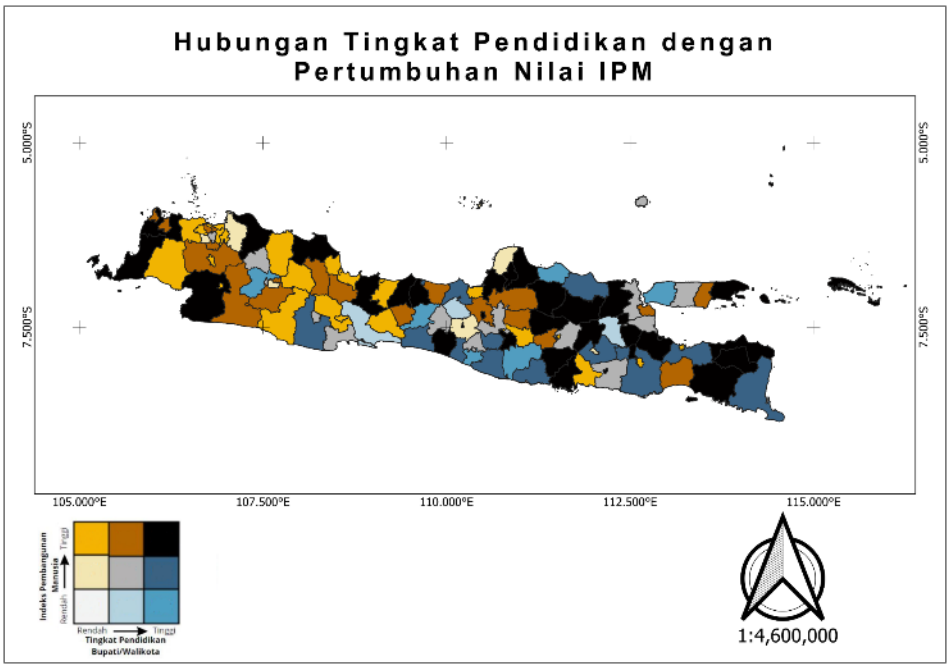
Gambar 4. Diagram dan peta tingkat pendidikan terakhir Bupati/Walikota.

Gambar 5 merupakan tampilan pertumbuhan nilai IPM pada 3 tahun pertama bupati/walikota di Pulau jawa dengan masa jabatan 3-4 tahun. Pertumbuhan nilai IPM dikelaskan menjadi 3 kelas dengan rentang nilai yang ditentukan menggunakan *natural break* pada QGIS. Berdasarkan perhitungan pertumbuhan nilai IPM dan pengkelasnya, terdapat 30 Kabupaten atau Kota dengan pertumbuhan nilai IPM kurang dari 0,97 persen, 39 kota atau kabupaten dengan rentang nilai pertumbuhan nilai IPM 0,97 hingga 1,65, dan 50 kabupaten atau kota dengan pertumbuhan lebih dari 1,67 persen.



Gambar 5.Peta pertumbuhan nilai IPM.

Hubungan nilai pertumbuhan IPM dengan tingkat pendidikan terakhir bupati/walikota ditampilkan pada **Gambar 6**. Terdapat 41 dari 119 kabupaten atau kota yang memiliki hubungan berbanding lurus terhadap dua variabel.



Gambar 6.Peta *Choropleth Bivariat* terhadap hubungan tingkat pendidikan dan pertumbuhan nilai IPM.

KESIMPULAN

Persentase bidang pendidikan terakhir terbesar untuk bupati/walikota di Pulau Jawa merupakan bupati/walikota yang berada di bidang hukum sebesar 15,1 persen ,diikuti dengan ekonomi 13,4 persen, manajemen 12,6 persen, Ilmu sosial 10,1 persen, SMA 7,6 persen, ilmu pemerintahan 6,7 persen, teknik 6,7 persen, agama 5,9 persen, sains 5,9 persen, pendidikan 4,2 persen, kedokteran 3,4 persen, administrasi 2,5 persen, akuntansi 2,5 persen, dan lainnya berupa sastra, perikanan, psikologi, hubungan internasional, dan sistem informasi senilai 4,2 persen. Pengumpulan dan visualisasi data tingkat pendidikan terakhir bupati atau walikota di Pulau Jawa, terdapat 9 orang bupati atau walikota dengan tingkat pendidikan terakhir SMA/sederajat, 35 orang dengan tingkat pendidikan terakhir Diploma/sarjana, dan 75 orang dengan Magister/Doktoral. Pada perhitungan pertumbuhan nilai IPM dan pengkelasnya, terdapat 30 kabupaten/kota dengan pertumbuhan nilai IPM kurang dari 0,97 persen, 39 kota atau kabupaten dengan rentang nilai pertumbuhan nilai IPM 0,97 hingga 1,65, dan 50 kabupaten atau kota dengan pertumbuhan lebih dari 1,67 persen. Terdapat 41 dari 119 kabupaten atau kota yang memiliki hubungan yang berbanding lurus terhadap dua variabel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut serta dalam membatu penelitian ini. Tanpa dukungan dan kontribudi dari berbagai pihak, penelitian ini tidak akan terwujud. Terimakasih kepada UPN Veteran Yogyakarta yang telah mengadakan program MBKM ini sehingga penulis dapat memiliki hubungan yang baik untuk menciptakan penelitian ini. Kami juga mengucapkan Terimakasih kepada Badan Riset dan Indovasi Cibinong yang telah menyediakan fasilitas yang cukup baik dalam penyusunan penelitian ini. Terimakasih pula untuk teman-teman dan kolega yang telah memberikan masukin dan dukungan selama proses penelitian ini. Terakhir, kami mengucapkan Terimakasih kepada keluarga atas doa, dukungan, dan pengertian yang diberikan selama proses penelitian. Tanpa dukungan dari keluarga, perjalanan ini tidak akan seimbang. Ucapan Terimakasih tersebut disampaikan dnegan penuh rasa Syukur dan penghargaan atas semua dukungan yang dibeirkan. Semoga penelitan inidapat memberikan manfaat dan kontirbusi yang berarti bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan masyarakat pada umumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, O., Hayati, N., & Budisusanto, Y. (2022). Analisis Karakteristik Permukiman Untuk Estimasi Tingkat Kerentanan Covid-19 Kota Jakarta Utara Berbasis Informasi Geografis. *Jurnal Kokoh, Vol. 20 No. 1 Tahun 2022*, *20*(1), 1–13. https://ejournal.upi.edu/index.php/kokoh

Angraini, Y., Pusparini, N. M., & Kurniawan, D. A. (2018). Peran Kepala Daerah dalam Pembangunan Infrastruktur. *Researchgate.Net*, *May*, 1–5. https://www.researchgate.net/profile/Yuni-Angraini/publication/325451576_PERAN_KEPALA_DAERAH_DALAM_PEMBANGUNAN_INFRASTRUKTUR/links/5b0ec2cfa6fdcc80995b5ab1/PERAN-KEPALA-DAERAH-DALAM-PEMBANGUNAN-INFRASTRUKTUR.pdf

Apsari, K. L., Kusumaningrum, N., & Paradilla, Y. S. (2018). *Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia di Kalimantan Timur Tahun 2018 Analysis of Factors Affecting the Human Development Index in East Kalimantan in 2018 Laboratorium Statistika Terapan Program Studi Statistika FMIPA Universi*.

Arum Sutrisni Putri, "Potensi dan Upaya Indonesia Menjadi Negara Maju", Kompas.com, 25 Mei 2020. Diakses melalui https://www.kompas.com/skola/read/2020/05/27/170000669/potensi-dan-upaya-indonesia-menjadi-negara-maju?page=all pada 4 April 2024.

Fakhrizal, Y. (2022). Peran Kepercayaan Kepala Daerah Terhadap Indeks Pembangunan Sumber Daya Manusia di Kabupaten Nagan Raya. *JurnaI Ilmiah Mahasiswa FISIP USK*, *7*(1), 1–26.

Jannah, M., Mustari, N., & Tahir, N. (2022). Pengaruh Gaya Kepemimpinan Terhadap Komitmen Organisasi di Dinas Sosial Kabupaten Gowa. *Kajian Ilmiah Mahasiswa …*, *3*. https://journal.unismuh.ac.id/index.php/kimap/article/view/9312%0Ahttps://journal.unismuh.ac.id/index.php/kimap/article/download/9312/5750

Kurniawan, R., & Febbia, H. (2021). Pentingnya Kualitas Pendidikan Sebagai Pembentukan Karakteristik Seorang Pemimpin di Indonesia. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, *8*(3), 407–411. http://jurnal.um-tapsel.ac.id/index.php/nusantara/index

Othman, A. & Gloaguen, R. (2013). River courses affected by landslides and implications for hazard assessment: a high-resolution remote sensing case study in NE Iraq–W Iran. *Remote Sensing, 5*(3), 1024-1044.

Hjarvard, S. (2008). The mediatization of society. *Nordicom Review, 29*(2), 105134. Retrieved from http://www.nordicom.gu.se

Widodo, A., Waridin, W., & Kodoatie, J. M. (2012). Analisis Pengaruh Pengeluaran Pemerintah di Sektor Pendidikan dan Kesehatan Terhadap Pengentasan Kemiskinan Melalui Peningkatan Pembangunan Manusia di Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan*, *1*(1), 25. https://doi.org/10.14710/jdep.1.1.25-42

SUBTEMA 4:

Pemetaan Kebencanaan dan Perubahan Iklim

(Disaster & Climate Change Mapping)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

IDENTIFIKASI ANCAMAN BENCANA TSUNAMI MENGGUNAKAN PARAMETER ELEVASI DAN PENGGUNAAN LAHAN

Studi Kasus Cilegon-Pantai Anyer

(Tsunami Hazard Identification Using Elevation Parameters And Land Use Classification. Case Study Cilegon- Anyer Beach)

Tisya Kurnia Suci[1] dan Tia Aprilia[2]

Teknik Geomatika, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365, Indonesia
E-mail: tisya.120230028@student.itera.ac.id

ABSTRAK

Tsunami disebabkan adanya tenaga yang dilepaskan oleh gempa bumi di dasar laut atau aktivitas vulkanik gunung api di dasar laut, sehingga menyebabkan korban jiwa dan kerugian harta benda. Berdasarkan data BMKG, sejak terjadi tsunami di Selat Sunda pada tahun 2018, BMKG telah menentukan 28 aktivitas kegempaan di Gunung Anak Krakatau. Tsunami yang terjadi pada 22 Desember 2018 lalu, telah mengakibatkan korban jiwa sebanyak 222 orang, luka-luka 843 orang, dan 28 orang dikabarkan hilang, serta mengakibatkan kerugian sebanyak 556 rumah rusak, 9 hotel rusak berat, dan 60 warung hancur. Dampak bencana tsunami ini melanda pesisir di pantai barat Provinsi Banten, yaitu Kabupaten Pandeglang dan Kabupaten Serang. Ancaman bencana tsunami disajikan dengan parameter elevasi dan penggunaan lahan menggunakan metode skoring dalam pendekatan Sistem Informasi Geografis. Penelitian ini memiliki tujuan mengidentifikasi daerah Cilegon-Pantai Anyer yang memiliki ancaman paling tinggi terhadap bencana tsunami. Hasil dari penelitian ini pada parameter elevasi di bawah 10 meter seluas 4.497,8 hektar dan parameter penggunaan lahan kelas permukiman seluas 4.258,55 hektar yang diidentifikasi sebagai kelas yang paling mengancam bagi bencana tsunami. Wilayah yang paling terancam apabila terjadi bencana tsunami, yaitu di Samang Raya seluas 283,88 hektar, Tegal Ratu seluas 220,86 hektar, dan Gunung Sugih seluas 164,20 hektar, karena sangat berdekatan dengan pesisir pantai. Penelitian ini sudah memberikan hasil yang sesuai untuk pemetaan kebencanaan yang dapat dijadikan estimasi dalam mitigasi bencana tsunami.

Kata Kunci: ancaman, sistem informasi geografis, tsunami

ABSTRACT

Tsunamis are caused by the power released by earthquakes on the seabed or volcanic activity on the seabed, causing casualties and property losses. Based on BMKG data, since the tsunami occurred in the Sunda Strait in 2018, BMKG has determined 28 seismic activities on Mount Anak Krakatau. The tsunami that occurred on December 22, 2018, has resulted in the death of 222 people, injured 843 people, and 28 people are reported missing, and resulted in the loss of 556 houses damaged, 9 hotels heavily damaged, and 60 stalls destroyed. The impact of this tsunami disaster hit the coast on the west coast of Banten Province, namely Pandeglang Regency and Serang Regency. The threat of tsunami disaster is presented with elevation and land use parameters using scoring methods in the Geographic Information System approach. This study aims to identify the Cilegon-Pantai Anyer area that has the highest threat to the tsunami disaster. The results of this study on elevation parameters below 10 meters covering an area of 4,497.8 hectares and land use parameters of settlement class covering an area of 4,258.55 hectares were identified as the most threatening class for tsunami disasters. The most threatened areas in the event of a tsunami disaster are Samang Raya covering an area of 283.88 hectares, Tegal Ratu covering an area of 220.86 hectares, and Mount Sugih covering an area of 164.20 hectares, because it is very close to the coast. This research has provided appropriate results for disaster mapping that can be used as estimates.Keywords: Hazard, Tsunami, Geospatial Information System

***Keywords** : hazard, geographic information system, tsunami*

PENDAHULUAN

Indonesia secara geografis dan geologis terletak di daerah yang rawan terhadap terjadinya bencana alam. Bencana alam adalah suatu peristiwa alam yang berdampak besar bagi manusia

maupun lingkungan alam (BPBD Kabupaten Bogor, 2022). Salah satunya adalah bencana tsunami, bencana ini merupakan bencana alam yang mengancam penduduk di daerah pesisir (Isdianto *et al.*, 2021). Tsunami disebabkan oleh tenaga yang dilepaskan oleh gempa bumi di dasar laut atau adanya aktivitas vulkanik gunung api di dasar laut, sehingga dapat menyebabkan korban jiwa dan kerugian harta benda (Isdianto *et al.*, 2021).

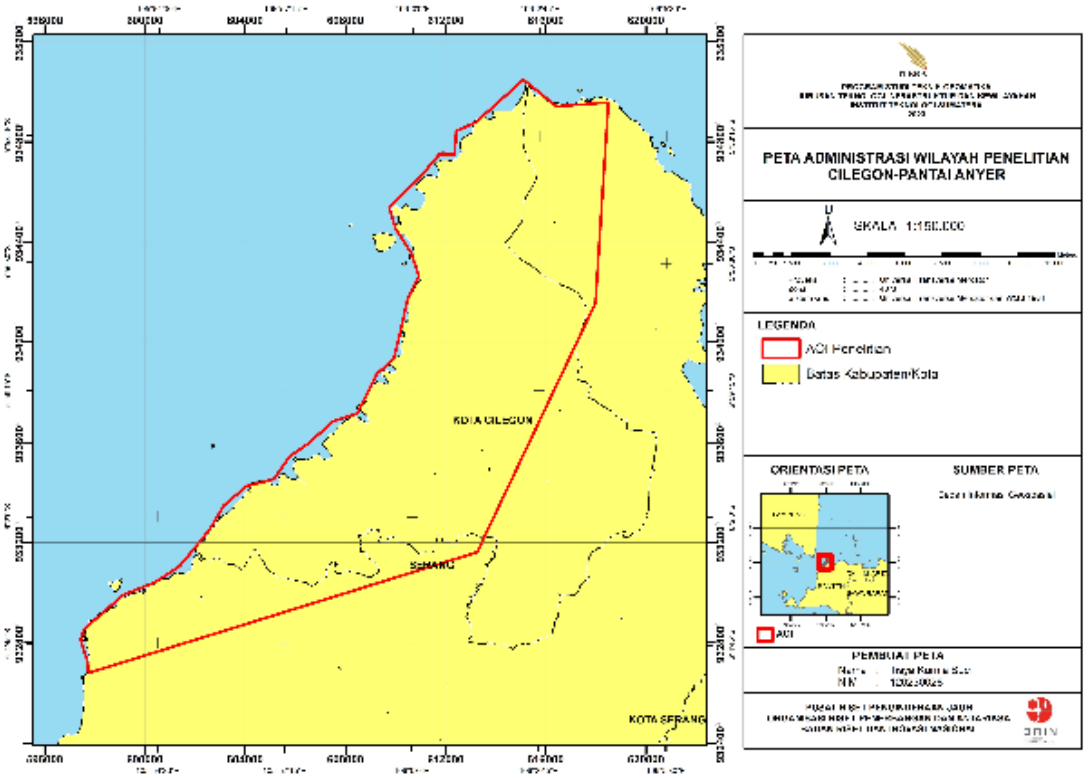
Berdasarkan data BMKG, sejak terjadi tsunami di Selat Sunda pada tahun 2018, BMKG telah memonitoring dan berhasil menentukan 28 aktivitas kegempaan di Gunung Anak Krakatau (Rahmat Triyono, 2019). Tsunami yang terjadi pada 22 Desember 2018, telah mengakibatkan korban jiwa sebanyak 222 orang, luka-luka 843 orang, dan 28 orang dikabarkan hilang, serta mengakibatkan kerugian sebanyak 556 rumah rusak, 9 hotel rusak berat, dan 60 warung hancur (Kementerian ESDM, 2018). Dampak bencana tsunami ini melanda pesisir di pantai barat Provinsi Banten, yaitu Kabupaten Pandeglang dan Kabupaten Serang (Nugroho, 2018).

Bersama dengan kekhawatiran masyarakat, informasi spasial sangat dibutuhkan sebagai prediksi sebagai persiapan masyarakat dalam menghadapi bencana tsunami yang kapan saja dapat terjadi. Ancaman bencana tsunami disajikan dengan parameter elevasi dan penggunaan lahan menggunakan metode *skoring dalam* pendekatan sistem informasi geospasial. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis daerah lokasi penelitian yang memiliki ancaman paling tinggi terhadap bencana tsunami. Penelitian yang dilakukan oleh Al Qossam *et al.* (2020) menghasilkan data wilayah dengan luas total terdampak menggunakan metode pembobotan dan *overlay* dengan parameter jarak dari garis pantai, jarak dari sungai, *slope,* elevasi, dan penggunaan lahan.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Cilegon-Pantai Anyer yang disajikan pada **Gambar 1** dibawah ini.



Sumber: Data Olahan (2023)

Gambar 118. Lokasi Penelitian.

Data Penelitian

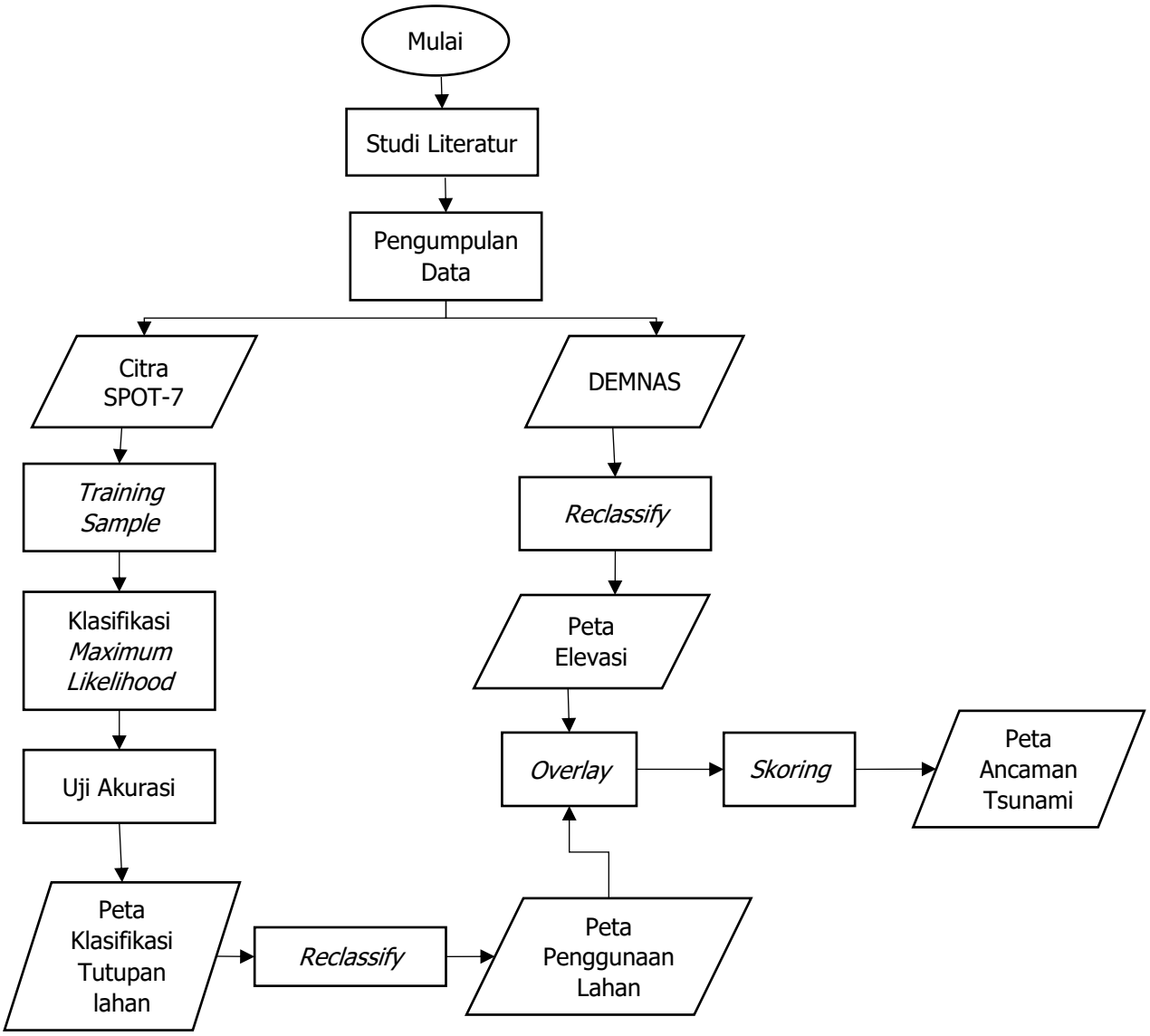
Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 1** sebagai berikut.

Tabel 1. Data penelitian.

No	Data	Sumber
1	Data *ShapeFile* Kabupaten Serang dan Kota Cilegon	Badan Informasi Geospasial (BIG)
2	DEMNAS Kabupaten Serang, Kota Cilegon, dan Kecamatan Lampung Selatan	BIG
3	Citra SPOT-7 Tahun 2022	BRIN

Metode Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan pada **Gambar 2**.



Sumber: Al Qossam et al (2020)

Gambar 19. Diagram alir penelitian.

Pengolahan Data

Elevasi/Ketinggian

Elevasi menjadi parameter yang sangat penting untuk ancaman bencana tsunami, karena wilayah yang paling rendah berpeluang terjadinya bencana. Kelas yang digunakan dalam pengolahan data elevasi disajikan pada **Tabel 2** sebagai berikut.

Tabel 23. Matriks parameter elevasi.

No.	Ketinggian	Ancaman	Kelas Ancaman
1.	<10	Sangat Tinggi	5
2.	10 – 25	Tinggi	4
3.	25 – 50	Sedang	3
4.	50 – 100	Rendah	2
5.	>100	Sangat Rendah	1

Sumber: Al Qossam et al. (2020)

Penggunaan Lahan

Parameter penggunaan lahan dihasilkan dari klasifikasi tutupan lahan kemudian di *reclassify* menjadi 5 kelas yang disajikan pada **Tabel 3** sebagai berikut.

Tabel 3. Matriks parameter penggunaan lahan.

No.	Penggunaan Lahan	Ancaman	Kelas Ancaman
1.	Permukiman	Sangat Tinggi	5
2.	Perkebunan/Ladang	Tinggi	4
3.	Sawah	Sedang	3
4.	Semak Belukar	Rendah	2
5.	Hutan	Sangat Rendah	1

Sumber: Al Qossam et al. (2020)

Ancaman Bencana Tsunami

Ancaman bencana tsunami diperoleh dari **Persamaan 1**. Pada kelas ini akan dihasilkan 25 kelas, kemudian dijadikan 5 kelas dengan menggunakan harmonisasi pada **Tabel 4** sebagai berikut.

$$Ancaman = skor\ elevasi\ x\ skor\ penggunaan\ lahan \quad \text{.....(1)}$$

Tabel 424. Matriks ancaman bencana Tsunami.

No.	Ancaman	Kelas Ancaman	Nilai yang Dikonversi ke Kelas Ancaman
1.	Sangat Tinggi	5	21 – 25
2.	Tinggi	4	16 – 20
3.	Sedang	3	11 – 15
4.	Rendah	2	6 – 10
5.	Sangat Rendah	1	1 – 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode *supervised classification* dengan algoritma *maximum likelihood* menjadikan 10 kelas tutupan lahan, yaitu permukiman, perkebunan/ladang, lahan terbuka, badan air, industri, jalan, awan, semak belukar, sawah, dan hutan. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan uji akurasi untuk mengetahui tingkat ketelitian. Kesalahan-kesalahan pada hasil klasifikasi terjadi dikarenakan beberapa area yang memiliki warna dan rona yang hampir sama dengan kelas lain dan beberapa tempat yang tertutup awan. Sawah yang memiliki warna coklat dapat didefinisikan sebagai jalan, padahal sawah dilihat dari pola permukaannya. Akurasi keseluruhan *(kappa)* sebesar 85% dan sesuai dengan standar hasil akurasi. Hasil akurasi yang baik, membuktikan bahwa interpretasi *training sample dan* algoritma yang digunakan baik.

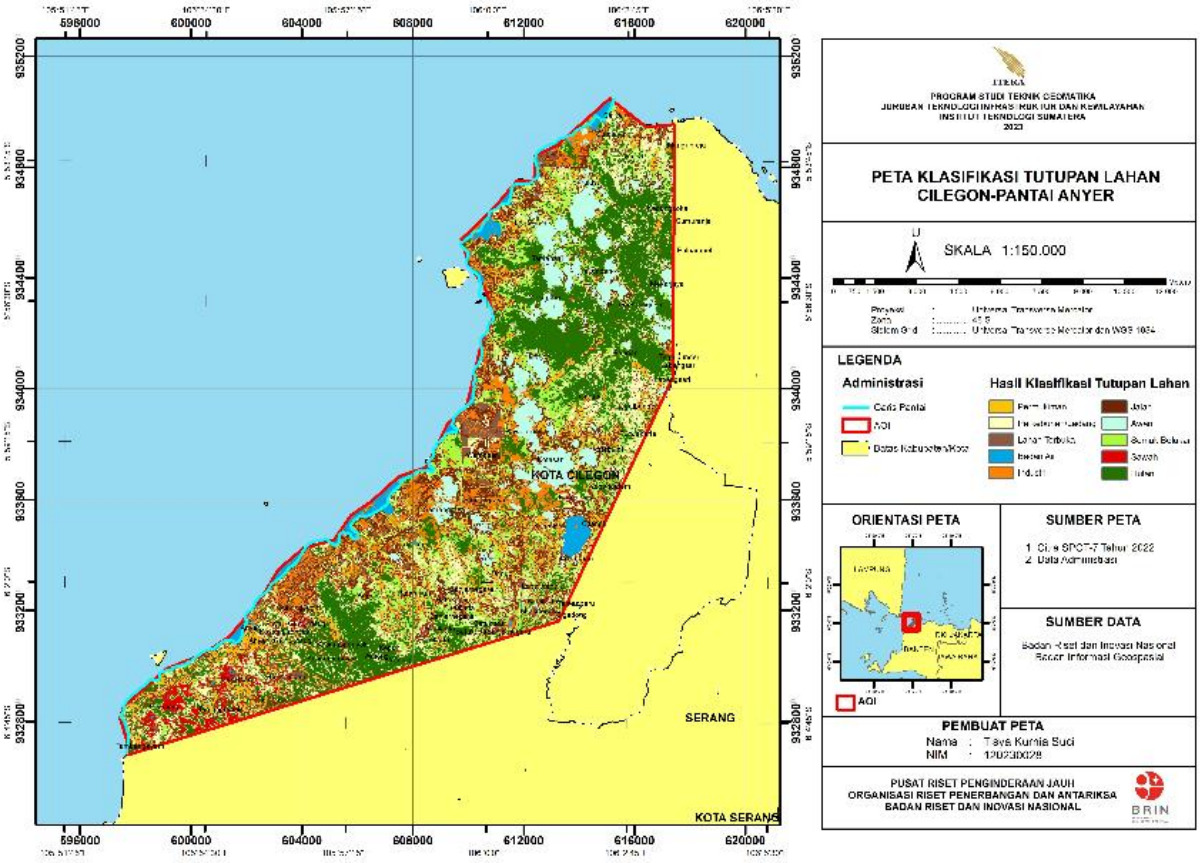
Tabel 5. Pehitungan matriks konfusi klasifikasi tutupan lahan.

No	Klasifikasi	PM	PL	LT	BA	BI	JL	AW	SB	SW	HT	Total	User Accuracy	Kappa
1	PM	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	8.00	75.00%	0.00
2	PL	0.00	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	100.00%	0.00
3	LT	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	100.00%	0.00
4	BA	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	100.00%	0.00
5	BI	1.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	83.33%	0.00
6	JL	1.00	4.00	1.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	50.00%	0.00
7	AW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	7.00	100.00%	0.00
8	SB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	0.00	0.00	14.00	100.00%	0.00
9	SW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	4.00	50.00%	0.00

No	Klasifikasi	PM	PL	LT	BA	BI	JL	AW	SB	SW	HT	Total	User Accuracy	Kappa
10	HT	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	28.00	30.00	93.33%	0.00
Total		8.00	17.00	5.00	2.00	6.00	8.00	7.00	15.00	4.00	28.00	100.00	0.00	0.00
Producer Accuracy		75.00 %	76.47 %	80.00 %	100.00 %	83.33 %	75.00 %	100.0 0%	93.33 %	50.00 %	100.0 0%	0.00	87%	0.00
Kappa		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85%

Keterangan:

Permukiman	:	PM	Jalan	:	JL
Perkebunan/Ladang	:	PL	Awan	:	AW
Lahan Terbuka	:	LT	Semak Belukar	:	SB
Badan Air	:	BA	Sawah	:	SW
Industri	:	BI	Hutan	:	HT



Sumber: Data Olahan (2023)

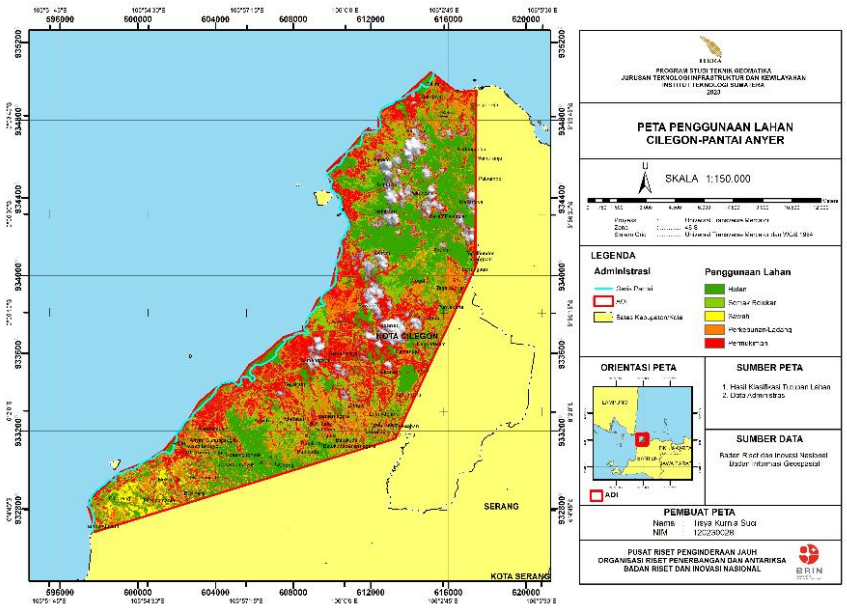
Gambar 320. Peta Klasifikasi Tutupan Lahan

Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan diklasifikasikan menjadi 5 kelas yang berpeluang dengan bencana, yaitu permukiman, perkebunan/ladang, sawah, semak belukar, dan hutan. Kelas permukiman dianggap yang paling tinggi atau berbahaya karena bersangkutan dengan tempat tinggal masyarakat setempat, terutama masyarakat yang tinggal berdekatan dengan pesisir. Pada Table 6, luas permukiman yang paling rentan terhadap bencana tsunami seluas 4.258,55 hektar.

Tabel 6. Parameter Penggunaan Lahan

No	Penggunaan Lahan	Ancaman	Kelas Ancaman	Luas	
				Ha	Persentase (%)
1	Permukiman	Sangat Tinggi	5	4.258,55	27,60
2	Perkebunan/Ladang	Tinggi	4	2.710,78	17,57
3	Sawah	Sedang	3	978,06	6,34
4	Semak Belukar	Rendah	2	2.737,14	17,74
5	Hutan	Sangat Rendah	1	4.743,34	30,75
		Total		15.427.87	100



Sumber: Data olahan (2023)

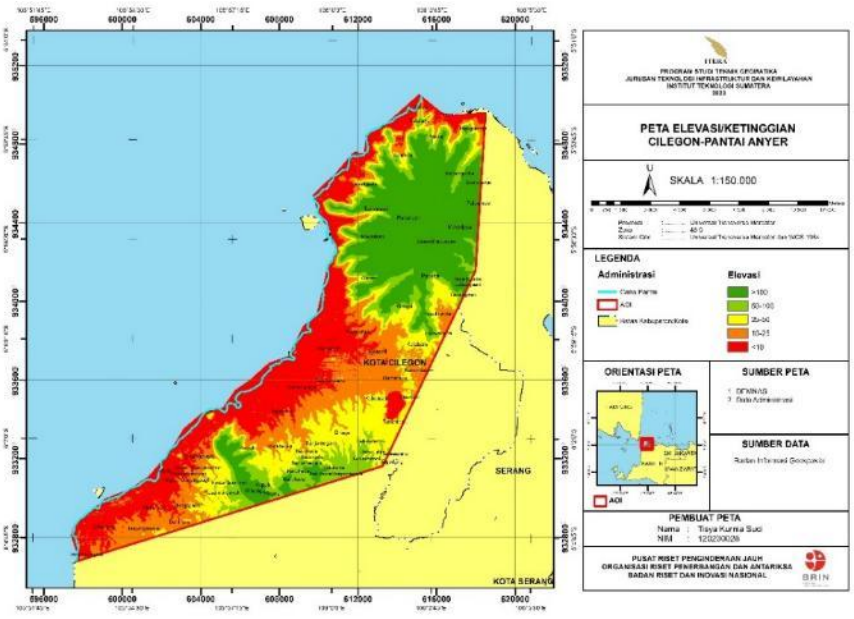
Gambar 4. Peta penggunaan lahan.

Elevasi

Parameter elevasi digunakan sebagai acuan tinggi – rendahnya suatu wilayah diatas permukaan laut. Berdasarkan **Tabel 7**, elevasi dibawah 10 meter memiliki luas sebesar 4.497,8 hektar. Dengan kondisi lahan yang memiliki elevasi sangat rendah, maka peluang tejadinya bencana tsunami semakin besar.

Tabel 7. Parameter elevasi.

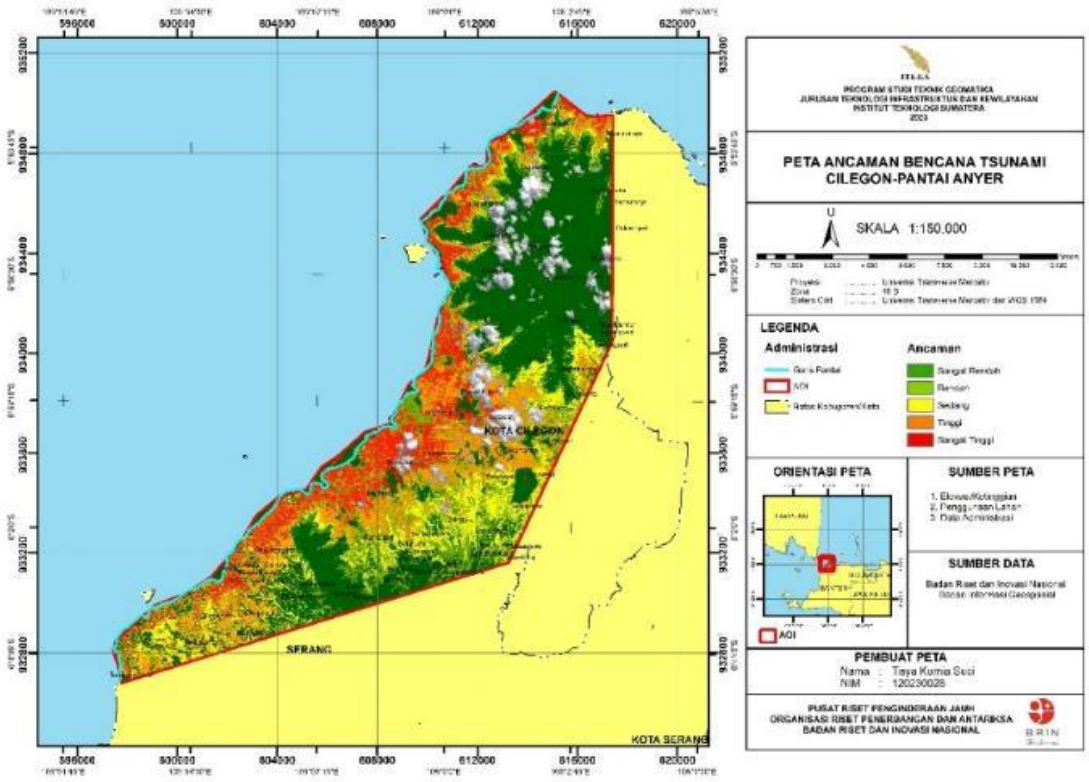
No	Elevasi	Ancaman	Kelas Ancaman	Luas	
				Ha	Persentase (%)
1	<10	Sangat Tinggi	5	4.497,8	25,53
2	10 – 25	Tinggi	4	3.487,72	19,79
3	25 – 50	Sedang	3	3.076,33	17,46
4	50 – 100	Rendah	2	2.185,94	12,41
5	>100	Sangat Rendah	1	4.372,99	24,82
		Total		17.620,78	100



Sumber: Data olahan (2023)

Gambar 5. Peta elevasi.

Ancaman Bencana Tsunami



Sumber: Data Olahan (2023)

Gambar 5. Peta ancaman bencana Tsunami.

Pada parameter ancaman ditetapkan 5 kelas dengan kelas sangat rendah pada nilai <5, kelas rendah dengan nilai 5 – 10, kelas sedang pada nilai 10 – 15, kelas tinggi pada nilai 15 – 20, dan kelas sangat tinggi dengan nilai 20 – 25. Pada tabel dibawah ini disajikan luas total terdampak dengan ancaman paling tinggi di kelas 5 yaitu wilayah Samang Raya seluas 283,88 hektar, Tegal Ratu seluas 220,86 hektar, dan Gunung Sugih seluas 164,20 hektar. Ketiga wilayah ini paling terancam karena sangat berdekatan dengan pesisir pantai.

Tabel 8. Hasil ancaman dengan luas wilayah terancam sangat tinggi.

No	Kecamatan	Luas Total Terancam Sangat Tinggi (Ha)	Luas Administrasi Kecamatan (Ha)
1	Anyar	75,28	167,32
2	Banjarnegara	0	357,9
3	Batukuda	0	425,82
4	Bunihara	2,79	152,62
5	Cikoneng	66,8	628,26
6	Citangkil	0,01	77,82
7	Dringo	0	278,6
8	Gerem	135,99	1167,35
9	Grogol	0	369,11
10	Grogol Indah	5,05	248,13
11	Gunung Sugih	164,20	689,24
12	Kebon Dalem	0	93,3
13	Kebon Sari	0,02	264,58
14	Kedung Soka	0,02	609,01
15	Kepuh	98,04	845,22
16	Kosambironyok	1,86	444,96
17	Kotabumi	0	330,2
18	Kotasari	11,97	323,23
19	Labang Sari	0	8,25
20	Lebak Denok	0	269,62

No	Kecamatan	Luas Total Terancam Sangat Tinggi (Ha)	Luas Administrasi Kecamatan (Ha)
21	Lebak Gede	91,48	699,08
22	Mangun Reja	2,01	169,28
23	Mekar Jaya	0	576,98
24	Mekar Sari	66,15	978,32
25	Pabean	0	445,13
26	Pakuncen	0	479,23
27	Pulo Ampel	0	0,69
28	Purwakarta	0	60,66
29	Ramanuju	0,006	226,4
30	Randakari	34,84	335,64
31	Rawa Arum	118,22	553,31
32	Salira	32,97	493,51
33	Samang Raya	283,88	926,59
34	Sigendong	0	5,57
35	Sumuranja	0	19,345
36	Suralaya	63,4	726,59
37	Taman Baru	1,41	196,09
38	Taman Sari	48,42	322,58
39	Tambang Ayam	7,7	31,84
40	Tanjung Manis	4,86	147,46
41	Tegal Bunder	0	323,19
42	Tegal Ratu	220,86	672,02
43	Warnasari	93,11	582,85
42	Winong	0	138,57
	Total	1.631,346	16.861,47

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter elevasi yang memiliki ketinggian paling rendah pada lokasi penelitian seluas 4.497,80 hektar dan parameter penggunaan lahan pada kelas permukiman yang menyatakan paling rentan untuk bencana tsunami seluas 4.258,55 hektar. Wilayah yang terancam bencana tsunami menggunakan *skoring* dengan 5 kelas, yaitu 1 (sangat rendah), 2 (rendah), 3 (sedang), 4 (tinggi), dan 5 (sangat tinggi), dengan ancaman sangat tinggi yaitu di Samang Raya seluas 283,88 hektar, Tegal Ratu seluas 220,86 hektar, dan Gunung Sugih seluas 164,20 hektar. Ketiga wilayah ini paling terancam karena sangat berdekatan dengan pesisir pantai. Penelitian ini memiliki implikasi penting dalam persiapan mitigasi bencana tsunami yang sewaktu-waktu akan terjadi.

Penelitian ini sudah memberikan hasil yang sesuai untuk pemetaan kebencanaan yang dapat dijadikan estimasi. Namun begitu, pengkajian ancaman/bencana perlu didetailkan dan memperbanyak parameter yang sesuai dengan buku panduan pengkajian bencana oleh Badan Naisonal Penanggulangan Bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional dan Badan Informasi Geospasial sebagai lembaga dalam pengumpulan data. Terima kasih kepada Bapak Drs. Jansen Sitorus, M.Si dan Bapak Gatot Nugroho, S.T. dari PRPJ OR-PA BRIN yang telah membantu dalam penyelesaian pengolahan data. Kami berterima kasih juga kepada Bapak Muhammad Ario Eko R, S.Si., M.T. dari ITERA atas masukan yang berharga dalam pemilihan masalah dan pengembangan konsep.

DAFTAR PUSTAKA

Al Qossam, I., Laila Nugraha, A., & Sabri, L. (2020). *PEMETAAN SPASIAL TINGKAT RISIKO BENCANA TSUNAMI di WILAYAH KABUPATEN SERANG MENGGUNAKAN CITRA SPOT-6* (Vol. 9, Issue 2).

BPBD Kabupaten Bogor. (25 Agustus 2022). *DAMPAK BENCANA ALAM, NEGATIF MAUPUN POSITIF*. Badan Penanggulangan Bencana Daerah Pemerintah Kabupaten Bogor.

https://bpbd.bogorkab.go.id/dampak-bencana-alam-negatif-maupun-positif/#:~:text=Bencana%20alam%20dapat%20mengakibatkan%20dampak,mempunyai%20dampak%20positif%20bagi%20kehidupan.

Isdianto, A., Kurniasari, D., Subagiyo, A., Haykal, M. F., & Supriyadi. (2021). PEMETAAN KERENTANAN TSUNAMI UNTUK MENDUKUNG KETAHANAN WILAYAH PESISIR . *Jurnal Permukiman*, *16*(2), 90–100.

Kementerian ESDM. (2018). TANGGAPAN KEJADIAN TSUNAMI di SELAT SUNDA, TANGGAL 22 DESEMBER 2018. *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*. https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/tanggapan-kejadian-tsunami-di-selat-sunda-tanggal-22-desember-2018

Nugroho, S. P. (24 Desember 2018). *TIM SAR GABUNGAN TERUS MENEMUKAN KORBAN TSUNAMI SELAT SUNDA : 373 MENINGGAL DUNIA, 1.459 LUKA-LUKA dan 128 HILANG*. Badan Penanggulangan Bencana Daerah . https://bnpb.go.id/berita/tim-sar-gabungan-terus-menemukan-korban-tsunami-selat-sunda-373-meninggal-dunia-1459-luka-luka-dan-128-hilang

Triyono, R. (10 Januari 2019). *KAMIS SORE 10 JANUARI 2019 TERJADI AKTIVITAS GEMPA BERUNTUN di SELAT SUNDA, TIDAK BERPOTENSI TSUNAMI*. BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, dan GEOFISIKA. https://www.bmkg.go.id/berita/?p=kamis-sore-10-januari-2019-terjadi-aktivitas-gempa-beruntun-di-selat-sunda-tidak-berpotensi-tsunami&lang=ID&tag=gempa

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS PENGARUH KERAPATAN VEGETASI TERHADAP SUHU PERMUKAAN TANAH MENGGUNAKAN LANDSAT 7 DAN 8

Studi Kasus di Kota Banjarbaru

(Analysis the Effect of Vegetarian Density on Land Surface Temperature Using Landsat 7 & 8 in Banjarbaru City)

Firman Ramadhan Putra
PT. Acset Indonusa

Perumahan Bumi Asri M/30, Kota Kediri, Jawa Timur
E-mail: firmanramadhanputra@gmail.com

ABSTRAK

Kota Banjarbaru mengalami peningkatan indeks pembangunan manusia setiap tahunnya, dimana kegiatan pembangunan dapat mempengaruhi perubahan tutupan vegetasi dan suhu permukaan di kota tersebut. Pada studi ini dilakukan analisis pengaruh kerapatan vegetasi yang berkurang akibat pembangunan yang dilakukan terhadap suhu permukaan tanah. Analisis perubahan kerapatan vegetasi dan suhu permukaan tanah dilakukan dengan menggunakan pemrosesan citra satelit yang tersedia dengan tahun yang berbeda. Data yang digunakan adalah citra satelit Landsat 7 yang direkam pada tahun 2003 dan citra satelit Landsat 8 pada tahun 2013 dan 2021. Kerapatan indeks vegetasi dihitung menggunakan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) menggunakan *Band Near Infrared* dan *Red* pada citra. Sedangkan, perhitungan suhu permukaan tanah (LST) menggunakan Band Thermal pada citra. Setelah dilakukan analisis, ditunjukkan bahwa kerapatan vegetasi berkurang dan suhu permukaan tanah meningkat dari tahun 2003 hingga 2021 pada Kota Banjarbaru. Korelasi antara nilai NDVI dan LST adalah semakin besar nilai NDVI maka nilai LST akan semakin kecil.

Kata kunci: landsat, indeks vegetasi, NDVI, suhu permukaan tanah

ABSTRACT

Every year, the city of Banjarbaru experiences an increase in the human development index, that development activities can affect changes in vegetation cover and surface temperature in the city. In this study, the authors investigate the effect of reduced vegetation density due to development on soil surface temperature. Changes in vegetation density and soil surface temperature were examined using satellite image processing from various years. Landsat 7 satellite images from 2003 were used, as were Landsat 8 satellite images from 2013 and 2021. The density of the vegetation index is calculated on the image using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) method and the Near Infrared and Red Bands. Meanwhile, the ground surface temperature (LST) is calculated using Thermal Bands on the image. The analysis shows that vegetation density decreases and soil surface temperature increases in Banjarbaru City from 2003 to 2021. The relationship between NDVI and LST values is that the higher the NDVI value, the lower the LST value.

***Keywords**: landsat, vegetation index, NDVI, land surface temperature*

PENDAHULUAN

Kota Banjarbaru merupakan kota sekaligus ibukota provinsi dari Kalimantan Selatan. Status ibukota provinsi ditetapkan mulai tahun 2022 menggantikan kota Banjarmasin. Kota Banjarbaru setiap tahunnya mengalami peningkatan indeks pembangunan manusia (BPS Banjarbaru, 2022). Dampak negatif dari perkembangan kawasan adalah menurunnya kualitas lingkungan yang dapat memicu terjadinya peningkatan suhu permukaan bumi (Zarzoso & Maruotti dalam Dede et al, 2019). Vegetasi sebagai salah satu penyusun lahan memiliki pengaruh yang penting dalam pengendalian fluktuasi atau perubahan unsur-unsur iklim yang ada disekitarnya misalnya suhu, kelembaban, angin dan curah hujan (Indriyanto dalam Dede et al, 2019). Oleh karena itu, suhu pada permukaan tanah terbuka akan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu pada permukaan tanah yang tertutup vegetasi.



Sumber: BPS Banjarbaru (2022)
Gambar 121. Grafik indeks pembangunan manusia Banjarbaru

Dengan adanya perkembangan teknologi yang sangat pesat, tingkat kerapatan vegetasi dapat divisualisasikan dan dianalisis dengan menggunakan citra penginderaan jauh. Vegetasi memiliki ciri khas spektral yang dapat divisualisasikan perbedaannya dengan baik antara vegetasi dengan penutup lahan lainnya. Penginderaan jauh merupakan interpretasi dari berbagai spektral yang berinteraksi dengan objek di permukaan bumi. Dari interaksi spektral tersebut dapat menghasilkan berbagai keluaran diantaranya ketinggian permukaan, suhu, dan berbagai aspek tutupan lahan (Melesse dalam Dede et al 2019).

Parameter yang digunakan untuk identifikasi kerapatan vegetasi tutupan lahan dan suhu permukaan dapat diperoleh dari data citra Landsat 7 dan Landsat 8. Kerapatan vegetasi dapat diperoleh dengan memanfaatkan indeks vegetasi NDVI (*normalized difference vegetation index*). Visualisasi dari NDVI akan tampak berwarna merah pada tutupan lahan vegetasi. Suhu permukaan dapat dianalisis menggunakan data radiasi sinar pada gelombang termal. Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah melakukan analisis pengaruh kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan bumi menggunakan citra Landsat 7 dan Landsat 8.

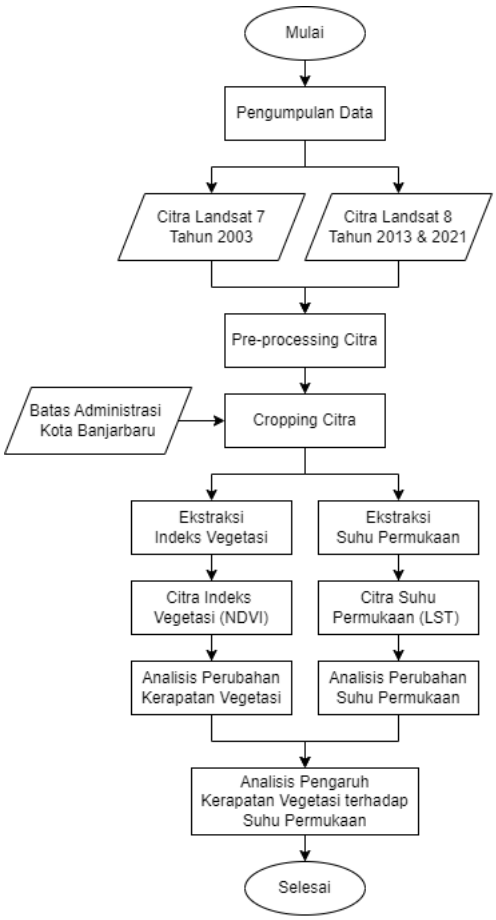
METODE

Data dan Lokasi

Lokasi kajian mencakup wilayah Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Data yang digunakan berupa citra satelit Landsat 7 dan Landsat 8 serta batas administrasi Kota Banjarbaru. Citra satelit Landsat 7 dan 8 yang digunakan direkam pada rentang bulan Maret hingga September tahun 2003, 2013, dan 2021. Data batas administrasi Kota Banjarbaru diperoleh dalam bentuk shapefile yang diunduh dari Geoportal Provinsi Kalimantan Selatan di situs: https://geoservice.kalselprov.go.id/ dan digunakan untuk clip area yang akan dikaji. Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data adalah platform Google Earth Engine yang dapat diakses pada https://code.earthengine.google.com/ berbasis *cloud computing*.

Metodologi

Suhu permukaan tanah dapat ditentukan berdasarkan nilai radiance spectral dari saluran termal inframerah pada band 10 citra Landsat 8. Data yang digunakan untuk mendapatkan suhu permukaan tanah adalah nilai dari suhu kecerahan yang diperoleh dari nilai TOA *radiance band* 10 dan nilai emisivitas yang didapatkan dari nilai proporsi vegetasi. Tahapan prosedur analisis data citra terdiri dari pengolahan awal, klasifikasi indeks vegetasi (NDVI), suhu kecerahan, nilai emisivitas, dan suhu permukaan tanah. Berikut merupakan penjelasan masing-masing tahapan secara lebih detail.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pengolahan Awal Citra Landsat (*Pre-Processing*)

Data yang digunakan meliputi *scene* citra satelit Landsat 7 pada rentang bulan Maret hingga September tahun 2003. Sedangkan *scene* citra satelit Landsat 8 yang digunakan diakuisisi pada rentang bulan Maret hingga September tahun 2013 dan 2021. Data citra Landsat 7 dan 8 yang digunakan adalah *Tier 1 Surface Reflectance*, citra ini adalah reflektansi permukaan yang dikoreksi secara atmosfer dari sensor Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS. *Pre-processing* dilakukan untuk menghilangkan tutupan awan dan bayangan awan yang ada pada citra satelit Landsat 7 dan Landsat 8. *Pre-processing* juga dilakukan untuk memotong citra sesuai dengan batas administrasi Kota Banjarbaru.

Kerapatan Vegetasi (NDVI)

Penentuan suhu permukaan daratan ini dengan melihat adanya perubahan tutupan vegetasi yang dilihat dari kerapatan vegetasi menggunakan nilai indeks vegetasi (Ramdhan *et al.*, 2021). Semakin tinggi nilai NDVI yang berarti tutupan vegetasi yang rapat akan menghasilkan *Land Surface Temperature* (LST) dengan suhu yang rendah, sebaliknya semakin kecil nilai NDVI maka semakin tinggi suhu yang dihasilkan. Nilai NDVI dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$NDVI = \left[\frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + \rho RED} \right] \quad \text{.....(1)}$$

dimana:
NDVI = nilai NDVI
ρNIR = Reflektansi band inframerah dekat
ρRED = Reflektansi band merah

Pada **Tabel 1** disajikan pembagian kelas klasifikasi nilai NDVI sesuai Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.12/Menhut-II/2012 Tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P. 32/Menhut-II/2009 Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTk RHL-DAS).

Tabel 1. Klasifikasi nilai NDVI.

Kelas	NDVI	Keterangan
1	-1 s/d -0,03	Lahan tidak bervegetasi
2	-0,03 s/d 0,15	Kehijauan sangat rendah
3	0,15 s/d 0,25	Kehijauan rendah
4	0,26 s/d 0,35	Kehijauan sedang
5	0,35 s/d 1,00	Kehijauan tinggi

Sumber: Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia (2012)

Suhu Kecerahan (*Temperature Brightness*)

Suhu kecerahan dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$TB = \frac{K2}{\ln [K1/L\lambda + 1]} \quad \text{.....(2)}$$

dimana:
TB = *Brightness temperature* (Kelvin)
K1 = Konstanta kalibrasi band termal
K2 = Konstanta kalibrasi band termal
$L\lambda$ = Radiasi spektral ($W/(m^2.sr..\mu m)$)

Nilai Emisivitas

Emisivitas permukaan, didefinisikan sebagai kemampuan benda untuk memancarkan radiasi dibandingkan dengan benda hitam pada suhu yang sama. Nilai emisivitas bergantung pada jenis, intensitas, dan tahap pertumbuhan vegetasi (Beg, 2018), Nilai emisivitas dapat dihitung menggunakan nilai NDVI dari persamaan berikut:

$$e = 0.004\ PV + 0.986 \quad \text{.....(3)}$$

PV merupakan proporsi vegetasi yang didapatkan dari penghitungan sebagai berikut:

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI\ min}{NDVI\ max - NDVI\ min}\right)^2 \quad \text{.....(4)}$$

dimana:
NDVI = Normalisasi indeks perbedaan vegetasi
$NDVI_{min}$ = Nilai NDVI minimum
$NDVI_{maks}$ = Nilai NDVI maksimum

Suhu Permukaan Tanah (*Land Surface Temperature*)

Suhu permukaan tanah atau *Land Surface Temperature* (LST) merupakan keadaan yang dikendalikan oleh keseimbangan energi permukaan, atmosfer, sifat termal dari permukaan dan media bawah permukaan tanah (Utomo *et al.*, 2017). Penelitian-penelitian terdahulu menyatakan bahwa LST meningkat pada area yang memiliki lebih banyak aktivitas antropogenik dan juga di area terbangun. Sedangkan temperatur yang cenderung lebih rendah terdapat pada area tutupan vegetasi (Ramdhan *et al.*, 2021). Nilai LST dihitung dengan persamaan berikut:

$$LST = \left(\frac{BT}{1} + W\left(\frac{BT}{p}\right) . \ln(e)\right) \quad \text{.....(5)}$$

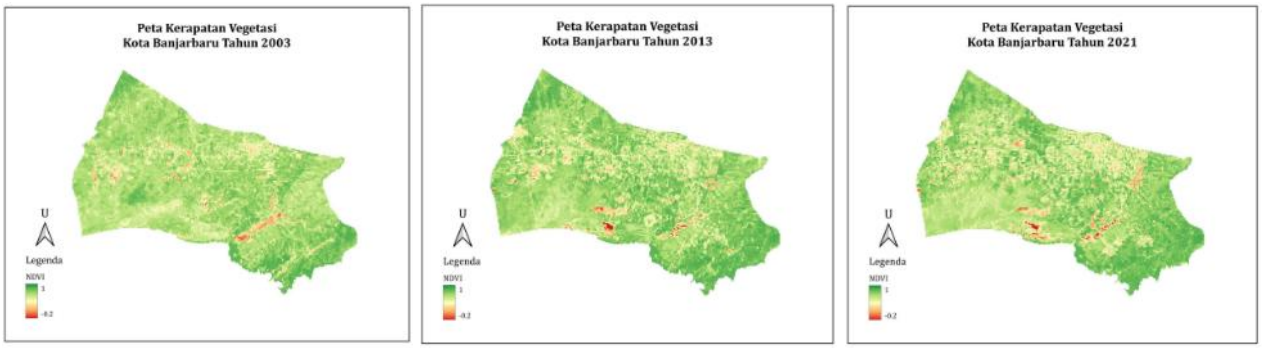
dimana:
LST = Temperatur permukaan tanah (Celcius)
BT = Suhu kecerahan
W = *wavelength of emitted radiance* (11.5 μm)
P = h x c/s (1.438 x -2 m K)
h = konstanta Planck's (6.626 x – 34 Js)
s = konstanta Boltzmann (1.38 x – 23 J/K)
c = Velocity of light (2.998 x– 8 m/s)
p = 14380
e = Nilai emisivitas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan Vegetasi (NDVI)

NDVI peka terhadap senyawa fotosintesis aktif. Oleh karena itu, NDVI sangat sering digunakan untuk mengukur produktivitas vegetasi di area tertentu (Tucker, 1979). NDVI merupakan salah satu dari banyak rasio spektral, secara sederhana NDVI menggunakan reflektansi dari dua band spektrum elektromagnetik, sinar yang termasuk adalah sinar merah dan inframerah-dekat, kedua sinar tersebut terkait dengan biomassa hijau tanaman (Nixon et al, 1985). Dikarenakan hal tersebut merupakan rasio energi NIR yang tersebar ke energi sinar tampak yang diserap dalam panjang gelombang merah (Verhulst & Govaerts 2010).

Keberadaan vegetasi pada citra NDVI ditunjukan dengan tingkat kehijauan yang memiliki korelasi terhadap kerapatan vegetasi. Citra hasil NDVI memiliki rentang nilai dari -1 hingga 1. Vegetasi memiliki nilai 0,1 hingga 0,7, jika terdapat nilai yang lebih dari rentang tersebut maka akan menggambarkan nilai vegetasi yang lebih sehat (Lillesand & Kiefer, 1990). Objek non-vegetasi lain memiliki nilai kurang dari 0. Berikut merupakan pengolahan NDVI yang berada di daerah Kota Banjarbaru pada tahun 2003, 2013, dan 2021.



Gambar 3. Kerapatan vegetasi Kota Banjarbaru tahun 2003, 2013, dan 2O21.

Pada tahun 2003 menggunakan citra Landsat 7 memiliki rentang nilai pada -0,1 hingga 0,8. Pada tahun 2003 memiliki nilai mendekati 1 lebih banyak dibandingkan dengan nilai yang berada di bawah 0. Rentang nilai pada pengolahan NDVI tahun 2003 memiliki rentang 0,9. Citra hasil pengolahan ini memiliki warna yang mayoritas berwarna hijau.

Pada tahun 2013 menggunakan citra Landsat 8 memiliki rentang nilai pada -0,5 hingga 0,9. Rentang nilai NDVI pada pengolahan tahun 2013 memiliki nilai 1,4. Hal ini berarti nilai pada tahun 2013 lebih bervariasi dibandingkan pada tahun sebelumnya yaitu tahun 2003. Hal ini dapat dilihat pada warna yang muncul dari hasil pengolahan NDVI.

Pada tahun 2021 menggunakan citra Landsat 8 memiliki rentang nilai pada -0,6 hingga 0,9. Rentang nilai pada pengolahan tahun 2021 ini memiliki nilai 1,5. Rentang nilai yang dihasilkan lebih besar dari kedua tahun sebelumnya. Hal ini dapat dilihat pada warna yang muncul dari hasil pengolahan NDVI.

Dari ketiga hasil tersebut dapat diketahui bahwa setiap perubahan tahun terjadi kenaikan rentang nilai NDVI yang menandakan banyaknya terjadi perubahan lahan khususnya pada vegetasi. Nilai rata-rata NDVI dari hasil pengolahan disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai rata-rata NDVI pada tahun yang berbeda.

No	Tahun	Rata-rata NDVI
1	2003	0,6449
2	2013	0,667211
3	2021	0,648186

Dari ketiga hasil pengolahan NDVI pada rentang waktu yang berbeda yaitu 2003, 2013, dan 2021 memiliki nilai rata-rata NDVI yang relatif sama yaitu pada angka 0,6. Walaupun pada tahun 2013 mengalami kenaikan NDVI yang berarti semakin banyak vegetasi yang sehat dari tahun sebelumnya. Begitupun pada tahun 2021. Masing-masing nilai NDVI diklasifikasikan pada kelas yang sudah ditentukan. Setiap kelas memiliki nilai luasan yang berbeda dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

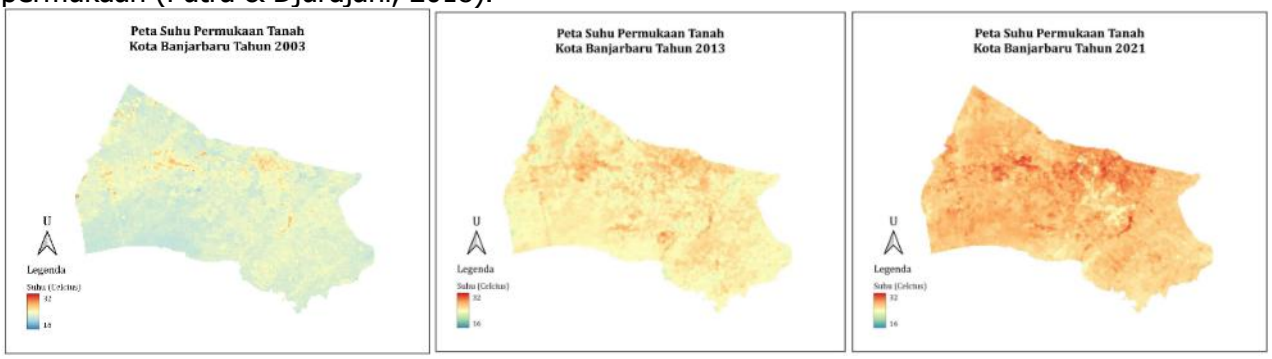
Tabel 3. Perbandingan kerapatan vegetasi Kota Banjarbaru tahun 2003, 2013, dan 2021.

No	Kerapatan Vegetasi	Luas (ha)		
		2003	2013	2021
1	Tidak Bervegetasi	26,820	80,461	104,301
2	Sangat Rendah	243,369	181,782	270,190
3	Rendah	318,864	338,730	416,211
4	Sedang	547,333	692,361	1068,839
5	Tinggi	30378,466	30221,518	29650,345

Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa dari setiap pertambahan tahun juga terdapat perubahan "tidak bervegetasi" yang semakin naik. Pada kerapatan vegetasi "sangat rendah" juga mengalami kenaikan walaupun pada tahun 2013 sempat mengalami penurunan. Pada tingkat kerapatan "rendah" juga mengalami kenaikan pada setiap tahunnya. Dari ketiga tingkat kerapatan tersebut secara umum dapat dianalisis bahwa penurunan luasan tingkat vegetasi terjadi secara linear dengan bertambahnya waktu. Untuk tingkat kerapatan "sedang" memiliki nilai yang semakin tinggi pada setiap tahunnya. Pada tingkat kerapatan "tinggi" luasan mengalami penurunan. Dengan hal ini maka seperti analisis sebelumnya yaitu luasan dengan nilai NDVI tinggi mengalami penurunan sehingga terjadi banyak perubahan lahan vegetasi menjadi tutupan lahan lain.

Suhu Permukaan Tanah (LST)

Suhu permukaan tanah diekstraksi dari *band thermal* Landsat 7 dan Landsat 8. *Band thermal* yang digunakan yaitu *band* 6 pada Landsat 7 dan *band* 10 pada Landsat 8. Perlu dilakukan pembuatan citra emisivitas dalam proses ekstraksi suhu permukaan, yang digunakan sebagai parameter untuk mengoperasikan persamaan ekstraksi suhu permukaan. Nilai emisivitas didapatkan dari nilai indeks vegetasi NDVI dalam hal ini adalah nilai radian spektral citra yang dikonversi menjadi suhu kecerahan. Suhu kecerahan kemudian dikonversi menjadi suhu permukaan (Putra & Djurdjani, 2018).



Gambar 4. Suhu permukaan tanah Kota Banjarbaru tahun 2003, 2013, dan 2021

Berdasarkan **Tabel 4** luasan wilayah dengan suhu dibawah 22^{0}C mengalami penurunan dari tahun 2003 ke 2013 sebesar 4184,039 ha dan terjadi penurunan lagi dari tahun 2013 ke 2021 sebesar 60,594 ha. Untuk luasan wilayah dengan suhu di antara 22^{0}C - 27^{0}C dari tahun 2003 ke 2013 mengalami penambahan sebesar 3395,09 ha tetapi mengalami penurunan dari tahun 2013 ke 2021 sebesar 12749,579 ha.

Tabel 4. Perbandingan suhu permukaan tanah Kota Banjarbaru tahun 2003, 2013, dan 2021

No	Suhu Permukaan Tanah (^{0}C)	Luas (ha)		
		2003	2013	2021
1	< 22	4254,566	70,527	9,933
2	22-27	27152,245	30547,335	17797,756
3	> 27	72,414	896,990	13702,196

Sementara untuk luasan wilayah dengan suhu diatas 27^{0}C mengalami dari 2003 ke 2013 mengalami penambahan sebesar 824,576 ha dan terjadi penambahan lagi dari 2013 ke 2021 sebesar 12805,206 ha.

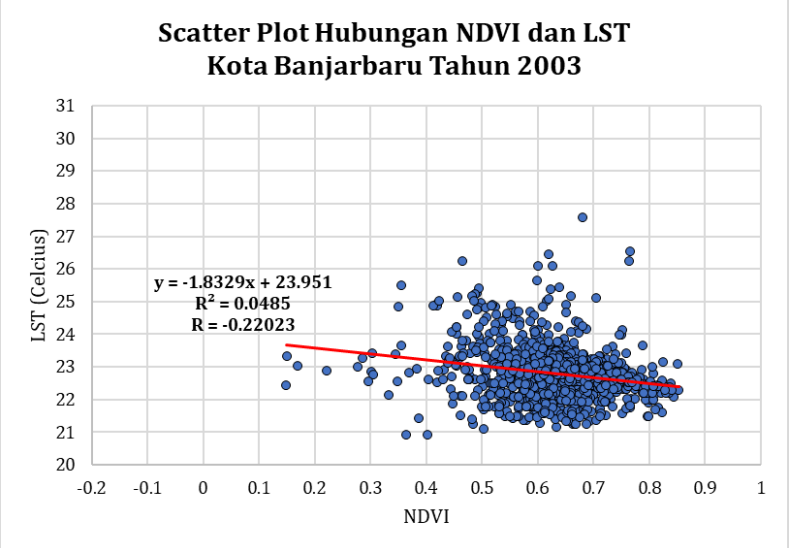
Tabel 5. Nilai rata-rata LST Kota Banjarbaru tahun 2003, 2013, dan 2021

No	Tahun	Rata-rata LST (^{0}C)
1	2003	22,786
2	2013	24,819
3	2021	26,896

Jika ditinjau dari peta suhu permukaan tanah tahun 2003, 2013, dan 2021 terjadi peningkatan LST di seluruh permukaan Kota Banjarbaru. Pada tahun 2003 suhu LST rata-rata adalah 22,786^{0}C; kemudian meningkat pada 2013 menjadi 24,819^{0}C; dan terjadi peningkatan lagi pada tahun 2021 menjadi 26,896^{0}C. Peningkatan suhu ditunjukkan dari luasan area dengan suhu rendah yang semakin berkurang dari tahun 2003 hingga 2021 dan bertambahnya luasan area dengan suhu yang tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan dari hasil pengamatan bahwa terjadi peningkatan LST pada Kota Banjarbaru dari tahun 2003 hingga 2021.

Hubungan Kerapatan Vegetasi terhadap Suhu Permukaan Tanah

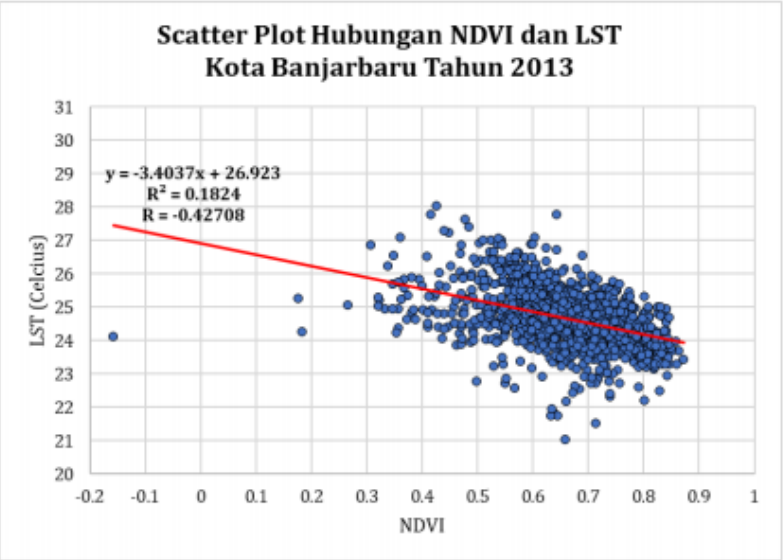
Untuk mengetahui hubungan antara kerapatan vegetasi dan suhu permukaan tanah dilakukan uji korelasi spasial menggunakan data NDVI dan LST pada untuk tahun 2003, 2013, dan tahun 2021. Hasil uji korelasi spasial NDVI dengan LST dapat dilihat pada **Gambar 5**, **6**, dan **7**.



Gambar 5. *Scatter plot* NDVI dan LST Kota Banjarbaru tahun 2003

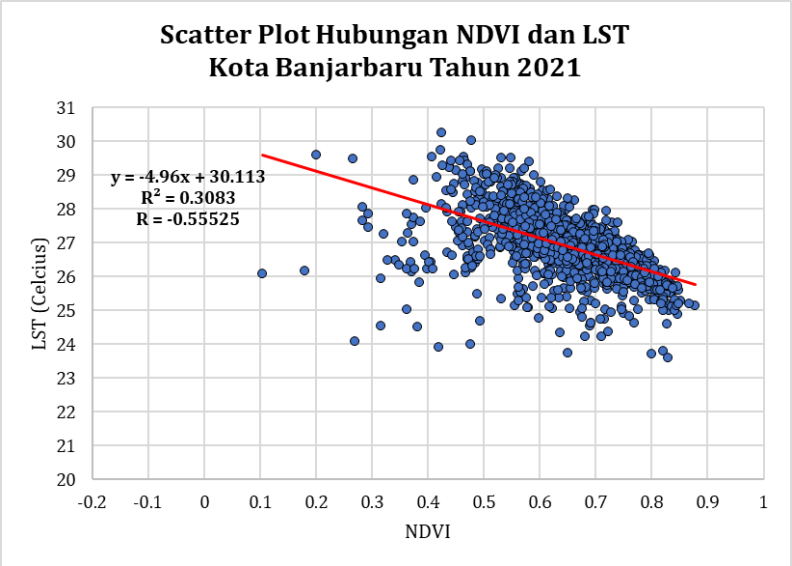
Pada **Gambar 5**, dapat dilihat bahwa nilai NDVI dan LST Kota Banjarbaru tahun 2003 memiliki trend negatif dengan persamaan y = -1,8329x + 23,951, yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai suhu permukaan tanah sebesar 0,18329 pada setiap kenaikan nilai NDVI

sebesar 0,1. Selain itu terdapat nilai koefisien determinasi (R2) sebesar 0,0485 dan nilai korelasi (R) sebesar -0,22023. Hal tersebut dapat diartikan bahwa NDVI dan LST memiliki korelasi yang masih lemah pada tahun 2003.



Gambar 6. *Scatter plot* NDVI dan LST Kota Banjarbaru tahun 2013

Kemudian pada **Gambar 6**, dapat dilihat bahwa nilai NDVI dan LST Kota Banjarbaru tahun 2013 memiliki memiliki trend negatif dengan persamaan y = -3,4037x + 26,923, yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai suhu permukaan tanah sebesar 0,34037 pada setiap kenaikan nilai NDVI sebesar 0,1. Selain itu terdapat nilai koefisien determinasi (R2) sebesar 0,1824 dan nilai korelasi (R) sebesar -0,42708. Hal ini dapat diartikan bahwa NDVI dan LST pada tahun 2013 cukup berkorelasi.



Gambar 7. *Scatter plot* NDVI dan LST Kota Banjarbaru tahun 2021

Sedangkan pada **Gambar 7**, dapat dilihat bahwa nilai NDVI dan LST Kota Banjarbaru tahun 2021 juga memiliki memiliki trend negatif dengan persamaan y = -4,96x + 30,113, yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai suhu permukaan tanah sebesar 0,496 pada setiap kenaikan nilai NDVI sebesar 0,1. Selain itu terdapat nilai koefisien determinasi (R2) sebesar 0,1824 dan memiliki nilai korelasi (R) sebesar -0,55525. Hal tersebut dapat diartikan bahwa NDVI dan LST memiliki korelasi yang kuat pada tahun 2021.

Dari **Gambar 5**, **Gambar 6**, dan **Gambar 7** dapat dilihat bahwa ketiga nilai korelasi bernilai negatif. Tanda negatif menunjukkan suatu hubungan dengan arah yang berlawanan atau setiap

kenaikan nilai NDVI terjadi penurunan nilai LST. Sehingga semakin besar nilai NDVI maka nilai LST akan semakin kecil. Selain itu diketahui bahwa nilai koefisien determinasi terus mengalami peningkatan dari data tahun 2003, 2013, dan 2021. Nilai koefisien determinasi merupakan nilai yang menyatakan besarnya persentase nilai suhu permukaan yang dapat dijelaskan oleh nilai NDVI dan sisanya dijelaskan oleh faktor lain yang tidak terdapat pada model. Berdasarkan hal tersebut menunjukan peran vegetasi yang semakin meningkat terhadap besarnya suhu permukaan di Kota Banjarbaru.

KESIMPULAN

Berdasarkan HASIL DAN PEMBAHASAN yang telah diperoleh dari penelitian pengaruh kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan tanah di Kota Banjarbaru, maka dapat disimpulkan bahwa luasan area dengan tingkat kerapatan vegetasi (NDVI) yang rendah mengalami peningkatan dan luasan area dengan tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi mengalami penurunan dari tahun 2003 hingga 2021. Nilai rata-rata suhu permukaan tanah juga mengalami peningkatan dari tahun 2003 hingga 2021, dibuktikan dari luasan area dengan suhu permukaan lebih rendah yang mengalami pengurangan secara signifikan dan peningkatan pada luasan area dengan suhu permukaan yang tinggi. Rata-rata suhu permukaan meningkat dari 22,786^{0}C pada tahun 2003 menjadi 26,896^{0}C pada 2021.

Nilai suhu permukaan tanah dipengaruhi oleh nilai kerapatan vegetasi, dimana semakin besar nilai NDVI maka nilai LST akan semakin kecil. Hal ini dapat dibuktikan dari uji korelasi spasial menggunakan data NDVI dan LST yang menunjukkan nilai korelasi bernilai negatif. Selain itu nilai koefisien determinasi yang semakin meningkat dari tahun 2003, 2012, hingga 2021 menunjukkan bahwa peran vegetasi dalam menentukan besarnya suhu permukaan tanah di Kota Banjarbaru semakin meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya ucapkan kepada Dennis Surya dan Romi Fajar Prihutomo yang telah membantu saya dalam melaksanakan penelitian ini. Kemudian saya juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di PT Acset Indonusa yang memfasilitasi saya dalam tahap publikasi jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

Beg, A. (2018). *Assessment of land surface temperature variation over Rusafa side of Baghdad city*. Iraq. MATEC Web of Conferences. https://doi.org/10.1051/matecconf/201816203032 BCEE3-2017

BPS Banjarbaru. (2022). Statistik Indeks Pembangunan Manusia. BPS. Banjarbaru. https://banjarbarukota.bps.go.id/

Dede, M., Pramulatsih, G., Widiawaty, M. A., Ramadhan Y. R., & Ati, A. (2019). Dinamika Suhu Permukaan dan Kerapatan Vegetasi di Kota Cirebon. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika: Vol. 6 (1)* Maret 2019.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. (1997). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Menteri Kehutanan Republik Indonesia. (2012). Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.12/Menhut-II/2012 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P. 32/Menhut-II/2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTk RHL-DAS).

Nixon, P. R., Escobar, D. E., & Menges, R. M. (1985). A Multiband Video System for Quick Assessment of Vegetal Condition and Discrimination of Plant Species. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 17, 203–208.

Putra, B. W., & Djurdjani. (2018). Analysis the Effect of Vegetation Density Changes on Surface Temperature due to Mining Activities Using Multitemporal Satellite Imagery (Case Study: PT. Amman Mineral Nusa Tenggara). *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 1(2), 81–86. https://doi.org/10.22146/jgise.

Ramdhan, D. M., Satryo, I. F., & Cerlandita, K. P. (2021). Analisis Perubahan Land Surface Temperature Menggunakan Citra Multi - Temporal (Studi kasus : Kota Banjarmasin). *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi*, 6(1), 15–20. http://repository.upi.edu/30417/

Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127-150.

Utomo, A. W., Suprayogi, A., & Sasmito, B. (2017). Analisis Hubungan Variasi Land Surface Temperature dengan Kelas Tutupan Lahan Menggunakan Data Citra Satelit Landsat (Studi Kasus : Kabupaten Pati). *Jurnal Geodesi Undip*, 4(April), 71–80.

Verhulst, N. & Govaerts, B. (2010). The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeekerTM handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. *Part A: Concepts and case studies*. Mexico.

PEMANFAATAN CITRA SATELIT SENTINEL-1A UNTUK PENGAMATAN DEFORMASI PASCA GEMPA MENGGUNAKAN METODE DINSAR

Studi Kasus: Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat

(Utilization of Sentinel-1A Satellite Images for Observing Post-Earthquake Deformation Using Dinsar Method Case Study: Cianjur Regency, West Java)

Aldiansyah Triantara Marchitra Putra, Bambang Riadi, Dadan Ramdhani
Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Pakuan

Jl. Pakuan, Kota Bogor, Jawa Barat, 16143, Indonesia
Email: aldiansmputra@gmail.com

ABSTRAK

Gempa bumi Cianjur dengan kekuatan 5,6 magnitude yang terjadi pada tanggal 21 November 2022 menyebabkan deformasi muka tanah di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai deformasi akibat gempa bumi dengan menggunakan metode DINSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). Metode ini memanfaatkan data citra SLC (*Single Look Complex*) Sentinel 1-A yang diunduh dari web ASF Search. Data citra yang digunakan terdiri dari empat citra, yaitu dua citra *Ascending* dan dua citra *Descending* dengan rentang waktu sebelum dan sesudah gempa bumi terjadi. Pengolahan data dilakukan dengan tahapan interferogram, *phase unwrapping*, dan *geocoding*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi deformasi penurunan muka tanah lebih dari -30 mm dan deformasi horisontal atau perubahan bentuk muka tanah timur-barat akibat gempa bumi. Penelitian ini memberikan informasi yang berguna untuk mitigasi bencana dan pemantauan lingkungan.

Kata Kunci: Cinanjur, Deformasi, DInSAR, Gempa bumi, Sentinel 1-A

ABSTRACT

The Cianjur earthquake with a magnitude of 5.6 that occurred on November 21, 2022 caused deformation of the land surface in the area. This study aims to determine the deformation value due to the earthquake using the DINSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) method. This method utilizes SLC (Single Look Complex) Sentinel 1-A image data downloaded from the ASF Search web. The image data used consists of four images, namely two Ascending and two Descending images with a time span before and after the earthquake occurred. Data processing is done with the stages of interferogram, phase unwrapping, and geocoding. The results showed that there was a land surface subsidence of more than -50 mm and horizontal deformation or changes in the east-west land surface shape due to the earthquake. This study provides useful information for disaster mitigation and environmental monitoring.

***Keywords**: Cianjur, Deformation, DInSAR, Earthquake, Sentinel 1-A*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah menyebabkan berbagai cara pemantauan dan pemetaan terhadap aktivitas pergerakan lempeng bumi. Aktivitas pergerakan lempeng bumi terkait erat dengan fenomena deformasi. Salah satu teknologi yang telah dikembangkan untuk memantau deformasi menggunakan *Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)*. InSAR adalah alat yang ampuh dalam pengukuran deformasi permukaan tanah dengan ketelitian sub-sentimeter(Rizka Sari & Hapsari, 2014.).

InSAR atau bisa disebut juga IFSAR *(Interferometric Synthetic Aperture Radar*) adalah teknologi penginderaan jauh untuk memetakan deformasi tanah dengan menggunakan citra radar dari permukaan bumi yang dikumpulkan oleh satelit. Teknologi InSAR menggunakan data radar untuk memetakan permukaan bumi dan dapat digunakan untuk memantau penurunan permukaan tanah, tanah longsor, proyek infrastruktur sipil, deformasi tektonik atau gempa bumi, pra-letusan gunung berapi, pergeseran lereng, stabilitas bangunan dan infrastruktur, pertambangan dan

penyimpanan bawah tanah (CO2, hidrokarbon), dan secara umum, setiap permukaan atau objek yang mungkin terpengaruh oleh penurunan permukaan tanah (Giandomenico, 2022).

Teknologi InSAR bekerja dengan menganalisis gambar radar yang diperoleh oleh satelit yang merupakan pembawa *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Antena radar mengirimkan sinyal yang memantul dari permukaan bumi dan kembali ke satelit, dimana sinyal tersebut direkam. Dengan membandingkan gambar radar yang diperoleh pada waktu yang berbeda, InSAR dapat mendeteksi perubahan di permukaan bumi, seperti penurunan atau pengangkatan permukaan bumi (Program, 2023). Sentinel-1A adalah satelit Copernicus yang mengorbit di kutub dan membawa peralatan radar yang kuat yang dapat memberikan foto-foto permukaan Bumi di segala cuaca, siang dan malam. Data yang diperoleh dari misi Sentinel-1 dapat digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk pengawasan laut dan darat, tanggap darurat bencana lingkungan, dan aplikasi ekonomi.

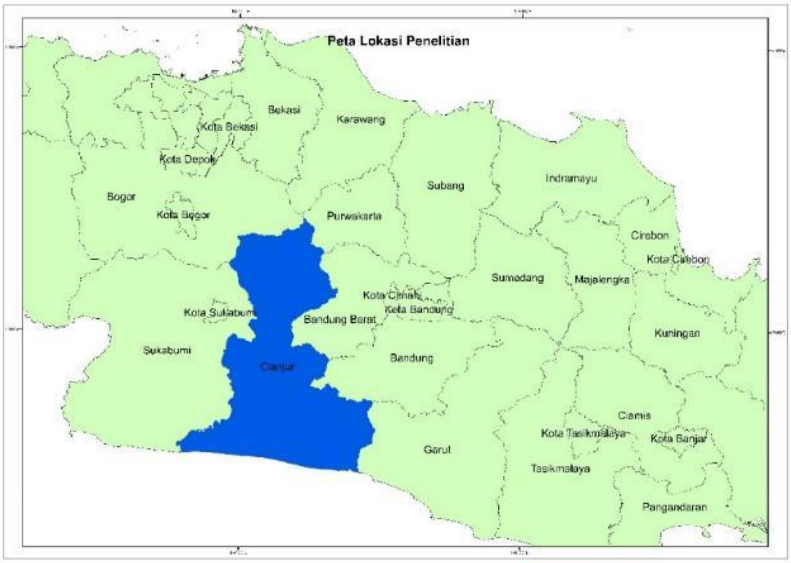
Indonesia termasuk wilayah gempa karena melewati titik pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Zona pertemuan antar lempeng tektonik disebut dengan zona subduksi. Titik temu lempeng-lempeng itu ada di laut, yaitu. dalam kasus gempa besar dengan kedalaman dangkal dapat menyebabkan tsunami, sehingga Indonesia juga rawan tsunami (BMKG Denpasar, 2023). Deformasi berkaitan erat dengan gempa, yaitu efek *coseismic* dan *Post-seismic*. Gempa bumi biasanya menyebabkan terbentuknya kerak bumi di sekitarnya mengalami deformasi baik secara vertikal maupun horizontal. Pengamatan untuk mengetahui deformasi dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi GPS dan pengamatan tidak langsung dengan menggunakan citra satelit beresolusi tinggi (Rizka Sari & Hapsari, 2014.). analisis deformasi dengan studi kasus Kabupaten Cianjur, Jawa Barat yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan teknologi InSAR.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mencari tahu besaraan perubahan muka tanah dari *deformasi coseismic dan post-seismic* akibat gempa bumi yang terjadi di Kabupaten Cianjur pada tanggal 21 November 2022 dengan menggunakan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) dengan memanfaatkan data citra satelit sentinel 1-A.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di Kabupaten Cianjur. Yang terjadi Gempa bumi pada 21 November 2022. Gempa berpusat di 10 km arah barat daya dari Kota Cianjur, Jawa Barat, dengan kedalaman gempa 10 km dengan magnitudo 5.6 SR. Titik gempa berada di 6,86 Lintang Selatan dan 107,01 Bujur Timur.



Sumber: https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/download/perwilayah 2022

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Perangkat Keras *(Hardware)*
   a. Laptop Thinkpad T410,
   b. Mouse,
c. Flashdisk.
B. Perangkat Lunak *(Software)*
   d. *Software* GAMMA digunakan untuk pengolahan data proses analisis.
   e. *Software* QGIS 3.28.4 digunakan untuk proses penyajian data.
   f. Microsoft Word digunakan untuk pembuatan laporan penelitian.

Data yang digunakan untuk berjalannya penelitian ini adalah data citra satelit, yaitu:

A. Data Citra satelit *Single look complex* (*SLC*) *Ascending*, 6 Oktober dan 17 Desember tahun 2022 dengan sumber data melalui web *ASF Search, NASA archive of SAR*.
B. Data Citra satelit *Single look complex* (*SLC*) *Descending*, 2 Oktober dan 13 Desember tahun 2022 dengan sumber data melalui web *ASF Search, NASA archive of SAR*.
C. Dataset *public* DEM Copernicus GLO-30, tahun 2022 dengan sumber data yang tersedia untuk umum di AWS
D. Data *Shapefile* batas administrasi untuk membatasi area sesuai daerah dilakukannya penelitian. (2022, Sumber: https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/download/perwilayah).

Metode DInSAR

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah salah satu teknologi penginderaan jarak jauh yang menggunakan prinsip kerja radar. SAR bergerak untuk menggabungkan keterbatasan panjang antena untuk mencakup wilayah yang akan diamati. Kelebihan SAR dibandingkan dengan sistem kamera adalah bahwa itu tetap dapat beroperasi di wilayah dengan banyak awan, kabut, curah hujan, dan pada malam hari, hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) untuk pengamatan permukaan bumi (Podest & Mehta, 2018).

DInSAR merupakan singkatan dari *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* adalah metode pencitraan radar kesamping/ *side looking* dengan menggunakan informasi *Phase*, panjang gelombang, dan amplitudo (Firdaus *et al.*, 2016).

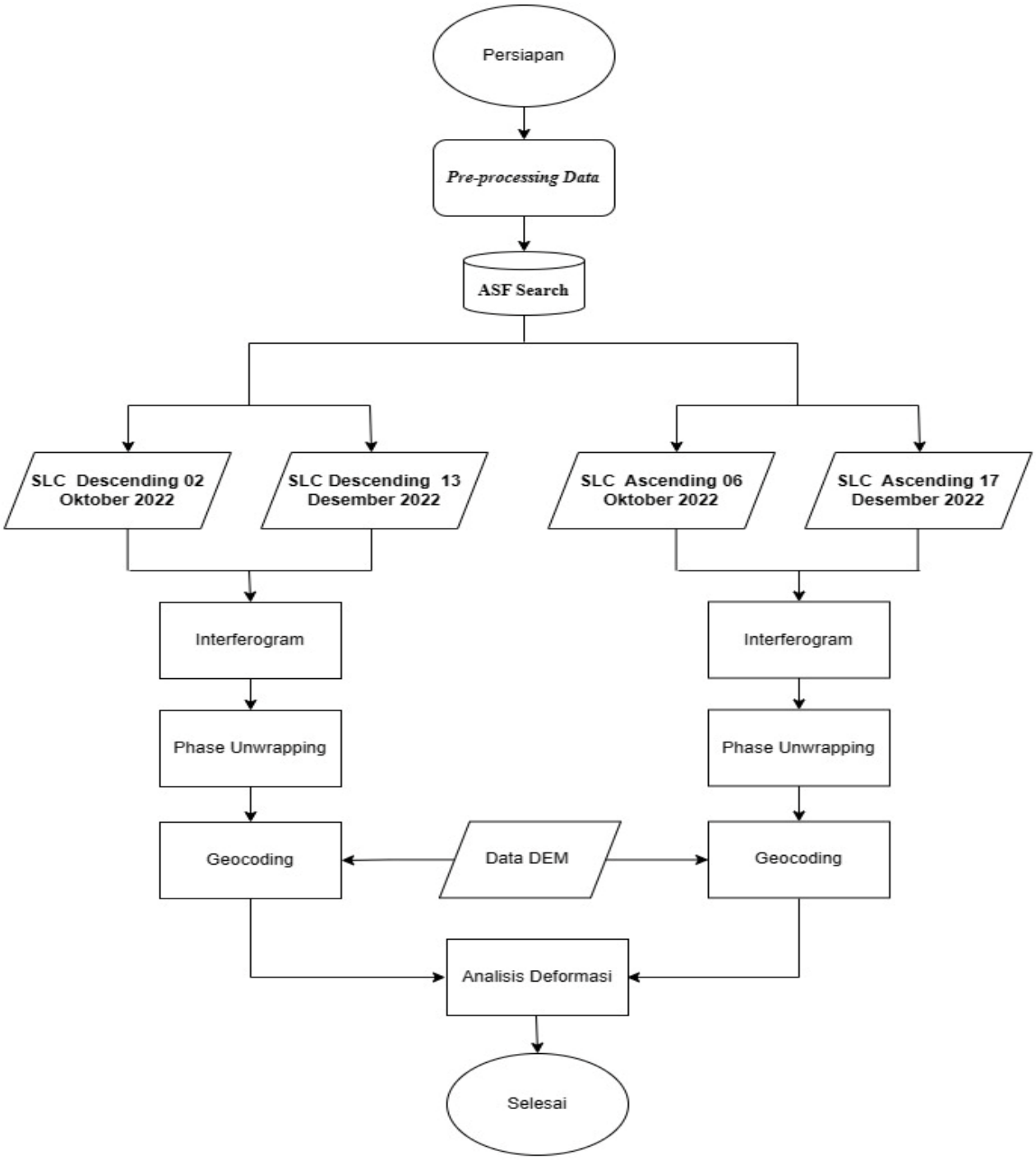
Differential Interferometri SAR (DInSAR) adalah teknik yang menggunakan gambar satelit *Aperture Radar Synthetic* (SAR) untuk mengukur deformasi lahan dan infrastruktur bangunan dengan ketelitian sub-sentimeter. Teknik ini menggunakan perbedaan *Phase* interferogram antara dua gambar SAR yang diambil pada waktu yang berbeda (Erten *et al.*, 2010).

Dalam kasus dimana modul permukaan topografi digunakan sebagai acuan atau dimana tiga atau lebih gambar radar diamati pada waktu yang berbeda, *differential* InSAR dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan. deformasi permukaan dapat ditemukan dalam informasi *Phase* interferogram dari dua pengamatan SAR pada waktu yang berbeda.

Sehingga untuk mendapatkan efek deformasi harus dilakukan metode *differential interferomtery* atau dengan mendeferensialkan 2 interferogram dan menghilangkan pengaruh topografi, noise, dan atmosfer (Hannsen, 2001).

Diagram Alir

Tahap yang dilakukan dalam penelitian ini ialah persiapan, pre-processing data, pengolahan data serta hasil penelitian. Dibawah ini merupakan diagram alir penelitian:



Gambar 222. Diagram Alir Penelitian.

Pre-processing Data

Penyiapan data yang diperlukan yaitu mencari sepasang citra *SLC* dengan orbit *Ascending* dan sepasang citra *SLC* dengan orbit *Descending* yang memiliki panjang *baseline* yang memenuhi kriteria, Panjang *perpendicular baseline* merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi *interferometry SAR*, *perpendicular SAR* berpengaruh terhadap perbedaan fase antar citra SAR yang digunakan dalam untuk menghitung ketinggian atau perpindahan permukaan.

Untuk mengetahui penyebaran titik orbit dari data pengamatan SAR, dapat memilih *baseline perpendicular* pendek (≤ 150 m) (Ferretti *et al.*, 2007)maupun temporalnya. panjang *baseline* ≤ 150 m dapat mempengaruhi perbedaan fase antar citra. citra dengan tanggal perekaman lebih awal akan dijadikan sebagai citra referensi (*master*) sedangkan citra dengan tanggal perekaman setelah citra referensi akan dijadikan sebagai citra sekunder (*slave*). Lalu *Dataset* DEM copernicus Glo-30 yang dapat menghasilkan *output* berkualitas lebih tinggi di wilayah yang lebih luas.

Pengolahan Data

Dalam proses pengolahan data terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan agar mendapatkan output nilai deformasi, berikut adalah tahapan dalam pengolahan data:

1. Interferogram, pada tahap ini citra *master* dan *slave* akan di koregistrasikan untuk memastikan wilayah yang tepat kemudian dilakukan pengkalian yang kompleks antar citra untuk menghasilkan fase interferometrik yang bersifat terbungkus (*wrapped*).
2. Fase *unwrapping,* pada tahap ini akan melibatkan perhitungan jumlah putaran fase dan monversi dari *wrapped* menjadi *unwrapped* dengan nilai fase deformasi, Untuk mengetahui besar deformasi dalam satuan metrik dilakukan kalkulasi dengan menggunakan rumus *displacement of earth's surface* sepanjang sensor *Line of Sight* (LOS), yaitu(Goldstein & Werner, 1998).
3. *Geocoding,* pada tahap ini dilakukan georetifikasi dan koregistrasi untuk mengkoreksi nilai topografi dengan data DEM sebagai referensi.

Analisis Data

Setelah mendapatkan output nilai besaran deformasi dari setiap orbit akan dilakukan penggabungan data dari hasil DInSAR dengan 2 pandangan geometri berbeda antara orbit satelit *Ascending dan* orbit satelit *Descending* dengan mengkalkulasikan setiap vertikal dan *east-west velocity,* Perhitungan ini dilakukan dengan *tools* kalkulator vektor dari *software* QGIS dengan rumus:

$$\mathbf{V_{vertikal}} = \frac{\left(\frac{vLOSd}{E_d} - \frac{vLOSa}{E_a}\right)}{\frac{H_d}{E_d} - \frac{H_a}{E_a}} \quad \text{.....} (1)$$

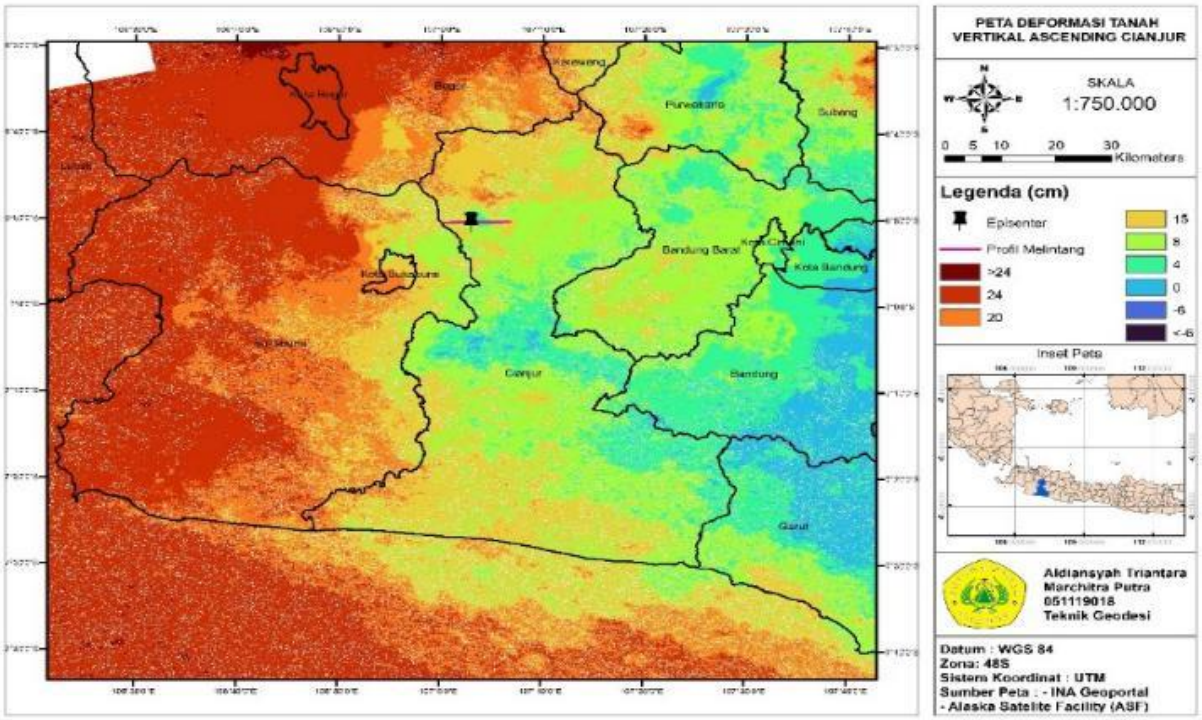
$$\mathbf{V_{east\text{-}west}} = \frac{\left(\frac{vLOSd}{H_d} - \frac{vLOSa}{H_a}\right)}{\frac{E_d}{H_d} - \frac{E_a}{H_a}} \quad \text{.....} (2)$$

Keterangan :

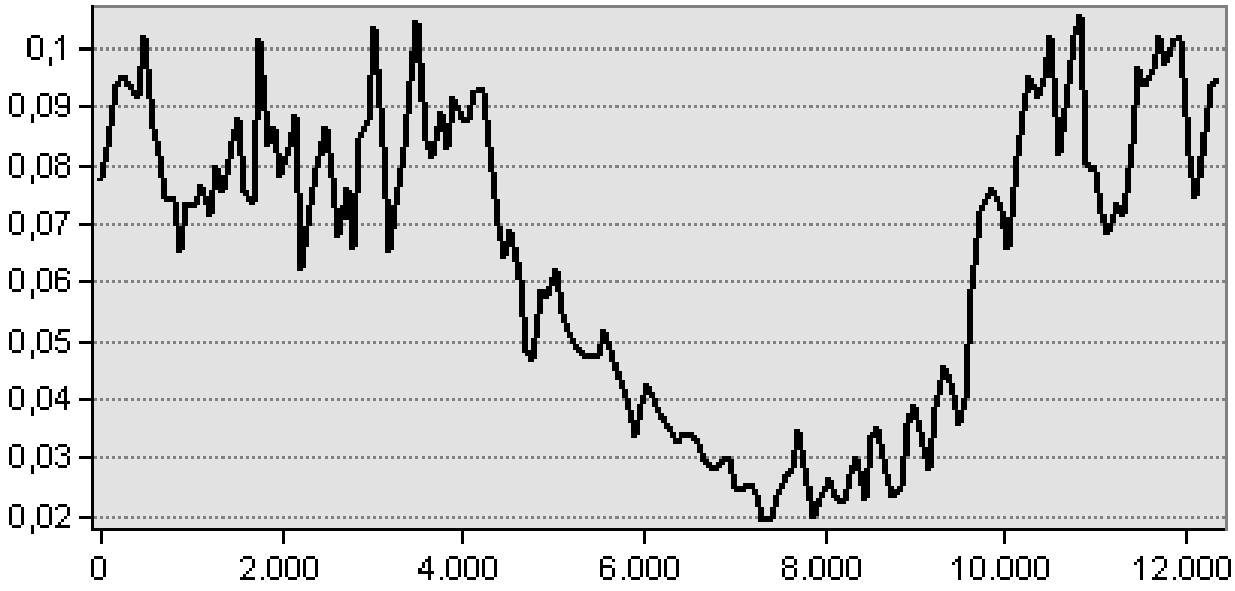
$\mathbf{H_a}$: arah vertikal cosinus dari *Ascending Line of Sight unit vector*
$\mathbf{H_d}$ **:** arah vertikal cosinus dari *Descending Line of Sight unit vector*
$\mathbf{E_a}$: arah *east-west* cosinus dari *Ascending Line of Sight unit vector*
$\mathbf{E_d}$: arah *east-west* cosinus dari *Descending Line of Sight unit vector*
$_{v}\mathbf{LOS_a}$ **:** *mean velocity* dalam *Line of Sight* dari orbit satelit *Ascending*
$_{v}\mathbf{LOS_d}$ **:** *mean velocity* dalam *Line of Sight* dari orbit satelit *Descending*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Output yang akan didapatkan dari tahapan pengolahan data dengan metode DInSAR akan berupa nilai deformasi vertikal atau perubahan muka tanah dari citra *Ascending* dan *Descending.* Sehingga didapatkan **Gambar 3** Peta Deformasi Vertikal *Ascending* dan **Gambar 5** Peta Deformasi Vertikal *Descending*.

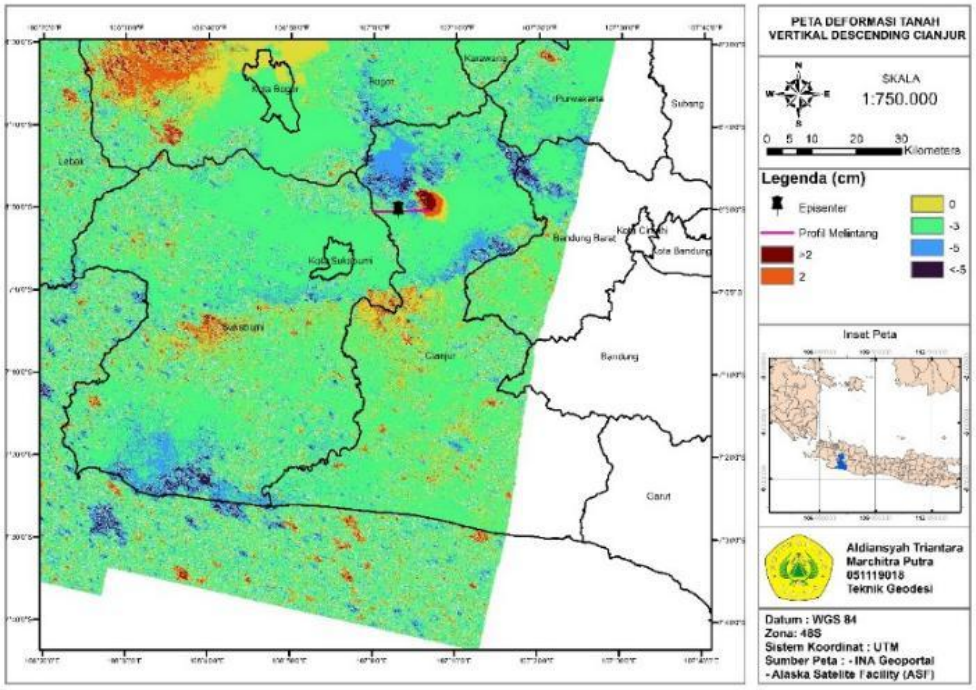


Gambar 323. Peta Deformasi Vertikal *Ascending*.

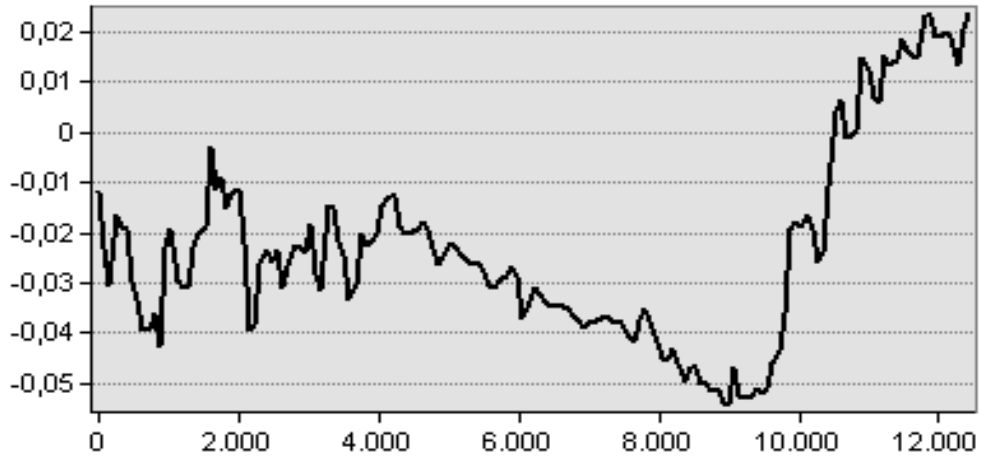


Gambar 424. Profil Melintang Deformasi Vertikal *Ascending*.

Berdasarkan **Gambar 3** *Peta* Deformasi Vertikal *Ascending* dan **Gambar 4** Profil Melintang Deformasi Vertikal *Ascending,* nilai perubahan deformasi vertikal yang terjadi dari data secara *Ascending* di Kabupaten Cianjur didapatkan nilai sebesar -6 cm sampai dengan 24 cm. Dengan nilai deformasi sekitar titik episenter gempa sebesar 2 cm sampai dengan 10 cm.



Gambar 5. Peta Deformasi Vertikal *Descending*.



Gambar 6. Profil Melintang Deformasi Vertikal *Descending*.

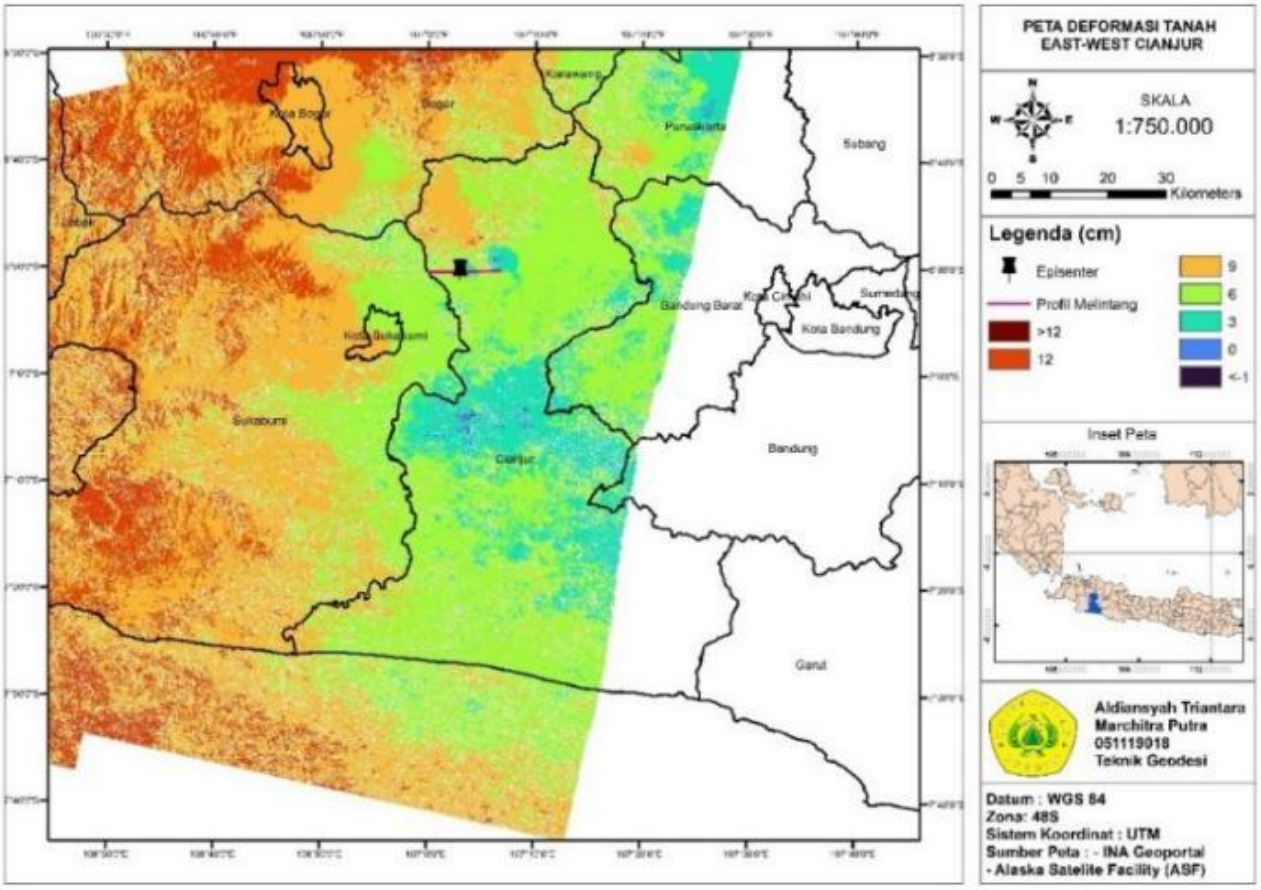
Dari output yang didapatkan Berdasarkan **Gambar 5** *Peta* Deformasi Vertikal *Descending* dan **Gambar 6** Profil Melintang Deformasi Vertikal *Descending* nilai perubahan deformasi vertikal yang terjadi dari data secara *Ascending* di Kabupaten Cianjur didapatkan nilai sebesar -6 cm sampai dengan 24 cm. Dengan nilai deformasi sekitar titik episenter gempa sebesar 2 cm sampai dengan 10 cm. Untuk menganalisa dan mengoreksi nilai dari kedua data tersebut perlu dilakukan kalkulasi dari 2 *output* deformasi orbit *Ascending* dengan *Descending* dengan vektor kalkulator dari QGIS menggunakan rumus berikut:

$$\mathbf{V_{vertikal}} = \frac{\left(\frac{vLOSd}{E_d} - \frac{vLOSa}{E_a}\right)}{\frac{H_d}{E_d} - \frac{H_a}{E_a}} \quad \text{..... (1)}$$

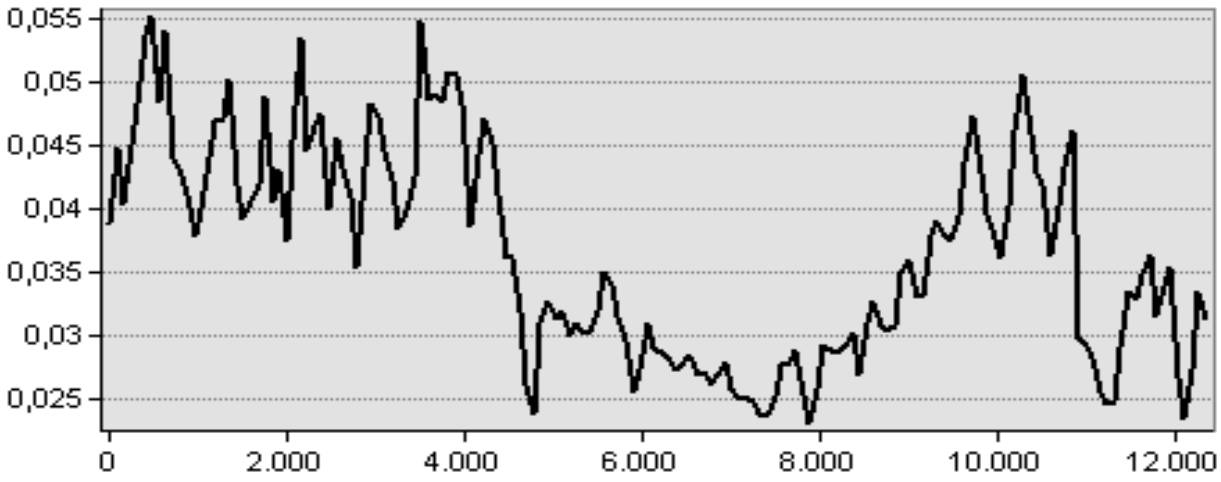
dan

$$\mathbf{V_{east\text{-}west}} = \frac{\left(\frac{vLOSd}{H_d} - \frac{vLOSa}{H_a}\right)}{\frac{E_d}{H_d} - \frac{E_a}{H_a}} \quad \text{..... (2)}$$

Sehingga akan didapatkan berupa *output* **Gambar 7** untuk $V_{east\text{-}west}$ dan **Gambar 8** untuk $V_{vertikal}$.

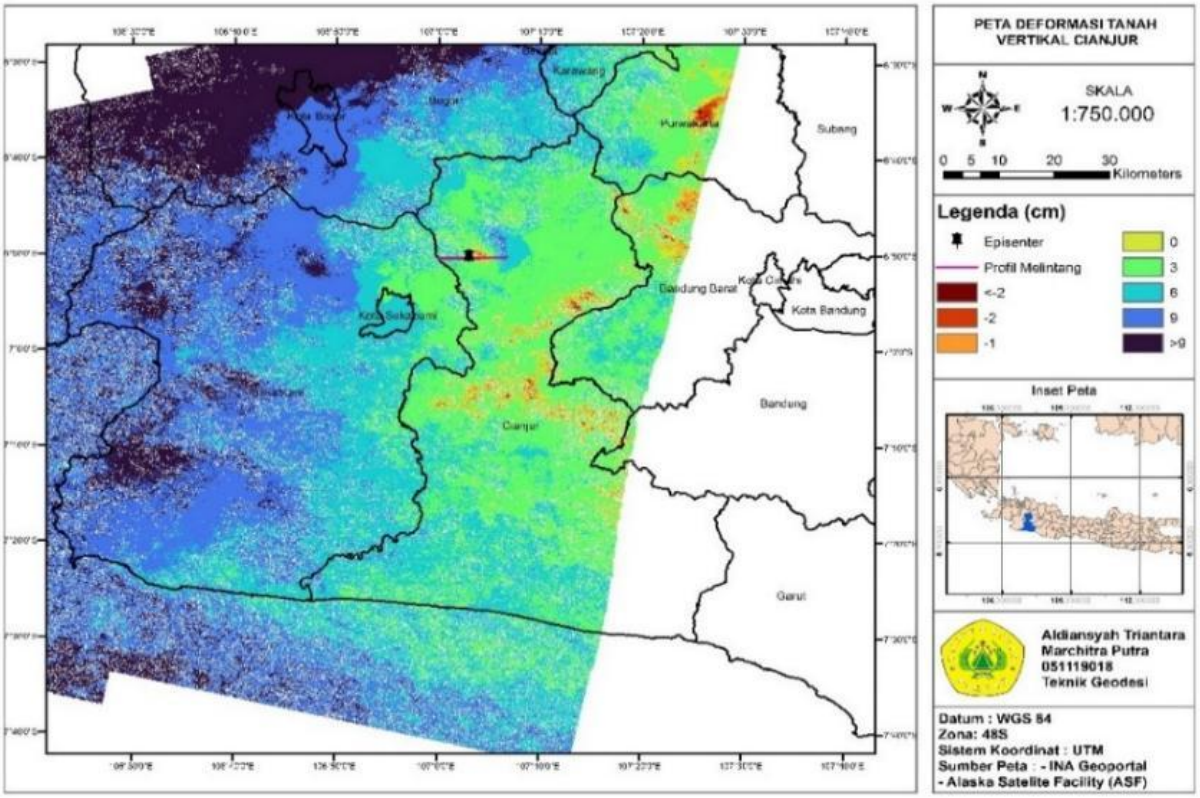


Gambar 7. $V_{east\text{-}west}$.

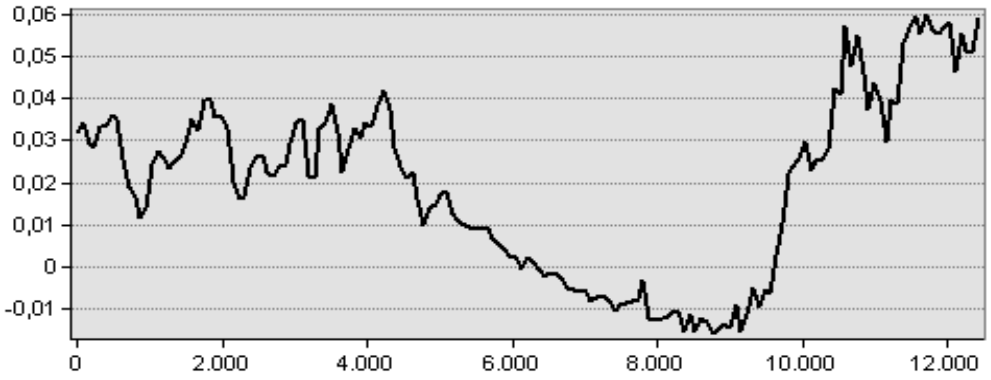


Gambar 25. Profil Melintang $V_{east\text{-}west}$.

$V_{east\text{-}west}$ merupakan deformasi atau pergeseran tanah ke arah timur-barat. Bisa disimpulkan dari **Gambar 7** $V_{east\text{-}west}$ dan 8 Profil Melintang $V_{east\text{-}west}$ bahwa terjadi pergerakan tanah yang terjadi pasca gempa di cianjur senilai 3, 6, 9, dan 12 cm, yang didominasi oleh pergeseran sebesar 6 cm kemudian 3 cm lalu sedikit pergeseran tanah sebesar 9 cm dan hampir tidak ada pergeseran tanah yang sebesar 12 cm, dengan daerah sekitar episenter gempa mengalami pergeseran tanah sebesar 2,5 cm sampai dengan 5,5 cm ke arah barat.



Gambar 9. $V_{vertikal}$.



Gambar 10. Profil Melintang $V_{vertikal}$.

$V_{vertikal}$ adalah deformasi atau perubahan tanah secara vertikal. Berdasarkan gambar 9 $V_{vertikal}$ dan 10 Profil Melintang $V_{vertikal}$ bisa disimpulkan bahwa terjadi perubahan muka tanah yang terjadi pasca gempa cianjur didominasi secara kenaikan muka tanah (*uplift*) sebesar 6 dan 3 cm kemudian ada sedikit yang mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) senilai -1 dan -2 cm, untuk di sekitar titik episenter gempa sendiri terjadi perubahan deformasi sebesar -1 cm sampai dengan 6 cm. dalam penyajian data layout peta didapatkan dari hasil pengolahan data terdapat kurangnya *coverage* peta citra pada data *Descending*. Sehingga tidak meng *cover* keseluruhan kabupaten cianjur dan ini juga berakibat kepada output data Veast-west dan Vvertikal.

KESIMPULAN

Nilai deformasi yang terjadi dari hasil interferogram SAR orbit penerbangan *Ascending* mendapatkan hasil yang signifikan berbeda dengan hasil interferogram SAR orbit penerbangan *Descending.* Didapatkan nilai kenaikan muka tanah (*uplift*) sebesar 3 cm di sekitar episenter gempa dari data kalkulasi penggabungan data deformasi *Ascending* dan *Descending* ($V_{vertikal}$) dan nilai pergeseran tanah sebesar 3 dan 6 cm ke arah barat dari $V_{east\text{-}west}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) telah menyediakan data batas administrasi. Terimakasih juga kepada *Alaska Satellite Facility* (ASF) yang telah menyediakan data citra SAR, data DEM. Sehingga penulis dapat menggunakan data-data tersebut untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

BMKG Denpasar. *Pengetahuan Gempa Bumi*. BMKG. Retrieved July 9, 2023, from https://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa

Erten, E., Reigber, A., & Hellwich, O. (2010). Generation of three-dimensional deformation maps from InSAR data using spectral diversity techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *65*(4), 388–394. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.04.005.

Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. 2007. InSAR Principles: Guidelines For SAR Interferometry Processing And Interpretation. The Netherlands: ESA Publications.

Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. 2007. InSAR Processing: A Practical Approach. The Netherlands: ESA Publications.

Firdaus, M. I., Purnomo, J., Lukmana, A., Mokhamad, D., & Cahyadi, N. (2016). Analisis Pengaruh Deformasi Muka Tanah terhadap Pembangunan di Daerah Pesisir dengan Teknik Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) (Studi Kasus: Pesisir Bangkalan, Madura) Analysis Influence of Deformation toward Development in Coastal Areas with Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) Technique (Case Study: Coastal Area Bangkalan, Madura). dalam *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*.

Giandomenico, S. Di. (2022, December 20). *Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) technology*. Geostock. https://www.geostockgroup.com/en/interferometric-synthetic-aperture-radar-insar-technology/

Goldstein, R. M., & Werner, C. L. (1998). Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophysical research letters*, *25*(21), 4035–4038.

Hanssen, R.F. 2001. Radar Interferometry. Data Interpretation and Error Analysis. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands: Delft University of Technology.

Hogenson, K., Kristenson, H., Kennedy, J., Johnston, A., Rine, J., Logan, T., Zhu, J., Williams, F., Herrmann, J., Smale, J., & Meyer, F. (2020). Hybrid Pluggable Processing Pipeline (HyP3): A cloud-native infrastructure for generic processing of SAR data [Computer software]. https://doi.org/10.5281/zenodo.4646138

Program, V. H. (2023). *InSAR—Satellite-based technique captures overall deformation "picture."* USGS. Retrieved July 9, 2023, from https://www.usgs.gov/programs/VHP/insar-satellite-based-technique-captures-overall-deformation-picture

Podest, E., & Mehta, A. (2018, November 19). *National Aeronautics and Space Administration Overview and Applications of Synthetic Aperture Radar*.

Rizka Sari, A., & Hapsari, H. H. (2014). *PENERAPAN METODE DINSAR UNTUK ANALISA DEFORMASI AKIBAT GEMPA BUMI DENGAN VALIDASI DATA GPS SUGAR (STUDI KASUS: KEPULAUAN MENTAWAI, SUMATERA BARAT)*.

PENYEBARAN INFORMASI SPASIAL KEBENCANAAN SOSIAL DALAM AGENDA PENGARUSUTAMAAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Studi Kasus di Provinsi Jawa Barat

(Dissemination Of Spatial Social Disaster Information In The Agenda For Mainstreaming Sustainable Development)

Bambang Riadi[1], Erwin Hermawan[2], Yayan Hadiyat[3], M.Mahfudz[4], Yudi Firmansyah[5], Bebas Purnawan[6], Prambudianto P. Pamungkas[7]

[1]Fakultas Teknik Universitas Pakuan
[2]Fakultas Teknik dan Sains Universitas Ibn Khaldun

Jl. Pakuan Tegalega – Bogor
E-mail: bambang.riadi1@gmail.com

ABSTRAK

Bencana sosial yang terjadi selalu luput dari perhatian, bencana sosial ini salah satunya adalah kemiskinan yang ada di Provinsi jawa Barat. di wilayah ini penanggulangan kemiskinan menjadi sasaran utama program pembangunan sesuai dengan pengarusutamaan agenda *Millenium Development Goals* (MDGs) dan *Sustainable Development Goals* (SDGs) dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN 2005-2025). Penurunan persentase angka kemiskinan menjadi program utama pemerintah, yang pada hakikatnya merupakan suatu proses yang berkesinambungan antara berbagai dimensi, baik dimensi sosial, ekonomi, maupun lingkungan yang bertujuan untuk kesejahteraan masyarakat. Data kemiskinan di Indonesia disajikan dalam dua model data, yaitu data kemiskinan makro dan data kemiskinan mikro yang disajikan dalam bentuk atribut tabuler. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pola sebaran penduduk miskin dan keberhasilan penanganannya melalui program pemerintah di wilayah Provinsi Jawa Barat menggunakan integrasi data spasial dan data non spasial yang dapat divisualkan dalam informasi spasial. Metode integrasi data atribut kemiskinan dengan peta wilayah diterapkan dalam pelaksanaan penelitian. Guna mendapatkan kesetaran spasial, visualisasi disajikan dalam unit wilayah kabupaten/kota seluruh Provinsi Jawa Barat yang dikemas dalam WebGIS, sehingga memungkinkan informasi dapat diakses secara mudah bagi yang memerlukan. Penyebaran Informasi spasial bencana sosial (sebaran penduduk miskin) dan keberhasilan program penanganannya dapat diakses melalui *https://jabar.netlify.app/.*

Kata Kunci: atribut, data-makro, data-mikro, kemiskinan, WebGIS

ABSTRACT

The social disasters that occur always go unnoticed, one of these social disasters is poverty in West Java Province. In this region, poverty alleviation is the main target of development programs in accordance with the mainstreaming of the Millennium Development Goals (MDGs) and Sustainable Development Goals (SDGs) agendas in the National Long Term Development Plan (RPJPN 2005-2025). Reducing the percentage of poverty is the government's main program, which is essentially a continuous process between various dimensions, including social, economic and environmental dimensions aimed at the welfare of society. Poverty data in Indonesia is presented in two data models, namely macro poverty data and micro poverty data which is presented in the form of tabular attributes. The aim of this research is an effort to observe/pay attention to the social and economic conditions of the community which are included in assessing the success of development which can be visualized in spatial information. The method of integrating poverty attribute data with regional maps is applied in conducting research. In order to achieve spatial equality, the visualization is presented in district/city regional units throughout West Java Province which is packaged in WebGIS, thereby enabling information to be easily accessed by those who need it. Dissemination of spatial information on social disasters (distribution of the poor population) and the success of handling programs can be accessed via https://jabar.netlify.app/.

Keywords: *attributes, macro-data, micro-data, poverty, webgis*

PENDAHULUAN

Banyak negara di dunia memiliki masalah utama kemiskinan, kondisi masyarakat miskin adalah seseorang yang tidak dapat memenuhi kebutuhan dasar seperti makanan, pakaian, obat-obatan dan tempat tinggal. Kemiskinan dijadikan sebagai salah satu ukuran kondisi sosial dan ekonomi, dalam penilaian keberhasilan pembangunan pemerintah (Priseptian dan Primandhana, 2022). Kemiskinan menjadi masalah yang serius akibat pandemi Covid-19, dan telah terjadi kondisi penurunan perekonomian yang menyebabkan meningkatnya angka kemiskinan di Indonesia. Badan Pusat Statistik (2020) menyatakan bahwa, persentase penduduk miskin di Indonesia mengalami kenaikan pada tahun 2020 yaitu sebesar 9,78 persen pada semester 1 dan mengalami kenaikan kembali pada semester 2 sebesar 10,19 persen. Menurut Topcu (2022), pandemi Covid-19 secara tidak langsung menghambat usaha pemberantasan kemiskinan secara global. Persentase penduduk miskin di Jawa Barat tercatat sebesar 8,4 persen (BPS, 2021), yang merupakan provinsi dengan tingkat kemiskinan terendah di Indonesia (**Gambar 1**). Apabila dilihat data kependudukan secara absolut jumlah penduduk miskin di provinsi Jawa Barat berada pada urutan ke-2 terbanyak nasional yaitu 4,2 juta jiwa dan menjadikan Provinsi Jawa Barat sebagai salah satu wilayah dengan kemiskinan yang tinggi di Indonesia.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Informasi Data

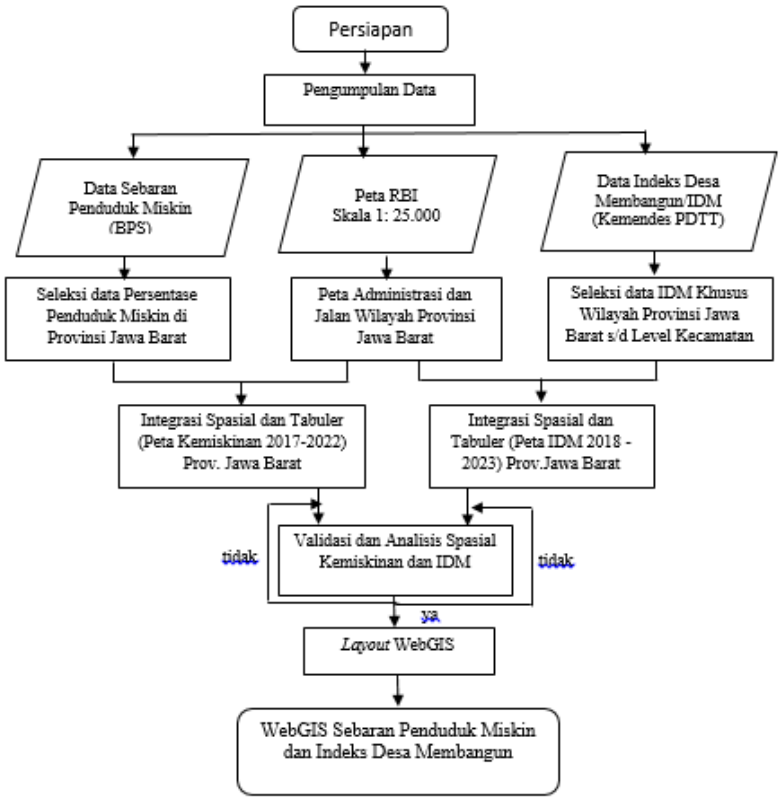
Data kemiskinan yang dipublikasi oleh Badan Pusat Statistik (BPS), menilai bahwa suatu kemiskinan dipandang sebagai ketidak mampuan dari sisi ekonomi untuk memenuhi kebutuhan dasar makanan dan bukan makanan yang diukur dari sisi pengeluaran. Penduduk dikatakan miskin apabila memiliki rata-rata pengeluaran per kapita per bulan di bawah garis kemiskinan. Sebuah program pembangunan desa untuk pengentasan kemiskinan, dengan memberikan pengakuan dan delegasi kewenangan kepada masyarakat desa untuk mengelola dan menyelenggarakan urusannya secara otonom meliputi aspek *self governing community* sesuai hak asal usul dan aspek *local self government*, artinya memberikan pengakuan dan penyerahan kekuasaan berskala desa. Kewenangan luas kepada desa di bidang penyelenggaraan pemerintahan, pelaksanaan pembangunan, pembinaan kemasyarakatan, dan pemberdayaan masyarakat berdasarkan prakarsa masyarakat, hak asal usul, dan adat istiadat. Penilaian keberhasilan program ini dinyatakan dalam Ideks Desa Membangun (IDM), merupakan indeks komposit yang dibentuk berdasarkan tiga indeks, yaitu Indeks Ketahanan Sosial, Indeks Ketahanan Ekonomi dan Indeks Ketahanan Ekologi/Lingkungan (Kemendesa, 2019). Dimensi Ketahanan ekonomi yang membentuk IDM meliputi produksi desa, akses distribusi, akses perdagangan, akses lembaga keuangan, lembaga ekonomi dan keterbukaan terhadap perdagangan. Dimensi ini sangat berhubungan dengan perputaran uang dan pemerataan pendapatan di desa. Keseluruhan aspek dari dimensi ketahanan ekonomi mencerminkan peningkatan pembangunan desa yang akan berarti dapat meningkatkan ekonomi masyarakat desa.

Penyebaran Informasi

Data tabuler (data non spasial) yang diperoleh dari BPS dan data IDM dari Kementerian Desa diintegrasikan ke peta Rupabumi Indonesia (RBI) dari BIG, hasil integrasi dijadikan dasar dalam penyusunan sistem informasi spasial kebencanaan. Sistem informasi geografis (SIG) merupakan sebuah metode yang tepat untuk pemetaan suatu daerah, dengan cakupan daerah studi yang luas dan dapat dilakukan analisis dengan waktu relatif singkat. Dengan metode sistem informasi geografi (SIG) akan mempermudah penyajian informasi spasial sebaran penduduk miskin di suatu wilayah provinsi. WebGIS sebagai sebuah aplikasi Sistem Informasi Geografis berbasis online yang merupakan gabungan dari web design dan web pemetaan. WebGIS banyak digunakan untuk mempublikasikan informasi spasial berbasis peta. Oleh karena itu dalam penelitian ini memanfaatkan webGIS dalam pemodelan sistem informasi spasial sebaran penduduk miskin. Tahapan dalam pembuatan *Web Map Service* menggunakan *software* GeoServer memiliki beberapa komponen utama yaitu *Workspace, Stores, Layers, Styles dan* pembuatan *Web Map Tile Service* (WMTS) atau *layers group*. Data yang digunakan merupakan hasil dari pengolahan data yang sudah berbentuk data *shapefile*.

METODOLOGI

Analisis spasial mempunyai ciri spesifik karena dapat digunakan dalam berbagai bidang kajian, penggunaan teknik Sistem Informasi geografi (SIG), data dapat dikenali berdasarkan letak geografisnya di suatu wilayah, letak penyimpanan data dan cara memvisualisasi data. Analisis data dapat dilakukan secara integratif dengan menganalisis terhadap data spasial dan data atribut. Data atribut dimaksud dapat berupa data sosial, budaya, dan ekonomi, dan data sebagai identitas obyek sehingga memudahkan saat penelusuran databasenya menggunakan unsur obyek-obyek rupabumi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pola sebaran penduduk miskin dan keberhasilan penanganannya melalui program pemerintah di wilayah Provinsi Jawa Barat menggunakan integrasi data spasial dan data non spasial. Bagan alir penelitian sebagai berikut (**Gambar 2**.).



Gambar 2. Bagan alir penelitian.

WebGIS merupakan aplikasi GIS atau pemetaan digital yang memanfaatkan jaringan internet sebagai media komunikasi. Memiliki fungsi mendistribusikan, mempubli-kasikan, mengintegrasikan, mengko-munikasikan dan menyediakan informasi dalam bentuk teks, peta dijital serta menjalankan fungsi–fungsi analisis dan query yang terkait dengan GIS melalui jaringan internet. Penyebaran (diseminasi) data spasial yang selama ini menggunakan media cetak (peta), cd-rom, dan media penyimpanan lainnya mewajibkan pengguna untuk datang dan melihat langsung di tempat data. Metode ini mengurangi mobilitas dan kecepatan dalam memperoleh informasi mengenai data tersebut, karena itu dirasakan perlu hasil penelitian ini disajikan dalam WebGIS.

Persentase Penduduk Miskin

Mengukur kemiskinan dilakukan dengan konsep kemampuan memenuhi kebutuhan dasar *(basic needs approach)*, dengan pendekatan ini kemiskinan dipandang sebagai ketidakmampuan dari sisi ekonomi untuk memenuhi kebutuhan dasar makanan dan kebutuhan dasar bukan makanan yang diukur dari sisi pengeluaran. Penduduk yang dikategori -kan miskin apabila rata-rata pengeluaran per kapita per bulan di bawah garis kemiskinan. Garis Kemiskinan (GK), menggambarkan pengeluaran minimum yang diperlukan seseorang untuk memenuhi kebutuhan pokok hidupnya selama sebulan (dihitung dalam rupiah), baik kebutuhan makanan maupun non-makanan. BPS (2022) menjelaskan bahawa data kemiskinan makro memanfaat data hasil *Head Count Index* (HCI-P0) berupa persentase penduduk yang berada di bawah Garis Kemiskinan (GK). Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_\alpha = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{q}\left[\frac{z - y_i}{z}\right]^\alpha \quad \text{..... (1)}$$

Keterangan :
α = 0
z = garis kemiskinan.
Yi = Rata-rata pengeluaran per kapita sebulan penduduk yang berada dibawah garis kemiskinan (i=1, 2, 3, …., q), yi < z
q = Banyaknya penduduk yang berada di bawah garis kemiskinan.
N = jumlah penduduk.

Pola persebaran kemiskinan (BPS, 2021), persentase penduduk miskin kabupaten/kota di Provinsi Jawa Barat memiliki persebaran yang beragam mulai dari kategori rendah (2,6%-5,3%), sedang (5,3%-9,7%), dan tinggi (9,7%-13,1%) dan untuk keperluan spasial pola sebaran disederhanakan klasifikasinya menjadi rendah (0%–5%), sedang (5%–10%) dan tinggi (10%–15%). Nilai tingkat kemiskinan desa dan kecamatan dihitung menggunakan rumus persentase :

$$\text{Persentase (\%)} = (f:N) \times 100\% \quad \text{..... (2)}$$

Keterangan:
f : jumlah penduduk miskin desa/kecamatan
N : jumlah penduduk desa/kecamatan

Indeks Desa Membangun (IDM)

Kondisi kemiskinan banyak berdampak pada tingkat wilayah pedesaan. Kondisi ini menjadi penting untuk mengembangkan wilayah pedesaan menjadi lebih maju dengan menggali potensi-potensi yang dimiliki oleh masing-masing desa agar dapat mensejahterakan masyarakatnya. Konsep perkembangan desa dipantau dengan menggunakan Indeks Desa Membangun (IDM) berupa indeks komposit yang dibentuk dari 3 jenis indeks, yakni Indeks Ketahanan Sosial**,** Indeks Ketahanan Eko- nomi **dan** Indeks Ketahanan Ekologi/ Lingkungan (Kemendesa,2023)**.** Indeks Desa Membangun (IDM) berfungsi sebagai peta pengembangan pembangunan yang ada di desa dan dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan integrasi, afirmasi (pengakuan), dan sinergi

pembangunan. Dengan harapan dapat terwujudnya kondisi masyarakat desa yang sejahtera, adil dan mandiri. Pengukuran nilai IDM suatu desa menggunakan rumus sebagai berikut:

$$IDM = (IKS+IKE+IKL)/3 \quad \ldots\ldots (3)$$

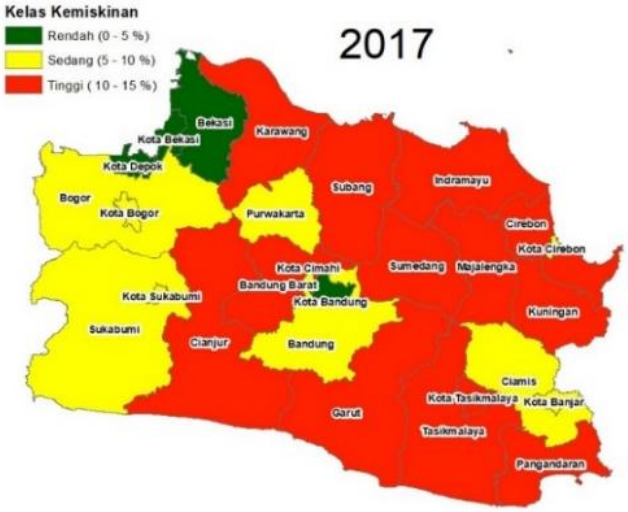
IDM : Nilai Indeks Desa Membangun
IKS : Nilai Indeks Ketahanan Sosial
IKE : Nilai Indeks Ketahanan Ekonomi
IKL : Nilai Indeks Ketahanan Lingkungan

Komponen yang dijadikan dasar penilaian untuk menentukan status desa itu tergolong ke dalam kategori Desa Mandiri, Desa Maju, Desa Berkembang dan Desa Tertinggal adalah Faktor Ketahanan Sosial, Ketahanan Ekonomi dan Ketahanan Lingkungan. Menurut Kemendesa PDTT (2023), Indeks Desa Membangun (IDM) ada lima (5) klasifikasi status kemajuan dan kemandirian desa, yaitu:

1. Desa Mandiri adalah Desa Maju yang memiliki kemampuan melaksanakan pembangunan Desa untuk mensejahterakan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakatnya dengan ketahanan sosial, ekonomi dan ekologi yang berkelanjutan, dengan IDM >0,8155 (lebih besar dari 0,8155);
2. Desa Maju adalah desa yang memiliki potensi sumber daya sosial, ekonomi dan ekologi, serta kemampuan mengelolanya untuk peningkatan kesejahteraan, kualitas hidup manusia, dan menanggulangi kemiskinan, memiliki IDM 0,7072 ≤ 0,8155;
3. Desa Berkembang adalah desa yang memiliki sumber daya sosial, ekonomi dan ekologi, akan tetapi belum secara optimal mengelolanya. Memiliki IDM 0,5989 ≤0,7072;
4. Desa Tertinggal adalah desa yang kurang optimal dalam mengelola potensi sumber daya sosial, ekonomi, dan ekologi yang dimiliki nya. Upaya dalam peningkatan kesejahteraan, kualitas hidup, serta mengalami kemiskinan dalam berbagai bentuknya. IDM lebih besar dari 0,4907≤0,5989;
5. Desa Sangat Tertinggal adalah Desa yang mengalami kemiskinan dalam berbagai bentuk dan juga rentan terhadap konflik sosial, goncangan ekonomi dan juga berbagai bencana alam. IDM yang dimiliki kurang dan lebih kecil dari 0,4907.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penduduk yang berada di bawah GK dinyatakan sebagai miskin, dan persentase penduduk miskin terhadap jumlah seluruh penduduk disebut tingkat kemiskinan. Tingkat kemiskinan tidak selalu berbanding lurus dengan jumlah orang miskin atau kontribusi kemiskinan terhadap total penduduk. Berikut adalah peta data kemiskinan kabupaten/kota di Jawa Barat yang diklasifikasikan berdasarkan kemiskinan rendah (0-5%), kemiskinan sedang (5-10%) dan kemiskinan tinggi (10-15%).



Gambar 3. Sebaran kemiskinan tahun 2017.

Pada tahun 2017 persentase penduduk miskin Jawa barat (8,95%), **Gambar 3**. memberi informasi spasial bahwa di Provinsi Jawa Barat terdapat 14 kabupaten/kota memiliki prosentase penduduk miskin yang tinggi. Menurut BPS (2019), tingkat kemiskinan di Provinsi Jawa Barat mencapai 7,45% (Gambar 4.), atau berada di bawah tingkat kemiskinan nasional (9,66%).

Kejadian pandemi *Corona Virus Disease 2019* (COVID-19) yang dinyatakan oleh *World Health Organization* (WHO) sebagai *Global Pandemic* sejak tanggal 11 Maret 2020, *dan* ditetapkan sebagai kedaruratan kesehatan masyarakat berdasarkan Keputusan Presiden Nomor 11 Tahun 2020 yang dilanjutkan dengan Penetapan Kedaruratan Kesehatan Masyarakat (COVID-19) sebagai bencana nonalam. Dilanjutkan dengan dikelaurkannya Keputusan Presiden Nomor 12 Tahun 2020 tentang Penetapan Bencana Nonalam Penyebaran (COVID-19) sebagai Bencana Nasional, berdampak terhadap berbagai aspek kehidupan termasuk aspek kesehatan, ekonomi, dan sosial yang luas di Indonesia. Akibat COVID-19 pertumbuhan ekonomi melemah dan menyebabkan kemiskinan di Jawa Barat meningkat kembali pada 2020 menjadi 7,88% atau setara 3,92 juta jiwa. Pada tahun 2021 tercatat sebanyak 4,19 juta atau 8,40% penduduk Provinsi Jawa Barat mengalami kemiskinan secara finansial di masa pandemi COVID-19. Pada akhir tahun 2022 PPKM (Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat) telah dicabut oleh pemerintah dan kembali kekehidupan normal, tanpa masker. Pada posisi ini data jumlah penduduk miskin di Provinsi Jawa Barat sebesar 4,07 juta jiwa (8,06%), pada bulan Maret 2023 penduduk miskin di Provinsi Jawa Barat 7,62%, yang artinya jumlah penduduk miskin masih lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi kemiskinan pada tahun 2019.

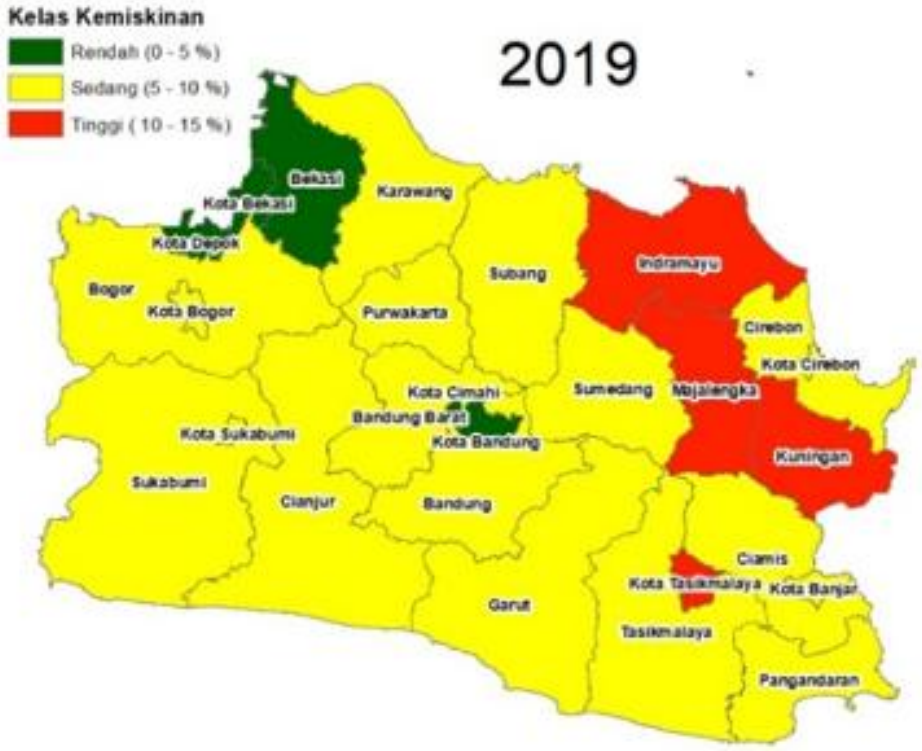
Menurut Elisabet Siahaan (2022), sistem penghitungan yang ideal untuk mengukur tingkat kemiskinan penduduk di suatu daerah, diukur berdasar persentase naik-turun angka kemiskinan. Bukan jumlah penduduk miskinnya. dalam melihat kemiskinan acuan benar dan objektif adalah memperhatikan persentase yang dibandingkan dengan total jumlah penduduk di daerah tersebut. Pengukuran tingkat kemiskinan berdasar jumlah penduduk miskin tidak layak dijadikan acuan (Siahaan, 2022), sebab disetiap daerah memiliki jumlah penduduk yang berbeda-beda. Kemiskinan tetap menjadi topik evaluasi terhadap kinerja instansi pemerintahan, isu ini juga dijadikan tolok ukur kemampuan pemerintah dalam meningkatkan kesejahteraan warganya.

Penanggulangan kemiskinan menjadi sasaran utama program pembangunan sesuai dengan pengarusutamaan agenda *Millenium Development Goals* (MDGs) dan *Sustainable Development Goals* (SDGs) dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN 2005-2025). Program penanggulangan kemiskinan yang digulirkan pemerintah dan berhasil menurunkan persentase angka kemiskinan, meskipun secara nominal jumlah penduduk miskin masih cukup tinggi. Upaya penanggulangan kemiskinan yang pernah dan sedang dijalankan masih menghadapi berbagai tantangan dalam nilai-nilai budaya masyarakat Indonesia. Pada hakikatnya, pemba-ngunan merupakan suatu proses yang berkesinambungan antara berbagai dimensi, baik dimensi sosial, ekonomi, maupun lingkungan yang bertujuan untuk kesejahteraan masyarakat.

Provinsi Jawa Barat terdiri dari 18 kabupaten dengan 9 kota, memiliki 627 wilayah kecamatan yang teridiri dari 5.322 desa dengan 645 kelurahan. Desa sebagai entitas terdepan dalam pembangunan, berkontribusi 75% dalam capaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), dan 89% wilayah pemerintahan berupa desa dengan 72% penduduk tinggal di desa (Pemprov, 2022). Pemerintah mempu-nyai perhatian besar terhadap terciptanya masyarakat yang adil dan makmur, yang salah satu aspek penting untuk mencapainya adalah dengan melakukan pembangunan dari desa. Keberhasilan pembangan di desa dinilai berdasarkan indikator yang dikembangkan dalam Indeks Desa Membangun (IDM), yang meng-gunakan konsepsi bahwa untuk menuju desa maju dan mandiri perlu kerangka kerja pembangunan berkelanjutan di mana aspek sosial, ekonomi, dan ekologi menjadi kekuatan yang saling mengisi dan menjaga potensi serta kemampuan Desa untuk mensejah-terakan kehidupan desa.

Kebijakan dan aktivitas pemba-ngunan dan pemberdayaan masyarakat desa, bertujuan menghasilkan peme-rataan dan keadilan, dengan memper-kuat nilai-nilai lokal dan budaya, serta ramah lingkungan dalam mengelola potensi sumber daya alam secara baik dan berkelanjutan. Indeks Desa Membangun memantau/ melihat per-kembangan kemandirian desa berdasarkan implementasi Undang-Undang Desa dengan dukungan dana desa serta pendamping desa. Indeks Desa Membangun memberi arahan dalam melakukan intervensi kebijakan dengan korelasi

intervensi pemba-ngunan yang tepat dari pemerintah berdasarkan keterlibatan dan atau partisipasi masyarakat yang berkorelasi dengan karakteristik wilayah desa. Hasil yang dicapai dalam kegiatan peningkatan kesejahteraan desa disajikan dalam IDM untuk wilayah Provinsi Jawa Barat disajikan secara spasial (**Gambar 4**.) menggunakan persentase penduduk miskin Tahun 2019 dan informasi IDM (**Gambar 5**.), disandingkan sebagai berikut :



Gambar 4. Sebaran kemiskinan tahun 2019.



Gambar 5. Peningkatan kesejahteraan masyarakat desa tahun 2019.

Pada tahun 2017 kabupaten/ kota dengan IDM maju sebanyak 8 wilayah dan IDM berkembang 19 wilayah. Pada tahun 2019 kabupaten/ kota dengan IDM maju bertambah menjadi 11 wilayah dan kabupaten/kota berkembang menjadi 16 wilayah. Pandemi COVID-19 telah meningkatkan kembali persentase kemiskinan di Provinsi Jawa Barat, akan tetapi pembangunan desa tetap mengalami kemajuan yang sangat baik. Pada tahun 2022 pasca COVID-19 terdapat 18 kabupaten/kota memiliki strata IDM maju dan 9 kabupaten/kota memiliki strata IDM mandiri (**Gambar 6**.).



Gambar 6. Sebaran Kemiskinan 2022.



Gambar 7. Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat Desa 2019.

Mencermati informasi spasial dari (**Gambar 6**.) dan (**Gambar 7**.), terdapat perbedaan penilaian spasial terhadap kemiskinan di suatu daerah. Perbedaan ini muncul sebagai akibat integrasi data spasial dengan data nonspasial yang berbeda, data persentase kemiskinan menggunakan data BPS dari hasil survei (data susenas/hasil sampel), berfokus pada tingkat kemiskinan secara agregat, biasanya pada tingkat nasional. Angka kemiskinan agregat atau yang sering disebut angka kemiskinan makro digunakan untuk mengukur kemajuan pembangunan suatu bangsa, data kemiskinan makro merupakan data estimasi jumlah penduduk miskin disetiap daerah. Dengan konsep *basic needs approach,* data kemiskinan ditujukan untuk perencanaan dan evaluasi program kemiskinan dengan target geografis. Penyajian data kemiskinan makro bertujuan agar diperoleh hasil perhitungan yang konsisten dan terbanding dari waktu ke waktu (Kemenkeu, 2023). Data kedua adalah data Indeks Desa Membangun (IDM), yang mengungkapkan data kemiskinan mikro dengan menggunakan konsep multidimensi, atau pendekatan non moneter untuk perhitungan datanya. Angka kemis-kinan didasarkan pada indeks atau *Proxy Means Test* (PMT) dari ciri-ciri rumah tangga, data yang dihasilkan menunjukkan jumlah rumah tangga sasaran yaitu sangat miskin, miskin, hampir/rentan miskin *by name by address*. Data kemiskinan mikro digunakan untuk program bantuan dan perlindungan sosial seperti Bantuan Langsung Tunai (BLT), Program Keluarga Harapan (PKH), subsidi beras untuk masyarakat miskin (Raskin), Jamkesnas, dll. Pengukuran tingkat kemiskinan di Indonesia terdapat dua jenis data kemiskinan yang digunakan yaitu kemiskinan makro dan kemiskinan mikro, kedua jenis data tersebut berbeda metodologi perhitungan dan pemanfaatannya sehingga tidak dapat dibandingkan.

Menurut Johan Arifin (2020), penanggulangan kemiskinan di Indonesia dinilai cukup berhasil. Kondisi kemiskinan di Provinsi Jawa Barat berturut-turut digambarkan sebagai berikut : 8,95% (2017), 8,71% (2018), 7,45% (2019), 6,91% (2020), 7,88% (2021) dan 8,06% (2022). Pada tahun 2022 jumlah penduduk miskin sebesar 4,07 juta jiwa (8,06%), pada bulan Maret 2023 penduduk miskin sebesar 7,62%, bahwa jumlah penduduk miskin masih lebih tinggi dibandingkan persentase 7,45% pada tahun 2019 (BPS, 2023).

Infrastruktur merupakan wujud dari *public capital* (modal fisik) dibentuk dari investasi yang dilakukan oleh pemerintah meliputi jalan, jembatan, sistem saluran pembuang dan sebagainya. Aset fisik ini sangat diperlukan untuk menunjang aktifitas ekonomi dalam bidang produksi maupun konsumsi. Ketersediaan prasarana jalan menjadi sesuatu yang penting dalam mendukung berkembangnya suatu wilayah, yang ditandai dengan lancarnya distribusi pergerakan manusia, barang dan jasa sehingga ekonomi wilayah tersebut berkembang dan maju. Prasarana jalan sebagai sarana lalulintas dalam melayani pergerakan manusia dan barang dari tempat asal ke suatu tujuan, dan jalan menjadi sarana penting dalam mendukung perkembangan ekonomi wilayah karena lancarnya distribusi pergerakan manusia dan barang. Kemajuan suatu wilayah memuncul kan tuntutan ketersediaan energi listrik, selain listrik untuk rumah tangga perlu dipenuhi listrik untuk keperluan industri pada skala industri rumah tangga juga industri skala menengah dan besar.

Permasalahanya adalah, per-tumbuhan ekonomi serta pembangunan wilayah masih belum terlepas dari masalah kesenjangan antar wilayah. Kasus kemiskinan di suatu kabupaten atau kota memerlukan pendekatan statistik yang memperhatikan aspek spasial untuk melihat ketergantungan antar wilayah tersebut. Menurut Taqiyyuddin dan Irfan (2022), dengan menggunakan analisis *Spatial Autoregressive Quantile Regression*, bahwa tingkat pengangguran terbuka, PDRB dan kepadatan penduduk berpengaruh signifikan terhadap tingkat kemiskinan di Provinsi Jawa Barat. Variabel respon yang digunakan adalah tingkat persentase kemiskinan dengan variabel prediktornya yaitu: rata-rata lama sekolah (tahun), angka harapan hidup (%), tingkat pengangguran terbuka (%), PDRB (juta) dan kepadadatan penduduk (jiwa/km2).

KESIMPULAN

Berbagai program penang-gulangan kemiskinan telah dilaksana-kan oleh pemerintah, yang secara nyata telah berhasil menurunkan jumlah masyarakat miskin dan tingkat kemiskinan nasional. Keberhasilan tersebut tidak lepas dari program-program sektoral yang dilaksanakan secara integratif dan terkoordinasi antar pemerintah daerah Jawa Barat dengan kementerian/lembaga. Sebagai akibat adanya kasus bencanan nonalam, menurut BPS (2019)

persentase kemiskinan di Provinsi Jawa Barat mencapai 7,45% berada di bawah tingkat kemiskinan nasional (9,66%), terjadinya Pandemi COVID-19 meningkatkan kembali persentase penduduk miskin berturut-turut adalah 6,91% (2020), 7,88% (2021) dan 8,06% (2022). Pada bulan Maret 2023 penduduk miskin sebesar 7,62%, bahwa persentase penduduk miskin masih lebih tinggi dibandingkan persentase 7,45% pada tahun 2019. Secara spasial memberi informasi bahwa pada tahun 2019 Jawa Barat memiliki 8 kabupaten/kota dengan IDM maju dan 19 kabupaten/kota memilik IDM berkembang. Pada tahun 2022 status IDM Prov. Jawa Barat mengalami kemajuan yang sangat baik, 18 kabupaten/kota memiliki IDM maju dan 9 kabupaten/kota memiliki IDM mandiri. Dapat disimpulkan bahwa, pembangunan infrastruktur memiliki pengaruh siginifikan terhadap pertumbuhan ekonomi wilayah di Jawa Barat, karena lancarnya distribusi barang dan pergerakan orang. Analisis perubahan spasial IDM setiap kabupaten/kota dan kecamatan di Provinsi Jawa Barat dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2023 bisa diakses melalui link *https://jabar.netlify.app/*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Pakuan yang mendukung kegiatan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Badan Pusat Statistik (BPS), Badan Informasi Geospasial (BIG), Kemeterian Desa PDT, dan OSM *(Open Street Map)* yang menyediakan data secara daring sehingga kegiatan penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, J. (2020). Budaya Kemiskinan dalam Penanggulangan Kemiskinan di Indonesia. *Sosio Informa : Kajian Permasalahan Sosial dan Usaha Kesejahteraan Sosial*, *6*(2), 114–132. https: //doi.org/10.33007/inf.v6i2.2372

Azizah, N.N.N., Rohimah, S.R. and Sumargo, B. (2021) 'Pemodelan Data Kemiskinan di Provinsi Jawa Barat Menggunakan Regresi Spasial Data Panel', *Jurnal Statistika dan Aplikasinya*, 5(2), pp. 146–154.

Badan Pusat Statistik (2023), sebaran penduduk miskin di Provinsi jawa Barat

Badan Pusat Statistik (2022) *Tinjauan Ekonomi Provinsi Jawa Barat 2021*.

Badan Informasi geospasial (BIG), akses website BIG.go.id, 2023

Dwi Ardian, Muhammad Rizqi Destanto (2020). Pengaruh Faktor Sosial Ekonomi Terhadap Kemiskinan di Provinsi Jawa Barat. Prosiding Seminar Nasional *Official Statistics* 2020: *Statistics in the New Normal: A Challnge of Big Data and Official Statistics*

Elisabet Siahaan. Prof. (2022). Cara Hitung Kemiskinan Ideal. *https: //sumatra.bisnis.com/read/ 20220703/533/1550788/cara-hitung-kemiskinan-yang-ideal-begini-kata-akademisi*

Farah Salsabila Muchtar, Atih Rochaeti, Aan Julia (2017). Pengaruh Infrastruktur Ekonomi terhadap Pertumbuhan Ekonomi Regional Jawa Barat 2010-2015. Prosiding Ilmu Ekonomi Vol.3 No.1 Tahun 2017. ISSN : 2460-6553

Hardinandar, F. (2019). Determinan Kemiskinan (Studi Kasus 29 Kota/Kabupaten di Provinsi Papua). *Jurnal REP (Riset Ekonomi Pembangunan)*, *4*(1), 1–12. https://doi.org/10.31002/ rep.v4i1.1337

Winoto, Joyo dan Siregar, Hermanto. 2006. Peranan Pembangunan Infrastruktur dalam Meng-gerakan Sektor Rill*. Jurnal Ekonomi Indonesia. No 1.*

Sudarsana. 2009. Program Raskin Sebagai Penanggulangan Kemi-skinan di Indonesia*. Jurnal Sosiologi. Vol. 21 No 2.*

Katamso Noto Santoso, Fayadh Abiyyi, Andika Roy Khian Marselino (2022). Analisis Spasial Kemiskinan pada Masa Pemulihan Pandemi Covid-19 di Jawa Barat Tahun 2021. *Jurnal Statistika dan Aplikasinya,* Vol. 6 No.2, December 2022.

Kemenkeu (2023). Artikel Kemiskinan. *https://djpb.kemenkeu.go.id/kppn/lubuksikaping/ id/datapublikasi /artikel/3155-kemiskinan-makro-dan-kemiskinan-mikro.html*

Laga Priseptian1, Wiwin Priana Primandhana (2022). Analisis faktor-faktor yang mempe-ngaruhi kemiskinan. Copyright © 2022, FORUM EKONOMI ISSN Print: 1411-1713 ISSN Online: 2528-150X.

Nur Halimatussa diyah, Ginanjar Wiro Sasmito, Dyah Apriliani (2021). Aplikasi Klasifikasi Status Kemiskinan Warga di Kabu-paten Tegal. Jurnal Sistem Kom-puter Volume 10, Nomor 1, April 2021.

Peraturan Menteri Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal dan Transmi-grasi No. 2 Tahun 2016 tentang Indeks Desa Membangun.

Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN 2005-2025).

Riadi B, Munajati SL, 2008, Kajian Infrastruktur Jalan di Jawa Barat Bagian Selatan. Globe Vol.10 No.1 Juni 2008 Hal.68-75

Teguh Ammar Taqiyyuddin dan Muhamad Irfan (2022). Faktor Penyebab Kemiskinan di Pro-vinsi Jawa Barat Menggunakan *Spatial Autoregressive Quantile Regression.* Jurnal Sains Mate-matika dan Statistika .Vol. 8, No. 1, Januari 2022 Hal. 59-69

Topcu, E. (2022) 'The impact of COVID-19 on regional poverty: Evidence from Latin America', in *COVID-19 and the Sustainable Development Goals*. Elsevier, pp. 399–412.

Undang - Undang Nomor 6 Tahun 2014 tentang Desa

Website resmi IDM Kemendesa PDTT - https://idm.kemendesa.go.id

World Bank (2020) 'Poverty and Shared Prosperity 2020: Reversals of Fortune', *Poverty and Shared Prosperity 2020: Reversals of Fortune* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1602-4.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS KERAPATAN VEGETASI DAN SUHU PERMUKAAN BERBASIS DATA PENGINDERAAN JAUH

Assessing Vegetation Greenness and Land Surface Temperatures Using Remote Sensing Data

Dede Ahmad Waluya[1], Arif Ismail[1], Nandi Nandi[1], Moh. Dede[1,2*], Millary Agung Widiawaty[3,4], Nana Nur Afriana[5], Yanuar Rizky Ramadhan[6]

[1]Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia
[2]Sekolah Pascasarjana, Universitas Padjadjaran, Indonesia
[3]School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, United Kingdom
[4]Cakrabuana Institute for Geoinformation, Environment and Social Studies, Indonesia
[5]Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
[6]PT. Reasuransi MAIPARK Indonesia, Indonesia

Gedung FPIPS UPI, Jl. Dr. Setiabudhi no. 229, Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat, 40154, Indonesia
E-mail: m.dede.geo@upi.edu

ABSTRAK

Peningkatan suhu permukaan sebagai dampak menurunnya kerapatan vegetasi memiliki implikasi serius, terutama terkait munculnya fenomena *urban heat island* yang berpotensi berdampak terhadap tatanan ekologis dan sosial-ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dinamika kerapatan vegetasi dan perubahan suhu permukaan. Penelitian ini berlokasi di Kecamatan Kuningan, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat. Data berasal dari citra satelit, survei lapangan, serta pembagian kuesioner pada informan. Sumber utama data berasal data citra Landsat series yang divalidasi dengan citra MODIS (suhu permukaan) dan Sentinel-2 A/B (kerapatan vegetasi). Perubahan vegetasi diukur menggunakan *normalized difference vegetation index* (NDVI), sementara suhu permukaan dihitung dengan persamaan radiative transfer pada periode 1990-2020. Validitas hasil dipastikan dengan membandingkan dua dataset pada tahun yang sama melalui pengujian statistik. Penelitian ini menemukan bahwa peningkatan suhu permukaan sebesar 1,93°C selama periode 40 tahun, dengan variasi suhu mencapai 12.83°C. Hubungan antara perubahan kerapatan vegetasi dan perubahan suhu di Kuningan memiliki nilai negatif yang berarti saling bertolak belakang. Suhu permukaan tertinggi terlokalisir di pusat kota, permukiman padat, dan wilayah yang mengalami transformasi menjadi lahan terbangun. Hasil penelitian ini memberikan wawasan yang penting untuk pengelolaan lingkungan perkotaan dan mitigasi dampak perubahan tata guna lahan.

Kata kunci: dinamika lansekap, iklim perkotaan, Kuningan, penginderaan jauh.

ABSTRACT

The increase in surface temperature due to a decline in vegetation greenness has serious implications for the development of urban heat island phenomena that can affect the ecological and socio-economic order. This study investigates the dynamics of vegetation greenness and surface temperature changes in the Kuningan Sub-District, Kuningan Regency, West Java. Data were derived from satellite imagery, field surveys, and questionnaires distributed to informants. The primary data sources included Landsat series imagery validated with MODIS (surface temperature) and Sentinel-2 A/B (vegetation greenness) images. Vegetation changes from 1990 to 2020 were measured using the normalized difference vegetation index (NDVI), while surface temperature was calculated using the radiative transfer equation. The results validity was ensured by statistically comparing two datasets from the same year. The surface temperature increased by 1.93°C over 40 years, reaching 12.83°C at the end of the study. The relationship between changes in vegetation greenness and temperature in Kuningan was negative, indicating a contrasting relationship. The highest surface temperatures were observed in the city center, densely populated settlements, and areas that transformed the built-up land. This research's findings provide crucial insights for urban environmental management and mitigation of impacts of land-use change.

***Keywords**: Kuningan, landscape dynamics, remote sensing, urban climate.*

PENDAHULUAN

Perkembangan wilayah perkotaan seringkali diikuti oleh berkurangnya lahan bervegetasi rapat, terutama di negara-negara berkembang akibat pertumbuhan populasi manusia yang pesat (Sailor, 2006). Fenomena ini memicu perubahan penggunaan lahan, di mana lahan bervegetasi dikonversi menjadi lahan terbangun untuk memenuhi kebutuhan permukiman, industri, dan fasilitas lainnya. Berkurangnya lahan bervegetasi rapat dapat menyebabkan perubahan kualitas lingkungan, khususnya peningkatan suhu udara (Belgaman *et al.*, 2012). Oleh karena itu, kajian mengenai dampak perubahan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan menjadi penting dalam upaya mewujudkan kota yang tangguh (*urban resilience*) dalam menghadapi perubahan iklim (Akinyemi *et al.*, 2020).

Kabupaten Kuningan, sebagaimana tercantum dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Tahun 2011-2031, memiliki lima kecamatan yang ditetapkan sebagai pusat kegiatan lokal (PKL), yaitu Kecamatan Kuningan, Cilimus, Ciawigebang, Luragung, dan Kadugede. PKL adalah kawasan perkotaan yang berfungsi untuk melayani kegiatan skala kabupaten atau beberapa kecamatan (Sugito *et al.*, 2023). Kecamatan Kuningan, sebagai salah satu PKL, berfungsi sebagai pusat pemerintahan kabupaten, pengolahan hasil pertanian, industri, bisnis regional, pariwisata, dan pendidikan tinggi (Ardiansyah & Aseseang, 2007; Iqbal & Setiyono, 2020). Posisinya yang menghubungkan Kota Cirebon dan Kota Tasikmalaya menjadikan Kecamatan Kuningan berkembang pesat, diikuti oleh pembangunan industri baru dan perubahan lansekap dari rural menjadi urban, dengan ciri utama berkurangnya lahan bervegetasi dan bertambahnya lahan terbangun, yang pada akhirnya meningkatkan suhu permukaan di wilayah tersebut (Dede *et al.*, 2022).

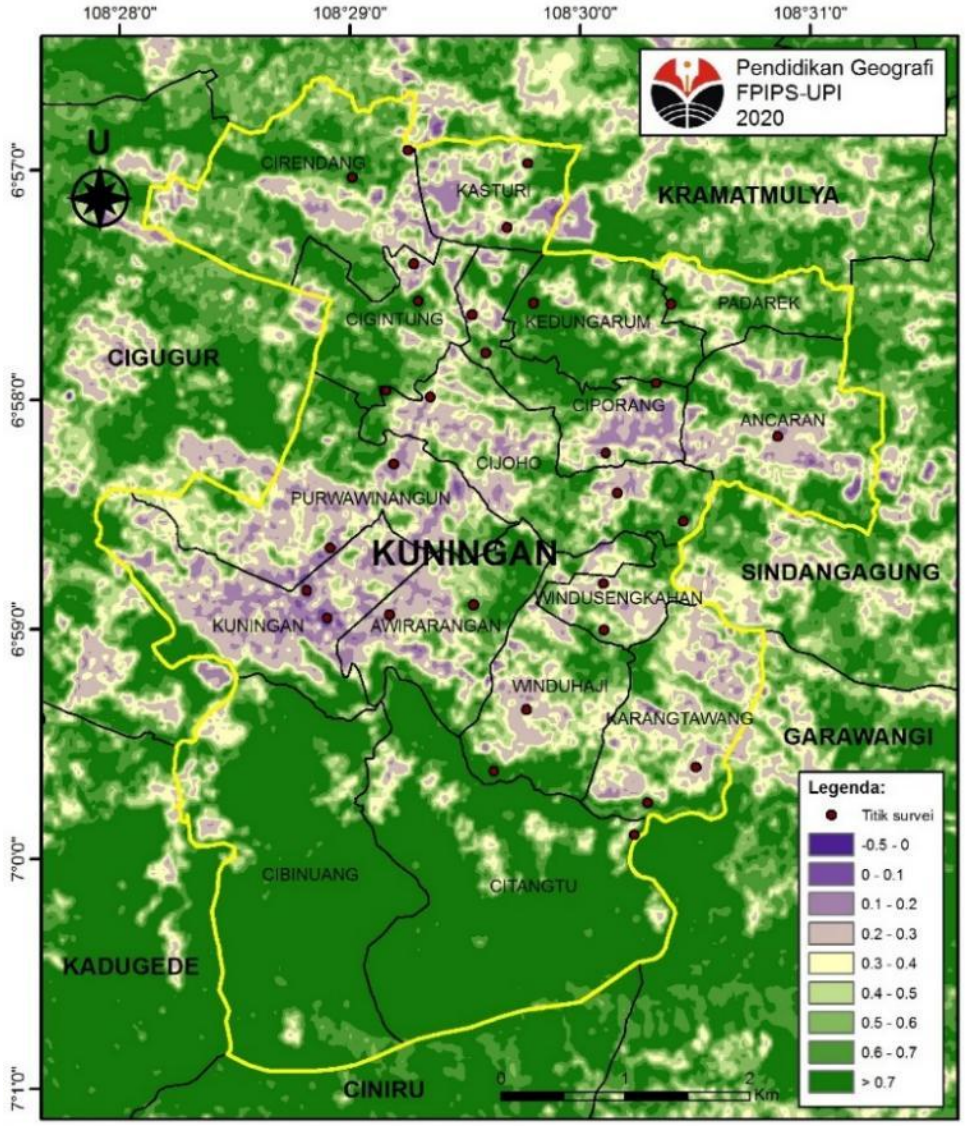
Berdasarkan pengamatan awal, wilayah yang masih memiliki kerapatan vegetasi cukup rapat adalah Desa Cibinuang dan Kelurahan Citangtu yang memiliki topografi berbukit serta digunakan sebagai lahan perkebunan. Namun, wilayah lain di Kecamatan Kuningan telah mengalami perubahan penggunaan lahan yang signifikan, dengan berkurangnya lahan bervegetasi rapat dan bertambahnya lahan terbangun untuk permukiman, perkantoran, industri, dan fasilitas lainnya. Kecamatan Kuningan memiliki luas total 29,75 km^2 atau 2.975 hektar (Ha). Data menunjukkan peningkatan signifikan luas lahan terbangun di Kecamatan Kuningan dalam kurun waktu 10 tahun, dari 29% pada tahun 2005 menjadi 41,7% pada tahun 2015 (BPS Kabupaten Kuningan, 2016). Peningkatan luas lahan terbangun ini terus berlanjut seiring dengan penetapan Kecamatan Kuningan sebagai PKL, yang kemudian berpotensi berpengaruh pada peningkatan suhu permukaan dan memerlukan penelitian lebih lanjut (Dede & Widiawaty, 2020).

Penelitian mengenai dampak perubahan vegetasi terhadap suhu permukaan dilakukan dengan pendekatan spasial, mengamati hubungan antara kerapatan vegetasi dan suhu menggunakan data citra satelit penginderaan jauh yang memiliki resolusi multi-temporal dan multi-spektral (Sencaki *et al.*, 2013). Hubungan antara peningkatan suhu udara dan berkurangnya kerapatan vegetasi merupakan fenomena yang saling bertolak belakang, sehingga koefisien korelasinya senantiasa negatif (Fawzi & Mufarikahm 2013; Fawzi & Jatmiko, 2018). Nilai suhu permukaan atau *land surface temperature* (LST) dianalisis berdasarkan nilai dari saluran (*band*) termal menggunakan persamaan transfer radiatif, sedangkan nilai kerapatan vegetasi diperoleh melalui *normalized difference vegetation index* (NDVI) yang menggunakan reflektansi dari band inframerah jarak dekat (NIR) (Nugroho *et al.*, 2016; Dede *et al.*, 2019). Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan di Kecamatan Kuningan, sebagai wilayah yang mengalami perkembangan perkotaan yang pesat.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Kuningan, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat, yang terletak pada koordinat 108°28' - 108°30' BT dan 06°57' - 07°01' LS dengan luas total 29,75 km^2. Seluruh wilayah Kecamatan Kuningan dijadikan sebagai objek studi untuk mengetahui dinamika kerapatan vegetasi dan suhu permukaan selama periode 1990-2020 (30 tahun). Sebanyak 30 titik sampel lapangan di Kecamatan Kuningan digunakan dalam penelitian ini (**Gambar 1**). Selain itu, peneliti juga menggunakan sampel manusia sebagai sumber informasi untuk mengonfirmasi data

yang diperoleh dari citra satelit berdasarkan pengalaman nyata masyarakat di lapangan selama periode tersebut. Sampel manusia yang dipilih secara *purposive sampling* berjumlah 30 orang, disertai dengan kegiatan observasi dan studi dokumentasi (Nurbayani *et al.*, 2022; Nurbayani *et al.*, 2023). Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam pengambilan sampel manusia, antara lain: 1) Masyarakat yang mengamati secara langsung perubahan kerapatan vegetasi selama periode 1990-2020, 2) Masyarakat yang mengamati secara langsung perubahan suhu permukaan rentang waktu tertentu, dan 3) Masyarakat yang mengamati perubahan kerapatan vegetasi dan suhu selama periode 30 tahun tersebut masih mengingat pengalaman mereka.



Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Gambar 1. Lokasi penelitian dan sebaran sampel titik survei.

Data penelitian sebagian besar tersedia secara *online* (daring) dari lembaga penyedia yang relevan dengan akses bebas (Dede *et al.*, 2020a). Data citra satelit Landsat series dan citra Sentinel-2 A/B diperoleh dari Earth Explorer USGS (https://earthexplorer.usgs.gov), sedangkan data citra MODIS berasal dari NOAA melalui laman Earth Data (https://earthdata.noaa.gov). Data tersebut kemudian diuji validitasnya dengan menggunakan sumber lain, baik primer maupun sekunder. Tahap selanjutnya adalah analisis data yang dilakukan secara kuantitatif untuk mengetahui pengaruh perubahan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan (Ismail *et al.*, 2024). Hasil analisis diperkuat oleh berbagai teori maupun temuan pada kajian-kajian sebelumnya. Informasi hasil pemrosesan data dari citra satelit dengan beragam algoritma (NDVI dan LST) diuji validitasnya dengan membandingkan hasilnya dari dua dataset berbeda pada tahun yang sama (Widiawaty *et al.*, 2020). Pengujian validitas dilakukan dengan uji korelasi Spearman Rank

(**Persamaan 1**), karena seluruh hasil pemrosesan tersebut mempunyai kecenderungan sebaran data yang tidak memenuhi kaidah parametris (Setiawan *et al.*, 2019; Dede *et al.*, 2024). Data dianggap valid jika nilai signifikansi minimal adalah 0,05. Khusus data kerapatan vegetasi, validasi dengan data hasil survei lapangan ditunjukkan dalam nilai koefisien *overall accuracy* dan *overall kappa* dengan limit sebesar 0,70 atau 70% (Widiawaty, 2019).

$$\rho = \frac{6 \sum d_i^2}{n\,(n^2 - 1)} \quad \text{.....(1)}$$

dimana ρ menunjukkan tingkat korelasi, n jumlah data yang diamati, dan d merupakan *difference value* dari data yang disandingkan. Korelasi dinyatakan signifikan bila nilai ρ hitung > ρ tabel pada tingkat kepercayaan 95%.

Untuk mengetahui implikasi perubahan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan, kedua data tersebut dianalisis dengan menggunakan analisis pengurangan yang berbasis pada lokasi tiap sel (**Persamaan 2**) (Dede & Widiawaty, 2020). Data yang dihasilkan selanjutnya dianalisis menggunakan model regresi kubik (**Persamaan 3**), demi mengetahui implikasi perubahan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan di Kecamatan Kuningan. Hipotesis nol penelitian (Ho) yang diajukan adalah variabel pertama (kerapatan vegetasi) mempengaruhi perubahan signifikan terhadap variabel kedua (suhu permukaan). Model regresi kubik lazim digunakan untuk analisis data-data pemantauan lingkungan yang menggunakan sampel jenuh (Arhatin & Wahyuningrum, 2013).

$$\Delta X = X_{0\,(i,j)} - X_{t\,(i,j)} \quad \text{.....(2)}$$

dimana X merupakan variabel penelitian, merupakan nilai kerapatan vegetasi, $0_{(i,j)}$ menunjukkan lokasi piksel pada periode pertama dengan koordinat i dan j, $t_{(i,j)}$ sebagai lokasi piksel pada periode kedua dengan koordinat i dan j.

$$Y = \alpha + b_1P \times b_2P^2 \times b_3P^3 \quad \text{.....(3)}$$

dimana Y merupakan variabel terikat, α menunjukkan nilai konstanta regresi, b sebagai nilai koefisien, dan P sebagai variabel bebas. Regresi dinyatakan signifikan bila memiliki nilai p-value < 0.05.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Wilayah Kajian dan Validasi Data

Menurut Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kuningan Tahun 2011-2031, Kecamatan Kuningan ditetapkan sebagai salah satu kawasan resapan air dengan luas total kurang lebih 3.522 Ha dengan aneka ruang budidaya untuk perikanan, industri kecil dan mikro, serta permukiman (Pemerintah Kabupaten Kuningan, 2011). Penggunaan lahan di Kecamatan Kuningan terbagi menjadi 6 jenis, yaitu sawah, perkebunan, hutan, permukiman, tanah ladang, dan padang rumput. Iklim di wilayah Kecamatan Kuningan diklasifikasikan sebagai iklim Am menurut sistem Koppen-Geiger (Błażejczyk *et al.*, 2015; Beck *et al.*, 2018; He *et al.*, 2021), dengan suhu rata-rata sekitar 24,4°C dan curah hujan tahunan rata-rata 2.876 mm. Bulan terkering di Kecamatan Kuningan terdapat pada Agustus dengan curah hujan rata-rata sekitar 52 mm, sedangkan bulan dengan curah hujan tertinggi terdapat pada Januari dengan ketinggian 462 mm.

Hasil uji validasi menunjukkan data suhu permukaan dan NDVI dinyatakan layak karena memenuhi nilai korelasi yang tinggi dengan p-value signifikan (Susiati *et al.*, 2023). Pada variabel suhu permukaan, instrumen citra Landsat memiliki korelasi yang tinggi dan signifikan dengan citra MODIS Terra (0.62). Sementara untuk variabel kerapatan vegetasi, citra Landsat memiliki korelasi yang sangat tinggi dan signifikan dengan citra Sentinel-2 A/B (0.86). Khusus pada variabel kerapatan vegetasi, turut dilakukan pengujian berdasarkan hasil pengamatan lapangan yang terbukti pengamatan melalui citra satelit mampu menghasilkan *overall accuracy* sebesar 80% dan

overall kappa sebesar 73%. Dengan demikian, data-data tersebut layak sebagai bahan analisis penelitian.

Tabel 1. Distribusi Sentral Kerapatan Vegetasi.

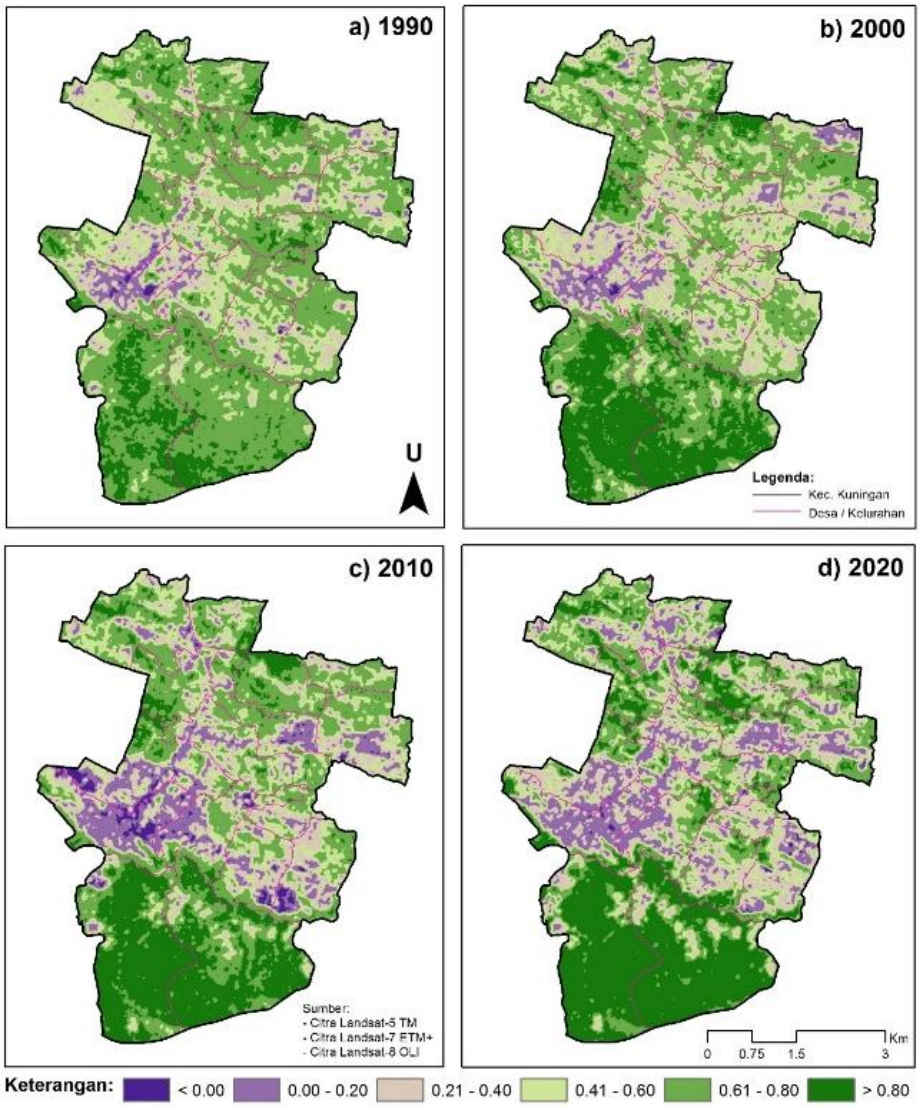
Tahun	Min	Maks	Rerata	Rentang	SD
1990	-0.83	0.89	0.62	1.72	0.19
2000	-0.24	0.89	0.60	1.13	0.21
2010	-0.30	0.92	0.56	1.22	0.26
2020	-0.54	0.91	0.57	1.45	0.27

Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Tabel 2. Distribusi Sentral Suhu Permukaan (°C).

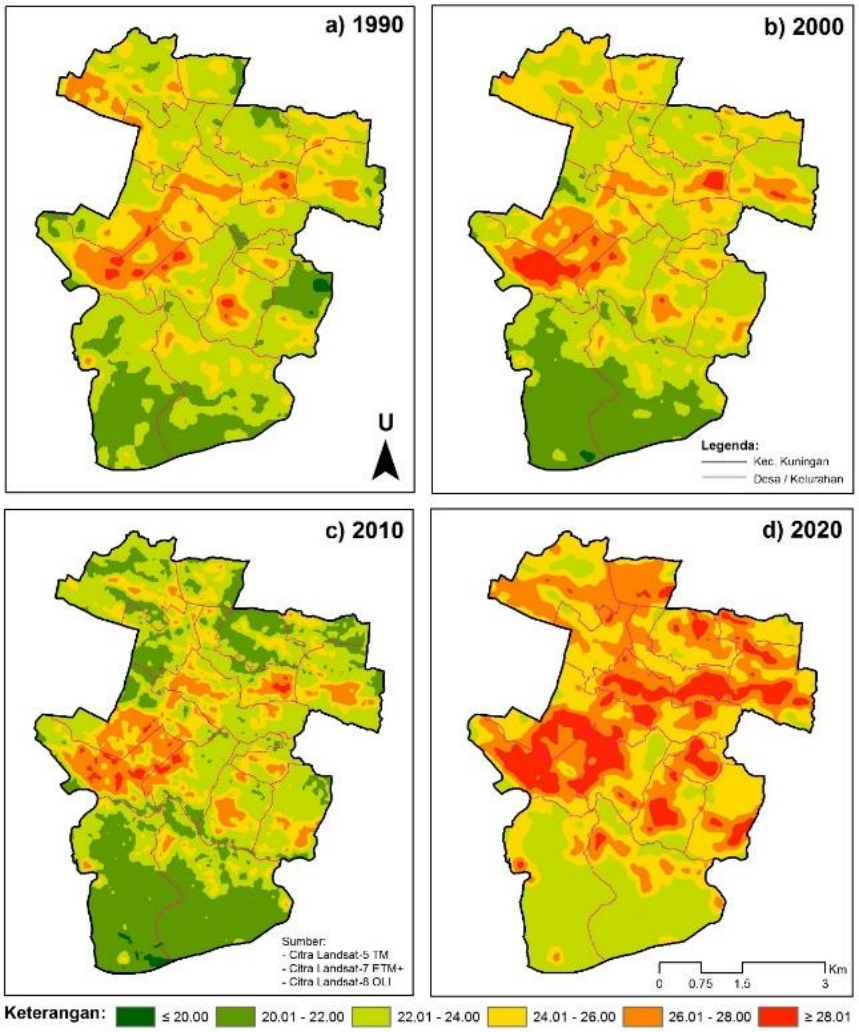
Tahun	Min	Maks	Rerata	Rentang	SD
1990	17.93	29.18	23.63	11.25	1.62
2000	19.73	30.42	23.76	10.69	1.76
2010	19.16	29.25	23.21	10.09	1.85
2020	22.12	30.60	25.57	8.48	1.84

Sumber: Analisis Penulis, 2020.



Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Gambar 2. Persebaran Nilai NDVI Kecamatan Kuningan 1990-2020.



Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Gambar 3. Persebaran Perubahan Suhu Permukaan Kecamatan Kuningan 1990-2020.

Perubahan Kerapatan Vegetasi dan Suhu Permukaan

Pada tahun 1990, kerapatan vegetasi di Kecamatan Kuningan relatif tinggi dan tersebar dekat dengan lahan terbangun (pemukiman, prasarana, dan sarana publik) dalam wujud pekarangan maupun tegalan yang mengelilinginya (**Gambar 2**). Kecamatan Kuningan memiliki nilai NDVI rata-rata sebesar 0,62 dengan nilai maksimal mencapai 0,89. Nilai NDVI tersebut terus menurun hingga 20 tahun setelahnya, menjadi 0,60 (tahun 2000) dan 0,56 (tahun 2010). Namun, nilai NDVI mengalami sedikit kenaikan sebesar 0,01 pada tahun 2020 (**Tabel 1**). Perubahan kerapatan vegetasi ini dapat memicu perubahan kualitas lingkungan, salah satunya berupa perubahan suhu permukaan (Vicente-Serrano *et al.*, 2004; Nurdian *et al.*, 2019). Suhu rata-rata Kecamatan Kuningan pada rentang tahun 1990 hingga 2020 relatif meningkat hampir 2°C (**Tabel 2**), dengan kenaikan suhu rata-rata yang cukup signifikan pada tahun 2020. Pada periode 1990 hingga 2020, hampir keseluruhan wilayah kajian mengalami kenaikan suhu permukaan. Kenaikan suhu permukaan bertambah pesat pada tahun 2020. Padahal pada periode 1990 hingga 2010, wilayah dengan suhu yang tinggi cenderung memusat di bagian barat dan tengah, kemudian mulai tersebar hampir ke seluruh Kecamatan Kuningan, kecuali di bagian selatan, pada tahun 2020 (**Gambar 3**).

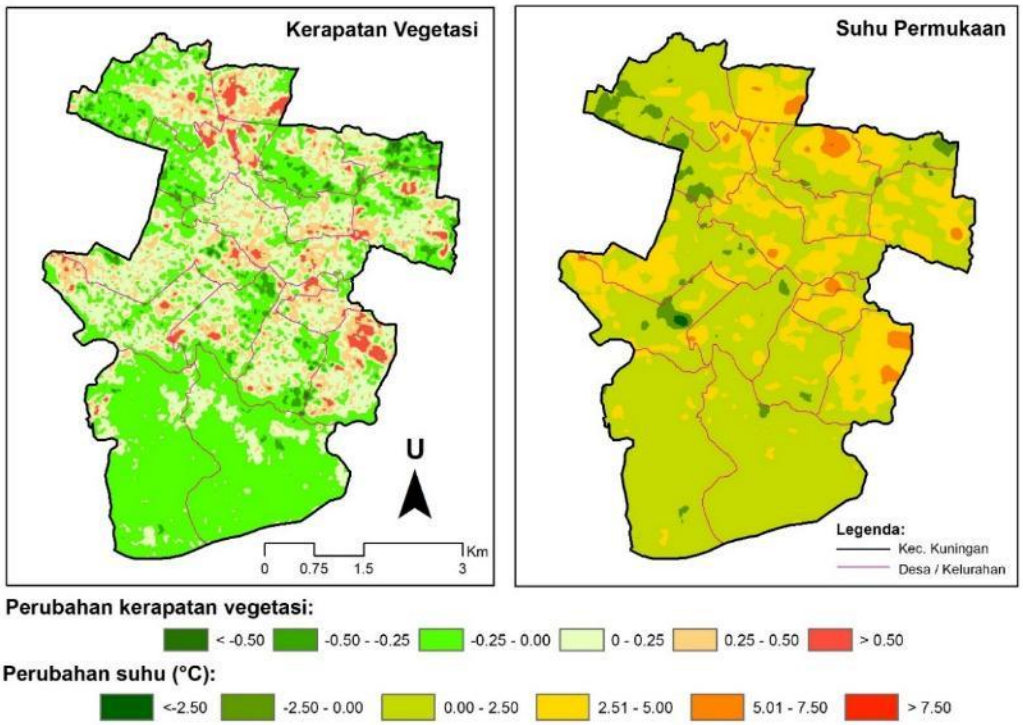
Keberadaan taman kota di tengah pusat kota ternyata memberikan dampak positif bagi lingkungan di perkotaan. Lokasi taman kota Kuningan berwarna kuning dan hijau muda di bagian tengah, yang mengartikan bahwa keberadaan areal hijau ini membuat suhu seakan dapat dikendalikan, padahal di sekitar kawasan tersebut berwarna merah tua yang menunjukkan suhu permukaan yang tinggi. Keberadaan taman kota memberikan *cooling effect* bagi lingkungan sekitarnya sebagai layanan ekosistem (Dede *et al.*, 2023). *Cooling effect* tersebut tidak hanya

ditentukan oleh luas, bentuk, dan vegetasinya, tetapi juga tergantung pada ketinggian tempat, tipe lahan perkotaan, tingkat kekedapan air trotoar, serta pola penanaman pohon (Xiao *et al.*, 2018). Selain itu, taman kota juga dapat menjadi tempat yang memberikan kenyamanan secara psikologis bagi masyarakat sekitar yang tinggal di lingkungan dengan suhu yang tinggi (Aram *et al.*, 2019).

Tabel 3. Parameter Deskriptif Perubahan Kerapatan Vegetasi dan Suhu Permukaan.

Variabel	Min	Maks	Mean	Range	SD
Kerapatan vegetasi	-0.94	0.93	0.05	1.87	0.21
Suhu permukaan	-5.15	7.68	1.93	12.83	1.21

Sumber: Analisis Penulis, 2020.



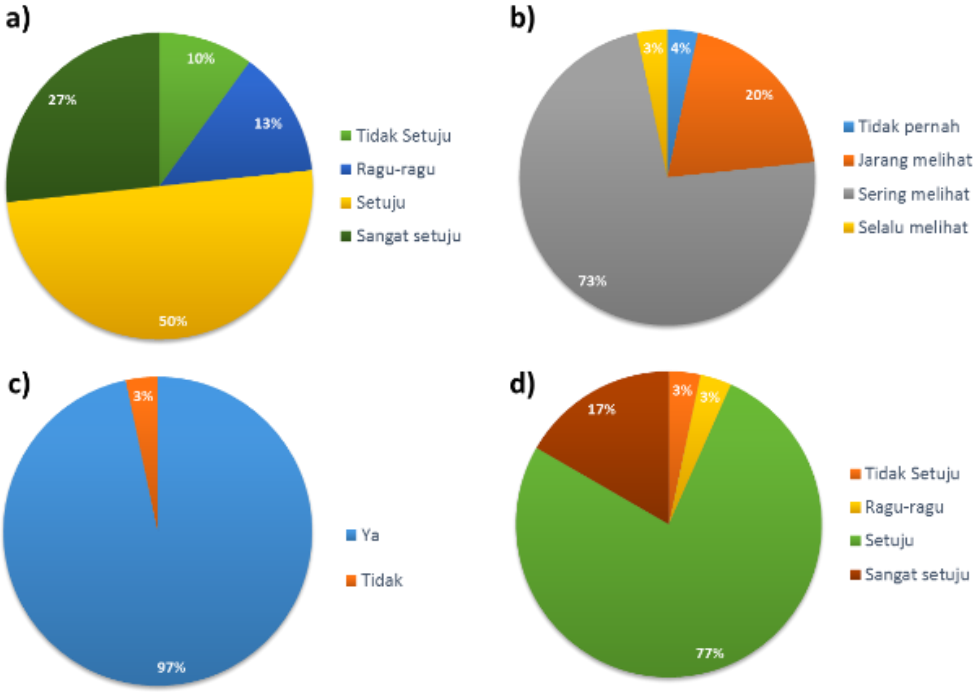
Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Gambar 4. Perubahan Kerapatan Vegetasi dan Suhu Permukaan Kecamatan Kuningan 1990-2020

Citra Landsat series yang menjadi sumber utama untuk pengamatan kerapatan vegetasi dan suhu permukaan terdiri atas sekumpulan piksel yang membentuk data raster bereferensi geografis (Lillesand, 2022; Lillesand *et al.*, 2015). Perubahan nilai tiap piksel per lokasi untuk kerapatan vegetasi reratanya mencapai 0,05 dengan rentang tertinggi mencapai 1,87 dan nilai maksimal 0,93, yang berarti ada perubahan ekstrem dari area bervegetasi rapat menjadi lahan terbangun atau badan air (**Tabel 3**). Nilai rerata perubahan kerapatan vegetasi yang kecil dengan rentang yang sangat tinggi menandakan adanya perubahan lansekap dan kenaikan suhu permukaan yang ekstrem (**Gambar 4**). Perubahan kerapatan vegetasi memiliki korelasi negatif dengan suhu permukaan. Pada tahun 1990, kerapatan vegetasi berkorelasi tinggi sebesar -0,70 dengan suhu permukaan. Korelasi negatif di antara keduanya terus berlangsung, bahkan nilainya berubah menjadi sangat tinggi antara -0,81 hingga -0,87. Korelasi negatif yang semakin meningkat menunjukkan bahwa kerapatan vegetasi memiliki potensi besar yang mempengaruhi kenaikan suhu permukaan. Berkurangnya lahan bervegetasi rapat berlawanan dengan naIKNya suhu permukaan di setiap periode.

Berdasarkan hasil uji regresi, diketahui bahwa kerapatan vegetasi berkontribusi sebesar 36% atas kenaikan suhu permukaan dengan persamaan Y = 1,733 + 3,851 (X) + 0,911 (X^2) – 2,981 (X^3). Mengacu pada nilai korelasinya, kerapatan vegetasi berpengaruh negatif terhadap suhu permukaan. Hal ini berarti area yang rapat vegetasinya akan memiliki suhu yang lebih rendah dan begitu pula sebaliknya (Ismail *et al.*, 2020). Hasil uji regresi juga menunjukkan nilai epsilon 64%,

yang menunjukkan terdapat faktor lain yang turut mempengaruhi perubahan suhu permukaan selain kerapatan vegetasi, seperti kondisi lalu lintas, kawasan industri, terminal, pembangkit energi listrik, dan lain sebagainya (Dede *et al.*, 2020b). Model regresi menunjukkan bahwa nilai suhu permukaan mempunyai kecenderungan naik secara signifikan walau variabel kerapatan dihilangkan, yakni sebesar 1,73°C, fenomena ini menunjukkan adanya tren peningkatan akibat pemanasan global (Al-Ghussain, 2019; Fawzy *et al.*, 2020). Meski begitu, baik nilai koefisien maupun konstanta memiliki pengaruh signifikan berdasarkan nilai p-value yang kurang dari 0,01 untuk tiap penaksir regresi dan mampu mengestimasi perubahan suhu permukaan secara akurat.



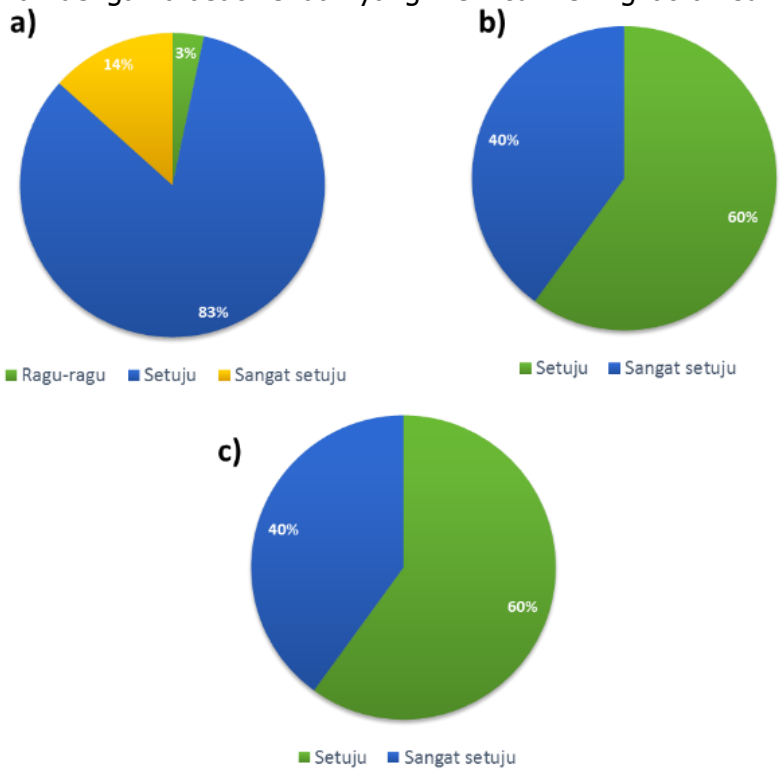
Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Gambar 5. Pandangan masyarakat terhadap perubahan kerapatan vegetasi dan suhu permukaan.a) Merasakan kenaikan suhu; b) Pernah melihat masyarakat berpakaian tebal; c) melihat dan mengalami alih fungsi lahan; serta d) Memersepsikan lahan terbangun sebagai pemicu kenaikan suhu.

Dampak Perubahan Kerapatan Vegetasi terhadap Suhu Permukaan

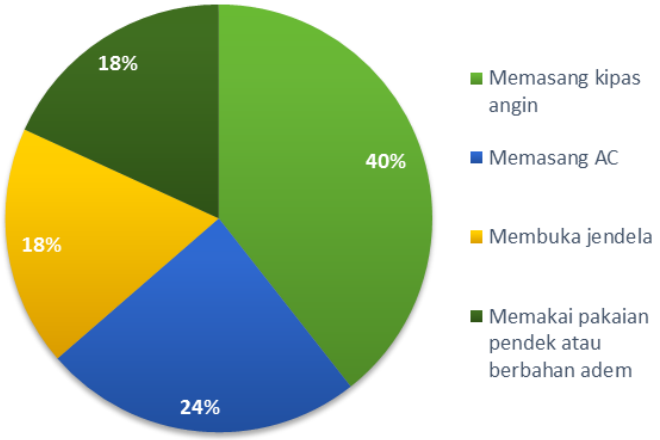
Perubahan kerapatan vegetasi dan suhu permukaan juga dirasakan sendiri oleh masyarakat Kecamatan Kuningan yang mengalami secara sadar peristiwa tersebut selama 30 tahun. Mayoritas dari mereka menyadari bahwa wilayah ini semakin panas, yang dibuktikan dari perubahan gaya berpakaian masyarakat yang dahulu sering memakai pakaian tebal dan seiring waktu terus berkurang (**Gambar 5**). Masyarakat menyadari bahwa kenaikan suhu di wilayah ini, salah satunya, dipengaruhi oleh alih fungsi lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun yang terus berlangsung hingga sekarang. Kehadiran lahan-lahan terbangun baru turut menyebabkan suasana lingkungan menjadi bahang (Morabito *et al.*, 2016; Isa *et al.*, 2017), padahal sebelumnya wilayah mereka dikenal sebagai kawasan yang sejuk dan berada langsung di sebelah timur kaki Gunung Ciremai. Berdasarkan hasil temuan tersebut, terlihat adanya kaitan antara perubahan kerapatan vegetasi dengan peningkatan suhu permukaan di Kecamatan Kuningan. Wilayah yang terus berkembang seiring dengan kebutuhan masyarakat akan tempat tinggal, sarana perekonomian, hingga kebutuhan sosial seperti gedung-gedung pemerintahan, lembaga pendidikan, dan sarana ibadah. Kenaikan suhu permukaan akibat berkurangnya kerapatan vegetasi dan faktor-faktor lainnya merupakan konsekuensi yang harus disikapi bersama, karena peningkatan jumlah penduduk terus terjadi setiap periodenya. Pertambahan jumlah penduduk menyebabkan tingginya tekanan terhadap lahan yang berdampak pada perubahan lingkungan alami menjadi lingkungan buatan (Ezimand *et al.*, 2018; Mulyadi *et al.*, 2023). Lingkungan alami yang memiliki ciri khas

kerapatan vegetasi tinggi, berubah menjadi lingkungan buatan yang cenderung tanpa pepohonan dan terbuat dari bahan dengan albedo rendah yang memicu meningkatkan suhu permukaan.



Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Gambar 6. Pandangan masyarakat terhadap faktor pemicu perubahan suhu. a) Kendaraan memicu kenaikan suhu; b) berkurangnya lahan bervegetasi rapat; serta c) pepohonan mampu menyejukkan rumah.



Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Gambar 7. Bentuk Adaptasi Masyarakat terhadap Kenaikan Suhu Permukaan.

Masyarakat Kecamatan Kuningan menyadari bahwa pertambahan populasi penduduk secara tidak langsung menyebabkan kenaikan suhu permukaan, salah satunya melalui bertambahnya jumlah kendaraan berbahan bakar fosil (**Gambar 6**). Saat ini, beberapa titik kemacetan mudah ditemui di wilayah ini, terutama di jalan utama penghubung Kuningan-Cirebon dan Kuningan-Tasikmalaya. di sisi lain, jalan-jalan utama tersebut juga jarang ditanami oleh tanaman bervegetasi rapat sebagai *greenbelt* sebagai kontrol suhu udara (Banerjee *et al.*, 2019; Karmakar & Padhy, 2019; Wang *et al.*, 2014). Meski masyarakat menganggap pepohonan sebagai pengontrol suhu permukaan, penanaman pohon di depan rumah jarang dilakukan sebagai bentuk adaptasi mereka. Masyarakat Kuningan lebih memilih adaptasi dengan cara memasang alat pendingin seperti kipas angin atau *air conditioner* (AC), atau dengan membuka jendela-jendela rumah agar sirkulasi udara menjadi lebih baik (**Gambar 7**). Suhu permukaan yang semakin meningkat juga menyebabkan

gaya berpakaian masyarakat berubah, dari memakai pakaian tebal menjadi pakaian pendek atau berbahan adem agar tetap sejuk.

Tabel 4. Penyebab dan Solusi Pengendalian Suhu Permukaan Menurut Masyarakat.

Faktor Potensial Lain	Upaya Penanggulangan
• Kurangnya kesadaran • Penggunaan energi listrik berlebih • Populasi penduduk • Bertambahnya pemukiman dan bangunan • Global warming • Polusi udara • Kendaraan bermotor	• Konservasi lahan • Penghijauan • Pembangunan ruang terbuka hijau • Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil

Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Masyarakat Kuningan menyadari bahwa kehadiran pepohonan dan lahan bervegetasi rapat sebagai kontrol iklim mikro, tetapi karena alasan kebersihan halaman dan estetika rumah, banyak dari mereka enggan menghadirkan pepohohan di sekitar bangunan dalam bentuk pekarangan (Sari *et al.*, 2015; Junaidah *et al.*, 2016). Selain vegetasi sebagai pengontrol suhu permukaan, masyarakat di Kecamatan Kuningan memiliki pandangan lain atas kenaikan suhu tersebut. Menurut mereka, terdapat beberapa faktor lain yang menyebabkan suhu permukaan di wilayahnya terus meningkat, seperti kurangnya kesadaran lingkungan (implementasi), penggunaan energi listrik berlebih, populasi penduduk berlebih, kehadiran pemukiman dan beragam bangunan lain, pemanasan global, hingga terlalu banyak kendaraan bermotor (**Tabel 4**). Masyarakat Kuningan menganggap inisiatif pengendalian seharusnya menjadi tanggungjawab pemerintah, sehingga masyarakat nantinya dapat mengikuti, terlebih bila didukung serta diberikan fasilitas memadai.

KESIMPULAN

Penggunaan citra Landsat dapat digunakan untuk mengamati tingkat kerapatan vegetasi di Kecamatan Kuningan secara multitemporal. Informasi tingkat kerapatan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan data citra menghasilkan enam kelas kerapatan vegetasi berdasarkan nilai NDVI. Selama periode 1990 hingga 2020, terjadi penurunan rata-rata kerapatan vegetasi sebesar 0,05 dengan persebaran yang menyebar dari pusat kota menuju wilayah timur dan utara. Selain itu, suhu permukaan di Kecamatan Kuningan semakin bertambah pada empat periode pengamatan akibat bertambahnya luas lahan terbangun, hingga beberapa wilayah memiliki suhu sekitar 26-28°C pada tahun 2020. Pengaruh kerapatan vegetasi terhadap suhu pada empat periode pengamatan memiliki 36%. Nilai negatif pada r-value menunjukkan bahwa terdapat korelasi negatif antara kerapatan vegetasi dan suhu, semakin berkurangnya kerapatan vegetasi maka suhu akan naik, begitu pun sebaliknya. Penggunaan citra Landsat dengan resolusi spasial 30m dan cakupan 180x180 km sangat baik untuk pengamatan kerapatan vegetasi secara multitemporal dan perubahan penggunaan lahan dengan wilayah yang luas. Namun, tidak ada salahnya jika menggunakan citra SPOT dengan resolusi yang lebih tinggi dan memiliki informasi spasial yang lebih rinci mengenai kawasan vegetasi dan tutupan lahan lainnya, sehingga diperoleh data yang lebih lengkap terutama dalam kaitannya dengan perencanaan tata ruang kota. Peneliti selanjutnya dapat melakukan pengecekan lapangan dengan titik pengamatan lapangan yang lebih banyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada masyarakat Kecamatan Kuningan yang telah bersedia sebagai informan untuk penelitian kami untuk menguak fenomena perubahan lansekap dan suhu di sana. Kami juga berterima kasih kepada lembaga-lembaga penyedia data (USGS, ESA, NOAA, BPS) atas segala aksesnya.

DAFTAR PUSTAKA

Akinyemi, F., Ikanyeng, M., & Muro, J. (2020). Land cover change effects on land surface temperature trends in an African urbanizing dryland region. City and Environment Interactions, 4, 100029.

Al-Ghussain, L. (2019). Global warming: review on driving forces and mitigation. Environmental Progress & Sustainable Energy, 38(1), 13-21.

Aram, F., Solgi, E., Garcia, E. H., Mosavi, A., dan Varkonyi-Koczy. A. R. (2019). Analysis of land surface temperature driving factors and spatial heterogenity research based on geographically weighted regression model. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/335853192_The_Cooling_Effect_of_Large_Scale_Urban_Parks_on_Surrounding_Area_Thermal_Comfort. [01 November 2020].

Ardiansyah, Y., & Aseseang, E. (2007). Analisis penentuan sektor ekonomi unggulan bagi pengembangan wilayah (studi kasus Kabupaten Kuningan. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Pasundan.

Arhatin, R. E., & Wahyuningrum, P. I. (2013). Vegetation index algorithm for mangrove derived from Landsat ETM+. Buletin PSP, 21(2), 215-228.

Banerjee, S., Banerjee, A., Palit, D., & Roy, P. (2019). Assessment of vegetation under air pollution stress in urban industrial area for greenbelt development. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(10), 5857-5870.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific data, 5(1), 1-12.

Belgaman, H., Lestari, S., & Lestiana, H. (2012). Studi pulau panas perkotaan dan kaitannya dengan perubahan parameter iklim suhu dan curah hujan menggunakan citra satelit Landsat TM (studi kasus DKI Jakarta dan sekitarnya). Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, 3(1), 13-19.

Błażejczyk, K., Baranowski, J., Jendritzky, G., Błażejczyk, A., Bröde, P., & Fiala, D. (2015). Regional features of the bioclimate of Central and Southern Europe against the background of the Köppen-Geiger climate classification. Geographia Polonica, 88(3), 439-453.

BPS Kabupaten Kuningan. (2016). Kabupaten Kuningan dalam Angka 2016. Kuningan: Pemerintah Kabupaten Kuningan.

Dede, M., & Widiawaty, M. A. (2020). Utilization EOS Platform as cloud-based GIS to analyze vegetation greenness in Cirebon Regency, Indonesia. Journal of Information Technology and Its Utilization, 3(1), 1-4.

Dede, M., Asdak, C., & Setiawan, I. (2022). Spatial-ecological approach in Cirebon's peri-urban regionalization. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1089, 012080.

Dede, M., Mulyadi, A., & Widiawaty, M. A. (2020a). Integrasi open data, urun daya, dan pemetaan partisipatif dalam pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup. Jurnal Sains Informasi Geografi, 3(2), 78-86.

Dede, M., Pramulatsih, G. P., Widiawaty, M. A., Ramadhan, Y. R. R., & Ati, A. (2019). Dinamika suhu permukaan dan kerapatan vegetasi di Kota Cirebon. Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 6(1), 23-31.

Dede, M., Sunardi, S., Lam, K. C., & Withaningsih, S. (2023). Relationship between landscape and river ecosystem services. Global Journal of Environmental Science and Management, 9(3), 637-652.

Dede, M., Sunardi, S., Lam, K. C., Withaningsih, S., Hendarmawan, H., & Husodo, T. (2024). Landscape dynamics and its related factors in the Citarum River Basin: a comparison of three algorithms with multivariate analysis. Geocarto International, 39(1), 2329665.

Dede, M., Widiawaty, M. A., Nurhanifah, N., Ismail, A., Artati, A. R. P., Ati, A., & Ramadhan, Y. R. (2020b). Estimasi perubahan kualitas udara berbasis citra satelit penginderaan jauh di sekitar PLTU Cirebon. Jambura Geoscience Review, 2(2), 78-87.

Ezimand, K., Kakroodi, A. A., & Kiavarz, M. (2018). The development of spectral indices for detecting built-up land areas and their relationship with land-surface temperature. International journal of remote sensing, 39(23), 8428-8449.

Fawzi, N. I. dan Mufarikah, N. N. (2013). Kajian urban heat island di Kota Yogyakarta-hubungan antara tutupan lahan dan suhu permukaan. Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi. UGM Press. Yogyakarta.

Fawzi, N. I., & Jatmiko, R. H. (2018). Penginderaan jauh sistem termal dan aplikasinya. Penerbit Ombak.

Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. Environmental Chemistry Letters, 18, 2069-2094.

He, H., Luo, G., Cai, P., Hamdi, R., Termonia, P., De Maeyer, P., Kurban, A., & Li, J. (2021). Assessment of climate change in Central Asia from 1980 to 2100 using the Köppen-Geiger climate classification. Atmosphere, 12(1), 123.

Ikbal, A. M., & Setiyono, B. (2020). Analisis kebijakan Kabupaten Kuningan sebagai kabupaten konservasi (evaluasi terhadap Perda 9/2014 tentang RPJMD Kabupaten Kuningan)/29/PEM/2020. Skripsi. Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Diponegoro.

Isa, N. A., Wan Mohd, W. M. N., & Salleh, S. A. (2017). The effects of built-up and green areas on the land surface temperature of the Kuala Lumpur City. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 107-112.

Ismail, A., Dede, M., & Agung Widiawaty, M. (2020). Urbanisasi dan HIV di Kota Bandung (perspektif geografi kesehatan). Buletin Penelitian Kesehatan, 48(2), 139-146.

Ismail, A., Greve, K., Widiawaty, M. A., Dede, M., & Nandi, N. (2024). Effect of vegetation cover changes on the runoff coefficient characteristics in the Cisangkuy Watershed, Indonesia. Anuário do Instituto de Geociências, 47(1), 61104.

Junaidah, J., Suryanto, P. S. P., & Budiadi, B. (2016). Komposisi Jenis dan Fungsi Pekarangan (Studi Kasus Desa Giripurwo, Kecamatan Girimulyo, di Yogyakarta). Jurnal Hutan Tropis, 4(1), 77-84.

Karmakar, D., & Padhy, P. K. (2019). Air pollution tolerance, anticipated performance, and metal accumulation indices of plant species for greenbelt development in urban industrial area. Chemosphere, 237, 124522.

Lillesand, T. M. (2002). Combining satellite remote sensing and volunteer Secchi disk measurement for lake transparency monitoring. Proceedings of the National Monitoring Conference. University of Wisconsin Press.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.

Morabito, M., Crisci, A., Messeri, A., Orlandini, S., Raschi, A., Maracchi, G., & Munafò, M. (2016). The impact of built-up surfaces on land surface temperatures in Italian urban areas. Science of the Total Environment, 551, 317-326.

Mulyadi, A., Afriana, N. N., Widiawaty, M. A., & Dede, M. (2023). Water resources carrying capacity in the Bali Island: A history and local wisdom for environmental conservation. Historia: Jurnal Pendidik dan Peneliti Sejarah, 6(1), 89-96.

Nudian, W., Dede, M., Widiawaty, M. A., Ramadhan, Y. R., & Purnama, Y. (2019). Pemanfaatan sensor mikro DHT11-Arduino untuk monitoring suhu dan kelembaban udara. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan dan Seminar Nasional Ilmu Lingkungan 'Harmony with Nature'. UNPAD Press. Bandung.

Nugroho, S. A., Wijaya, A. P., & Sukmono, A. (2016). Analisis perubahan vegetasi terhadap suhu permukaan di wilayah Kabupaten Semarang menggunakan metode penginderaan jauh. Jurnal Geodesi UNDIP, 5(1), 253-263.

Nurbavani, S., Malihah, E., Dede, M., & Widiawaty, M. A. (2022). A family-based model to prevent sexual violence on children. International Journal of Body, Mind & Culture, 9(3), 159-166.

Nurbayani, S., Dede, M., Utami, N. F., & Widiawaty, M. A. (2023). The implementation of COVID-19 health protocol: A higher students' perspective. Geografia-Malaysian Journal of Society and Space, 19(1), 190-200.

Pemerintah Kabupaten Kuningan. (2011). Peraturan Daerah (PERDA) Kabupaten Kuningan Nomor 26 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kuningan Tahun 2011-2031. JDIH BPK.

Sailor, D. (2006). Mitigation of urban heat islands – recent progress and future prospects. Retrieved from https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/105264.pdf. [01 November 2020].

Sari, I. D., Yuniar, Y., Siahaan, S., Riswati, R., & Syaripuddin, M. (2015). Tradisi masyarakat dalam penanaman dan pemanfaatan tumbuhan obat lekat di pekarangan. Jurnal Kefarmasian Indonesia, 123-132.

Setiawan, I., Dede, M., Sugandi, D., & Widiawaty, M. A. (2019). Investigating urban crime pattern and accessibility using geographic information system in Bandung City. KnE Social Sciences, 3(21), 535-548.

Sugito, N. T., Gumilar, I., Hernandi, A., Handayani, A. P., & Dede, M. (2023). utilizing semi-variograms and geostatistical approach for land value model in urban region. International Journal of Engineering, 36(12), 2222-2231.

Susiati, H., Dede, M., Widiawaty, M. A., Risko, R., & Udiyani, P. M. (2022, August). TSS in West Kalimantan based on remote sensing data: A preliminary study for siting nuclear power plant. AIP Conference Proceedings, 2501, 020005.

Vicente-Serrano, S. M., Lasanta, T., & Romo, A. (2004). Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish Central Pyrenees: role of human management. Environmental management, 34, 802-818.

Wang, H. B., Li, H., Ming, H. B., Hu, Y. H., Chen, J. K., & Zhao, B. (2014). Past land use decisions and socioeconomic factors influence urban greenbelt development: a case study of Shanghai, China. Landscape Ecology, 29, 1759-1770.

Widiawaty, M. A. (2019). Mari mengenal sains informasi geografis. Aria Mandiri Group.

Widiawaty, M. A., Nurhanifah, N., Ismail, A., & Dede, M. (2020). The impact of Cirebon coal-fired power plants on water quality in Mundu Bay, Cirebon Regency. Sustinere: Journal of Environment and Sustainability, 4(3), 189-204.

Xiao, X. D., Dong, L., Yan H., Yang. N., Xiong, Y., (2018). The influence of the spatial characterictics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. Sustainable Cities and Society, 40: 428-439.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMANFAATAN WEBGIS UNTUK VISUALISASI DATA KEJADIAN BENCANA

Studi Kasus di Kabupaten Magelang

(The Utilization of Web GIS To Visualize Disaster Event Data a Case Study in Magelang District)

Humam Zarodi[1], Muflichah Roychani[2], Tatag Bagus Narendra[3], Muhammad Anshori[1], Muhammad Fajar Sulistyo[1]

[1]SinauGIS Yogyakarta
[2]BPBD Kabupaten Magelang
[3]Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional Yogyakarta

Depokan KG2/166F Prenggan, Kotagede, Kota Yogyakarta
E-mail: dienfi@gmail.com

ABSTRAK

Potensi bencana yang muncul dapat disebabkan oleh faktor alam dan atau non alam maupun ulah manusia. Kejadian bencana cenderung semakin meningkat setiap tahun. Bencana yang disebabkan oleh alam seperti gempa bumi, tsunami, banjir, tanah longsor, dan lain-lain menjadi ancaman serius bagi penduduk Indonesia. Ancaman bencana menyebabkan jatuhnya korban jiwa, kerugian harta benda dan kerusakan infrastruktur. Bencana yang timbul harus ditanggulangi secara profesional. Pencatatan data bencana yang sistematis akan mempermudah dalam pengolahan data bencana, membantu dalam perencanaan pengurangan risiko bencana serta program rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana kedepannya. Teknologi *Geographic Information System* (GIS) dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam mengolah data kejadian bencana yang kemudian menjadi informasi geospasial yang bisa disebarluaskan memanfaatkan jaringan internet atau dikenal dengan Web GIS. Web GIS ini bisa diakses oleh siapapun termasuk pengambil kebijakan. Penggunaan teknologi geospasial ini dirasa cukup efektif jika data yang diperoleh merupakan data yang akurat. Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Magelang berinisiasi membangun informasi geospasial berbasis web untuk memvisualisasikan data kejadian bencana. Inisiasi ini dapat memanfaatkan Web GIS yang mampu memvisualisasikan, mendistribusikan dan mempublikasikan peta yang diolah dari data kejadian bencana. Makalah ini bertujuan untuk mendeskripsikan pemanfaatan Web GIS untuk memvisualisasikan data kejadian bencana di Kabupaten Magelang. Hasilnya adalah tampilan peta sebaran kejadian bencana di Kabupaten Magelang berbasis web yang bisa diakses oleh siapapun, yang memudahkan pengambil kebijakan dan masyarakat untuk mengetahui data dan informasi terbaru kejadian bencana. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemetaan Web GIS dapat mendukung upaya proses pengambilan keputusan yang tepat oleh pengambil kebijakan dan juga bisa dijangkau pengguna secara sangat luas.

Kata kunci: Geospasial, gis, kabupaten magelang, kejadian bencana, WebGIS

ABSTRACT

Emerging potential disasters can be caused by natural and/or non-natural factors as well as human activities. Disaster events tend to increase yearly. Natural hazards such as earthquakes, tsunamis, floods, and landslides pose a serious threat to the Indonesian inhabitants causing casualties, property loss and infrastructure damage. Disasters that arise must be handled professionally. Systematic recording of disaster data streamlines disaster data processing and assists in planning for disaster risk reduction as well as post-disaster rehabilitation and reconstruction programs in the future. Geographic Information System (GIS) technology can be used as a tool in processing disaster events data develops into geospatial information that can be disseminated using the internet network known as Web GIS. This Web GIS can be accessed by anyone, including policymakers. Geospatial technology utilization is considered effective if the data obtained is accurate. The Magelang Regency Regional Disaster Management Agency (BPBD) took the initiative to build web-based geospatial information to visualize disaster events data. This initiation can utilize Web GIS which is capable of visualizing, distributing, and publishing maps processed from disaster events data. This paper aims to describe the use of Web GIS to visualize disaster events data in Magelang Regency. The result is a web map-based visualization of the disaster events distribution in Magelang Regency that can be accessed

by anyone, which facilitates policymakers and the public observing the latest data and information on disaster events. This research concludes that Web GIS mapping can support the correct decision-making process by policymakers and can also be reached by users extensively.

***Keywords**: Disaster event, geospatial, gis, magelang district, WebGIS*

PENDAHULUAN

Potensi bencana yang muncul dapat disebabkan oleh faktor alam dan atau non alam maupun ulah manusia. Kejadian bencana cenderung semakin meningkat setiap tahun. Bencana yang disebabkan oleh alam seperti gempa bumi, tsunami, banjir, tanah longsor, dan lain-lain menjadi ancaman serius bagi penduduk Indonesia. di Kabupaten Magelang, selama periode 1 Januari – 31 Desember 2023 tercatat jumlah kejadian bencana sebanyak 429 kejadian yang didominasi angin kencang, tanah longsor dan kekeringan. Dampak dari bencana tersebut menimbulkan korban jiwa, 5 meninggal dunia, dan 16 luka-luka. Selain itu terdapat kerusakan rumah sebanyak 326 rusak ringan, 49 rusak sedang, dan 31 rusak berat (BPBD Magelang, 2024).

Ancaman bencana menyebabkan jatuhnya korban jiwa, kerugian harta benda dan kerusakan infrastruktur, untuk itu, bencana yang timbul harus ditanggulangi secara profesional. Menurut UU Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Mitigasi bencana mencakup upaya yang dilakukan selama prabencana, tanggap darurat hingga pascabencana. dalam Pelaksanaannya, Mitigasi bencana memiliki berbagai tujuan, diantaranya mengurangi dampak yang ditimbulkan, khususnya bagi masyarakat; sebagai acuan perencanaan pembangunan; serta meningkatkan pengetahuan masyarakat dalam menghadapi serta mengurangi dampak/risiko bencana (Fakultas Teknik UNJ, 2024).

Perhatian global terhadap bencana termuat pada SDGs yang ke 11 dan 13. dalam SDG 11.1 tercantum target untuk mengurangi jumlah kematian dan jumlah orang terdampak akibat bencana secara signifikan pada tahun 2030. Pada SDGs ke-13.1, target utama bertujuan menguatkan daya tahan dan kapasitas adaptasi terhadap bahaya yang berkaitan dengan iklim dan bencana alam di semua negara. Sedangkan SDGs ke-13.3 bertujuan untuk memperbaiki pendidikan, penyadaran dan juga kapasitas, baik manusia maupun institusi terhadap mitigasi perubahan iklim, adaptasi, pengurangan dampak, dan peringatan dini (United Nations, 2015).

Dampak bencana yang semakin luas memang tidak mudah untuk ditanggulangi dengan cepat oleh pemerintah sendiri, sebagai pihak yang bertanggungjawab terhadap keselamatan masyarakat. Chamsah (2007) dalam Syarif *et al.* (2014), menegaskan kompleksitas bencana di Indonesia, harus ditangani oleh semua pihak yang secara formal sebagai penanggung jawab kejadian yang berhubungan dengan bencana alam dan bencana sosial lainnya. Penanganan bencana bukan hanya berupa bantuan material saja, tetapi memberikan dukungan moral kepada korban bencana menjadi suatu keharusan.

Sistem komunikasi dan informasi menjadi penting dalam siklus manajemen bencana, terutama agar masyarakat lebih siap dalam merespon bencana di masa yang akan datang (Syarif *et al.*, 2014). Data dan informasi statistik sangatlah penting untuk menyusun rencana dan analisis yang tepat dalam menentukan kebijakan mitigasi bencana yang efektif dan tepat sasaran (Mahendra *et al.*, 2023). Pencatatan data bencana yang sistematis akan mempermudah dalam pengolahan data bencana, membantu dalam perencanaan pengurangan risiko bencana serta program rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana kedepannya.

Teknologi Geographic Information System (GIS) dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam mengolah data kejadian bencana yang kemudian menjadi informasi geospasial yang bisa disebarluaskan memanfaatkan jaringan internet atau dikenal dengan Web GIS. Web GIS ini bisa diakses oleh siapapun termasuk pengambil kebijakan. Penggunaan teknologi geospasial ini dirasa cukup efektif jika data yang diperoleh merupakan data yang akurat.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan dalam memanfaatkan Web GIS untuk mitigasi bencana. Osaragi *et al.* (2017) melakukan studi pembangunan aplikasi web untuk mengumpulkan dan berbagi informasi kebencanaan mendekati real time yang didemonstrasikan dan disimulasikan

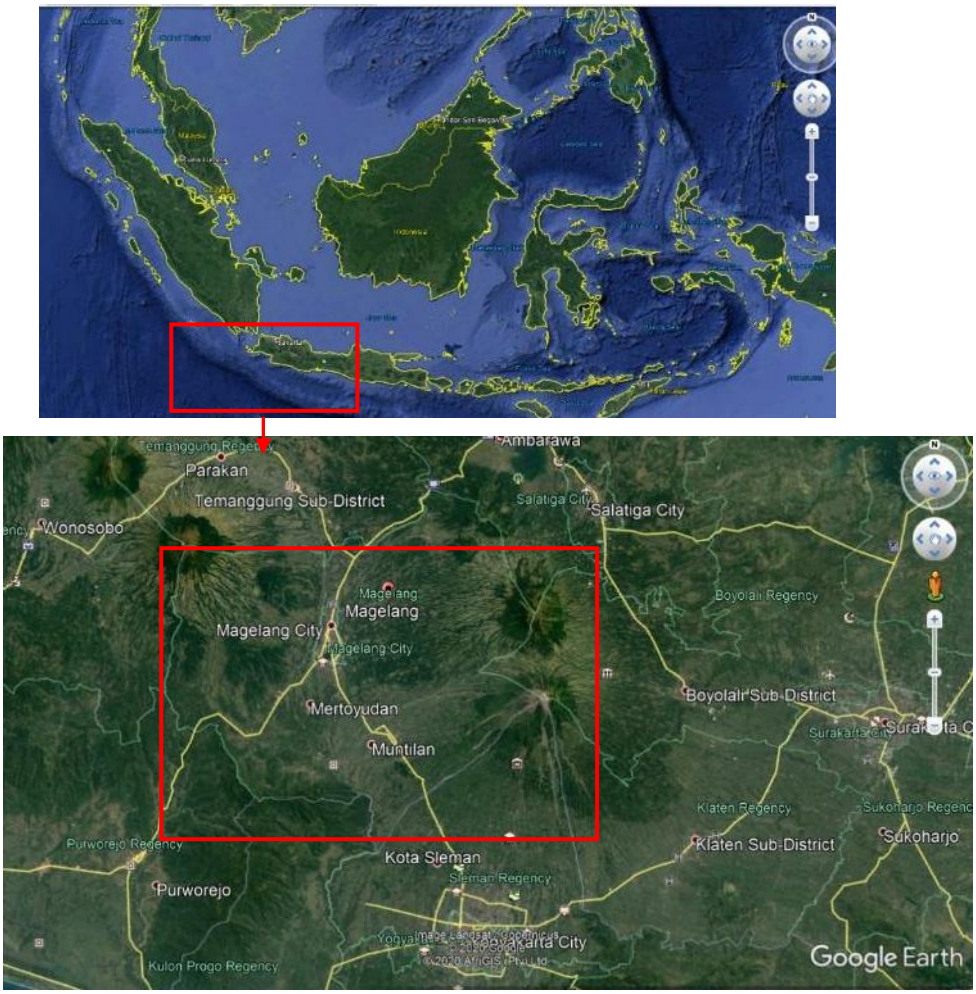
pada wilayah padat bangunan di Tokyo. Andrian *et al.* (2020) membangun web sistem informasi geografis potensi bencana tsunami di Pangandaran, Jawa barat menggunakan GeoServer, PostgreSQL dan LeafletJS. Sukojo *et al.* (2021) membuat prototype Web GIS untuk memvisualisasikan distribusi hotspot untuk monitoring hutan dan kebakaran lahan menggunakan Leaflet JS pada lokasi studi Ogan Komering Ilir. Permatasari *et al.* (2022) membangun Web GIS menggunakan Leaflet JS and QGIS untuk mendukung mitigasi bahaya vulkanik di sisi selatan Gunung Merapi, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Web GIS dikombinasikan dengan data spasial berupa lokasi evakuasi, fasilitas umum dan basemap dari Openstreetmap dan Google Satellite.

Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Magelang berinisiasi membangun informasi geospasial berbasis web untuk memvisualisasikan data kejadian bencana. Inisiasi ini dapat memanfaatkan Web GIS yang mampu memvisualisasikan, mendistribusikan dan mempublikasikan peta yang diolah dari data kejadian bencana. Makalah ini bertujuan untuk mendeskripsikan pemanfaatan Web GIS untuk memvisualisasikan data kejadian bencana di Kabupaten Magelang.

METODE

Pendekatan penelitian ini bersifat kualitatif *descriptive* (pemaparan) untuk dapat mendeskripsikan pemanfaatan Web GIS untuk memvisualisasikan data kejadian bencana di Kabupaten Magelang.

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah, secara spasial disajikan pada **Gambar 1**.



Sumber: Google Earth Pro, 2024.

Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Kabupaten Magelang.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa seperangkat komputer yang di dalamnya terdapat perangkat lunak yang terdiri dari aplikasi QGIS 3.28, Visual Studio Code, XAMPP, Leaflet Javascript Engine dan Web Browser. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data kejadian bencana, data raster peta bahaya, kerentanan, kapasitas, dan risiko bencana Kabupaten Magelang serta batas administrasi kabupaten, kecamatan dan desa Kabupaten Magelang.

Sistem informasi dan teknologi dewasa ini semakin berkembang dan maju. Salah satu teknologi informasi yang terus berkembang dan maju adalah *Geographic Information System* atau Sistem Informasi Geografis (SIG). Menurut Aronoff, SIG dapat diartikan sebagai sistem informasi berbasis komputer yang digunakan untuk mengolah dan menyimpan data atau informasi geografis (Aronoff, 1989). SIG juga dapat didefinisikan sebagai suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis. Pengembangan aplikasi SIG kedepannya mengarah kepada aplikasi berbasis web yang dikenal dengan *web–based* GIS. Hal ini disebabkan karena pengembangan aplikasi di lingkungan jaringan telah menunjukan potensi yang besar dalam kaitannya dengan geoinformasi (Zulkarnain, S. M., 2015). Menurut Prahasta, Web GIS adalah aplikasi GIS yang memanfaatkan jaringan internet sebagai media komunikasi yang berfungsi mendistribusikan, mempublikasikan, mengintegrasikan, mengkomunikasikan dan menyediakan informasi dalam bentuk teks, peta digital serta menjalankan fungsi-fungsi analisis dan query yang terkait dengan GIS melalui jaringan internet (Prahasta, E., 2007).

Salah satu *library* dalam membangun aplikasi pemetaan berbasis web (Web GIS) adalah leaflet. Dikutip dari Wikipedia, Leaflet adalah *library JavaScript open source* yang banyak digunakan untuk membangun aplikasi pemetaan web. Pertama kali dirilis pada tahun 2011, paling banyak mendukung platform mobile dan desktop, mendukung HTML5 dan CSS3. Bersama dengan OpenLayers, dan Google Maps API, ini adalah salah satu library pemetaan JavaScript yang paling populer (Wikipedia, 2024).

Berdasarkan Peraturan Kepala BNPB No. 7 Tahun 2012 tentang Pedoman Pengelolaan Data dan Informasi Bencana Indonesia, pengelolaan data dan informasi bencana adalah kegiatan yang meliputi pengumpulan, pengolahan, analisis, penyajian, serta diseminasi data dan informasi bencana. Pengumpulan data yang dilakukan adalah pengumpulan data kejadian bencana, jumlah korban, kerusakan, dan taksiran kerugian (BNPB, 2012).

Pengumpulan Data Kejadian Bencana

Kegiatan pengumpulan data kejadian bencana ini adalah melibatkan para pihak yaitu masyarakat, Tim Reaksi Cepat (TRC) Kecamatan, Satuan Tugas Penanggulangan Bencana (Satgas PB) Kabupaten Magelang dan Pusat Pengendalian Operasi Penanggulangan Bencana (Pusdalops PB) BPBD Kabupaten Magelang.

Penyiapan dan Pengolahan Data Spasial Kejadian Bencana

Kegiatan penyiapan dan pengolahan data spasial kejadian bencana ini yaitu menyiapkan dan mengolah data spasial lokasi kejadian bencana, data raster peta bahaya, kerentanan, kapasitas, dan risiko bencana Kabupaten Magelang serta data GIS berupa layer batas administrasi kecamatan dan desa dalam format shapefile yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG), kemudian melakukan konversi data format shapefile ke dalam format GeoJSON.

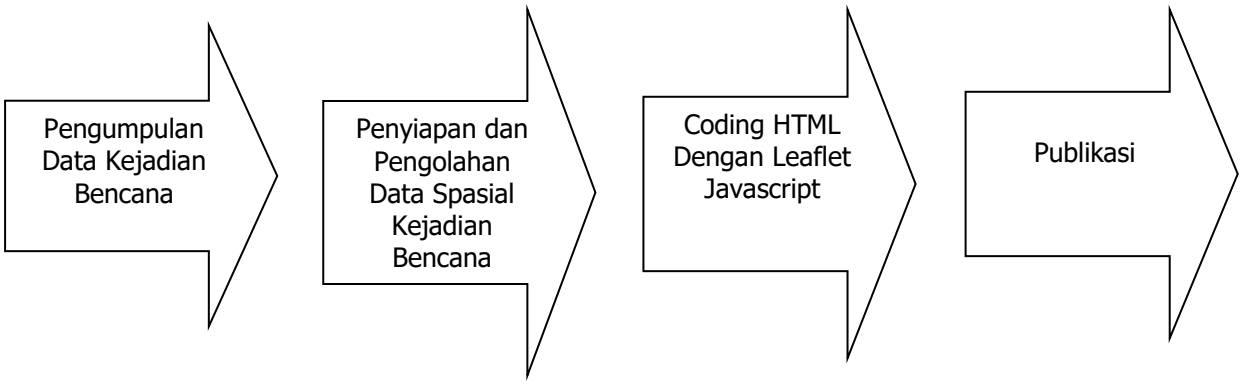
Coding HTML Dengan Leaflet Javascript Engine (Leaflet Js)

Kegiatan coding dengan leaflet javascript engine meliputi: menampilkan peta dasar (*base map*), menampilkan data spasial dalam format geojson, menampilkan control layer serta coding html dengan bootstrap.

Publikasi

Kegiatan publikasi ini meliputi upload data Web GIS serta diseminasi Web GIS kepada publik.

Alur pikir pemanfaatan Web GIS dalam mendukung program desa bersaudara di Kabupaten Magelang dapat diilustrasikan dalam bentuk gambar yang disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir pemanfaatan Web GIS untuk visualisasi data kejadian bencana di Kabupaten Magelang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan penyusunan Web GIS untuk visualisasi data kejadian bencana di Kabupaten Magelang ini yang dilakukan oleh BPBD Kabupaten Magelang bekerjasama dengan SinauGIS, didukung oleh Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Magelang. Kegiatan ini dibagi dalam 4 tahap, yaitu pengumpulan data kejadian bencana, penyiapan data pengolahan data spasial kejadian bencana, coding HTML dengan Leaflet Javascript engine serta publikasi.

Pengumpulan Data Kejadian Bencana

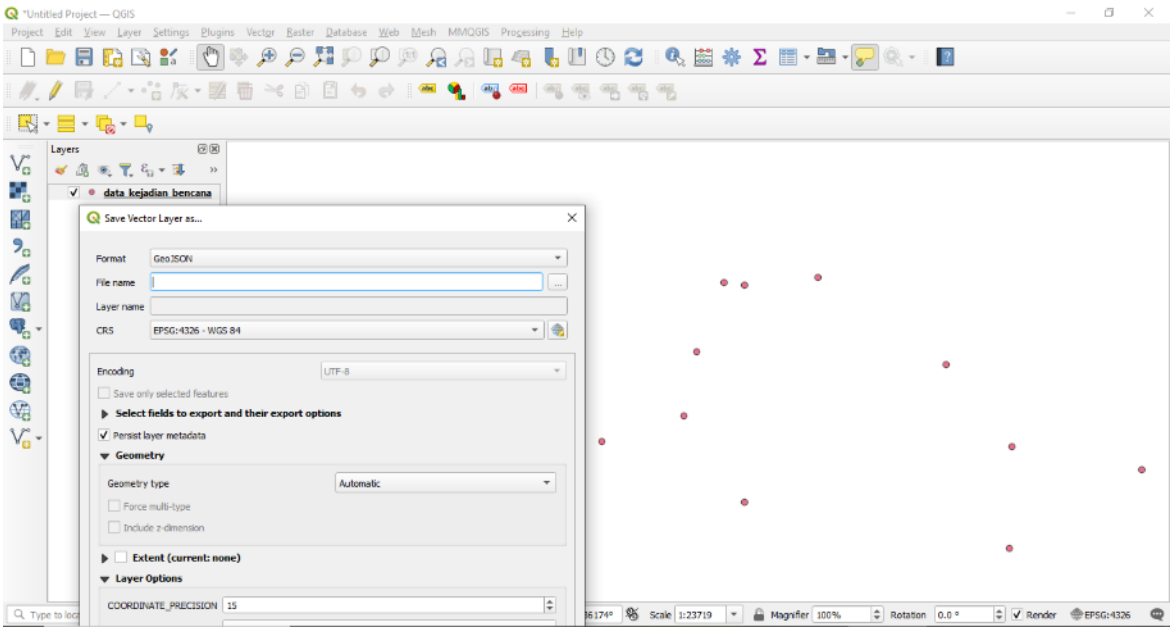
Kegiatan pengumpulan data kejadian bencana ini adalah melibatkan para pihak yaitu masyarakat, tim Reaksi Cepat (TRC) Kecamatan, Satgas PB (Penanggulangan Bencana) Kabupaten Magelang dan Pusat Pengendalian Operasi Penanggulangan Bencana (Pusdalops PB) BPBD Kabupaten Magelang.

Alur dari kegiatan pengumpulan data kejadian bencana ini yaitu masyarakat melaporkan kejadian bencana yang dialami atau dilihat kepada Satuan Tugas Penanggulangan Bencana (Satgas PB) melalui berbagai kanal media antara lain melalui pesan singkat *Short Message Service* atau SMS, Whatsapp atau WA, telepon atau melalui radio *Handy Talky*. Satgas PB kemudian memerintahkan TRC Kecamatan untuk melakukan *cross-check* atau peninjauan keakuratan informasi di lapangan. TRC Kecamatan kemudian melaporkan kembali hasil peninjauan keakuratan di lapangan kepada Satgas PB. Satgas PB kemudian meneruskan hasil *cross-check* kepada manajer Pusdalops. Manajer Pusdalops kemudian melaporkan informasi yang sudah akurat tersebut kepada Bidang 2 atau Bidang Kedaruratan dan Logistik (Bidang KL). Bidang KL kemudian melakukan assessment awal untuk melakukan penanganan darurat. Sembari melakukan penanganan darurat, Bidang KL juga melakukan pendataan kejadian bencana. Pendataan kejadian bencana ini meliputi antara lain jenis bencana, waktu kejadian, lokasi (titik koordinat, dusun, desa dan kecamatan), penyebab, kronologi, kerusakan serta foto kejadian bencana.

Penyiapan dan Pengolahan Data Spasial Kejadian Bencana

Kegiatan penyiapan dan pengolahan data spasial kejadian bencana ini yaitu antara lain menyiapkan dan mengolah data spasial lokasi kejadian bencana, data raster peta bahaya, kerentanan, kapasitas, dan risiko bencana Kabupaten Magelang serta data GIS berupa layer batas administrasi kecamatan dan desa dalam format shapefile. Data-data kejadian bencana dan peta kajian risiko bencana ini bersumber dari internal BPBD Kabupaten Magelang, sedangkan data spasial batas administrasi desa, kecamatan dan kabupaten, bersumber dari Badan Informasi

Geospasial (BIG). Data-data spasial tersebut kemudian konversi dari data format shapefile ke dalam format GeoJSON. Contoh data spasial yang dilakukan konversi dari data format shapefile ke dalam format GeoJSON yaitu data kejadian bencana yang disajikan dalam **Gambar 3**.



Gambar 3. Konversi peta kejadian bencana dari format shapefile ke format GeoJSON.

Coding HTML Dengan Leaflet Javascript Engine (Leaflet Js)

Leaflet adalah suatu javascript library yang mempunyai fungsi dan keunggulan masing-masing, digunakan untuk membuat suatu aplikasi Web GIS. Keunggulan dari Leaflet Js adalah mempunyai platform *open-source* dan bebas digunakan serta bersifat *mobile friendly interactive maps*. Selain itu juga mempunyai size yang sangat ringan, sebesar 33 kb, mempunyai fungsi-fungsi tertentu seperti marker, popup window, routing, layer dan lain-lain. Keunggulan lain dari Leaflet adalah memiliki banyak sekali plugin yang sangat membantu user dalam melakukan pembuatan aplikasi Web GIS (Zarodi, 2017).

Pada tahap coding html dengan Leaflet Js engine ini, kegiatan yang dilakukan yaitu menampilkan basemap, menampilkan data GeoJSON, menampilkan control layer dan coding html dengan bootstrap. Langkah pertama yang dilakukan pada tahap ini yaitu membuat file HTML yang diberi nama index.html dan disimpan ke dalam folder XAMPP > htdocs. Kemudian kita melakukan coding dengan menggunakan text-editor, salah satunya Visual Code Studio. Setelah itu dilakukan coding untuk menampilkan basemap. Basemap yang sering dipakai sebagai peta dasar atau background dari tampilan Web GIS yaitu Google Streets, Google Satellite, Google Hybrid dan Google Terrain.

Kegiatan coding dengan leaflet javascript engine meliputi: menampilkan peta dasar (*base map*), menampilkan data spasial dalam format geojson, menampilkan control layer serta coding html dengan bootstrap. Selanjutnya melakukan coding untuk menampilkan data spasial dengan format GeoJSON. GeoJSON menjadi format data yang sangat populer di antara banyak teknologi dan layanan Web GIS, karena sederhana, ringan, mudah dan dapat ditarik dari Leaflet Js (Zarodi, 2017). Data GeoJSON yang sudah disiapkan yaitu untuk ditampilkan yaitu peta kejadian bencana, peta bahaya, kerentanan, kapasitas, dan risiko bencana Kabupaten Magelang serta data peta batas administrasi kecamatan dan desa Kabupaten Magelang.

Coding selanjutnya yaitu menampilkan control layer yang berfungsi antara lain untuk menampilkan judul peta, fungsi zoom, fungsi search dan lain sebagainya. Contoh coding HTML disajikan dalam **Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6**.

```
/* Basemap Layers */
var basemap1 = L.tileLayer('https://{s}.google.com/vt/lyrs=m&x={x}&y={y}&z={z}', {
    maxZoom: 20,
    subdomains: ['mt0', 'mt1', 'mt2', 'mt3'],
    attribution: 'Google Streets'
});
var basemap2 = L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', {
    maxZoom: 19,
    attribution: '&copy; <a href="http://www.openstreetmap.org/copyright">OpenStreetMap</a>'
});
var basemap3 = L.tileLayer('https://{s}.google.com/vt/lyrs=s&x={x}&y={y}&z={z}', {
    maxZoom: 20,
    subdomains: ['mt0', 'mt1', 'mt2', 'mt3'],
    attribution: 'Google Satellite'
});
var basemap4 = L.tileLayer('https://{s}.google.com/vt/lyrs=y&x={x}&y={y}&z={z}', {
    maxZoom: 20,
    subdomains: ['mt0', 'mt1', 'mt2', 'mt3'],
    attribution: 'Google Hybrid'
});
var basemap5 = L.tileLayer('https://{s}.google.com/vt/lyrs=p&x={x}&y={y}&z={z}', {
    maxZoom: 20,
    subdomains: ['mt0', 'mt1', 'mt2', 'mt3'],
    attribution: 'Google Terrain'
});
var googletrafficlayer = L.tileLayer(
    'https://{s}.google.com/vt?lyrs=h@159000000,traffic|seconds_into_week:-1&style=3&x={x}&y={y}&z={z}', {
        maxZoom: 20,
        subdomains: ['mt0', 'mt1', 'mt2', 'mt3'],
        attribution: 'Google Traffic'
    });

// var bounds_group = new L.featureGroup([]);
var img_bounds_KRB = [
    [-7.70712385741, 110.043472533],
    [-7.32022426891, 110.446246305]
];
```

Gambar 4. Contoh coding untuk menampilkan *basemap.*

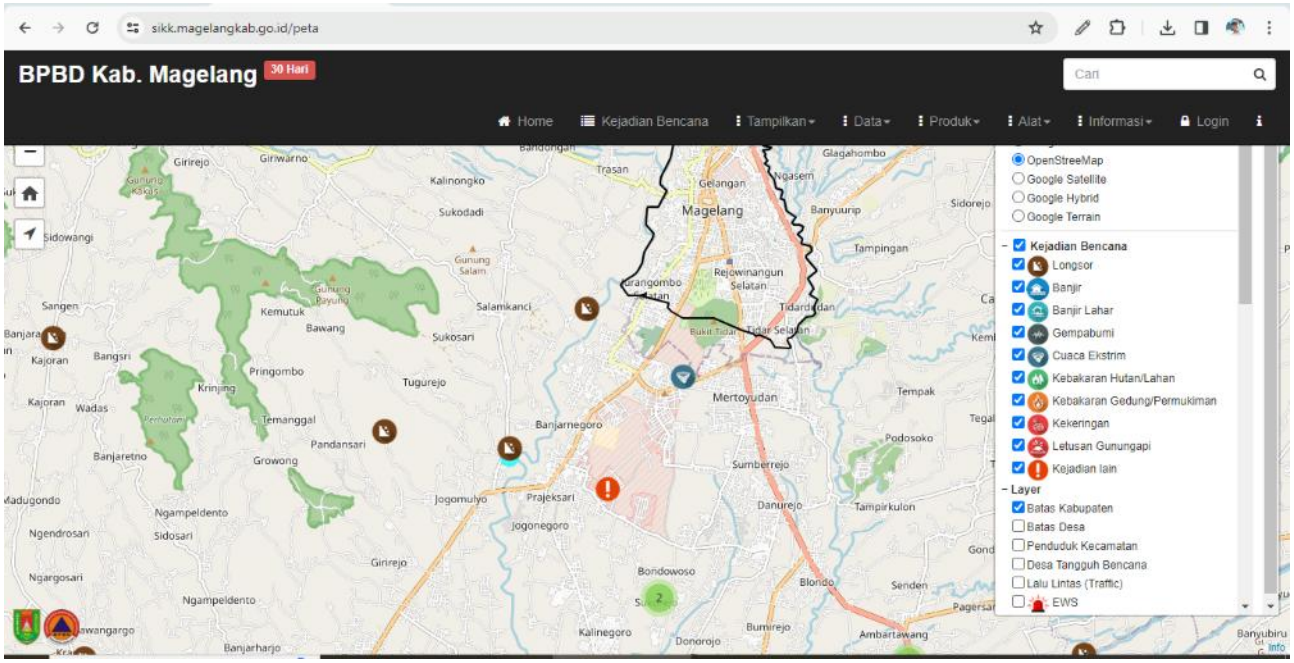
```
/* Kejadian Bencana Tanah Longsor */
var longsorLayer = L.geoJson(null);
var longsor = L.geoJson(null, {
    pointToLayer: function(feature, latlng) {
        return L.marker(latlng, {
            icon: L.icon({
                iconUrl: "https://sikk.magelangkab.go.id/assets/homepage//assets/icon/naturaldisaster32/longsor.png",
                iconSize: [28, 28],
                iconAnchor: [14, 14],
                popupAnchor: [0, -25]
            }),
            title: feature.properties.dusun,
            riseOnHover: true,
            bouncingExclusif: true
        });
    },
    onEachFeature: function(feature, layer) {
        if (feature.properties) {
            var penanganantext = feature.properties.penanganan.penanganan_teks;
            var penanganantextreplace = penanganantext.replace(/(\r\n|\r|\n)/g, '<br>');
            var content = "<table class='table table-striped table-bordered table-condensed'>" +
                "<tr><th>Lokasi</th><td>Dusun " + feature.properties.dusun + ", Desa " + feature.properties.desa +
                ", Kec. " + feature.properties.kecamatan + "</td></tr>" +
                "<tr><th>Hari, Tanggal</th><td>" + feature.properties.hari + ", " + feature.properties.tgl +
                "</td></tr>" +
                "<tr><th>Jam</th><td>" + feature.properties.waktu + "</td></tr>" +
                "<tr><th>Penyebab</th><td>" + feature.properties.penyebab + "</td></tr>" +
                "<tr><td colspan='2'><a data-toggle='collapse' href='#collapsedetil'><div class='well well-sm'>Kerusakan dan Korban <i class='fa fa-angle-
                "<div id='collapsedetil' class='panel-collapse collapse'>" +
                "<table class='table table-striped table-bordered table-condensed'>" +
                "<tr><th>Jumlah Kerusakan Rumah</th><td>" + "Rusak Berat : " + feature.properties.jml_kerusakan_properti
                .Rumah.berat + "<br>" + "Rusak Sedang : " + feature.properties.jml_kerusakan_properti.Rumah.sedang +
                "<br>" + "Rusak Ringan : " + feature.properties.jml_kerusakan_properti.Rumah.ringan + "<br>" +
                "Terancam : " + feature.properties.jml_kerusakan_properti.Rumah.terancam + "</td></tr>" +
```

Gambar 5. Contoh coding untuk menampilkan data GeoJSON kejadian bencana.

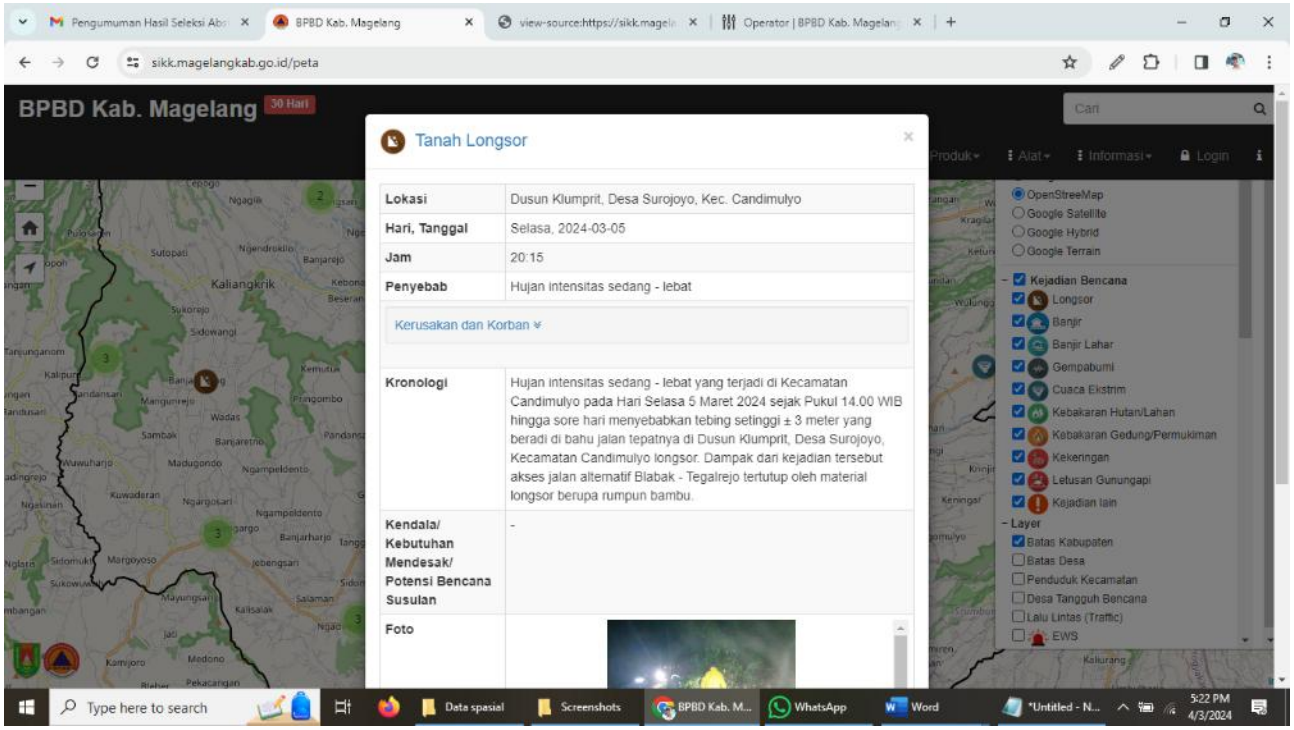
```
/* Layer Batas Admin Desa */
//var admindesaColors = {"Tinggi":"#FF0000", "Sedang":"#00FF00", "Rendah":"#0000FF"};
var admindesa = L.geoJson(null, {
    style: function(feature) {
        return {
            //fillColor: admindesaColors[feature.properties.Klas_Kpdt],
            fill: true,
            color: "black",
            weight: 1.5,
            opacity: 0.5,
            fillOpacity: 0.1,
            smoothFactor: 0,
            clickable: true
        };
    },
    onEachFeature: function(feature, layer) {
        admindesaSearch.push({
            name: layer.feature.properties.DESA,
            address: layer.feature.properties.KECAMATAN,
            source: "AdminDesa",
            id: L.stamp(layer),
            bounds: layer.getBounds()
        });
        if (feature.properties) {
            var content = "<table class='table table-striped table-bordered table-condensed'>" +
                "<tr><th>Kecamatan</th><td>" + feature.properties.KECAMATAN + "</td></tr>" +
                "<tr><th>Kabupaten</th><td>Magelang</td></tr>" + "<tr><th>Luas (KM<sup>2</sup>)</th><td>" + feature
                .properties.LUAS_KM2 + "</td></tr>" + "<table>";
            layer.on({
                click: function(e) {
                    $("#feature-title").html("Desa " + feature.properties.DESA);
                    $("#feature-info").html(content);
                    $("#featureModal").modal("show");
```

Gambar 6. Contoh coding untuk menampilkan data GeoJSON batas administrasi desa.

Langkah selanjutnya adalah mempercantik tampilan Web GIS yang dilakukan dengan coding html dengan bootstrap. Bootstrap merupakan framework untuk membangun desain web secara responsif. Tampilan web yang dibuat oleh bootstrap akan menyesuaikan ukuran layar dari browser yang kita gunakan baik di desktop, tablet ataupun mobile device (Zarodi, 2017). Tampilan Web GIS untuk visualisasi data kejadian bencana Kabupaten Magelang serta tampilan pop-up atribut data kejadian bencana yang responsif apabila dibuka dengan desktop komputer/laptop maupun *smartphone* disajikan pada **Gambar 7 dan Gambar 8**.



Gambar 7. Tampilan utuh Web GIS untuk visualisasi data kejadian bencana Kabupaten Magelang.



Gambar 8. Tampilan pop-up atribut data kejadian bencana Kabupaten Magelang.

Publikasi

Setelah menyelesaikan pembuatan Web GIS untuk visualisasi data kejadian bencana Kabupaten Magelang, langkah selanjutnya adalah melakukan upload data Web GIS ke dalam server yang sudah disediakan oleh Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Magelang.

Setelah dilakukan upload data Web GIS ke dalam server, kemudian dilakukan diseminasi portal Web GIS untuk visualisasi data kejadian bencana kepada publik. Portal Web GIS tersebut dapat diakses melalui *https://sikk.magelangkab.go.id/peta.*

KESIMPULAN

Penyusunan Web GIS untuk visualisasi data kejadian bencana diperlukan tahapan kegiatan tahapan yang jelas dan runtut. Sumber data dalam penyusunan Web GIS ini dari laporan masyarakat terkait kejadian bencana yang sudah terverifikasi oleh BPBD Kabupaten Magelang, data raster peta bahaya, kerentanan, kapasitas, dan risiko bencana Kabupaten Magelang serta data GIS berupa layer batas administrasi kecamatan dan desa dalam format shapefile yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG).

Hasil dari kegiatan ini adalah tampilan atau visualisasi data kejadian bencana yang bisa diakses oleh siapapun tanpa menggunakan aplikasi GIS, untuk mendukung upaya proses pengambilan keputusan yang tepat oleh pengambil kebijakan dan juga bisa dijangkau pengguna secara sangat luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada semua pihak yang terlibat dalam pembangunan Web GIS Pantauan Kejadian Bencana, khususnya kepada BPBD Kabupaten Magelang serta tim SinauGIS Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Aronoff, S. 1989. *Remote Sensing for GIS Manager (terjemahan)*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Andrian, J., Ismail, A., Setiawan, I., & Himayah, S. (2020). An Interactive Web-Gis Development for Risk Tsunami Hazard Potential Information In Pangandaran Village West Java. *Social, Humanities, and Educational Studies (SHEs): Conference Series*, 3(1), 211–220.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2012. Perka BNPB No. 07 Tahun 2012 tentang Pedoman Pengelolaan Data dan Informasi Bencana Indonesia. BNPB. Jakarta.

BPBD Magelang. (2023) Infografis Kejadian Bencana Kabupaten Magelang Tahun 2023. BPBD, Magelang. Retrieved from https://bpbd.magelangkab.go.id/home/detail/infografis-bencana-kabupaten-magelang-tahun-2023/810 [23 Maret 2024]

Fakultas Teknik UNJ. (2024). Buku Panduan Mitigasi Bencana. UNJ, Jakarta. Retrieved from https://ft.unj.ac.id/buku-panduan-mitigasi-bencana/ [23 Maret 2024]

Mahendra, D. R. (2023). Pemanfaatan Data Statistik Resmi dalam Mitigasi Bencana di Indonesia. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(11), 571–574. https://doi.org/10.5281/zenodo.10396458

Osaragi, T., Niwa, I., & Hirokawa, N. (2017). Development of web application for disaster-information collection and its demonstration experiment. In *Advances and New Trends in Environmental Informatics: Stability, Continuity, Innovation* (pp. 63-73). Springer International Publishing.

Permatasari, A. L., Suherningtyas, I. A., & Kusuma Wiguna, P. P. (2022). Development and Evaluation of the Web GIS Application To Support Volcanic Hazard Mitigation in the Southern Flank of Merapi Volcano, Sleman Regency, Yogyakarta Province, Indonesia. *Geography, Environment, Sustainability, 15*(4), 57–63.

Prahasta, E. 2007. *Membangun Aplikasi Web-based GIS dengan MapServer*. Informatika. Bandung.

RI (Republik Indonesia). (2007). Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Sekretariat Negara. Jakarta.

Syarif, A., & Unde, A. A., Asrul, L. (2014). Pentingnya komunikasi dan informasi pada implementasi kebijakan penyelenggaraan penanggulangan bencana di Kota Makassar. *KAREBA: Jurnal Ilmu Komunikasi*, 142-152.

Sukojo, B. M., & Lisakiyanto, D. R. (2021). Web-Based Geographic Information System Development of Hotspots Distribution for Monitoring Forest and Land Fires Using Leaflet JavaScript Library (Case Study: Ogan Komering Ilir Regency, South Sumatera). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *936*(1).

United Nations. (2015). UN General Assembly, Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015, 16301(October), 1–35. https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html

Wikipedia. 2024. *Leaflet (software)*. Cited in https://en.wikipedia.org/wiki/Leaflet_(software). [3 April 2024]

Zarodi, H., Anshori, M., Widarto, M,. 2017. *Pemanfaatan Web GIS dalam Mendukung Program Desa Bersaudara di Kabupaten Magelang Studi Kasus Simulasi Jalur Evakuasi Program Desa Bersaudara Terhadap Ancaman Erupsi Gunungapi Merapi di Desa Ngargomulyo dan Tamanagung*. Prosiding Seminar Nasional Geomatika. Badan Informasi Geospasial. Bogor.

Zulkarnain, S.M., Sudarsono, B. dan Nugraha, A.L. 2015. *Pemanfaatan Web GIS Untuk Pemetaan Persebaran SPBU di Kota Semarang*. Jurnal Geodesi Undip. Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.

ANALISIS RISIKO KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN GAMBUT MENGGUNAKAN INDIKATOR TINGGI MUKA AIR

Studi Kasus di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi

(*Forest and Peatland Fire Risk Analysis using Indicator of Groundwater Level*)

Atfi Indriany Putri[1], Lailan Syaufina[2], dan Nining Puspaningsih[2]
[1]Universitas Gadjah Mada
[2]IPB University

Bulaksumur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
E-mail: atfiindriany@gmail.com

ABSTRAK

Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM) dalam Sistem Pemantauan Air Lahan Gambut (SIPALAGA) pada tahun 2017 pertama kali membuat alat dalam bentuk sensor dengan tujuan pengukuran tinggi muka air gambut. Jumlah alat tersebut sejak tahun 2020 sudah terpasang sebanyak 142 alat di 7 provinsi rawan terjadinya kebakaran, baik di Pulau Sumatera dan Kalimantan, adapun jumlah alat SIPALAGA yang sudah terpasang diwilayah penelitian, yakni Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi ada 6 titik dengan empat lokasi yakni Kecamatan Mendahara Hulu, Geragai, Dendang, dan Sabak Barat. Selain itu walau sudah memiliki alat sensor yang cukup banyak, akan tetapi dalam pemanfaatan pengolahan data masih kurang optimal hingga saat ini. Oleh karena itu sangat diperlukan penelitian tentang analisis risiko kebakaran lahan gambut dengan menggunakan tinggi muka air agar nantinya data tersebut dapat digunakan oleh BRGM secara optimal serta dapat menentukan risiko kebakaran lahan gambut. Tujuan penelitian adalah membuat model dan peta risiko terjadinya kebakaran hutan dan lahan dengan menggunakan tinggi muka air sebagai indikator terjadinya kebakaran di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi muka air gambut memiliki kemungkinan yang baik sebagai indikator terjadinya kebakaran hutan dan lahan di kawasan lahan gambut pada wilayah penelitian. Berdasarkan hasil analisis 5 subfaktor lingkungan dan manusia, yaitu tutupan lahan, fungsi kawasan, jarak jalan, jarak sungai, dan jarak saluran irigasi menunjukkan bahwa tinggi muka air kritis sebagai indikator kebakaran adalah bernilai (-0,392) meter. Nilai ini sangat sesuai dengan ambang batas tinggi muka air dalam peraturan pemerintah tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut.

Kata kunci: BRGM, lahan gambut, risiko, SIPALAGA, tinggi muka air

ABSTRACT

The PeatLand and Mangrove Restoration Agency (BRGM) in the Peatland Groundwater Level Monitoring System (SIPALAGA) in 2017 first made a tool in the form of a sensor with the aim of measuring peat water levels. The number of these tools since 2020 has been installed as many as 142 tools in 7 provinces prone to fires, both on the islands of Sumatra and Kalimantan, as for the number of SIPALAGA tools that have been installed in the research area, namely East Tanjung Jabung Regency, Jambi Province, there are 6 points with four locations, namely Mendahara Hulu, Geragai, Dendang, and West Sabak Districts. In addition, even though it already has quite a lot of sensor equipment, the utilisation of data processing is still not optimal until now. Therefore, research is needed to analyse the risk of peatland fires using water levels so that the data can be used optimally by BRGM and determine the risk of peatland fires. The purpose of this research is to create a model and map of the risk of forest and land fires using water level as an indicator of fire occurrence in East Tanjung Jabung District, Jambi Province. The results of this study show that peat water level has a good possibility as an indicator of the occurrence of forest and land fires in peatland areas in the study area. Based on the analysis of 5 environmental and human subfactors—land cover, land function, road distance, river distance, and irrigation canal distance—it is shown that the critical water level indicator for fires is (-0.392) meters. This value aligns well with the threshold of water level in government regulations regarding Peat Ecosystem Protection and Management.

***Keywords**: BRGM, groundwater level, peatland, risk, SIPALAGA*

PENDAHULUAN

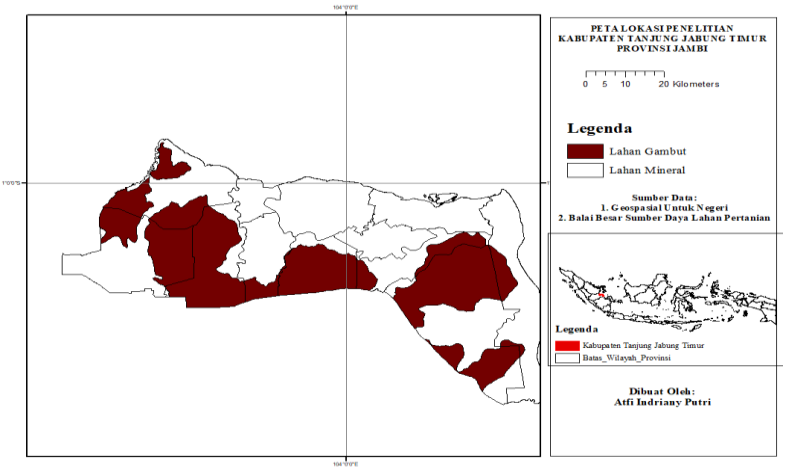
Isu lingkungan yang menjadi perbincangan hingga saat ini, baik tingkat lokal, nasional, dan internasional adalah kejadian kebakaran (Putri *et al.* 2023). Pada umumnya kejadian kebakaran yang sering terjadi di Indonesia tidak hanya pada tanah mineral, melainkan sering tejadi di lahan gambut (Adinugroho *et al.* 2004). Menurut data statistik Luas kebakaran hutan dan lahan di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun, yaitu berturut- turut 165 483 ha (2017), 529 266 ha (2018), 1 649 258 ha (2019), dan 296 942 ha (2020), 358 867 ha (2021) (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2022).

Kejadian kebakaran di lahan gambut sering diduga, dengan menggunakan parameter *hotspot* (titik panas) sebagai indikator terjadinya kebakaran. *Hotspot* merupakan wilayah yang ditangkap oleh satelit yang mengalami suhu relatif yang lebih tinggi, jika dibandingkan dengan wilayah yang ada disekitarnya. Satelit yang mendeteksi titik panas sebagai indikator kebakaran hutan dan lahan biasa dikenal dengan Satelit (NOAA) dan Terra/Aqua. Menurut LAPAN (2015), banyaknya titik api yang mengelompok dalam kurun waktu ± 2 hingga 5 hari dapat mengindikasikan telah terjadi peristiwa kebakaran di wilayah tersebut, akan tetap Menurut hasil penelitian dari Syaufina dan Hafni (2018), terjadinya titik kebakaran, selain dapat diprediksi dari titik panas, juga dapat didukung oleh faktor iklim, dalam hal ini curah hujan. Selain itu faktor penyebab kebakaran di lahan gambut dapat diduga menggunakan tinggi muka air sebagai indikator kebakaran (Putri et al 2023). Adapun nilai tinggi muka air dan kadar air yang dapat menyebabkan kebakaran di lahan gambut adalah memiliki nilai tinggi muka air sebesar 0,4 meter dan kadar air dibawah titik kritis sebesar 110,44~117,39%.

Oleh karena itu agar dapat nilai muka air gambut dapat dilakukan pemantauan secara *real time* maka pada tahun 2017, Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM) Republik Indonesia telah mengembangkan sebuah alat pertama berupa Sensor Sistem Pemantauan Air Lahan Gambut (SIPALAGA) dengan tujuan untuk dapat mengukur ketinggian air gambut. Kemudian sejak tahun 2020, ada sebanyak 142 perangkat tersebut telah dipasang di tujuh provinsi rawan kebakaran di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Meskipun sudah memiliki banyak teknologi sensor, namun pemanfaatan dan pengolahan datanya masih kurang maksimal. Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis risiko kebakaran lahan gambut berbasis ketinggian muka air gambut sangat diperlukan agar nantinya BRGM dapat memanfaatkan data-data tersebut secara optimal untuk dapat menentukan risiko kejadian kebakaran lahan gambut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat model dan peta risiko kebakaran hutan dan lahan dengan menggunakan ketinggian air gambut sebagai indikator terjadinya kebakaran di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi.

METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai dengan September 2022, dengan lokasi penelitian adalah lahan gambut yang secara administratif terletak di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi, yang secara geografis terletak antara 00 53’ sampai 10 41’ LS dan antara 1030 23’ sampai 1040 31’ BT (BPS Tanjung Jabung Timur, 2021).

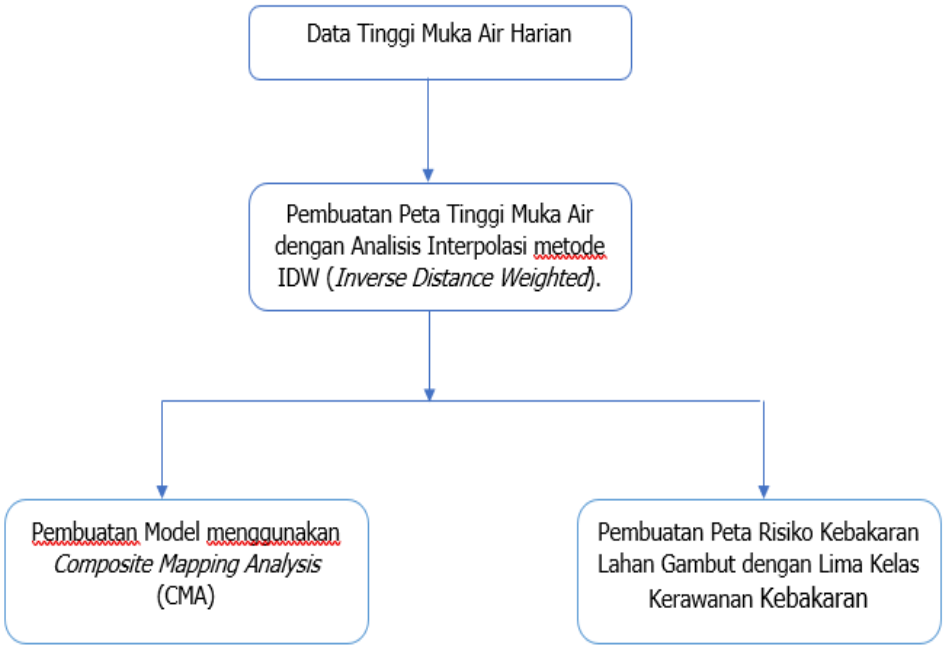


Gambar 1. Lokasi penelitian di lahan gambut Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi.

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yakni: program perangkat lunak Microsoft Excel 2019, Microsoft Word 2019, Software Arc Map GIS 10.5, Software SPSS, dan alat tulis, dengan bahan penelitian yang digunakan sebagai berikut.

1. Data harian tinggi muka air gambut periode Januari 2019 – Desember 2021 yang didapatkan dari Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM).
2. Peta administrasi, jangkau jarak jalan, jangkau jarak irigasi, jangkau jarak sungai Kabupaten Tanjung Jabung Timur (Tanjabtim), Provinsi Jambi yang didapatkan dari website resmi Geospasial untuk Negeri (http://tanahair.indonesia.go.id)
3. Peta sebaran lahan gambut di Pulau Sumatera yang didapatkan dari Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) dalam bentuk file shapefile.
4. Peta fungsi kawasan, dan tutupan lahan dari Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Analisis Data

Tahap yang dilakukan dalam penyusunan model dan membuat peta risiko kerawanan dengan menggunakan data tinggi muka air sebagai indikator kebakaran di Kabupaten Tanjung Timur, Provinsi Jambi adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan peubah yang digunakan sebagai indikator kebakaran, yakni pada penelitian ini adalah data tinggi muka air
2. Membuat peta tinggi muka air sebagai indikator kebakaran di lahan gambut.
   Tahap pembuatan peta tinggi muka air adalah dengan mengajukan data ke Badan Restorasi Gambut dan Mangrove. Data tinggi muka air yang diperoleh berupa data excel harian tinggi muka air persepuluh menit dalam satu hari pada satu kabupaten, kemudian didapatkan data titik-titik koordinat pengambilan sampel data tinggi muka air. Langkah berikutnya, pembuatan peta tinggi muka air menggunakan Arc Map Gis10.5 dengan menggunakan tools interpolasi metode IDW (*Inverse Distance Weighted)*.
3. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi kebakaran hutan dan lahan.
   Menurut Novita dan Vonnisa (2021) pendekatan spasial dalam membangun model daerah kerawanan kebakaran hutan dan lahan, terdiri dari dua faktor yaitu faktor biofisik atau lingkungan, dan faktor aktivitas manusia. Faktor lingkungan yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan sub faktor fungsi kawasan, dan tutupan lahan, serta untuk faktor manusia yang digunakan adalah sub faktor jangkau jarak sungai, jangkau jarak jalan, dan jangkau jarak irigasi.
4. Membuat model.
   Setelah menentukan faktor-faktor dan sub faktor dalam pembuatan peta risiko kebakaran hutan dan lahan, maka langkah berikutnya pembuatan model. Berikut persamaan model yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan model dari (Boonyanuphap *et al.* 2001).

   $$V = [A\ (a1X1 + a2X2) + B\ (b1Y1 + b2Y2 + b3Y3)] \quad \text{.....(1)}$$

   Di mana:
   A + B = 1
   V = Nilai komposit kerawanan kebakaran hutan dan lahan
   A = Bobot faktor lingkungan
   a1 = Bobot sub faktor tutupan lahan
   X1 = Skor kerawanan kebakaran sub faktor tutupan lahan
   a2 = Bobot subfaktor fungsi kawasan
   X2 = Skor kerawanan kebakaran sub faktor fungsi kawasan
   B = Bobot faktor lingkungan
   b1 = Bobot sub faktor jangkauan jarak sungai
   Y1 = Skor kerawanan kebakaran sub faktor jangkauan jarak sungai
   b2 = Bobot sub faktor jangkauan jarak jalan
   Y = Skor kerawanan kebakaran sub faktor jangkauan jarak jalan
   b3 = Bobot sub faktor jangkauan jarak irigasi
   Y3 = Skor kerawanan kebakaran sub faktor jangkauan jarak irigasi
5. Analisis data menggunakan Composite Mapping Analysis.
   Tahapan dalam melakukan penelitian yang memanfaatkan data penginderaan jauh dapat digunakan dengan menggunakan metode Composite Mapping Analysis (CMA) yang tujuannya untuk dapat mendeteksi kebakaran hutan dan lahan pada suatu wilayah serta dapat digunakan sebagai mengembangkan suatu model.
6. Melakukan uji akurasi model.
   Tahap akhir dalam penyusunan model dan membuat peta risiko kerawanan dengan menggunakan data tinggi muka air sebagai indikator kebakaran di Kabupaten Tanjung Timur, Provinsi Jambi adalah tahap uji akurasi model. Adapun data yang digunakan sebagai luas areal referensi adalah burnt area yang bersumber dari LAPAN. Uji akurasi model ditentukan berdasarkan nilai luas areal referensi dengan hasil model. Berikut adalah rumusnya yang merujuk dari penelitian (Boonyanuphap 1998).

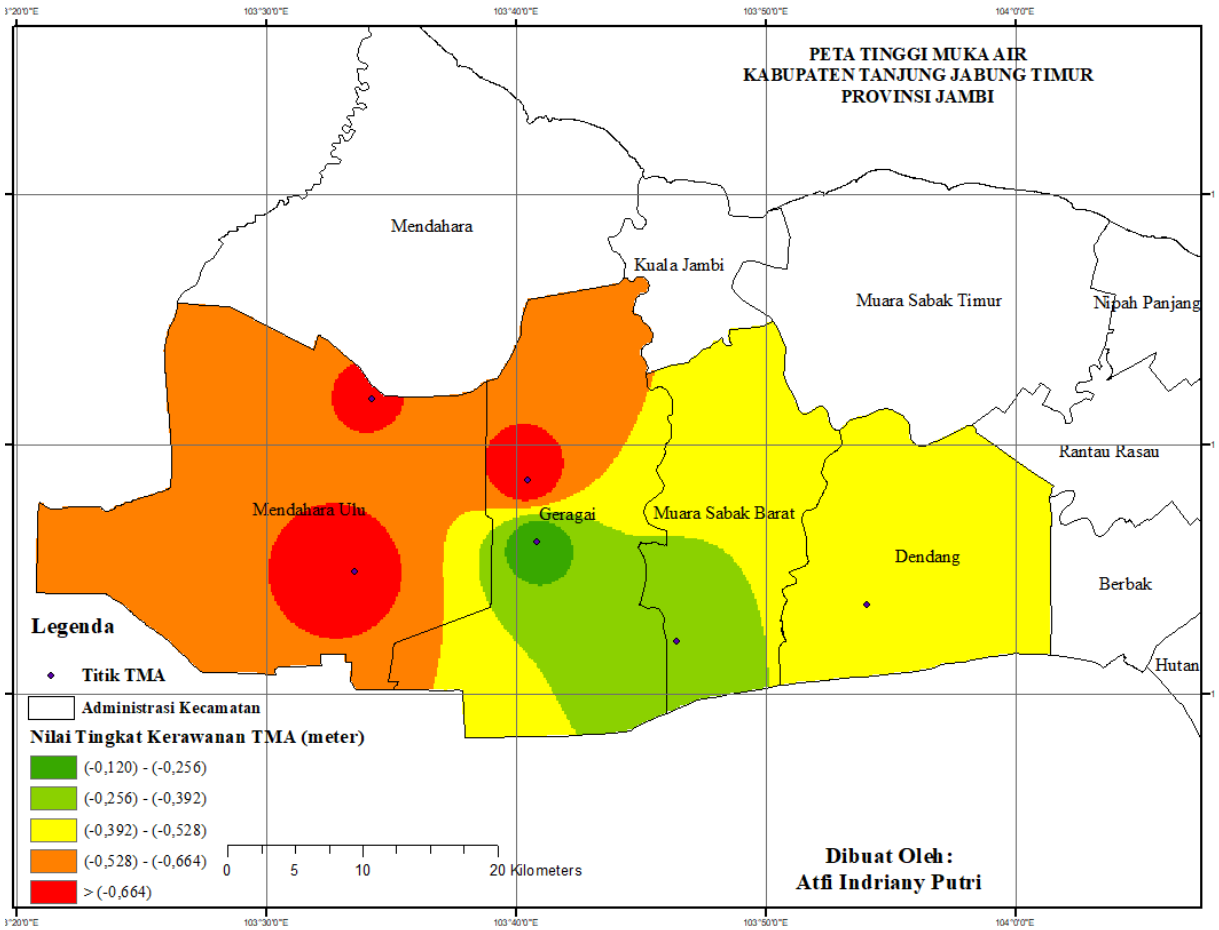
HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara geografis Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi terletak antara 0°53' – 141' S dan antara 103°23' – 104°31' E. Lokasi kajian penelitiann ini perbatasan dengan Laut Cina Selatan di timur laut, di sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Jambi Muaro dan Provinsi Sumatera Selatan, sedangkan sebelah timur berbatasan dengan Laut Cina Selatan, dan di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Tanjung Jabung Barat dan Kabupaten Muaro Jambi. Kemudian secara wilayah administrasi Kabupaten Tanjung Jabung Timur memiliki sebanyak 11 kecamatan, 20 kelurahan, dan 73 desa.

Kabupaten Tanjung Jabung Timur memiliki iklim tropis basah dengan curah hujan tahunan rata-rata berkisar antara 2000–3000 mm per tahun, 8–10 bulan termasuk kedalam bulan basah dan 2–4 bulan kering. Curah hujan rata-rata bulan basah adalah 179–279 mm, dan bulan kering adalah 68–106 mm. Kabupaten Tanjung Jabung Timur memiliki luas 544,500 Ha, yang terdiri 41,33% (225.047,60 Ha) adalah kawasan Hutan Produksi, Hutan Lindung, dan Tahura, serta kawasan Taman Nasional Berbak seluas 138,242 Ha, sedangkan Kawasan Budidaya Pertanian dan Non Pertanian seluas 319,452,40 Ha (58,67%) (BPS Tanjung Jabung Timur 2021).

Peta Tinggi Muka Gambut Sebagai Indikator

Alat sensor Sistem Pemantauan Air Lahan Gambut (SIPALAGA) telah dipasang oleh Badan Restorasi Gambut dan Mangrove sejak 2017, hingga saat ini alat tersebut sudah terpasang sebanyak enam titik alat pada empat lokasi yang ada di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi, yakni pada Kecamatan Mendahara Hulu, Geragai, Dendang, dan Sabak Barat.



Sumber: Hasil analisis

Gambar 3. Peta indikator tinggi muka air Kabupaten Tanjung Jabung Timur.

Hasil analisis untuk kelas tingkat risiko kerawanan tinggi muka air gambut dalam penelitian ini dengan menggunakan IDW menghasilkan lima kategori kelas kerawanan tinggi muka air, yakni

kategori sangat rendah terlihat berwarna hijau tua dengan nilai (-0,120) – (- 0,256) m, kelas rendah berwarna hijau muda dengan nilai (-0,256) – (-0,392) m, kelas sedang memiliki warna kuning (-0,392) – (-0,528) m, kategori kelas tinggi berwarna orange (-0,528) – (-0,664) m, dan kelas sangat tinggi berwarna merah ≥ (-0,664) m. Adapun untuk menjadi rujukan model pada penelitian ini hanya menggunakan tiga kelas kerawanan, yakni kelas sedang, tinggi, dan sangat tinggi dengan rentang nilai ((-0,393) - ≥ (-0,664)) m. Hal tersebut merujuk dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh Susilo *et al.* (2013) yakni merekomendasikan nilai tinggi muka air untuk dapat mencegah kawasan gambut dari kejadian kebakaran lahan gambut, maka nilai tinggi muka air gambut tidak diperbolehkan mencapai ≥ (-0,4) m di bawah permukaan tanah, pasalnya jika nilai tinggi muka air mengalami penurunan di bawah -0,4 m dari permukaan tanah, maka akan menyebabkan terjadi kebakaran pada gambut, sedangkan menurut Putra *et al.* (2018) dalam penelitiannya merekomendasikan perlunya nilai tinggi muka air dipertahankan tidak kurang dari -0,1 m pada kawasan gambut yang telah mengalami terdegradasi tujuannya agar dapat mencegah terjadinya kebakaran permukaan gambut.

Model dan Peta Risiko Kejadian Kebakaran di Lahan Gambut

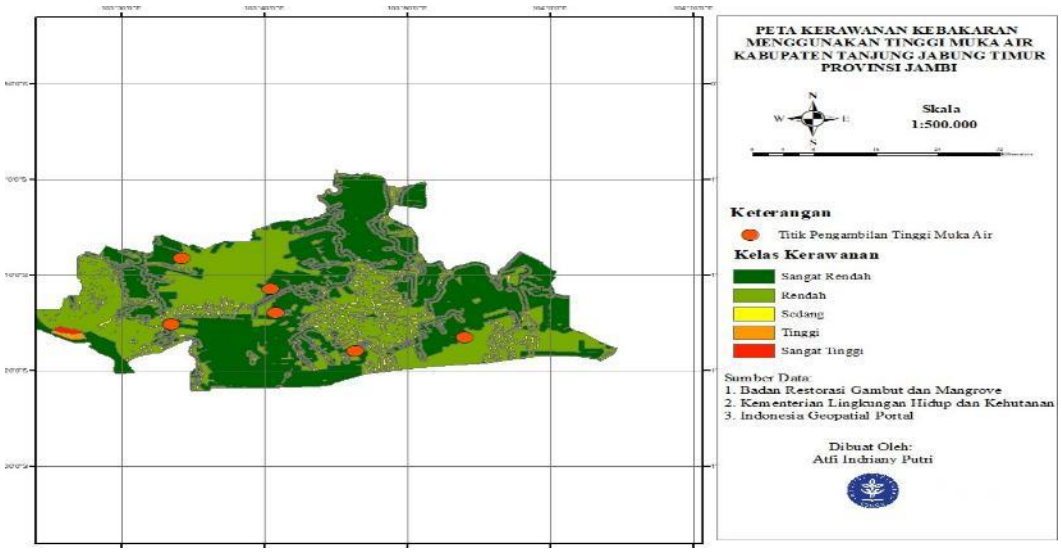
Setelah mendapatkan nilai indikator tinggi muka air, maka dilakukan pembuatan model tingkat kerawanan kebakaran di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi dengan menggunakan data faktor lingkungan dan manusia serta sub faktor pendukung lainnya. Hasil pemodelan yang didapatkan pada analisis penelitian ini menggunakan CMA menjelaskan bahwa faktor manusia mendapatkan nilai bobot tertinggi, yakni 0,54 jika dibandingkan dengan nilai faktor lingkungan berbobot 0,46. Selain itu hasil model penelitian jika di lihat dari nilai sub faktor tertinggi di faktor manusia yang paling berpengaruh adalah jaungan jarak jalan, diikuti jangkauan jarak sungai, dan yang terakhir jangkauan jarak irigasi. Kemudian untuk sub faktor tertinggi di faktor lingkungan tertinggi adalah fungsi kawasan dengan diikuti tutupan lahan. Adapun untuk presentase nilai model sangat rendah dengan nilai 47,63%, kategori kelas rendah dengan persentase 46,38%, kategori kelas sedang memiliki presentase 5,58%, kategori kelas tinggi dengan persentase 0,23%, dan kelas sangat tinggi memiliki persentase 0,18%, oleh karena itu maka pada penelitian dengan wilayah kajian Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi berdasarkan hasil overlay yang dilakukan dengan dua faktor (manusia dan lingkungan) serta dengan berbagai subfaktor dengan variable independent yang digunakan nilai tinggi muka maka maka nilai tertinggi adalah kategori kelas sangat rendah 47,63%.

$$V = 0{,}46\ (0{,}38\ X1 + 0{,}62\ X2) + 0{,}54\ (0{,}37\ Y1 + 0{,}44\ Y2 + 0{,}19\ Y3) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Di mana:

V : Nilai komposit kerawanan kebakaran
X1 : Skor kerawanan kebakaran sub faktor tutupan lahan
X2 : Skor kerawanan kebakaran sub faktor fungsi kawasan
Y1 : Skor kerawanan kebakaran sub faktor jarak jangkauan sungai
Y2 : Skor kerawanan kebakaran sub faktor jarak jangkauan jalan
Y3 : Skor kerawanan kebakaran sub faktor jarak jangkauan irigasi

Hal penelitian ini sangat sesuai dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh Wooster *et al.* 2011 yang menyatakan bahwa kejadian kebakaran di lahan gambut pada umumnya terjadi karena faktor manusia dalam hal ini berkaitan dengan kegiatan deforestasi, seperti adanya perkebunan kelapa sawit, perubahan penggunaan lahan, serta persiapan produksi pertanian yang dilakukan masyarakat dengan cara membakar lahan.



Sumber: Hasil analisis penulis

Gambar 4. Peta risiko kerawanan tinggi muka air gambut di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi

Setelah pembuatan model, maka langkah berikutnya pembuatan peta kerawanan dengan cara menjumlahan semua nilai atau bobot faktor-faktor dalam suatu analisis tumpeng susun, yakni menggunakan data faktor manusia (jangkauan jarak sungai, jarak jalan, dan jarak irigasi), dan faktor lingkungan (tutupan lahan dan fungsi kawasan). Selain itu dalam pembuatan peta dilihat berdasarkan hasil skor kumulatif daerah yang sangat berpotensi terjadinya kebakaran pada lahan gambut. Hasil penelitian ini menujukan bahwa peta kerawanan pada penelitian ini terbagi menjadi 5 kelas kerawanan. Kemudian untuk hasil akurasi model pada penelitian ini dapat dilihat pada (Tabel 1) bahwa yang mememiliki akurasi model terendah adalah tingkat kerawanan tinggi dan sangat tinggi dengan nilai presentase 0%, diikuti sedang 24 %, rendah 34%, serta nilai kerawanan tertinggi adalah tingkat kerawanan sangat rendah dengan nilai 38%, artinya 38% ini pada kawasan kajian dengan risiko kebakaran sangat rendah diduga akan terindikasi rendah terjadi kebakaran di lahan gambut, yang artinya dengan keberadaan alat SIPALAGA yang dibuat oelh BRGM ini dapat membantu untuk menanganin kasus kebakaran di wilayah kajian Kabupaten Tanjung Jabung Timur.

Tabel 1. Kelas kerawanan kebakaran di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi.

Kelas	Nilai	Tingkat Kerawanan	Persentase Akurasi Model (CV) (%)
1	1 - 9	Sangat Rendah	38
2	10 - 18	Rendah	34
3	19 - 27	Sedang	28
4	28 - 36	Tinggi	0.00
5	> 36	Sangat Tinggi	0.00

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai tinggi muka air gambut menjadi indikator kebakaran hutan dan lahan di kawasan lahan gambut di Kabupaten Tanjung Jabung Timur. Berdasarkan hasil analisis 5 subfaktor lingkungan dan manusia, yaitu tutupan lahan, fungsi kawasan, jarak jalan, jarak sungai, dan jarak saluran irigasi menunjukkan bahwa nilai tinggi muka air kritis sebagai indikator kebakaran pada wilayah penelitian ini adalah (-0,392) m. Nilai ini sangat sesuai dengan ambang batas tinggi muka air gambut dalam peraturan pemerintah tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut, serta pada penelitian ini keberadaan alat sensor SIPALAGA menunjukan kerawanan yang cukup rendah pada lokasi kajian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih ini dituliskan teruntuk instansi pemerintah yang telah memberikan data penelitian, yakni Badan Restorasi Gambut dan Mangrove untuk data Tinggi Muka Air, dan Kemeterian Lingkungan Hidup dan Kehutanan untuk data tutupan lahan, dan fungsi kawasan sehingga dengan ada data tersebut dapat membantu penulis dalam menyelesaikan karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adinugroho, W.C., Suryadiputra, Saharjo, B.H., Siboro,L. (2004). Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut. Perpustakaan Nasional. Bogor.

Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Tanjung Jabung Timur. (2021). Statistik Daerah Kabupaten Tanjung Jabung Timur 2021. Badan Pusat Statistik Kabupaten Tanjung Jabung Timur. Jambi.

Boonyanuphap J., 1998. Application of GIS for Assessing Risk Area for the Forest Encroachment in Huai Kha Kheng Wildlife Sanctuary, Thailand. Master Thesis, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Thailand. Unpublished

Boonyanuphap, J., Suratmo, F. G., Jaya, I. N. S., & Amhar, F. (2001). GIS-based method in developing wildfire risk model (case study in Sasamba, East Kalimantan, Indonesia). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, *7*(2).

LAPAN. (2015). Hotspot: hanyalah indikator bukan kejadian kebakaran hutan/lahan. https://lapan.go.id/post/6011/menristek-lapan-kembangkan-satelit-untuk-pertahanan-dan-komersial. [19 Mei 2021].

Putri, A.I., Syaufina, L., Puspaningsih,N. (2023). Groundwater level as an indicator of forst fires in Tanjung Jabung Timur, Jambi. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 12(4), 749-756.

Putra, E.I., Imanudin,M.S., Hafni, D.A.F., Cochrane, M.A., Graham, L., Saharjo, B.H., Hayasaka, H. (2018). *Referensi tinggi bagi pencegahan kebakaran gambut di Indonesia* [Internet]. Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia, 20 Maret 2018. Palembang, Indonesia.

Novita, SE. Vonnisa, M. (2021). Pemodelan spasial kerentanan kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Timur. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 232-238.

Susilo, GE. Yamamotoa, K. Imaia, T. (2013). Modeling groundwater level fluctuation in the tropical peatland areas under the effect of El Nino. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 119 – 128.

Syaufina,L., Hafni, D.A.F. (2018). Variabilitas Iklim dan Kejadian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut di Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 9(1), 60-68.

OPTIMASI PENGELOLAAN BANJIR: ANALISIS SPASIAL BANJIR KALA ULANG DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI 2D SOFTWARE HEC-RAS DAN PENERAPAN DEBIT RANCANGAN

Studi Kasus Sub-Das Mata Allo, Kabupaten Enrekang

(*Flood Management Optimization: Spatial Analysis of Return-Time Flood Using 2D Hec-RAS Software Simulation and Design Discharge Application Case Study of Mata Allo Sub-Basin, Enrekang Regency*)

Nurul Afdal Haris dan Dwi Rahmayana
Jurusan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

Jl. Mallengkeri Raya, Kampus UNM Parangtambung, Makassar 90224
E-mail: afdalharis96@gmail.com

ABSTRAK

Kabupaten Enrekang menjadi salah satu daerah dengan tingkat kerawanan banjir yang tinggi di Sulawesi Selatan. Hal ini disebabkan oleh meluapnya Sub DAS Mata Allo pada saat kondisi debit aliran yang tinggi bersamaan dengan curah hujan yang tinggi yang menyebabkan kerugian yang cukup besar. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak bencana, diperlukan adanya pemetaan dalam memprediksi peluang terjadi hingga tingkat bahaya sebagai informasi awal dalam pengendalian banjir. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sebaran dan tingkat bahaya banjir di Sub DAS Mata Allo dengan menggunakan simulasi 2D HEC-RAS. Analisis spasial tingkat kerawanan banjir didasarkan dari hasil perhitungan debit rancangan kala ulang menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu. Hasil penelitian menunjukkan luas genangan banjir sebesar 94,408ha pada kala ulang 2 tahun; 116,947ha pada kala ulang 5 tahun; 125,365ha pada kala ulang 10 tahun; 134,107ha pada kala ulang 25 tahun; 137,830ha pada kala ulang 50 tahun dan 139,717ha pada kala ulang 100 tahun. Selain itu, berdasarkan analisis debit banjir di tahun 2019 memiliki kecenderungan sama dengan debit kala ulang 10 tahun. Hal ini dapat diindikasikan bahwa banjir tersebut berulang dalam 10 tahun. Dengan kawasan Kelurahan Lewaja dan Kelurahan Galonta berada pada tingkat genangan level tertinggi terhadap potensi bahaya banjir maupun terdampak akibat kejadian banjir. Sehingga dapat ditemukan daerah dengan prioritas pengelolaan dalam upaya mengurangi dampak bencana.

Kata kunci: Banjir Kala Ulang, Debit, Simulasi

ABSTRACT

Enrekang Regency is one of the areas with a high level of flood vulnerability in South Sulawesi. This is caused by the overflow of the Mata Allo Sub-Watershed during periods of high flow discharge, coupled with heavy rainfall, resulting in significant losses. Therefore, to reduce the impact that occurs, it is necessary to have mapping in predicting the chances of occurrence to the level of danger as initial information in flood control. This research was conducted with the aim to determine the distribution and level of flood hazard in the Mata Allo Subwatershed using 2D HEC-RAS simulation. Spatial analysis of the level of flood vulnerability is based on the results of the calculation of the return time design discharge using the Nakayasu HSS method. The results showed a flood inundation area of 94.408ha at the 2-year return period; 116.947ha at the 5-year return period; 125.365ha at the 10-year return period; 134.107ha at the 25-year return period; 137.830ha at the 50-year return period and 139.717ha at the 100-year return period. In addition, based on the analysis, the flood discharge in 2019 has the same trend as the 10-year return period discharge, with 1090 houses estimated to be submerged. This indicates that the flood is recurrent in 10 years with Lewaja and Galonta urban villages at the highest level of inundation of potential flood hazards. So that areas requiring priority management can be identified in efforts to minimize the impact of disasters.

***Keywords**: Debit, Return Period Flooding, Simulation*

PENDAHULUAN

Banjir adalah suatu bencana berupa genangan air dari yang terkecil sampai terbesar, disebabkan faktor-faktor, baik manusia maupun alam, atau aliran air yang tinggi, dan tidak tertampung oleh aliran sungai sehingga meluap ke daratan yang lebih rendah (Sulaiman *et al.*, 2020). Banjir sering terjadi di beberapa wilayah setiap musim penghujan (Pratiwi & Santosa, 2021). Situasi tersebut menyebabkan kerugian yang signifikan, termasuk kerusakan lingkungan, infrastruktur, dan hilangnya nyawa. di Indonesia, banjir merupakan salah satu bencana yang sering terjadi. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), pada tahun 2023 terdapat 1.255 kejadian banjir di Indonesia (BNPB, 2024).

Provinsi Sulawesi Selatan merupakan daerah di Indonesia dengan tingkat kerawanan banjir beresiko tinggi yang memiliki indeks bencana sebesar 154,87 (BNPB, 2022). Dari beberapa kabupaten/kota yang masuk dalam daftar daerah rawan banjir dalam tingkat kerawanan tinggi, Kabupaten Enrekang merupakan salah satu yang memiliki resiko tinggi terhadap kerawanan banjir selama tahun 2020-2021. Hal tersebut ditinjau dari bertemunya Sub DAS utama dari DAS Saddang yaitu Sub DAS Saddang dan Sub DAS Mata Allo. Kedua sub DAS inilah yang bertemu di ibukota Kabupaten Enrekang dan seringkali terjadi banjir (Uca *et al.*, 2022). Tahun 2019 kejadian banjir terparah sepanjang beberapa tahun tercatat di Kabupaten Enrekang.

Upaya penanggulangan bencana banjir memerlukan informasi tentang bahaya risiko banjir, terutama dalam kaitannya dengan potensi sebaran banjir yang diperkirakan terjadi di suatu wilayah. dan langkah awal dan pertama dalam pengendalian risiko banjir ini adalah melaui pemetaan potensi terjadinya bahaya banjir. Tingkat kerawanan daerah terhadap banjir dapat ditentukan dengan pemodelan spasial banjir melalui peninjauan atau ditentukan dari aspek rawan bencana banjir (Rauf, 2021). Indeks rawan banjir digunakan kemudian untuk menentukan tingkat kerawanan bencana, yang mana terdiri dari 2 komponen utama, yakni kemungkinan terjadinya bencana dan besarnya dampak bencana yang terjadi. Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah salah satu media yang dapat digunakan dalam rangka menganalisis dan memodelkan data keruangan bencana, termasuk kaitannya dengan mekanisme hidrologi.

Selain menggunakan penerapan SIG, Pemodelan hidrolika dapat diinterpretasikan ke dalam pemodelan 2-D dengan berbagai cara yang menghasilkan pemodelan banjir (Uca *et al.*, 2023), termasuk dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS (*Hydrology Engineers Corps River Analysis System*). HEC-RAS dirancang untuk memproses data geospasial, memungkinkan pengguna untuk membuat *file* yang berisi data geometris, dan hasil profil permukaan air dapat diinterpretasikan untuk mengetahui kedalaman dan luasan banjir (Ahmad *et al.*, 2022).

Model hidrolika telah banyak dikembangkan selama beberapa dekade terakhir (Lea *et al.*, 2019). Pemodelan hidrolik memperhitungkan prediksi debit puncak dan bentuk hidrograf banjir pada permukaan air sungai (Bomers *et al.*, 2019). Penggunaan beberapa aplikasi seperti HEC-RAS merupakan salah satu bentuk pengembangan model hidrolik untuk mengatasi masalah hidrolik secara detail (Bomers *et al.*, 2019). Pemodelan hidrolik melalui HEC-RAS juga dapat diinterpretasikan ke dalam pemodelan 2-D, simulasi yang dihasilkan pun memberikan nilai rata-rata kedalaman yang lebih akurat (Ngo *et al.*, 2023).

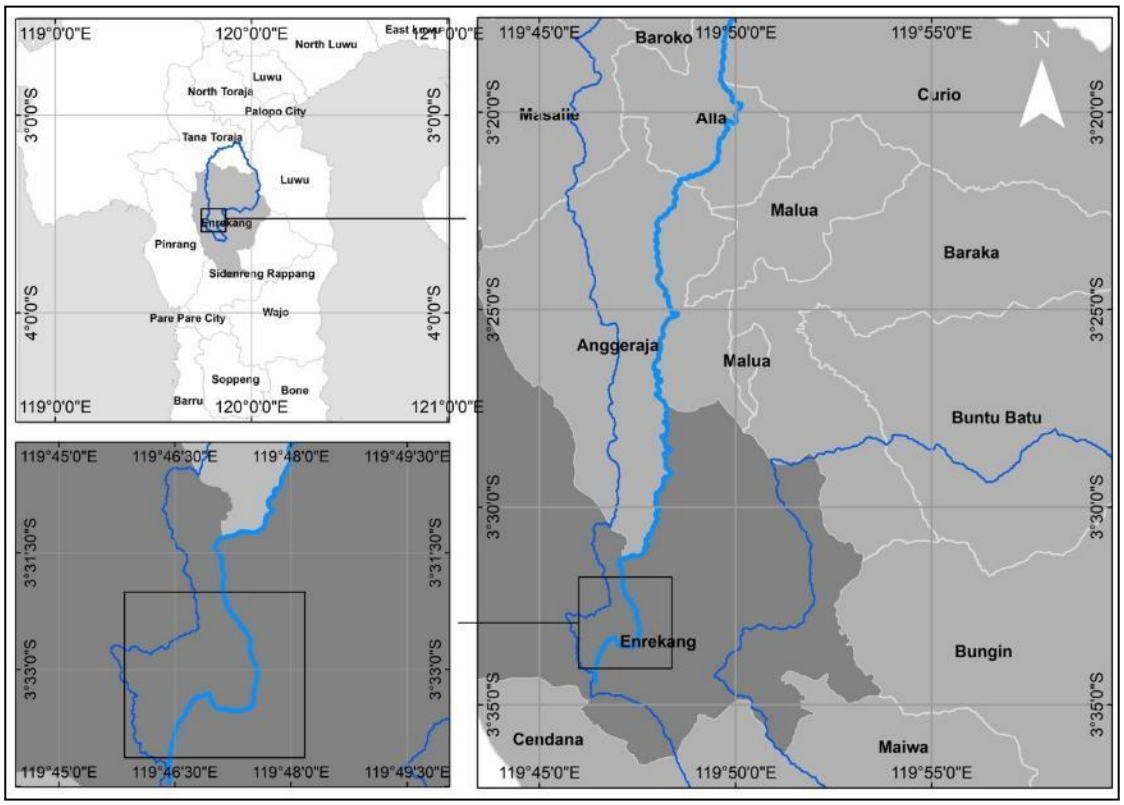
Dalam kasus visualisasi kejadian dan pengembangan strategi mitigasi bencana banjir, Integrasi antara simulasi 2D HEC–RAS dan SIG telah diterapkan di berbagai wilayah di dunia (Liu *et al.*, 2019). Hal ini juga berlaku pada wilayah DAS Saddang (sub DAS Mata Allo). Sehingga berdasarkan hal yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran dan tingkat bahaya banjir kala ulang di Sub DAS Mata Allo dengan menggunakan simulasi 2D HEC-RAS, dalam rangka sebagai langkah awal mengoptimasikan pengelolaan bencana banjir yang akan terjadi.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di daerah aliran Sungai Saddang, Sub DAS Mata Allo yang berada di Kecamatan Enrekang, Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan yang secara astronomi

Kabupaten Enrekang terletak antara $3^0$14’36” – $3^0$50’0” LS dan antara $119^0$40’53” – $12^0$06’33” BT. Sub DAS Mata Allo yang ditinjau sepanjang 4,81 km dari bagian hulu sampai hilir sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 1** di bawah ini.



Gambar 1. Lokasi penelitian

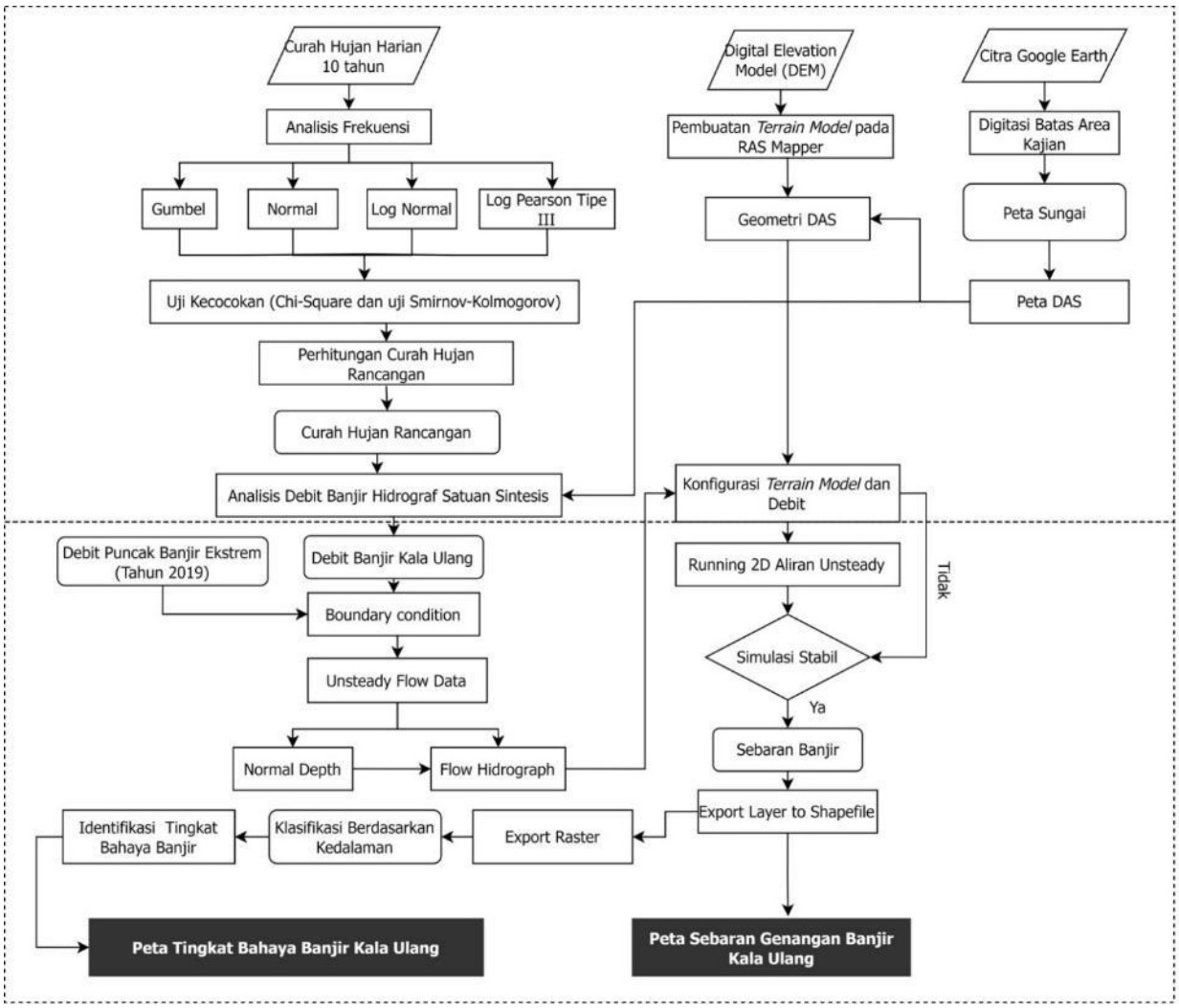
Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini data sekunder yang berasal dari instansi/organisasi terkait. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut:

- Data *Digital Elevation Model* (DEM) area kajian 8,2m diperoleh dari Badan Informasi Geospasial yang digunakan sebagai dasar pembuatan geometri sungai.
- Data curah hujan tahun 2013 hingga 2022 diperoleh dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) melalui *platform* Google Earth Engine. CHIRPS itu sendiri menyediakan data curah hujan harian pada resolusi spasial 0,05° sejak tahun 1981 hingga saat ini, dan pengguna dapat menggunakannya secara gratis serta lengkap. Data CHIRPS menunjukkan potensi akurasi yang baik untuk digunakan dalam studi meteorologi dan penelitian berkaitan sumber daya air (Geleta & Deressa, 2021).
- Data pencatatan debit air harian tahun 2019 dari Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang, Provinsi Sulawesi Selatan

Pengolahan dan Analisis Data

Data yang telah terkumpul kemudian dilakukan pengolahan dengan menggunakan aplikasi ArcGIS, HEC-RAS, Matlab Aprob_41, Microsoft Office. Adapun tahapan pengolahan dan analisis data pada penelitian ini disajikan pada diagram alir (**Gambar 2**).



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Frekuensi Curah Hujan

Dalam perhitungan frekuensi curah hujan, dilakukan terlebih dahulu analisis hujan kawasan. Pada penelitian ini, konsep perhitungan curah hujan kawasan menggunakan pendekatan polygon Thiessen. Polygon Thiessen digunakan untuk menentukan area yang dipengaruhi oleh stasiun hujan. Kemudian dilakukan perhitungan curah hujan rancangan dimana analisanya mengacu pada tahapan menurut Triatmodjo (2013) yang meliputi perhitungan standar deviasi (s), koefisien variasi (Cv), koefisien kemiringan (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck). Periode ulang 2, 10, 25, 50 dan 100 tahun digunakan sebagai periode presipitasi (curah hujan). Metode Log Normal, Normal, Gumbel, dan Pearson III digunakan dalam menganalisis distribusi frekuensi (Harahap *et al.*, 2018). Pencocokan distribusi meliputi analisis uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov dengan bantuan aplikasi Matlab AProb_41. Berdasarkan hasil analisis frekuensi dan uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov, dipilih jenis distribusi dengan nilai uji Smirnov-Kolmogorov yang paling rendah dan lulus uji Chi-Kuadrat untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut.

Debit Kala Ulang

Perhitungan hidrograf satuan adalah untuk mengetahui aliran puncak yang terjadi di daerah penelitian berdasarkan data curah hujan maksimum. Metode analisis aliran puncak yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu sebagai input pada simulasi aliran sungai menggunakan aplikasi HEC-RAS. Pada perhitungan debit banjir total metode HSS Nakayasu juga memperhatikan hitunan curah hujan efektif dan debit aliran dasar (Harahap *et al.*, 2018). Sehingga, debit banjir periode ulang merupakan hasil debit total dari perkalian antara ordinat unit HSS Nakayasu terhadap distribusi hujan efektif yang kemudian dijumlahkan dengan debit aliran dasar.

Rumus HSS Nakayasu:

$$Q_p = \frac{1}{3,6}\left(\frac{A\,Ro}{0,3T_p + T_{0,3}}\right) \quad \text{.....(1)}$$

$$T_p = t_g + 0,8T_r \quad \text{.....(2)}$$

$$t_g = 0,4 + 0,058L \quad \text{(untuk L>15km)} \text{.....(3)}$$

$$t_g = 0,2L^{0,7} \quad \text{(untuk L<15km)} \text{.....(4)}$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad \text{.....(5)}$$

$$t_r = 0,5t_g \quad \text{sampai } t_g \text{.....(6)}$$

dimana :
Qp = debit puncak banjir
A = luas DAS (km^2)
Ro = curah hujan efektif (1mm)
Tp = waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)
$T_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)
T_g = waktu konsentrasi (jam)
t_r = satuan waktu dari curah hujan (jam)
α = koefisien karakteristik DAS (antara 1,5 – 3)
L = panjang sungai utama (km)

Rumus Ordinat Unit HSS Nakayasu:

- Kurva naik ketika $0 < t < T_p$

$$Q_a = Q_p\left(\frac{t}{Tp}\right)^{2,4} \quad \text{.....(7)}$$

- Kurva turun $T_P < t < T_{0,3}+T_P$

$$Q_{d1} = Q_p \times (0,3)^{\frac{(t-Tp)}{T_{0,3}}} \quad \text{.....(8)}$$

$$Q_{d2} = Q_p \times (0,3)^{\frac{(t-Tp)+(0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}} \quad \text{.....(9)}$$

$$Q_{d3} = Q_p \times (0,3)^{\frac{(t-Tp)+(1,5T_{0,3})}{2,0T_{0,3}}} \quad \text{.....(10)}$$

Rumus curah hujan efektif:

$$\text{Rt} = \quad Rt = \frac{\left(\frac{t}{T}\right)^{2/3}}{t} \text{.....(11)}$$

$$\%RT = ((T \times Rt) - (T-1)\left(R_{(t-1)}\right)) \times 100 \text{.....(12)}$$

$$R_e = R_h \times C \text{.....(13)}$$

$$RT = R_e \times \%RT \text{.....(14)}$$

dimana:
Rt = intensitas hujan rata-rata dalam T jam (mm) dengan curah hujan netto dalam 1 hari diabaikan terlebih dahulu.
%RT = nisbah/ratio distribusi hujan jam-jaman
RT = nilai sebaran hujan rencana efektif jam-jaman pada setiap periode ulang
t = waktu konsentrasi hujan
T = waktu mulai hujan (jam) s/d Tp

R_e = curah hujan efektif
R_h = probabilitas hujan harian dari analisis perhitungan curah hujan rencana Log Pearson III
C = koefisien pengaliran

Rumus debit banjir total:

$$Q_t = (\sum_{t=1}^{n} U_t \times Re) + Q_B \quad \text{.....(14)}$$

dimana:
Q_T = debit banjir total
U_t = ordinat hidrograf (Qa, Qd1, Qd2, Qd3)
R_e = curah hujan efektif
Q_B = debit aliran dasar

Simulasi 2D HEC-RAS

1. Pembuatan geometri diawali dengan menginput data topografi berupa DEM (*Digital Elevation Model*) dalam format TIFF ke dalam RAS Mapper aplikasi HEC-RAS yang menghasilkan data *Terrain.*
2. Penentuaan syarat batas (*boundary condition*) dilakukan dengan memasukkan data hasil perhitungan debit rencana pada menu batas area hulu menggunakan *flow hydrograph dan* menu *normal depth* menggunakan nilai untuk batas area hilir, yang merupakan besaran nilai kemiringan atau gradien sungai dari hulu ke hilir. Adapun nilai gradien atau kemiringan sungai dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$G = \frac{jarak\ vertikal}{jarak\ horizontal} \quad \text{.....(15)}$$

dimana:
G = gradien sungai
J. vertikal = beda tinggi antara hulu dan hilir (m)
J. horizontal = panjang sungai kajian (m)

3. Data hasil simulasi 2D berupa nilai kedalaman genangan kemudian digunakan sebagai identifikasi bahaya banjir. Analisa spasial bahaya banjir berdasarkan kedalaman dibagi atas lima yang dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1 Klasifikasi tingkat bahaya banjir berdasarkan kedalaman.

No	Interval Kedalaman	Tingkat Bahaya
1	< 0,50 m	Sangat Rendah
2	0,50 m – 1,00 m	Rendah
3	1,00 m – 2,00 m	Sedang
4	2,00 m – 5,00 m	Tinggi
5	>5,00 m	Ekstrim

Sumber: (Ahmad et al., 2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Frekuensi Curah Hujan

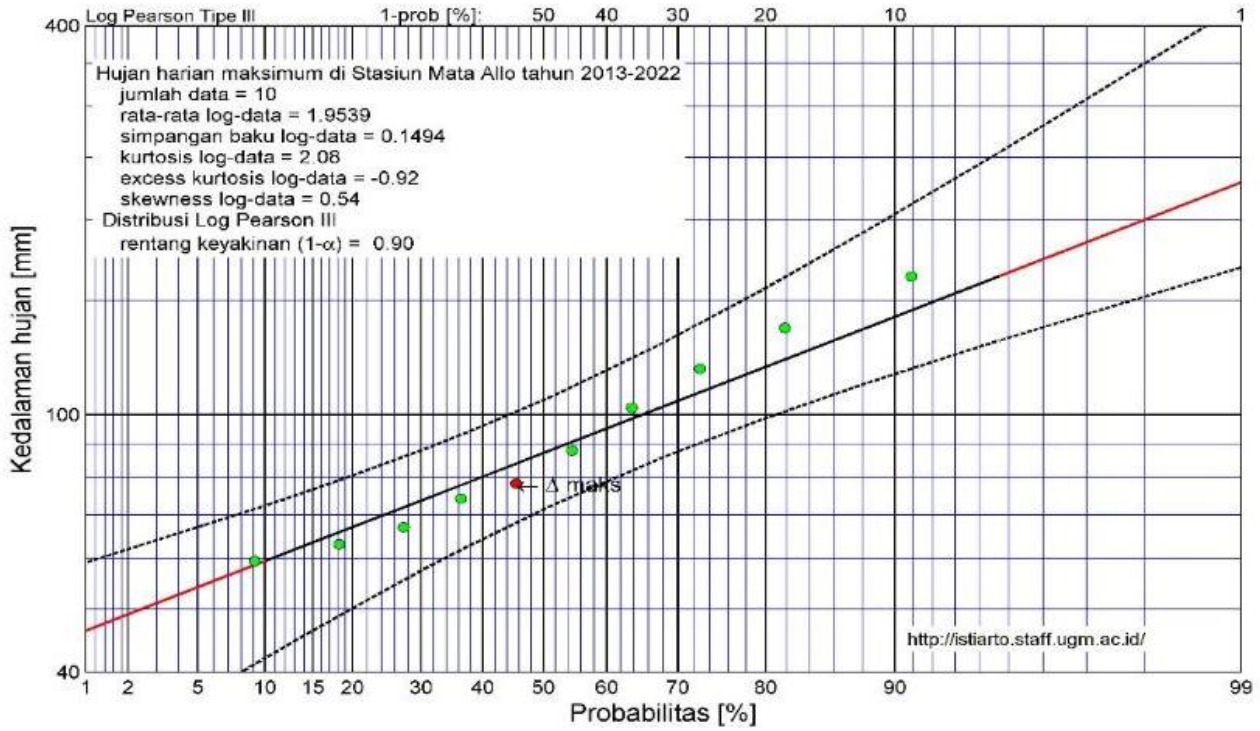
Perhitungan curah hujan kawasan lokasi penelitian menggunakan tiga lokasi sebagai perwakilan stasiun hujan. Berdasarkan perhitungan diperoleh luas pengaruh untuk tiap stasiun hujan diperoleh anlalisis hujan maksimal yang dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2. Hasil perhitungan hujan maksimal.

Tahun	Hujan Harian Maksimal (Px)			$\sum$(Px × Ax)	Hujan Max
	Lewaja	Puserren	Galonta		
	2,52	3,11	2,96	8.59	
2013	66,36	68,09	66,36	575,26	66,98
2014	72,85	76,59	72,85	637,30	74,21
2015	63,05	62,94	63,05	541,14	63,01
2016	79,19	76,51	79,20	671,78	78,22
2017	191,94	114,06	191,94	1406,20	163,74
2018	94,03	77,55	94,03	756,27	88,06
2019	57,14	63,32	57,14	509,93	59,38
2020	139,98	129,78	139,98	1170,43	136,29
2021	126,29	102,99	126,29	1012,11	117,85
2022	87,93	128,32	87,93	880,74	102,56

Sumber: Hasil perhitungan dan olah data, 2024

Nilai maksimum curah hujan yang diperoleh kemudian dianalisis frekuensi untuk menghasilkan proyeksi curah hujan atau curah hujan rencana. Proyeksi curah hujan dilakukan dalam rentang waktu 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Berdasarkan kriteria dalam pemilihan distribusi dan uji kesesuaian data, metode Log Pearson III dipilih karena nilai koefisien kemencengan (Cs) sebesar 0,538 memenuhi persyaratan yang diperlukan, di mana nilai CS≠0. Hal ini juga sejalan pada penelitian menurut (Sideng *et al.*, 2023) bahwa metode Log Pearson III dalam analisis curah hujan rancangan cocok untuk kawasan Sub DAS Mata Allo, Kabupaten Enrekang. Selain itu juga, Perhitungan curah hujan rencana ini menggunakan sebaran distribusi Log Pearson III. Hal ini bertujuan untuk memperkirakan besarnya debit banjir pada periode tertentu sehingga perkiraan debit banjir tidak melenceng jauh dari kenyataan banjir yang terjadi yang terjadi (Harahap *et al.*, 2018).



Gambar 3. Sebaran probabilitas curah hujan maksimum menggunakan metode Log Pearson III.

Adapun hasil perhitungan curah hujan periode ulang menggunakan metode Log Pearson III dapat dilihat secara lengkap pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Hasil perhitungan curah hujan rencana.

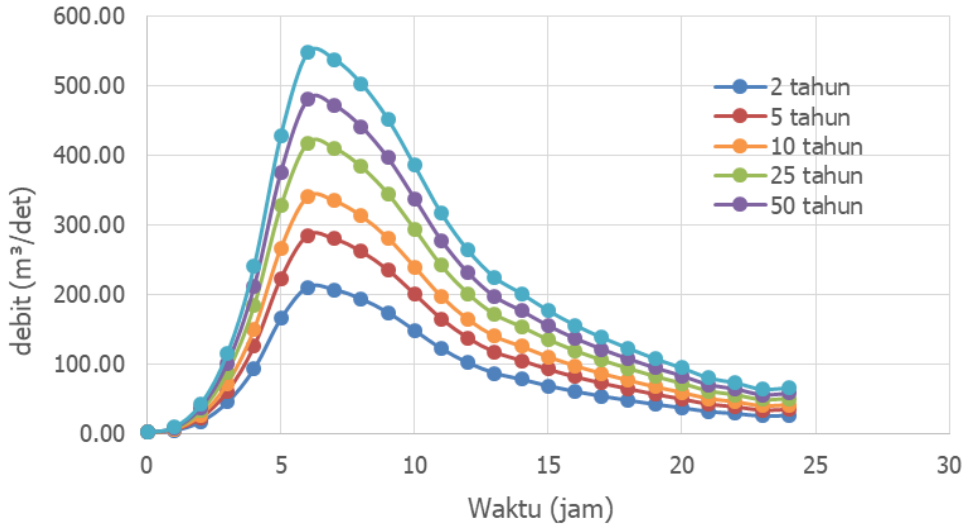
Periode Ulang (tahun)	K_{TR}	s_y	$\bar{y}$	y_{TR}	Curah Hujan y_s (mm)
2	-0,078	0,14938	1,954	1,942	87,53
5	0,805	0,14938	1,954	2,074	118,60
10	1,325	0,14938	1,954	2,152	141,83
25	1,921	0,14938	1,954	2,241	174,10
50	2,329	0,14938	1,954	2,302	200,35
100	2,712	0,14938	1,954	2,359	228,55

Sumber: Hasil perhitungan dan olah data, 2024

Debit Kala Ulang

Hasil perhitungan curah hujan rencana yang diperoleh kemudian dilakukan analisis debit rencana menggunakan metode Nakayasu. dalam menganalisis debit puncak banjir diperlukan hasil debit terbesar dibandingkan dengan metode HSS lainnya. HSS Nakayasu di Sub DAS Mata Allo memiliki nilai debit puncak terbesar ketika membandingkan dengan metode HSS lainnya dan dinilai cocok untuk trend curah hujan lokasi kajian (Sideng *et al.*, 2023). Metode Nakayasu juga memberikan waktu fokusan puncak banjir yang lebih sesuai terhadap kondisi suatu daerah aliran sungai jika dibandingkan dengan metode HSS lainnya (Sarminingsih, 2018).

Perhitungan debit banjir rencana ini bertujuan untuk memprediksi jumlah debit banjir rencana selama periode beberapa tahun kedepan sehingga dapat menjadi landasan dalam merencanakan bangunan air saat dibutuhkan, dalam rangka optimasi pengelolaan banjir. Pada hasil perhitungan menunjukkan waktu pucak (Tp) untuk Sub DAS Mata Allo adalah 1 jam dengan bentuk hidrograf yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Selain itu, diperoleh besar debit puncak banjir pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100 tahun secara berturut-turut yaitu 211,0 m^3/det; 285,2 m^3/det; 340,6 m^3/det; 417,6 m^3/det; 480,2 m^3/det; 547,5 m^3/det. Jumlah debit air setiap tahun akan semakin bertambah sehingga semakin besar nilai tahun yang diasumsikan akan semakin besar juga nilai debit yang dihasilkan (Sunik *et al.*, 2023).



Gambar 4. Hidrograf banjir kala ulang sub-DAS Mata Allo metode Nakayasu.

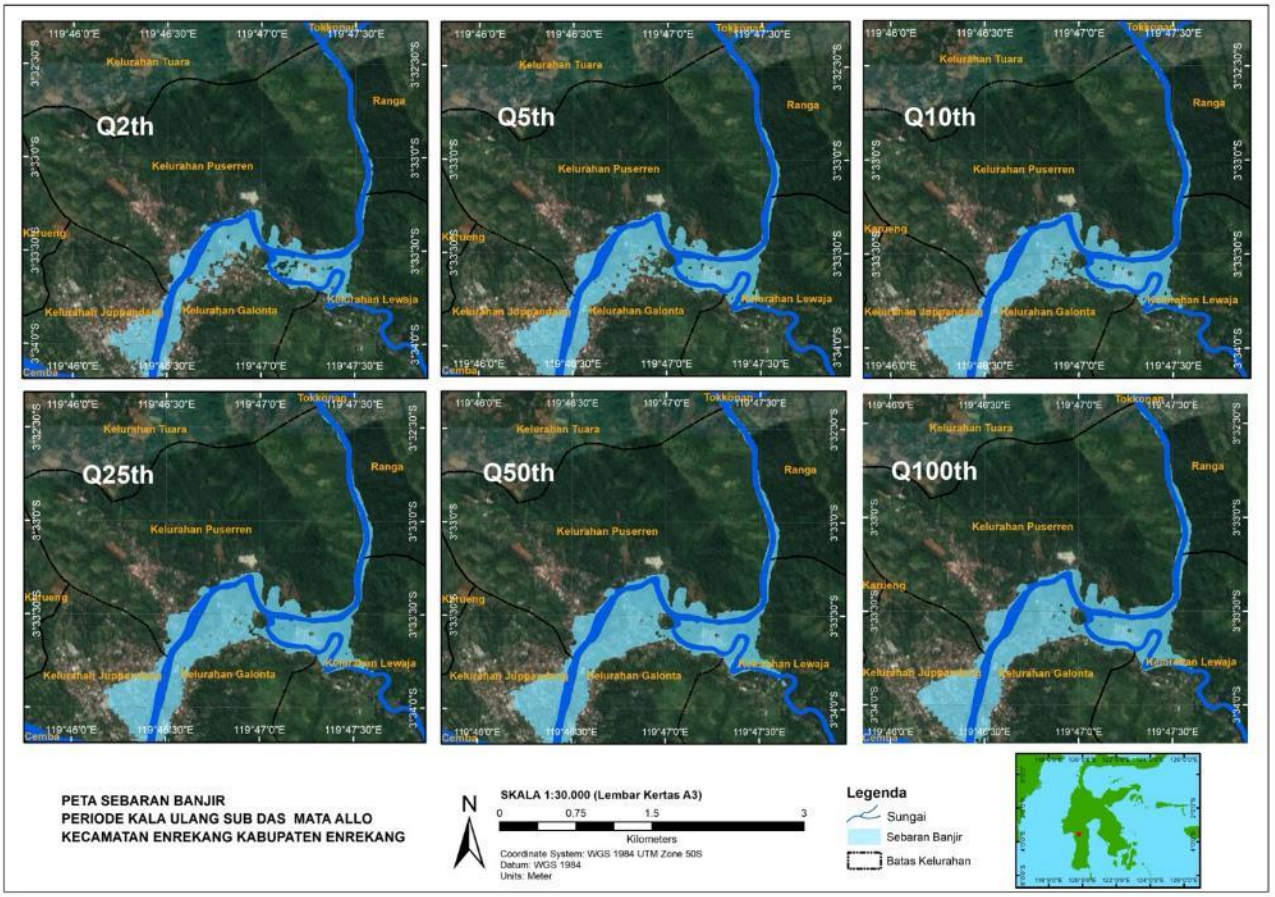
Simulasi 2D HEC-RAS Banjir Kala Ulang

Analisis hidrologi Sub-DAS Mata Allo yang telah dilakukan sehingga mendapatkan debit banjir untuk kala ulang. Parameter yang digunakan pada hasil simulasi dibawah ini merupakan nilai debit puncak setiap kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Nilai koefisien koefisien kekasaran (n) manning yang digunakan pada penelitian ini senilai 0,04 dimana dengan asumsi bahwa sungai bersih berliku, berceruk, bertebing dengan tanaman pengganggu dan bebatuan, tidak terisi penuh, banyak kemiringan dan penampang tidak beraturan (Uca *et al.*, 2022) serta hal ini juga sejalan dengan kondisi di lapangan juga menunjukkan adanya ciri menurut Uca et.al (2022). Sedangkan

nilai gradien atau kemiringan sungai dari hulu ke hilir sebagai inputan pada *normal depth* aplikasi *HEC-RAS* diperoleh adalah 0,01 yang berasal dari persamaan (15) dengan jarak vertikal yakni 48,768 m dan jarak horizontal yakni 4810 m.

Penentuan batas luasan genangan yang terjadi akibat debit banjir puncak dilakukan dengan asumsi bahwa aliran berupa aliran tidak tetap/tidak tunak (*unsteady flow*) pada keadaan sungai lokasi kajian. Selain itu, dalam mengetahui kajian bahaya banjir membutuhkan rambatan banjir yang berubah terhadap waktu. Hal ini menjadi dasar bahwa simulasi aliran tidak tunak dapat mengilustrasikan bagaimana bahaya banjir melalui elevasi permukaan air (Albo-Salih *et al.*, 2022) dan menjadi bagian dari sistem informasi peringatan dini terhadap banjir.

Hasil simulasi 2D HEC-RAS, diperoleh luas genangan banjir yang merupakan hasil pengurangan dengan luas dari sub DAS lokasi kajian (26,643 ha) sebagai nilai total sebaran banjir. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, luas genangan banjir sebesar 94,408ha pada kala ulang 2 tahun; 116,947 ha pada kala ulang 5 tahun; 125,365 ha pada kala ulang 10 tahun; 134,107 ha pada kala ulang 25 tahun; 137,830 ha pada kala ulang 50 tahun dan 139,717 ha pada kala ulang 100 tahun. Adapun visualisasi sebaran banjir kala ulang terlihat pada **Gambar 5** Hasil inilah yang menjadi dasar pemetaan banjir di wilayah sub DAS Mata Allo.



Gambar 5. Peta sebaran banjir kala ulang sub-DAS Mata Allo.

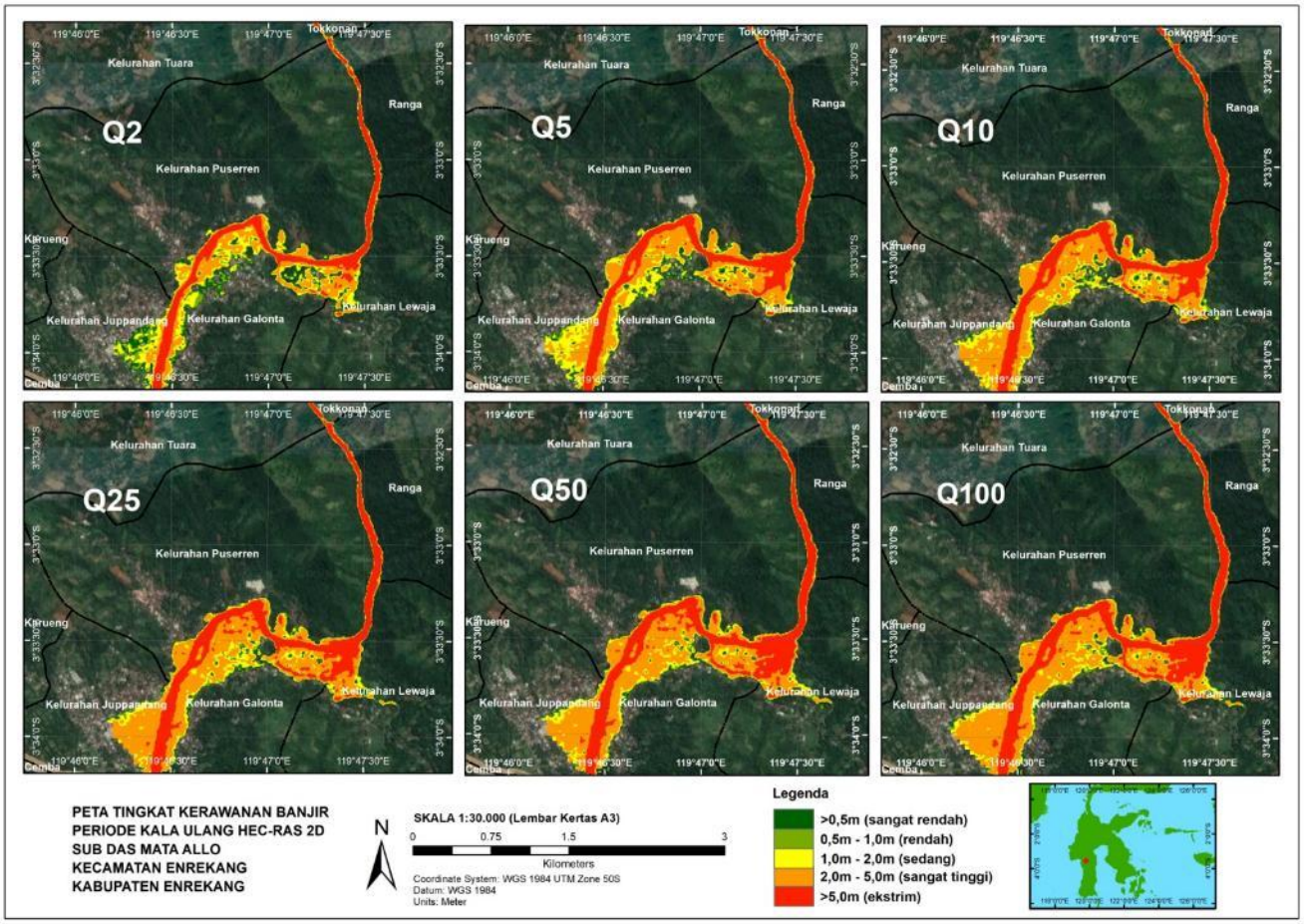
Data kedalaman hasil simulasi ini kemudian dilakukan exporting dan dianalisis menggunakan bantuan aplikasi ArcGIS Map. Analisis dilakukan berdasarkan klasifikasi kedalaman banjir, yang menghasilkan luas wilayah tingkat bahaya banjir pada **Tabel 4** dan visualisasinya pada **Gambar 6** berikut ini.

Tabel 4. Luas Persebaran Tingkat Bahaya Banjir berdasarkan Kedalaman.

Kala Ulang	Luas (ha)					Luas Genangan (ha)
	<0,50m	0,50-1,0m	1,0-2,0m	2,0-5,0m	>5,0m	
Q2	13,724	14,450	24,442	35,425	6,367	94,408
Q5	8,410	9,975	27,917	53,021	17,624	116,947
Q10	6,443	8,656	22,394	66,649	21,223	125,365
Q25	6,077	6,969	19,192	73,700	28,170	134,107
Q50	5,453	6,304	18,059	73,893	34,122	137,830
Q100	5,468	6,931	17,506	76,477	33,334	139,717

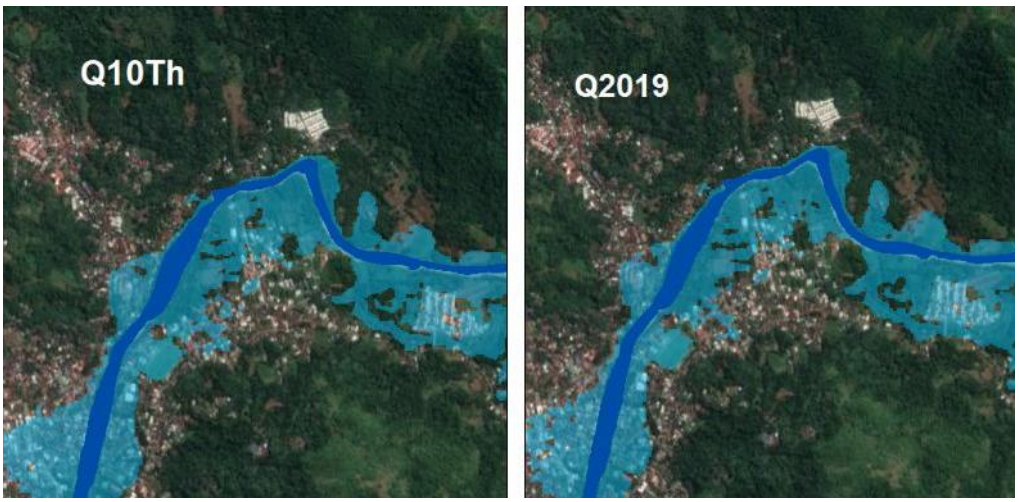
Sumber: Hasil perhitungan dan olah data, 2024

Nilai kedalaman simulasi 2D HEC-RAS menunjukkan adanya keseragaman lokasi tingkat kerawanan banjir pada antar periode kala ulang. Luasan kelurahan/desa dengan tingkat bahaya secara menyeluruh dalam rentang kerawanan tinggi hingga ekstrim yakni meliputi Kelurahan Lewaja dan Kelurahan Galonta. Hasil ini mengindikasikan bahwa daerah-daerah pada sekitaran Sub-DAS Mata Allo berada pada kondisi rentang tinggi hingga ekstrim dengan kedalaman genangan 2 meter hingga diatas 5 meter.



Gambar 6. Peta tingkat kerawanan banjir kala ulang sub-DAS Mata Allo

Data hasil simulasi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan kejadian pada tanggal 30 April 2019, di mana tercatat debit puncak banjir mencapai 315,23 m^3/det. Dari perbandingan tersebut, ditemukan kemiripan dengan debit banjir yang terjadi sekali dalam 10 tahun (Q10). Oleh karena itu, diperkirakan bahwa kejadian banjir ekstrem di Sub-DAS Mata Allo tahun 2019 akan terulang kembali dalam rentang waktu 10 tahun ke depan.



(a) (b)

Gambar 7. Sebaran Banjir Sub DAS Mata Allo kala ulang Q10 (a) dan banjir tahun 2019 (b).

Pada hasil sebaran genangan kala ulang 10 tahunan di atas, genangan seluas 31,87ha di wilayah Kelurahan Lewaja, 26,13ha di Kelurahan Juppandang, 55,74ha di wilayah Kelurahan Galonta, 30,35ha di wilayah Kelurahan Puserren, dan 6,07ha di Kelurahan Ranga. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan bantuan citra satelit, terdapat 1.030 rumah warga yang terendam dengan ketinggian air 1 sampai 2 meter.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan peta genangan banjir di wilayah sekitar lokasi kajian Sub-DAS Mata Allo menggunakan pendekatan hidrolika dan SIG, dengan bantuan aplikasi Hec-RAS. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa pemetaan banjir menggunakan Hec-RAS 2D dapat memberikan visualisasi terhadap sebaran genangan dan potensi tingkat kerawanan banjir yang dapat terjadi akibat dari banjir kala ulang. Kejadian banjir di tahun 2019, berdasarkan analisis bahwa Sub-DAS Mata Allo mengalami periode ulang banjir 10 tahun dengan debit puncak berkisar 315,23 hingga 340,6 m^3/det. Selain itu, hasil analisa spasial terhadap tinggi dan genangan banjir Sub-DAS Mata Allo juga menunjukkan kawasan Kelurahan Lewaja dan Kelurahan Galonta berada pada tingkat genangan level tertinggi terhadap potensi bahaya banjir maupun terdampak akibat kejadian banjir.

Mengingat bahwa simulasi pada pemodelan banjir ini memasukkan data debit puncak yang diperoleh dari data curah hujan maksimum 10 tahun terakhir, serta data geometri sungai yang memiliki resolusi 8,2meter maka peta hasil pemodelan ini bisa jadi tidak selalu merepresentasikan kejadian rutin tahunan di wilayah area kajian Sub-DAS Mata Allo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang Provinsi Sulawesi Selatan yang telah berkenan menyediakan data untuk keperluan penelitian. Jurusan Geografi Universitas Negeri Makassar sebagia wadah tempat bertukar pikiran hingga dihasilkannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, I., Wang, X., Waseem, M., Zaman, M., Aziz, F., Khan, R. Z. N., & Ashraf, M. (2022). Flood Management, Characterization and Vulnerability Analysis Using an Integrated RS-GIS and 2D Hydrodynamic Modelling Approach: The Case of Deg Nullah, Pakistan. *Remote Sensing*, *14*(9). https://doi.org/10.3390/rs14092138

Albo-Salih, H., Mays, L. W., & Che, D. (2022). Application of an Optimization/Simulation Model for the Real-Time Flood Operation of River-Reservoir Systems with One-and Two-Dimensional Unsteady Flow Modeling. *Water (Switzerland)*, *14*(1). https://doi.org/10.3390/w14010087

BNPB. (2022). Indonesia's disaster risk index. Retrieved from https://www.bnpb.go.id/berita/penilaian-indeks-risiko-bencana-tahun-2022-

BNPB. (2024). Data Informasi Bencana Indonesia. Retrieved May 21, 2024, from https://dibi.bnpb.go.id/

Bomers, A., Meulen, B. van der, Schielen, R. M. J., & Hulscher, S. J. M. H. (2019). Historic Flood Reconstruction With the Use of an Artificial Neural Network. *Water Resources Research*, 73–88. https://doi.org/10.1029/2019WR025656

Bomers, A., Schielen, R. M. J., & Hulscher, S. J. M. H. (2019). Decreasing uncertainty in flood frequency analyses by including historic flood events in an efficient bootstrap approach. *Hazards Earth Syst*, 1–23. https://doi.org/https://doi.org/10.5194/nhess-19-1895-2019, 2019.

Geleta, C. D., & Deressa, T. A. (2021). Evaluation of Climate Hazards Group InfraRed Precipitation Station (CHIRPS) satellite-based rainfall estimates over Finchaa and Neshe Watersheds, Ethiopia. *Engineering Reports*, *3*(6), 1–16. https://doi.org/10.1002/eng2.12338

Harahap, R., Jeumpa, K., & Hadibroto, B. (2018). Flood Discharge Analysis with Nakayasu Method Using Combination of HEC-RAS Method on Deli River in Medan City. *Journal of Physics: Conference Series*, *970*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/970/1/012011

Lea, D., Yeonsu, K., & Hyunuk, A. (2019). Case study of HEC-RAS 1D-2D coupling simulation: 2002 Baeksan flood event in Korea. *Water (Switzerland)*, *11*(10), 1–14. https://doi.org/10.3390/w11102048

Liu, Z., Merwade, V., & Jafarzadegan, K. (2019). Investigating the role of model structure and surface roughness in generating flood inundation extents using one- and two-dimensional hydraulic models. *Journal of Flood Risk Management*, *12*(1). https://doi.org/10.1111/jfr3.12347

Ngo, H., Bomers, A., Augustijn, D. C. M., Ranasinghe, R., Filatova, T., van der Meulen, B., … Hulscher, S. J. M. H. (2023). Reconstruction of the 1374 Rhine river flood event around Cologne region using 1D-2D coupled hydraulic modelling approach. *Journal of Hydrology*, *617*(PC), 129039. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.129039

Pratiwi, Z. N., & Santosa, P. B. (2021). Pemodelan Banjir dan Visualisasi Genangan Banjir untuk Mitigasi Bencana di Kali Kasin, Kelurahan Bareng, Kota Malang. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, *4*(1), 56. https://doi.org/10.22146/jgise.56525

Rauf, I. (2021). Analisis Spasial Tingkat Bahaya Banjir Desa Amasing Kali Dengan Hec-RAS 2D. *Jurnal Teknik*, *19*(2), 107–119. https://doi.org/10.37031/jt.v19i2.188

Sarminingsih, A. (2018). Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *15*(1), 53. https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i1.53-61

Sideng, U., Upu, H., Haris, N. A., & Rahmayana, D. (2023). *2D Simulation Of Design Discharge In Flood Hazard Spatial Analysis Using Hec-Ras, (Case Study Mata Allo Sub-Watershed, Enrekang, Indonesia)*. *18*(2), 1–13. https://doi.org/10.21163/GT

Sulaiman, M. E., Setiawan, H., Jalil, M., Purwadi, F., S, C. A., Brata, A. W., & Jufda, A. S. (2020). Analisis Penyebab Banjir di Kota Samarinda. *Jurnal Geografi Gea*, *20*(1), 39–43. https://doi.org/10.17509/gea.v20i1.22021

Sunik, S., Yoedono, B. S., & others. (2023). Analisis Debit Banjir Menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Terhadap DAS Lesti. *Jurnal Teknik Sipil*, *1*(2), 83–101.

Uca, Lamada, M., Arfan, A., & Haris, N. A. (2023). Flood Modelling Using Integration of Multi-data Analysis and HEC-RAS Model in Mata Allo River, Sulawesi. *E3S Web of Conferences*, *400*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340001004

Uca, Lamada, M., Nyompa, S., & Haris, N. A. (2022). Morphometry and Topographic Wetness Index Analysis for flood inundation mapping in Mata Allo watershed (South Sulawesi, Indonesia). *Forum Geografic*, *21*(2), 133–145. https://doi.org/10.5775/fg.2022.105.d

Uca, Lamada, Mu. S., Mandra, Moh. A. S., & Jassin, A. M. I. Z. (2022). *Morfometri, Perubahan Penggunaan Lahan, Zonasi & Pemodelan Banjir Daerah Aliran Sungai (DAS) SADDANG dan MATA ALLO KABUPATEN ENREKANG, SULAWESI SELATAN* (1st ed.). Malang: Media Nusa Creative.

ANALISIS POLA CURAH HUJAN DI WILAYAH IKN BERBASIS LUARAN MODEL CUACA NUMERIK INANWP

(*Rainfall Pattern Analysis at IKN Based on INANWP Numerical Weather Model)*

Fatkhuroyan dan Danang Eko Nuryanto

Puslitbang Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
E-mail: fatkhuroyan@bmkg.go.id

ABSTRAK

Curah hujan merupakan salah satu unsur cuaca yang penting untuk diperhatikan dalam proses pembangunan Ibukota Nusantara (IKN) guna mengantisipasi terjadinya banjir ataupun kekeringan di wilayah tersebut. *Indonesian Numerical Weather Prediction* (INANWP) merupakan model cuaca numerik yang dikembangkan guna meningkatkan akurasi prakiraan cuaca di Indonesia. Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk memetakan pola curah hujan bulanan model cuaca numerik INANWP di wilayah IKN. Input data model berasal dari luaran model Global Forecast System (GFS) Model, dengan asimilasi data menggunakan observasi satelit, radar serta observasi sinop dan udara atas. Inisial model dijalankan dua kali dalam satu hari yaitu pada jam 00 UTC dan 12 UTC sejak 2021 hingga sekarang. dalam penelitian ini akan digunakan luaran model INANWP periode 2021 - 2023. Hasil penelitian menunjukan bahwa pada bulan Januari memiliki jumlah curah hujan sekitar 150 mm di sebelah barat dan 100 mm di tengah hingga timur, bulan Februari sekitar 100 mm di sebagian besar wilayah, bulan Maret sekitar 150 hingga 300 mm, bulan April pada umumnya dibawah 100 mm, bulan Mei sekitar 150 hingga 200 mm. Bulan Juni pada umumnya di bawah 50 mm, bulan Juli sekitar dibawah 100 mm, bulan Agustus sekitar 150 mm, bulan September sekitar 100 mm, Oktober dibawah 100 mm, November sekitar 150 mm dan Desember juga dibawah 150 mm. Hasil analisis menunjukan bahwa wilayah IKN memiliki jumlah curah hujan tertinggi pada bulan Maret dan terendah pada bulan Juni dan Juli. Wilayah IKN menunjukkan pola curah hujan monsunal dengan puncak curah hujan pada bulan Maret.

Kata kunci: Curah hujan, Global Forecast System, IKN, INANWP

ABSTRACT

Rainfall is one of the important things that should be considered in the progress of IKN (New Capital of Indonesia) development to anticipate floods or drought in the area. Indonesian Numerical Weather Prediction (INANWP) is a numerical weather model which is developed to enhance the accuracy of weather forecasts in Indonesia. The aim of this research is to map the monthly rainfall patterns of the INANWP numerical weather model in the IKN area. Input data for INANWP come from the Global Forecast System (GFS) model, satellite observation, weather radar, synoptic and upper air observation. The Initial model runs twice per day at 00 UTC and 12 UTC from 2021 until 2023. The results show that January has rainfall accumulation of about 150 mm in the western part of IKN, and 100 mm in the central and eastern part, February has about 100 mm, March is about 150 mm to 300 mm, April is under 100 mm commonly, May is about 150 mm until 200 mm, June is under 50 mm, July is under 100 mm, August is about 150 mm, September is about 100 mm, October is under 100 mm, November is about 150 mm and December is also under 150 mm. The result of the analysis shows that the IKN area has the highest rainfall accumulation in March and the lowest in June and July. It also shows that the IKN area has a monsoonal rainfall pattern with the highest rainfall accumulation in March.

***Keywords**: Global Forecast System, IKN, INANWP, Rainfall*

PENDAHULUAN

Pemerintah telah menetapkan penempatan lokasi Ibu Kota Nusantara (IKN) di sekitar Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur yang dituangkan dalam UU No.3 Tahun 2022 tentang IKN. dalam proses pembangunannya, pengembang sangat perlu memperhatikan faktor cuaca dan iklim misalnya curah hujan. Hal ini diperlukan guna mengantisipasi terjadinya banjir ataupun

kekeringan. Pola curah hujan di Indonesia dipengaruhi berbagai faktor misalnya El Nino, La Nina (Meyer et al, 2007), monsun Asia dan Australia (Chang et al, 2005), serta pengaruh orografik (Konecky et al, 2013). Secara umum wilayah Indonesia memiliki tiga pola curah hujan yaitu monsunal, equatorial dan lokal (Aldrian & Susanto, 2003), dimana hal ini membuat curah hujan sebagai salah satu parameter atmosfer yang sulit diprediksi. Pola hujan monsunal memiliki distribusi hujan bulanan dengan pola hujan *monsun* yaitu satu kali hujan minimum sehingga dalam grafik berbentuk huruf "V". Hujan minimum terjadi saat *monsun* timur atau musim kering sedangkan saat *monsun* barat atau musim basah terjadi hujan yang banyak. Pola hujan equatorial memiliki pola hujan bulanan yang khas, yaitu mengalami dua kali hujan maksimum selama setahun. Hujan maksimum itu terjadi setelah Maret ataupun September. Pola hujan lokal merupakan pola hujan yang lebih banyak dipengaruhi sifat-sifat lokal seperti topografi setempat ataupun angin lokal, hujan maksimum terjadi pada bulan Juni dan Juli. Distribusi hujan bulanan dari jenis ini adalah mengalami satu kali hujan maksimum selama setahun.

Siklus curah hujan diurnal dan aktivitas konvektif adalah karakteristik dasar dari iklim di daerah tropis (Murakami, 1983; Nitta & Sekine,1994; Yang & Slingo, 2001; Nesbitt & Zipser, 2003). Waktu siklus diurnal dari sistem konvektif umumnya dikaitkan dengan energi yang tersimpan melalui radiasi matahari. Hubungan ini merupakan komponen penting dari siklus curah hujan diurnal. Siklus curah hujan diurnal juga terkait dengan distribusi darat-laut dan pola sirkulasi lokal yang terkait (Takahasi, 2010).

Berdasarkan kajian Mamenun et al (2014) dan Meyers et al (2007) telah diungkapkan bahwa dinamika iklim global dan regional,misalnya fenomena ENSO *(El Nino Southern Oscillation Index)* dan IOD *(Indian Ocean Dipole Mode)* serta sistem sirkulasi monsun Asia-Australia (Chang et al, 2005; Kajikawa et al, 2009) mempengaruhi variabilitas iklim di Benua Maritim Indonesia (BMI). ENSO adalah fenomena skala global hasil interaksi antara lautan dan atmosfer di wilayah pasifik tropis. Pada kondisi normal wilayah Pasifik Barat lebih hangat daripada Pasifik Timur tropis. Sedangkan fenomena anomali panas dingin Samudera Pasifik ekuatorial bagian tengah dan timur disebut sebagai El Nino / La Nina. Menurut Yamata et al (2002) beda temperatur permukaan laut pantai timur Afrika dan pantai barat Sumatera disebut sebagai IOD. Ketika kejadian IOD positif (DM+) maka anomali SST (Sea Surface Temperature) Samudera Hindia barat lebih hangat daripada samudera Hindia Timur, sedangkan jika kejadian IOD negatif (DM-) maka anomali SST *(Sea Surface Temperature)* Samudera Hindia barat lebih dingin daripada Samudera Hindia timur (Vinayachandran et al, 2009; Zhang & Li, 2023).

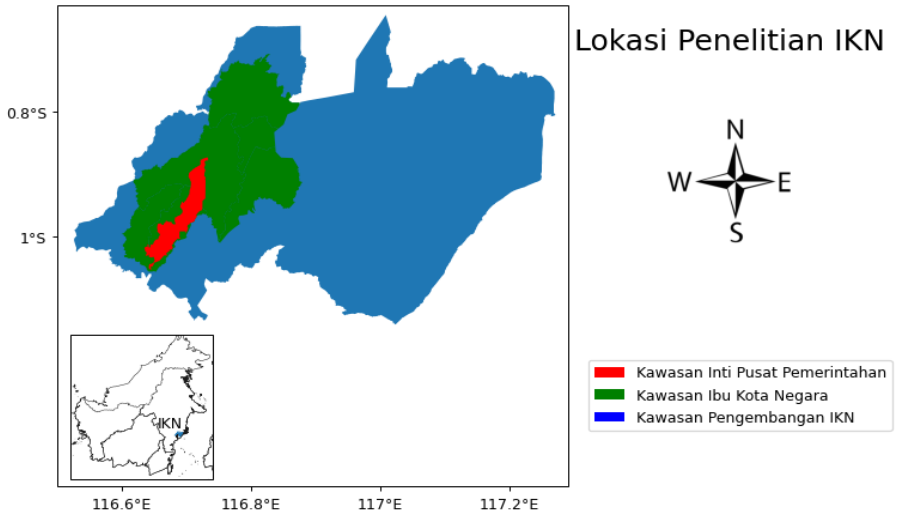
Aldrian & Susanto (2003) telah membagi wilayah Indonesia menjadi 3 tipe wilayah curah hujan yaitu monsunal, ekuatorial dan lokal. Berdasarkan amplitudo dan fase tahunan, wilayah Indonesia diklasifikasikan ke dalam empat wilayah klimatologi yaitu: Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON) (Hendon, 2003; Hamada, 2002). Kemudian, berdasarkan rata-rata tahun 1951 - 1997 data curah hujan Indonesia dari 43 stasiun, Hendon (2003) menyatakan bahwa JJA dan SON sebagai musim kering serta DJF dan MAM sebagai musim basah. BMKG membagi curah hujan bulanan menjadi empat kategori yaitu rendah (0-100 mm/bulan), sedang (100-300 mm/bulan), tinggi (300-500 mm/bulan) dan sangat tinggi (> 500 mm/bulan).

Analisis dan prediksi curah hujan menjadi penting karena curah hujan merupakan salah satu faktor paling penting dalam berbagai aspek seperti pertanian, ketersediaan air, kebencanaan, dan sebagainya. Kendala utama yang dihadapi dalam proses analisis dan prediksi hujan adalah minimnya data curah hujan akibat keterbatasan stasiun observasi. Keterbatasan tersebut antara lain data hujan tidak lengkap dan tidak cukup panjang, serta sebaran stasiun yang kurang merata. Selain kendala diatas, perolehan data hujan dengan cepat juga sulit dilakukan karena masih membutuhkan pemeriksaan kualitas data sebelum digunakan. Model cuaca numerik banyak dimanfaatkan untuk memprediksi cuaca di suatu tempat dengan resolusi temporal dan spektral yang tinggi guna melengkapi data pengamatan curah hujan di daerah yang tidak terdapat stasiun pengamatan curah hujannya.

Model cuaca global seperti *Global Forecast System* (GFS) mampu memprediksi cuaca seluruh dunia namun dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi (Singh et al, 2022). Beberapa model cuaca regional dapat dimanfaatkan karena memiliki resolusi spasial yang tinggi dengan memakai input data dari model global (Skamarock *et al.*, 2019). INANWP merupakan model cuaca numerik yang dikembangkan untuk prediksi cuaca wilayah Indonesia dengan memakai data asimilasi. Beberapa kajian tentang data asimilasi dalam model numerik cuaca telah dilakukan dengan memakai asimilasi data radar (Hastuti *et al.*, 2019), asimilasi data satelit (Shen *et al.*, 2021) maupun radiosonde (Yangzhao Gong *et al.*, 2023). Hal ini dapat meningkatkan akurasi model numerik (Wagner *et al.*, 2022; Thiruvengadam et al, 2019; Thodsan et al, 2022). Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan pola curah hujan bulanan model cuaca numerik INANWP di wilayah IKN. Hasil yang didapatkan diharapkan dapat menjadi referensi dalam melengkapi data pengamatan langsung untuk keperluan analisis cuaca dan iklim di wilayah IKN.

METODE

Pada penelitian ini, wilayah penelitian meliputi wilayah IKN (Ibu Kota Nusantara) yang berada di sebagian kabupaten Penajam Paser Utara dan sebagian kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Hal ini seperti ditampilkan pada **Gambar 1**.



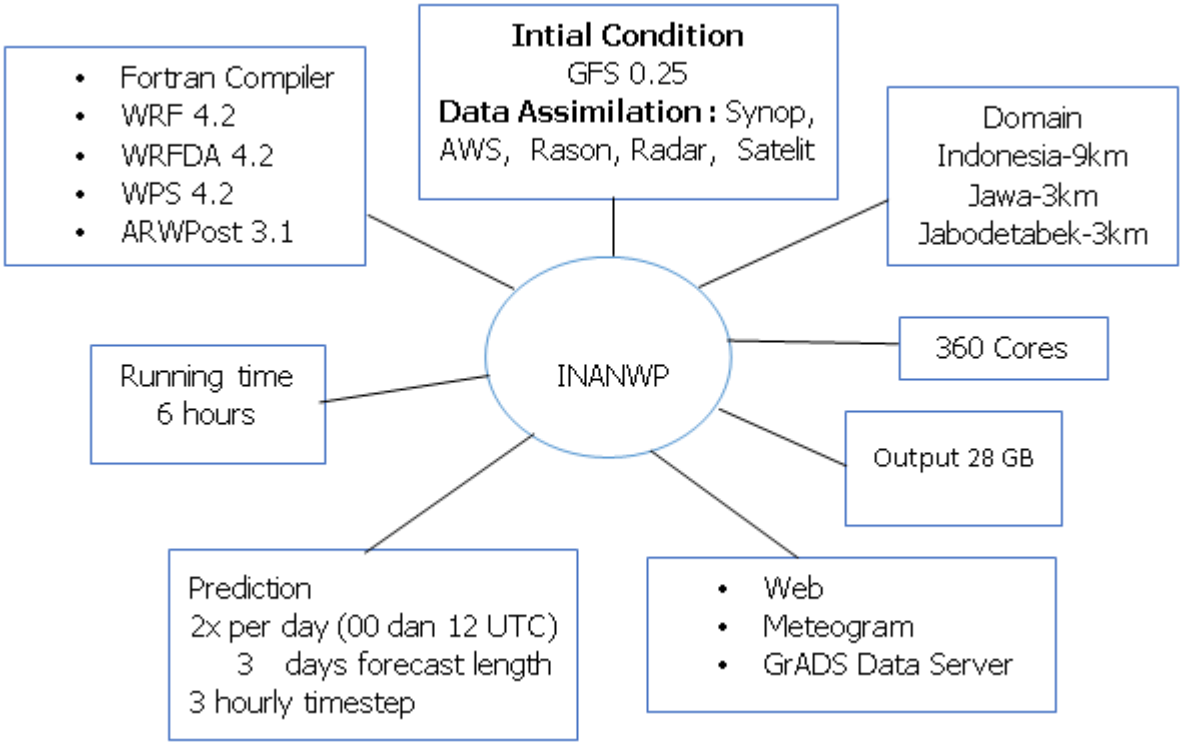
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Input data yang digunakan dalam INANWP adalah data model global GFS, data observasi satelit himawari, radar cuaca, observasi permukaan serta udara atas yang merupakan hasil pengamatan cuaca yang dilakukan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). INANWP dijalankan pada jam 00 UTC dan jam 12 UTC dengan server High Performance Computing (HPC) memakai 360 Core processor. Parameter dinamik dan fisik yang dipakai dapat lihat pada **Tabel 1**. Hasil luaran INANWP, yaitu data curah hujan per 3 jam selama 3 hari kedepan sejak 2021 hingga sekarang di analisa dan diolah sehingga didapat rata-rata bulanan. Data intensitas hujan harian tersebut memiliki resolusi spasial 9 km. Kemudian dibuat peta hujan bulanan dari hasil pengolahan. Alur program INANWP dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 1. Opsi Fisik dan Dinamis INANWP

Parameter	Skema
Cumulus	*New Tiedtke scheme*
Microphysics	*WRF Single-Moment 6-class scheme*
PBL	*Yonsei University scheme*
Longwave Radiation	*RRTMG scheme*
Shortwave Radiation	*RRTMG scheme*
Surface Layer	*MM5 similarity*
Radar Assimilation	*Direct assimilation (Wang and Liu, 2019)*

Phython code digunakan untuk mengolah dan menganalisis data curah hujan INANWP yang selanjutnya dibuat rata-rata akumulasi curah hujan bulanan dalam bentuk spektral. Python bersifat *open source* yang dapat digunakan untuk analisis data mentah dan menampilkan data model atau data sains atmosfer tersebut kedalam bentuk gambar.



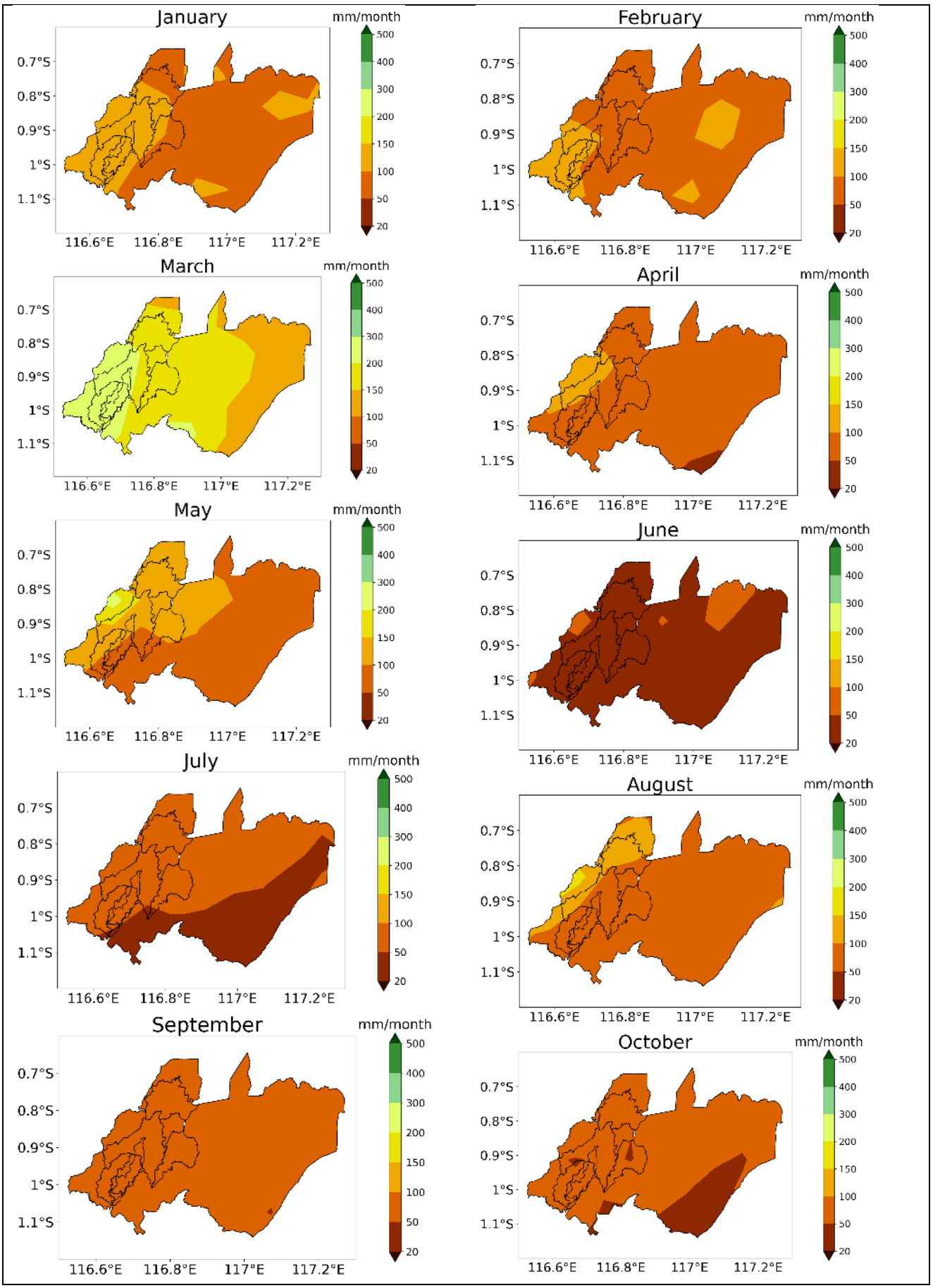
Gambar 2. Sistem INANWP.

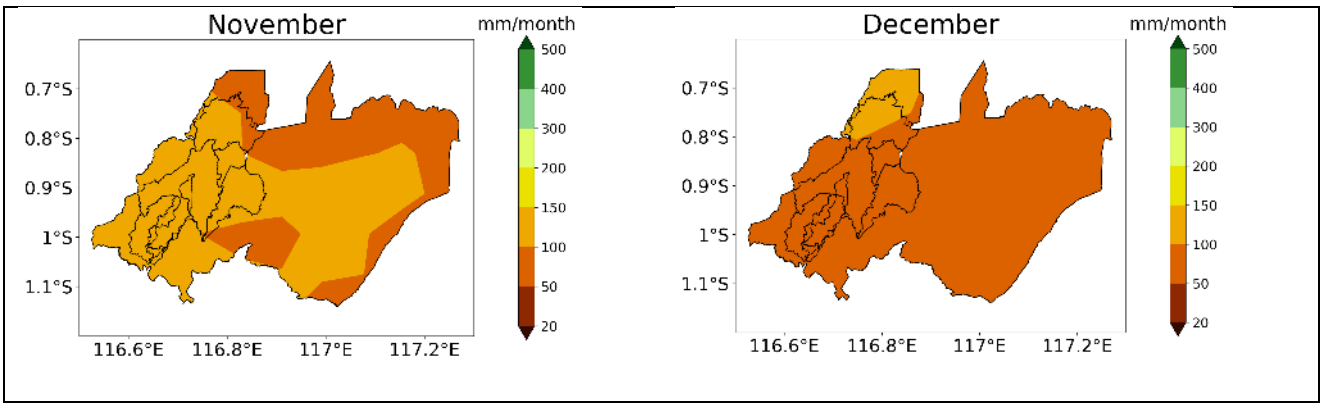
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hujan konvektif yang terjadi di Kalimantan dimulai pada siang hari di atas pantai dan bergerak ke pegunungan di pedalaman, sedangkan pada malam hari pengumpulan aktivitas konvektif terjadi di tengah pulau Kalimantan (Ichikawa & Yasunari, 2005). Hal ini dikuatkan hasil penelitian oleh Zhou et al (2023) bahwa curah hujan di Kalimantan dimulai pada sore hari dan meningkat hingga puncaknya pada akhir malam diperkuat oleh angin laut. Zhou et al (2023) juga menemukan juga bahwa curah hujan di Kalimantan Timur berkurang setiap 20 - 90 hari. Menurut Zhou et al (2023) ada tiga faktor penting yang mempengaruhi hal tersebut, yaitu: variasi insolasi matahari harian, perubahan angin zonal lapisan rendah dan topografi pulau.

Model Rata-rata Curah Hujan Bulanan inisial Jam 00 UTC

Gambar 3 menyajikan rata-rata Curah Hujan Bulanan hasil luaran model INANWP dengan inisial 00 UTC. Berdasarkan **Gambar 3**, pada bulan Januari memiliki jumlah curah hujan sekitar 150 mm di sebelah barat dan 100 mm di tengah hingga timur wilayah IKN, bulan Februari sekitar 100 mm di sebagian besar wilayah dan 150 mm di sebelah barat IKN, bulan Maret sekitar 200 hingga 300 mm di Tengah hingga barat IKN dan sekitar 150 mm di sebelah timur, bulan April pada umumnya dibawah 150 mm, bulan Mei sekitar 150 hingga 200 mm di sebelah barat IKN dan sekitar 100 mm di sebelah timur. Bulan Juni pada umumnya di bawah 50 mm, bulan Juli sekitar 100 mm dan 50 mm di Selatan wilayah IKN, bulan Agustus pada umumnya sekitar 100 mm dan 150 mm di sebelah barat laut IKN, bulan September sekitar 100 mm, Oktober pada umumnya 100 mm dan 50 mm di Sebagian kecil Selatan IKN, November sekitar 150 mm di Sebagian besar IKN dan Desember pada umumnya 100 mm.


January
February
March
April
May
June
July
August
September
October
mm/month
500
400
300
200
150
100
50
20
0.7°S
0.8°S
0.9°S
1°S
1.1°S
116.6°E
116.8°E
117°E
117.2°E

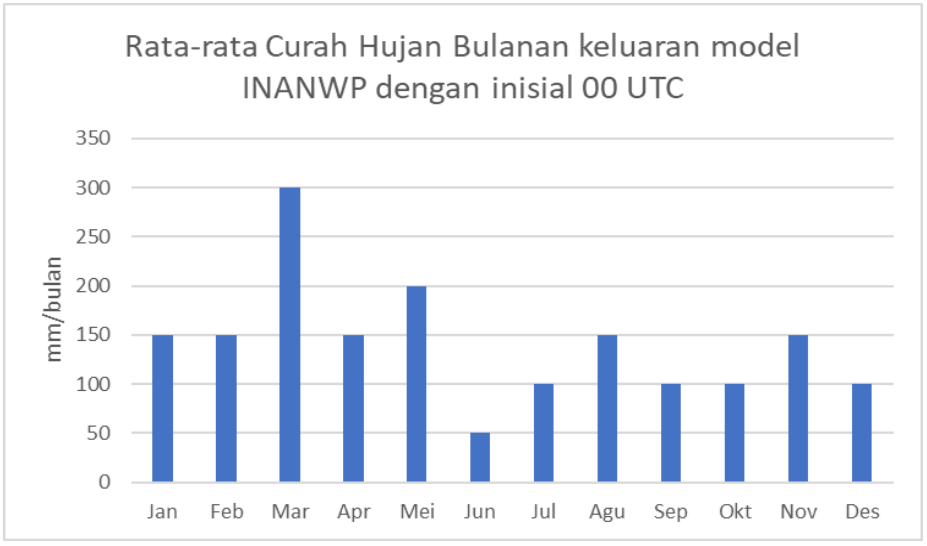


Gambar 3. Rata-rata Curah Hujan Bulanan luaran model INANWP inisial 00 UTC

Gambar 4 menyajikan grafik distribusi curah hujan bulanan di wilayah IKN yang mengalami fluktuasi yang cukup signifikan sepanjang tahun. Berikut adalah analisis dan pembahasan dari data tersebut:

1. Januari: Curah hujan cenderung tinggi di sebelah barat (150 mm) dibandingkan dengan tengah hingga timur wilayah IKN (100 mm). Ini mungkin disebabkan oleh pola angin dan topografi wilayah yang mempengaruhi pola hujan.
2. Februari: Curah hujan relatif lebih merata dengan sebagian besar wilayah memiliki sekitar 100 mm, namun ada peningkatan hujan di sebelah barat IKN (150 mm). Hal ini bisa menjadi indikasi perubahan musiman atau pola cuaca yang berubah.
3. Maret: Curah hujan mencapai puncaknya dengan nilai antara 200 hingga 300 mm di tengah hingga barat IKN dan sekitar 150 mm di sebelah timur. Ini mungkin karena faktor-faktor musiman atau kehadiran fenomena cuaca tertentu seperti siklon tropis.
4. April: Curah hujan secara umum berada di bawah 150 mm, menunjukkan penurunan dari bulan sebelumnya. Ini mungkin terkait dengan perubahan musim dan kondisi atmosfer yang lebih stabil.
5. Mei: Terdapat peningkatan curah hujan di sebelah barat IKN (150-200 mm) dan penurunan di sebelah timur (100 mm). Pola ini bisa dipengaruhi oleh faktor topografi dan distribusi tekanan udara regional.
6. Juni: Curah hujan mencapai nilai minimum, umumnya di bawah 50 mm. Hal ini sesuai dengan musim kemarau atau penurunan aktivitas siklonik.
7. Juli hingga September: Terdapat variasi dalam curah hujan, dengan Juli sekitar 100 mm dan 50 mm di selatan wilayah IKN, Agustus umumnya sekitar 100 mm dan 150 mm di sebelah barat laut IKN, dan September sekitar 100 mm. Ini bisa mencerminkan fluktuasi dalam pola cuaca musiman.
8. Oktober hingga Desember: Curah hujan umumnya stabil di sekitar 100 mm, dengan peningkatan kecil di beberapa wilayah pada November (sekitar 150 mm). Pola ini mungkin menandakan transisi musim atau perubahan kondisi atmosfer yang lebih lanjut.

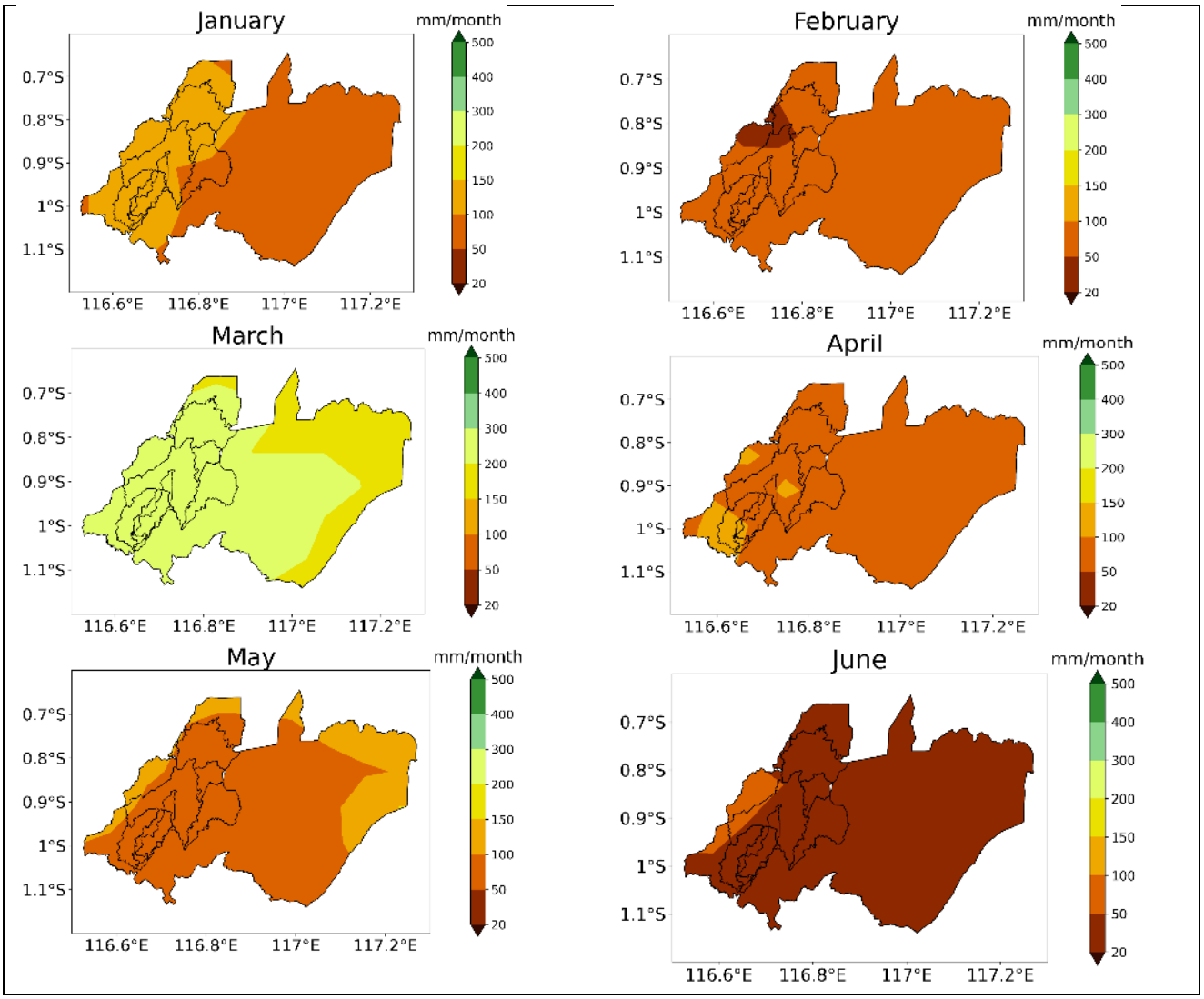
Secara keseluruhan, terlihat bahwa pola curah hujan bulanan di wilayah IKN cukup bervariasi sepanjang tahun, dengan nilai maksimum terjadi pada bulan Maret dan nilai minimum pada bulan Juni. Faktor-faktor seperti musim, pola cuaca regional, topografi, dan fenomena atmosfer tertentu semua berkontribusi terhadap distribusi curah hujan yang diamati. Analisis seperti ini dapat membantu dalam pemahaman tentang dinamika iklim dan perencanaan manajemen sumber daya alam serta mitigasi risiko bencana di wilayah tersebut.

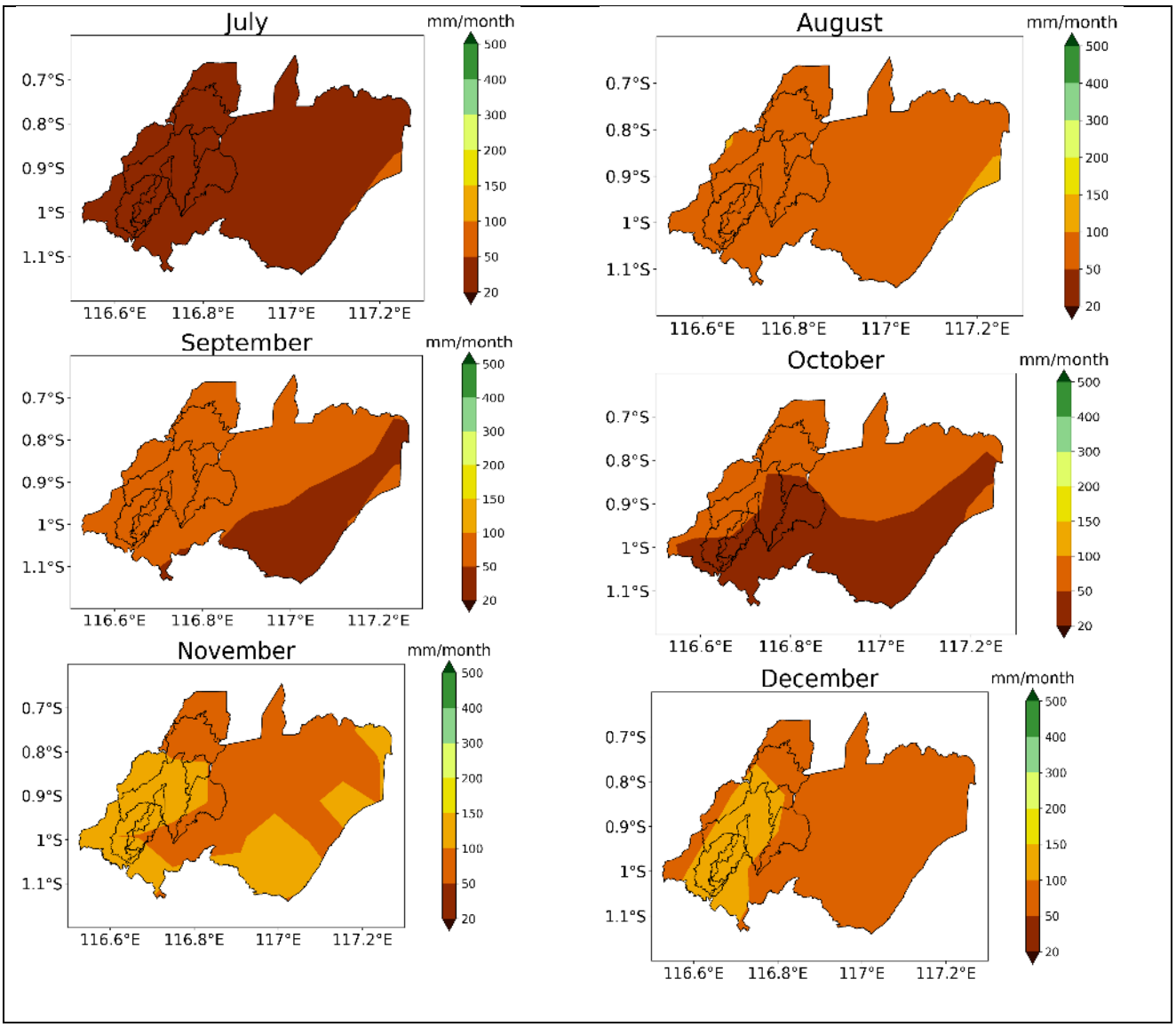


Gambar 4. Grafik Rata-rata Curah Hujan Bulanan luaran model INANWP inisial 00 UTC

Model Rata-rata Curah Hujan Bulanan inisial Jam 12 UTC

Selain jam 00 UTC pada pagi hari, INANWP juga dijalankan pada jam 12 UTC pada malam hari. Hal ini di sesuaikan dengan kemampuan infrastruktur HPC *(High Performing Computing)* yang ada. **Gambar 5** menyajikan rata-rata Curah Hujan Bulanan luaran model INANWP dengan inisial 12 UTC.





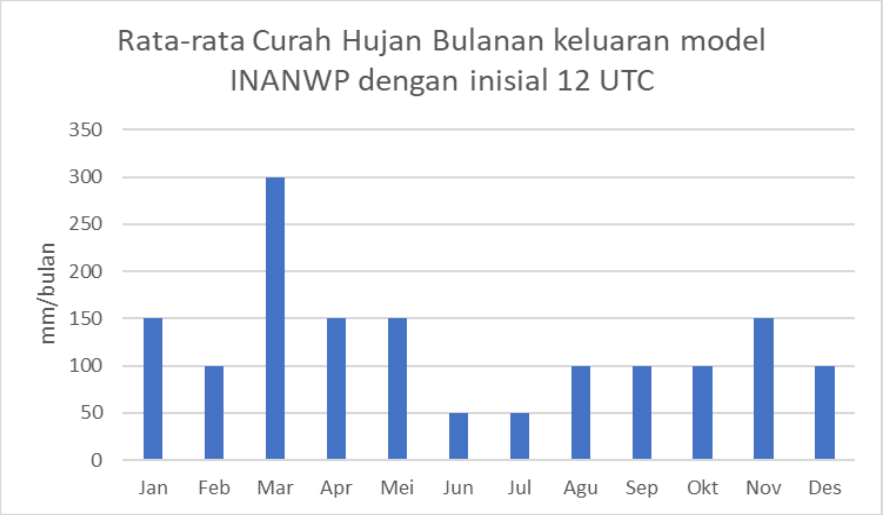
Gambar 5. Rata-rata Curah Hujan Bulanan luaran model INANWP inisial 12 UTC

Berdasarkan **Gambar 5,** pada bulan Januari memiliki jumlah curah hujan sekitar 150 mm di sebelah barat dan 100 mm di tengah hingga timur wilayah IKN, bulan Februari pada umumnya sekitar 100 mm, bulan Maret sekitar 300 mm disebelah barat dan Tengah, dan 200 mm disebelah Timur, bulan April pada umumnya dibawah 150 mm, bulan Mei pada umumnya 100 mm, dan 150 mm disebelah timur IKN. Bulan Juni pada umumnya di bawah 50 mm, bulan Juli juga pada umumnya dibawah 50 mm, bulan Agustus pada umumnya sekitar 100 mm, bulan September sekitar 100 mm dan 50 mm di sebelah Timur IKN, Oktober pada umumnya 100 mm disebelah Utara IKN dan 50 mm di Selatan IKN, November pada umumnya sekitar 150 mm di Sebagian besar IKN dan 150 mm disebelah Barat IKN, bulan Desember pada umumnya 100 mm di Tengah hingga Timur IKN serta 150 mm di sebelah barat.

Gambar 6 menyajikan grafik hasil model rata-rata curah hujan inisial jam 12 UTC yang memiliki distribusi curah hujan bulanan di wilayah IKN berfluktuasi cukup signifikan sepanjang tahun. Berikut adalah analisis dan pembahasan dari data tersebut:

- Januari: Curah hujan cenderung lebih tinggi di sebelah barat (150 mm) dibandingkan dengan tengah hingga timur wilayah IKN (100 mm), mirip dengan pola pada simulasi sebelumnya.
- Februari: Bulan ini umumnya memiliki curah hujan sekitar 100 mm, menunjukkan kestabilan dalam pola curah hujan bulanan.

- Maret: Curah hujan mencapai puncaknya dengan nilai sekitar 300 mm di sebelah barat dan tengah, serta 200 mm di sebelah timur. Pola ini mirip dengan simulasi sebelumnya, menunjukkan kecenderungan yang konsisten dalam bulan puncak hujan.
- April hingga Juni: Bulan-bulan ini umumnya memiliki curah hujan di bawah 150 mm, dengan Juni mencapai nilai minimum di bawah 50 mm, serupa dengan pola pada simulasi sebelumnya.
- Juli hingga Agustus: Juli dan Agustus juga memiliki curah hujan yang rendah, dengan sebagian besar bulan di bawah 100 mm, menunjukkan kecenderungan yang serupa dengan simulasi sebelumnya.
- September hingga Desember: September dan Oktober menunjukkan curah hujan sekitar 100 mm, dengan peningkatan hingga 50 mm di sebelah timur IKN pada September. November memiliki curah hujan sekitar 150 mm di sebagian besar wilayah dan 150 mm di sebelah barat IKN, sedangkan Desember memiliki curah hujan sekitar 100 mm di tengah hingga timur dan 150 mm di sebelah barat, pola yang serupa dengan simulasi sebelumnya.



Gambar 6. Grafik Rata-rata Curah Hujan Bulanan luaran model INANWP inisial 12 UTC

Secara keseluruhan, pola umum curah hujan bulanan pada simulasi dengan inisial 12 UTC mirip dengan simulasi sebelumnya dengan inisial 00 UTC, meskipun terdapat perbedaan dalam jumlah curah hujan yang terjadi di setiap bulannya. Pola ini menunjukkan bahwa bulan puncak hujan umumnya terjadi pada bulan Maret, sedangkan bulan minimum terjadi pada bulan Juni, dengan fluktuasi yang relatif stabil dalam pola curah hujan bulanan di wilayah IKN. Faktor-faktor seperti musim, pola cuaca regional, topografi, dan fenomena atmosfer tetap menjadi faktor penentu dalam distribusi curah hujan di wilayah tersebut. Analisis seperti ini berguna untuk pemahaman yang lebih baik tentang perilaku iklim regional dan perencanaan mitigasi risiko bencana.

Faktor-faktor seperti musim, pola cuaca regional, topografi, dan fenomena atmosfer tetap menjadi faktor utama yang memengaruhi distribusi curah hujan di wilayah tersebut. Perubahan dalam kondisi atmosfer dan perubahan musiman dapat mempengaruhi pola curah hujan bulanan, yang tercermin dalam simulasi yang diamati.

KESIMPULAN

Wilayah IKN termasuk kedalam tipe curah hujan monsunal yang memiliki satu puncak musim hujan (unimodial) pada bulan Maret yang merupakan periode bulan basah. Sedangkan pada bulan Juni dan Juli, merupakan puncak musim kemarau atau periode bulan kering. Terlihat bahwa bulan puncak hujan umumnya terjadi pada bulan Maret, sementara bulan minimum terjadi pada bulan Juni. Fluktuasi dalam pola curah hujan bulanan relatif stabil, meskipun terdapat variasi kecil dalam jumlah curah hujan di beberapa bulan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang pola curah

hujan, langkah-langkah dapat diambil untuk mengurangi dampak bencana alam seperti banjir atau kekeringan, serta untuk merencanakan pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien. Selain itu, analisis ini juga dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam memahami dinamika iklim regional dan efek perubahan iklim terhadap pola curah hujan di wilayah IKN maupun wilayah lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada rekan penulis yang telah memberikan sumbangsih pemikiran serta tenaga dalam menyelesaikan penelitian ini. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada Puslitbang BMKG atas data luaran INANWP yang dipakai dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aldrian, E. & R.D. Susanto. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12): 1435–1452.

Chang, C. P., Wang, Z., McBride, J., & Liu, C. H. (2005). Annual Cycle of Southeast Asia –Maritime Continent Rainfall and the Asymmetric Monsoon Transition. *Journal of Climate*, 18, 287 – 301.

Hamada J.I., Yamanaka M.D., Matsumoto J., Fukao S., Winarso P.A. and Tien S. (2002). Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *J Met Soc Japan*. 80: 285–310.

Hendon H.H. (2003). Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air-sea interaction. *J Climate*. 16:1775–1790.

Ichikawa, H.; Yasunari, T. (2006). Time–Space Characteristics of Diurnal Rainfall over Borneo and Surrounding Oceans as Observed by TRMM-PR. *Journal of Climate Vol.19* (2006).https://doi.org/10.1175/JCLI3714.1

Konecky, B. L., J. M. Russell, J. R. Rodysill, M. Vuille, S. Bijaksana, and Y. Huang. (2013), Intensification of southwestern Indonesian rainfall over the past millennium, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 386–391, doi:10.1029/2012GL054331.

Mamenun, Pawitan, H. and Sophaheluwakan, A. (2014). Validasi dan koreksi data satelit TRMM pada tiga pola hujan di Indonesia (Validation and correction of TRMM satellite data on three rainfall patterns in Indonesia). J*urnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1), pp.13–23.

Meyers, G., McIntosh, P., Pigot, L., & Pook, M. (2007). The Years of El Nino, La Nina, andInteractions with the Tropical Indian Ocean. *Journal of Climate*, 20, 2872 – 2880.

Miranti Indri Hastuti, Jaka Anugrah Ivanda Paski, Fatkhuroyan. (2019). Improving Numerical Weather Prediction of Rainfall Events Using Radar Data Assimilation*. Indonesian Journal of Geography* Vol. 51, No. 3 2019. https://doi.org/10.22146/ijg.44924

Murakami, M. (1983), Analysis of the deep convective activity over the western Pacific and Southeast Asia. Part I: Diurnal variation, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 61, 60–76.

Nesbitt, S. W., and E. J. Zipser. (2003). The diurnal cycle of rainfall and convective intensity according to three years of TRMM measurements. *Journal of Climate*, 16, 1456 – 1475.

Nitta, T., and S. Sekine. (1994), Diurnal variation of convective activity over the tropical western Pacific, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 72, 627–641

P. Thiruvengadam, J. Indu, Subimal Ghosh. (2019). Assimilation of Doppler Weather Radar Data with a Regional WRF-3DVAR System: Impact of Control Variables on Forecasts of a Heavy Rainfall Case. *Advances in Water Resources* doi: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.02.004

RI (Republik Indonesia). (2022). Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2022 tentang IKN. *Sekretariat Negara. Jakarta*.

Saji N.H., Goswami B.N., Vinayachandran P.N. and Yamagata T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*. 401:360–363.

Shen, F., Shu, A., Li, H., Xu, D., and Min, J. (2021). Assimilation of Himawari-8 imager radiance data with the WRF-3DVAR system for the prediction of Typhoon Soudelor. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 1569–1582, https://doi.org/10.5194/nhess-21-1569-2021, 2021.

Singh, S.K., Singh, C. & Mitra, D. (2022). Detection and tracking of tropical cyclone using NCEP-GFS model analysis and forecasts. *J Earth Syst Sci 131*, 15 (2022). https://doi.org/10.1007/s12040-021-01765-1

Skamarock, W.C.; Klemp, J.B.; Dudhia, J.; Gill, D.O.; Liu, Z.; Berner, J.; Wang, W.; Powers, J.G.; Duda, M.G.; Barker, D.; *et al.* (2019). A description of the advanced research WRF model version 4; *National Center for Atmospheric Research: Boulder*, CO, USA, 2019; p. 145.

Takahashi HG, Fujinami H, Yasunari T, Matsumoto J. (2010) Diurnal rainfall pattern observed by Tropical Rainfall Measuring Mission Precipitation Radar (TRMM-PR) around the Indochina peninsula. *J Geophys Res:Atmos 115(D7*)

Thodsan, T.; Wu, F.; Torsri,K.; Alban, E.; Yang, G. Satellite Radiance Data AssimilationUsing the WRF-3DVAR System for Tropical Storm Dianmu. (2021) *Forecasts. Atmosphere 2022*, 13, 956. https://doi.org/10.3390/atmos13060956*(3)*

Vinayachandran PN, Francis PA, Rao SA. (2009). Indian Ocean dipole: processes and impacts. Curr Trends Sci 46: 569–589

Wagner A, Fersch B, Yuan P, Rummler T and Kunstmann H. (2022) Assimilation of GNSS and Synoptic Data in a Convection Permitting Limited Area Model: Improvement of Simulated Tropospheric Water Vapor Content. *Front. Earth Sci.* 10:869504. doi: 10.3389/feart.2022.869504

Yamagata T., Behera S.K., Luo J.-J., Masson S., Jury M.R. and Rao S.A. (2004). Coupled ocean atmosphere variability in the tropical Indian ocean. "Earth Climate: the Ocean-Atmosphere Interaction." In: Wang C, Xie SP Carton JA (eds). *Geophysical Monograph*, 147. American Geophysical Union, Washington, pp 189–212.

Yang, G. Y., & Slingo, J. (2001). The diurnal cycle in the tropics. *Monthly Weather Review*, 129(4), 784–801. https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<0784:TDCITT>2.0.CO;2

Yangzhao Gong, Zhizhao Liu, Pak Wai Chan, Kai Kwong Hon. (2023). Assimilating GNSS PWV and radiosonde meteorological profiles to improve the PWV and rainfall forecasting performance from the

Weather Research and Forecasting (WRF) model over the South China. *Atmospheric Research*, Volume 286, 2023. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106677

Zhang, Z., & Li, G. (2023). Multi-decadal enhancement in the influence of El Niño on the Indian Ocean dipole mode. *Climate Dynamics*, 61(11– 12), 5331–5347. https://doi.org/10.1007/s00382-023-06858-9

Zhou, Y., Wang, S., & Fang, J. (2023). Diurnal cycle and dipolar pattern of precipitation over Borneo during the MJO: Linear theory and nonlinear sensitivity experiments. *Journal of Geophysical Research*: Atmospheres,128. https://doi. org/10.1029/2022JD037616

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS KUALITAS UDARA TERHADAP SUHU PERMUKAAN DI YOGYAKARTA

Studi Kasus 2020 dan 2023

(*Air Quality Analysis to Land Surface Temperature in Yogyakarta. Case Study on 2020 and 2023*)

Fitria Nuraini Sekarsih, Panji Setya Gangga, Ridho Abdhe Saputra
Universitas Amikom Yogyakarta

Jl. Ring Road Utara, Ngringin, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
E-mail: sekarsih.fitria@amikom.ac.id

ABSTRAK

Pemanasan global menjadi isu penting karena sangat berpengaruh terhadap kenaikan LST (*Land Surface Temperature*). Kajian LST menjadi penting karena peningkatan LST akan menyebabkan pemanasan global dan cuaca ekstrim. Salah satu area yang penting untuk dikaji adalah Yogyakarta. Adanya peningkatan aktivitas manusia akan menghasilkan gas buangan yang semakin tinggi. Efek dari gas buang ini penting untuk dikaji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap LST. Analisa LST dilakukan dari pengolahan citra Landsat 8 band 10 dan 11 perekaman Bulan Agustus. Perhitungan kualitas udara dilakukan dari pengolahan Citra Sentinel 5P dengan *Google Earth Engine* (GEE). Kadar zat yang mempengaruhi kualita udara yang dipilih adalah NO_2 (*Nitrogen Dioxide*), CO (*Carbon Monoxide*), dan CH_4 (*Methan*). Penelitian ini terfokus pada tahun 2020 dan 2023. tahun 2020 dipilih karena terjadi PSBB (Pembatasan Sosial Berskala Besar) selama pandemi, sementara tahun 2023 merupakan tahun dimana aktivitas sudah berjalan normal. Pada kurun waktu tersebut (2020-2023), LST di Yogyakarta mengalami peningkatan di beberapa titik di provinsi Yogyakarta, terutapa pusat kota. Berdasarkan analisa hubungan antara LST dengan Kualitas Udara di Yogyakarta diperoleh hasil bahwa semua unsur kualitas udara yang dikaji terjadi peningkatan. Pengaruh NO_2 meningkat dari 1,08 % menjadi 11,76 %; pengaruh CH_4 meningkat dari 0,57 % menjadi 2,95 %; dan pengaruh CO meningkat dari 0,35 menjadi 8,57 %. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan NO_2, CO, dan CH_4 akan berpengaruh terhadap kenaikan LST di Yogyakarta.

Kata kunci: Global warming, Land Surface Temperature (LST), Landsat, Sentinel 5P, Yogyakarta

ABSTRACT

Global warming is an important issue because it greatly influences on LST (Land Surface Temperature) increase. LST studies are important because the increasing of LST will cause global warming and extreme weather. One area that is considered important to study is Yogyakarta. The increasing of human activities will produce more emission gas. It is important that the effects of this gas need to be studied to determine its effect on LST. LST analysis was carried out from Landsat 8 band 10 and 11 image processing recorded in August. Air quality calculations are carried out from processing Sentinel 5P imagery with Google Earth Engine (GEE). The selected gasses that affect air quality are NO_2 (Nitrogen Dioxide), CO (Carbon Monoxide), and CH4 (Methane). This research focuses on 2020 and 2023. In 2020 was chosen because there was PSBB (Large-Scale Social Distancing) during the pandemic, while 2023 is the year when activities are running normally. In that period (2020-2023), LST in Yogyakarta is increase in some spots especially in city center. Based on the analysis of the relationship between LST and air quality in Yogyakarta, the results showed that all elements studied are increase. The effect of NO_2 increased from 1.08 % to 11.76 %; the influence of CH4 increased from 0.57 % to 2.95 %; and the influence of CO increased from 0.35 to 8.57%. These results indicate that increasing NO_2, CO, and CH_4 will influence the increase in LST in Yogyakarta.

***Keywords**: global warming, Land Surface Temperature (LST), Landsat, Sentinel 5P, Yogyakarta*

PENDAHULUAN

Terjadinya peningkatan suhu global (salah satunya adalah LST) dapat disebabkan karena peningatan polutan di udara (Abbas *et al*., 2022; Suthar el al., 2023). Kualitas udara ditentukan oleh konsentrasi dari polutan seperti *Particulate Matter* (PM) dan gas polutan seperti NO2, SO2,

CO, CO2, Ozone, dan sebagainya (Kalender & Alkan, 2018; Verma *et al.*, 2023). Polusi udara jika dipantau dengan menggunakan citra satelit, CO sangat erat kaitannya dengan fenomena kebakaran hutan, NO_2 dan AOD erat kaitannya dengan aktivitas perkotaan, dan SO2 terkait dengan aktivitas gunung api (Anggraini *et al.*, 2023). Menurut Verma et al (2023), SO2 juga dihasilkan oleh proses industri seperti ekstraksi logam dari bijih, kapal, kendaraan, dan mesin berat dengan bahan bakar fosil dengan kandungan sulfur tinggi. Sedangkan PM sendiri merupakan partikel di udara dengan berbagai ukuran dan kompisisi yang dihasilkan dari aktivitas manusia seperti industri, kendaraan bermotor, debu, limbah rumah tangga maupun pertanian, sisa-sisa pembakadan, dan kebakaran hutan.

Zat polutan ini selain berpengaruh dengan peningkatan suhu, juga memiliki dampak lain. Polusi udara menjadi faktor utama terkait dengan risiko kesehatan (Kalo *et al.*, 2023) dan kesehatan ekosistem (Hassaan *et al.*, 2023). Paparan PM yang berkepanjangan dapat menyebabkan kematian dini pada pasien yang menderita penyakit paru-paru atau jantung, serangan jantung, asma yang memburuk, penurunan fungsi paru-paru, iritasi tenggorokan, batuk, dan kesulitan bernapas. Sedangkan NO_2 merupakan gas yang sangat reaktif. Emisi NO_2 di troposfer sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia, terutama dipengaruhi oleh jumlah penduduk, tingkat perkembangan ekonomi perkotaan, gas buang kendaraan bermotor, dan sebagainya (Zheng *et al.*, 2019; Virghileanu *et al.*, 2020). Mobil, truk, dan bus merupakan sumber utama emisi NO_2, diikuti oleh pembangkit listrik, peralatan konstruksi berat bertenaga diesel, dan boiler industri. Paparan terhadap peningkatan konsentrasi NO_2 dapat menyebabkan masalah kesehatan, seperti penyakit pernafasan dan bahkan kematian. SO_2 merupakan indikator pencemaran udara oleh oksida belerang (SOx). Sumber SO_2 terbesar di atmosfer adalah pembakaran bahan bakar fosil, seperti penggunaan batu bara dalam pembangkit listrik dan fasilitas industri lainnya. SO_2 juga dihasilkan dari proses industri seperti ekstraksi logam dari bijih, kapal, kendaraan, dan mesin berat yang membakar bahan bakar fosil dengan kandungan sulfur tinggi. Paparan SO_2 dalam jangka panjang dapat merusak sistem pernapasan manusia dan membuat sulit bernapas. Penderita asma, terutama anak-anak, sensitif terhadap efek SO_2. SO_2 dan SO_x lainnya dapat berkontribusi terhadap hujan asam, yang merusak ekosistem sensitif dan menyebabkan kabut yang mengurangi jarak pandang.

Evaluasi tingkat polusi udara biasanya diukur melalui Indeks Kualitas Udara (AQI) (Anggraini *et al.*, 2023). Indeks Kualitas Udara tersedia untuk publik melalui program AirNow (Kalo *et al.*, 2020). Sistem AirNow memberikan kemampuan untuk memvisualisasikan distribusi spasial konsentrasi polusi udara secara real-time dan menyusun profil temporal konsentrasi polusi udara di lokasi pengukuran mana pun. Lockdown akibat COVID-19 merupakan contoh yang menunjukkan bahwa tingkat polutan udara dapat dikurangi bahkan dikendalikan. Polusi NO_2 dapat dikendalikan sebanyak 85% di beberapa situasi, sebagai akibat dari penurunan emisi dari lalu lintas atau aktivitas industri (Virghileanu *et al.*, 2020).

Pengukuran kualitas udara juga dapat dipantau dari citra penginderaan jauh. Penginderaan jarak jauh mungkin merupakan alat yang berguna untuk mengeksplorasi variabilitas spasial paparan polusi udara di wilayah perkotaan (Bechle *et al.*, 2013). Satelit Sentinel-5P memberikan gambar polutan atmosfer beresolusi tinggi termasuk nitrogen dioksida, ozon, karbon monoksida (CO) dan materi partikulat (PM) (Hassaan *et al.*, 2023). Korelasi yang kuat ditemukan dalam penelitian saat ini antara data Sentinel-5P, CO, dan data kebenaran lapangan PM2.5 sebagai dua polutan udara utama (Hassaan *et al.*, 2023). Dibandingkan dengan teknologi pemantauan polusi udara tradisional, perkembangan pesat metode pemantauan penginderaan jarak jauh pada satelit atmosfer secara bertahap menjadi sarana teknis penting dalam pemantauan lingkungan atmosfer global (Zheng *et al.*, 2019).

Data penginderaan jauh jauh juga dapat menyediakan nilai LST. Sistem termal penginderaan jauh merupakan metode yang dapat memberikan informasi akurat untuk mengukur suhu (Mahanta & Samuel, 2020). Salah satu sumber data yang dapat digunakan untuk menganalisis suhu permukaan berasal dari Landsat 8. Citra Landsat 8 membawa band termal yaitu band 10 dan 11 yang dapat memberikan informasi tentang nilai suhu dari kecerahan objek atau disebut dengan *Brighness Temperature (BT)*. Nilai BT ini kemudian akan dianalis untuk mendapatkan informasi nilai suhu permukaan.

Dari uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui korelasi antara LST dengan kualitas udara di Yogyakarta selama 2020-2023. Kualitas udara yang dimaksud adalah jumlah polutan seperti NO_2, CO, dan metana.

METODE

Penelitian in dilakukan di Provinsi Yogyakarta. Yogyakarta sendiri memiliki luas 3170,6 km^2. Yogyakarta terletak di koordinat $110,00^0$-$110,50^0$ Bujur Timur dan antara 7,33-8,12 Lintang Selatan. Yogyakarta terletak di bagian selatan Pulau Jawa, dan berbatasan dengan Provinsi Jawa Tengah dan Samudera Hindia.Yogyakarta sendiri terdiri dari 4 kabupaten dan 1 kota yaitu Gunungkidul, Sleman, Bantul, Kulonprogo, dan Kota Yogyakarta. Berikut **Gambar 1** merupakan peta lokasi penelitian.



Gambar 1. Lokasi penelitian

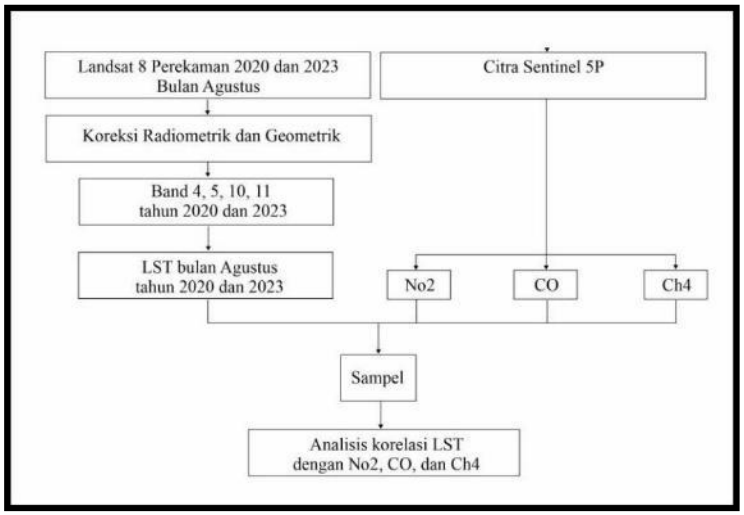
Proses penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu 1). Mengunduh citra tahun 2020 dan 2023 bulan Agustus dan melakukan koreksi; 2). Mengolah Citra Landsat hingga mendapatkan nilai LST tahun 2020 dan 2023; 3) mengolah Citra Sentinel 5P untuk mendapatkan data NO_2, CO, dan CH4 tahun 2020 dan 2023; dan 4) membuat sample area untuk melihat korelasi antara LST dengan NO2, CO, dan CH4. Untuk lebih jelasnya, **Gambar 2**. menunjukkan ringkasan alur penelitian.

Langkah pertama yang dilakukan adalah mendownload citra dari *earthexplorer.com dan* melakukan koreksi. *Raw* data kemudian dikoreksi hingga mendapatkan nilai *surface reflectance.* Selanjutnya citra yang telah dikoreksi kemudian diolah untuk mendapatkan nilai LST. Saluran 10 dan 11 digunakan untuk mendapatkan nilai kecerahan *Brighness Temperature* (BT). Nilai ini kemudian ditambahkan nilai indeks vegetasi, PV (*Propotion of Vegetation*), dan emisivitas untuk mendapatkan nilai suhu permukaan. Indeks vegetasi yang dipilih adalah NDVI (*Normalized Difference Moisture Index)* dengan rumus (NIR-R)/(NIR+R). Hasil perhitungan NDVI kemudian digunakan untuk mengitung PV (*Propotion of Vegetation*) dengan rumus $((NDVI-NDVI_{min})/(NDVI_{max}-NDVI_{min}))^2$. Emisivitas (ε) sendiri adalah 0.004 PV + 0.986. Untuk mendapatkan nilai LST digunakanlah persamaa 1 dibawah ini.

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * Ln(\varepsilon))) \quad \text{.....(1)}$$

Setelah diperoleh nilai LST, ekstraksi nilai selanjutnya adalah kualitas udara. NO2, CO, dan metana diperoleh dari Citra Sentinel 5P. Nilai LST tahun 2020 dan 2023 yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil kadar NO_2, CO, dan Metana di tahun dan bulan yang sama. Pengambilang sampling perlu dilakukan untuk mengetahui korelasi antara LST dengan kualitas udara. Melalui *Data Management Tool* dari ArcGIS dengan metode *fishnet* diambl 1500 titik sampel.

Selanjutnya, akan dilakukan analisis secara statistika nilai LST dengan kualitas udara yang dimaksud.

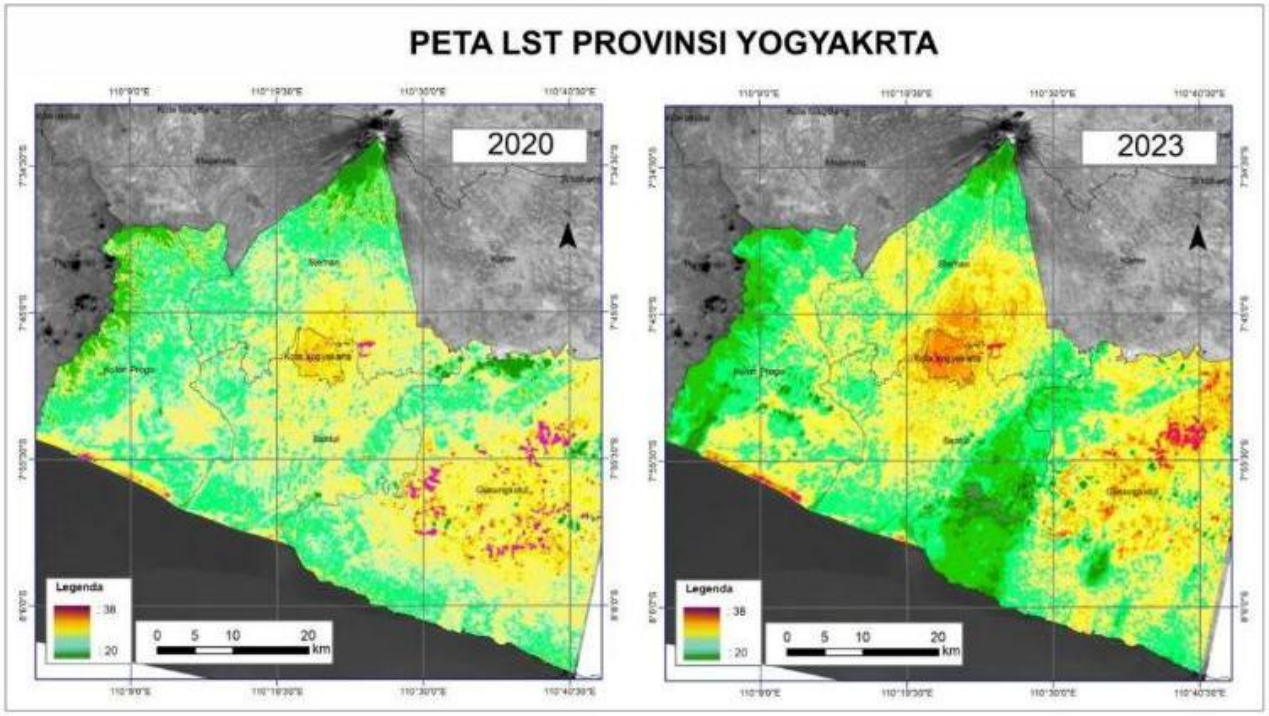


Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

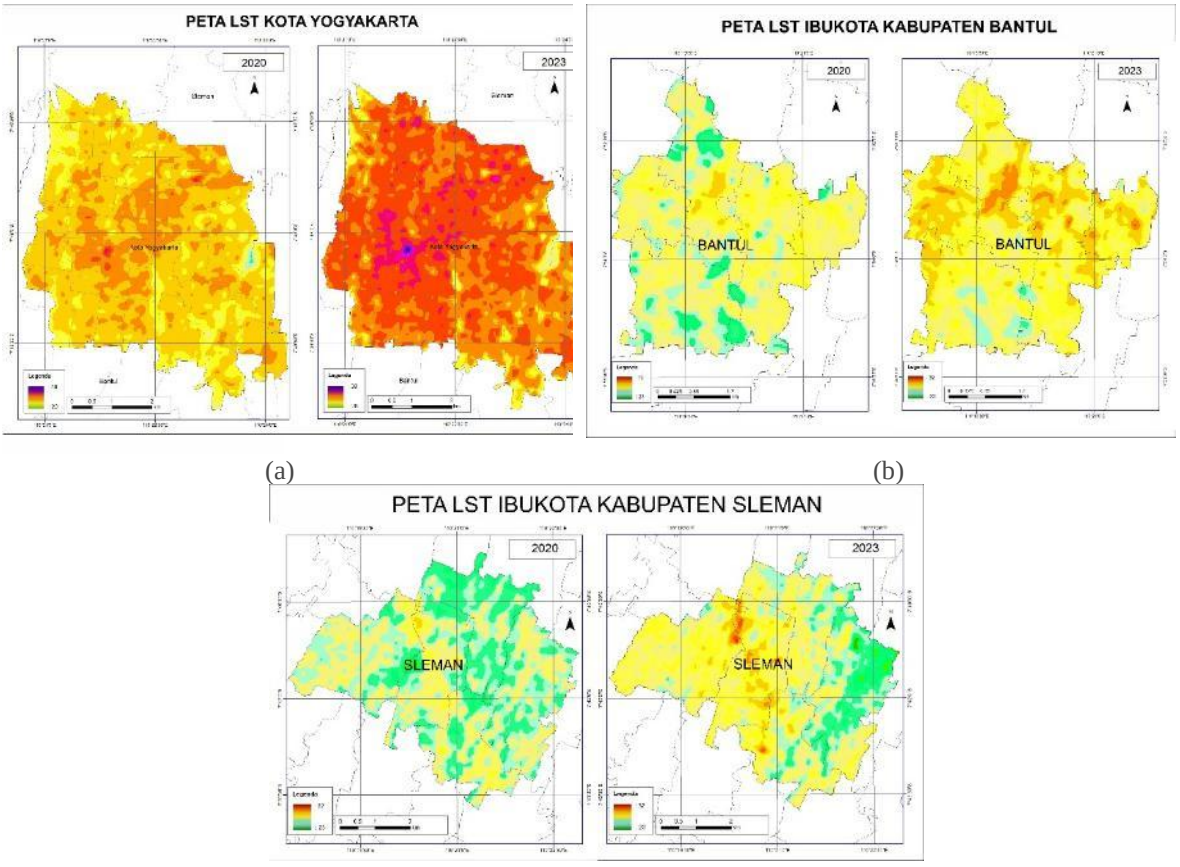
Selama kurun waktu 2020 di Indonesia terjadi wabah Covid 19. Pandemi ini menyebabkan pemerintah menetapkan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB). PSBB sendiri menjadi salah satu alasan mengapa aktivitas manusia yang menjadi pemasok utama polutan udara menjadi berkurang. dalam pembahasan ini, *air pollutan* yang akan dibahas adalah pengaruh NO_2, CO, dan CH_4. Gas tersebut dipilih karena merupakan polutan yang berasal dari aktivitas perkotaan dan industrial (Virghileanu *et al.*, 2020).

Jika membadingkan masa pandemi dengan kondisi normal, ternyata terjadi penurunan suhu permukaan yang cukup dirasakan. **Gambar 3** menujukkan perbandingan sebaran spasial nilai LST di provinsi Yogyakarta. Ada beberapa titik yang menujukkan terjadinya hubungan korelasi antara LST dengan aktivitas manusia. Persebaran titik panas yang cukup terlihat berada di kawasan perkotaan seperti Kota Yogyakarta, Kecamatan Bantul, dan Kecamatan Sleman.



Gambar 3. Peta suhu permukaan di Provinsi Yogyakarta. (Sumber : Pengolahan data, 2024)

Pada **Gambar 4**, contoh beberapa wilayah yang terdapat perbedaan menojol adalah Kota Yogyakarta (**Gambar 4.a**), Kecamatan Bantul (**Gambar 4.b**), dan Kecamatan Sleman (**Gambar 4.c**). Kota Yogyakarta sendiri dari segi visual merupakan area yang paling menonjol terjadi perbedaan nilai LST yang cukup signifikan saat pandemi dan kondisi normal. Suhu rata-rata saat pandemi adalah 29,49^0 C dan suhu rata-rata di tahun 2023 adalah 30,98^0 C. Artinya ada selisih sekitar 1,5^0 C yang disebabkan oleh kondisi kualitas udara yang berbeda.

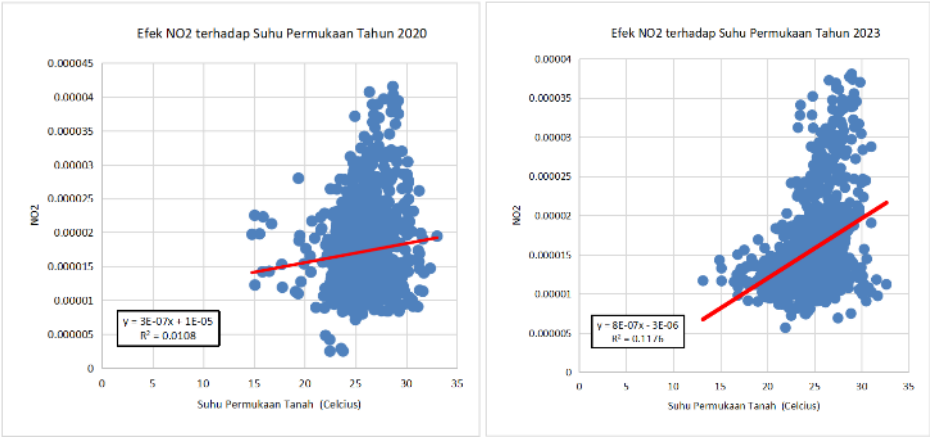


Gambar 4. Perbandingan LST dimasa pandemi dan kondisi normal di beberapa lokasi. Kota Yogyakarta (a); Ibukota Kabupaten Bantul (b); Ibukota Kabupaten Sleman (c). (Sumber: Pengolahan data, 2024)

Dari pet ayang dihasilkan di **Gambar 3**, terlihat bahwa terjadi peningkatan LST yang di beberapa lokasi yaitu Kota Yogyakarta, Kapanewon Bantul (ibukota Kabupaten Bantul) dan Kapanewon Sleman (ibu kota Kabupaten Sleman). Dimasa pandemi, LST di Kecamatan Bantul sekitar 26,78 ^{0} C sedangkan di masa normal 28,12 ^{0} C. Senada juga dengan yang terjadi di ibukota Kabupaten Sleman, LST dimasa pandemi adalah 25,84 ^{0} C dan dimasa normal 26,81 ^{0} C. Terjadinya perbedaan suhu yang cukup signifikan selama pandemi dan dalam kondisi normal menjadi bukti bahwa aktivitas manusia terkait dengan polutan yang dihasilkan, sangat erat kaitannya dengan nilai LST yang dihasilkan. Untuk mengetahui seberapa kuat hubungan antara LST dengan NO_2, CO, dan CH_4, maka 1500 sampling diambil untuk mengetahui hubungan linear dari variabel tersebut terhadap LST.

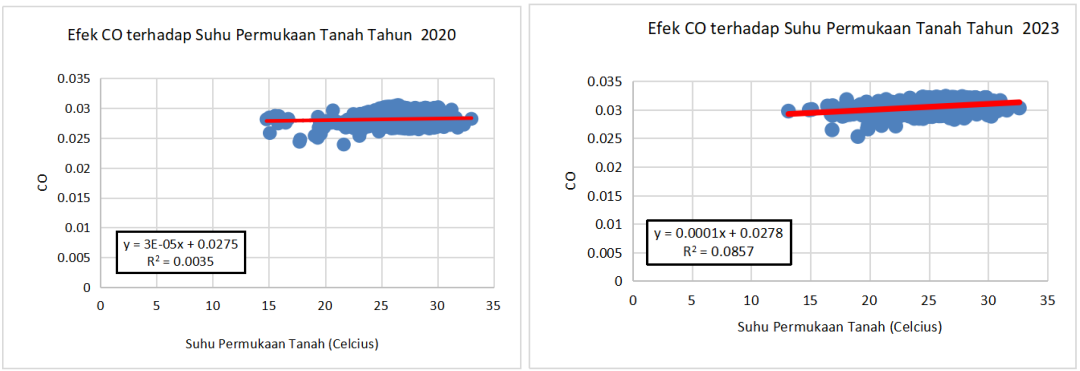
Analisa statistik yang dihasilkan menujukkan bahwa, semua polutan (NO_2, CO, dan CH_4) memiliki korelasi yang positif dengan LST. Artinya semakin tinggi nilai polutan maka semakin tinggi pula nilai LST. Besarnya hubungan korelasi antara LST dengan faktor NO_2, CO, dan CH_4 juga dapat dihitung.

Analisa pertama adalah hubungan antara LST dengan gas NO_2. Citra Sentinel 5P digunakan untuk mendapatkan kadar NO_2 menggunakan Band NO2_Column_number_density dengan satuan mol/m^2 seperti ditampilkan dalam **Gambar 5**.



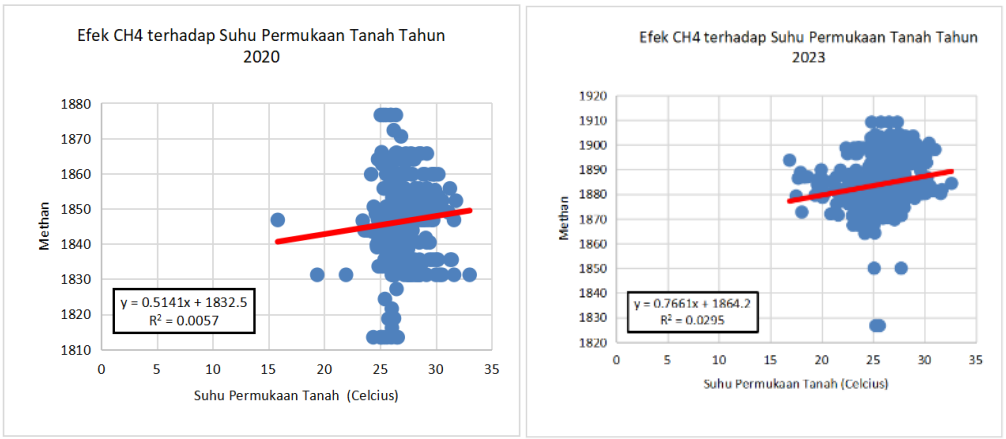
Gambar 5. Grafik hubungan antara LST dengan NO_2. (Sumber : Pengolahan data, 2024)

Data yang diperoleh dari Citra Sentinel 5P untuk mendapatkan kadar CO di udara menggunakan Band CO_Column_number_density dengan satuan mol/m^2. Koefisien determinasi dari hubungan variable LST dengan NO juga boleh dikatakan meningkat saat pandemi ke kondisi normal. **Gambar 6** menujukkan terjadi peningkatan dari 0,0035 ke 0,0857.



Gambar 6. Grafik hubungan antara LST dengan CO. (Sumber : Pengolahan data, 2024)

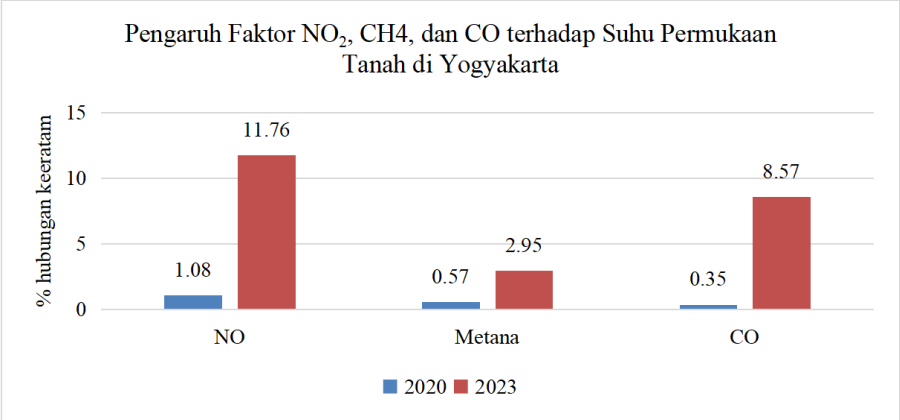
Analisa selanjutnya adalah hubungan gas metana yang ada di udara dengan LST. Dari sampling yang diambil terlihat bahwa jumlah gas metana juga memiliki hubungan positif dengan nilai LST seperti ditampilkan dalam **Gambar 7.**



Gambar 7. Grafik hubungan antara LST dengan CH_4. (Sumber : Pengolahan data, 2024)

Gambar 8 dibawah ini merupakan kesimpulan dari hubungan variabel yang telah diukur. Aktivitas manusia yang menyebabkan penurunan kualitas udara menjadi penyebab peningkatan suhu permukaan. Masing-masing polutan memberikan sumbangan tersendiri terhadap kenaikan

LST di Yogyakarta. Tingkat keterkaitan tersebut ditunjukan oleh nilai R^2 *(R Square)* yang berbeda yang menunjukkan keeratan hubungan antara variabel LST dengan variabel NO_2, CO, dan CH_4. Nilai *R square* adalah koefisien determinasi saat pandemi menunjukan nilai LST dipengaruhi oleh NO_2 sebesar 1,08%, metana sebesar 0,57 %, dan CO sebesar 0,35 %. Jika dibandingkan dengan nilai hubungan koefisiensi dimasa normal terjadi peningkatan cukup signifikan. NO_2 meningkat menjadi 11,76 %, metana menjadi 2,95 %, dan CO menjadi sebesar 8,57 %



(Sumber : Pengolahan data, 2024)

Gambar 8. Grafik nilai regresi hubungan antara LST dengan polutan di Propinsi Yogyakarta.

KESIMPULAN

Polusi udara yang menghasilkan gas buang oleh aktivitas manusia sangat berpengaruh terhadap kenaikan suhu permukaan. Peningkatan suhu permukaan di Yogyakarta berbeda-beda. Pusat kota menjadi titik dimana terjadi peningkatan suhu yang signifikan saat terjadi pandemi dan dalam kondisi normal. Situasi saat pandemi dapat menjadi acuan pengaruh polutan terhadap suhu permukaan tanah. Hasilnya, terjadi selisih suhu rata-rata di provinsi Yogyakarta sebesar $1,5^0$ C. Suhu rata-rata saat pandemi adalah $29,49^0$ C dan suhu rata-rata di tahun 2023 adalah $30,98^0$ C. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui hubungan nilai peningkatan suhu dengan polusi udara. Dari perhitungan dengan citra sentinel 5P, diketahui terdapat peningkatan pengaruh pada NO2, CH4, dan CO. Pengaruh NO2 meningkat dari 1,08 % menjadi 11,76 %; pengaruh CH4 meningkat dari 0,57 % menjadi 2,95 %; dan pengaruh CO meningkat dari 0,35 menjadi 8,57 %. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan NO2, CO, dan CH4 akan berpengaruh terhadap kenaikan LST di Yogyakarta.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Amikom Yogyakarta, Prodi Geografi Universitas Amikom Yogyakarta yang telah memberikan kelancaran hingga naskah penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, T.S; Irie, H; Sakti, A.D; & Wirantika, K. (2023). Machine learning-based global air quality index development using remote sensing and ground-based stations. *Environmental Advances.* https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100456

Bechle, M.J; Millet, D,B; & Marshall, J.D. (2023). Remote sensing of exposure to NO2: Satellite versus ground-based measurement in a large urban area. *Atmospheric Environment* 69 (2013) 345-353

Hassaan, M.A; Abdallah, S.M; Shalaby, E; & Ibrahim, A.A. (2023). Assessing vulnerability of densely populated areas to air pollution using Sentinel 5P imageries : a case study of the Nile Delta, Egypt. Scientific Report 13, article number 17406 (2023).

Kalender, S.S & Alkan G.B. (2018). *Air Pollution.* Handbook od Environmenyal Material Management pp 1-18. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_77-1

Kalo, M; Zhou, X; Li, L; Tong, W; & Piltner, R. (2020). *Chapter 8 - Sensing air quality: Spatiotemporal interpolation and visualization of real-time air pollution data for the contiguous United States.* Spatiotemporal Analysis of Air Pollution and Its Application in Public Health 2020, Pages 169-196

Mahanta NR & Samuel AK. (2020). *Study of Land Surface Temperature (LST) and Land Cover for Urban Heat Island (UHI) Analysis in Dubai*. 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO). https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9198038

Suthar, G; Singhal. R.P; Khandelwal, S; & Kaul, N. 2023. Spatiotemporal variation of air pollutants and their relationship with land surface temperature in Bengaluru, India. *Remote Sensing Applications : Society and Environment* Vol 32. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101011

Verma, R.L; Gunawardhana, L; Kamyotra, J.S; Ambade, B; & Kurwadkar, S. (2023). Air quality trends in coastal industrial clusters of Tamil Nadu, India: A comparison with major Indian cities. Environmental Advances Volume 13, October 2023, 100412

Virghileanu, M; Savulescu, I; Mihai, B.A; Nistor, C; & Dobre, R. (2020). Nitrogen Dioxide (NO_2) Pollution Monitoring with Sentinel 5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavorus Pandemic Outbreak. Remote Sensing, MDPI Volume 12 Issue 21. https://doi.org/10.3390/rs12213575

Zheng, Z; Yang, Z; Wu, Z; & Marinello, F. (2019). Spatial Variation of NO2 and Its Impact Factors in China: An Application of Sentinel-5P Products. *Remote Sensing* 11 (16). https://doi.org/10.3390/rs11161939

PEMETAAN TINGKAT KERAWANAN BENCANA KEBAKARAN DI WILAYAH CALON IBU KOTA BARU INDONESIA: IKN & KI MUARA JAWA

(*Mapping of Fire Disaster Vulnerability in The Prospective Areas of The New Capital City of Indonesia: IKN & KI Muara Jawa*)

Linda Azaria, Maryam Azizah Hanif
Universitas Indonesia

Jakarta Selatan; Tangerang Selatan
E-mail: azarial1203@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu alasan pemilihan wilayah di Kabupaten Penajam Paser Utara & Kabupaten Kutai Kartanegara sebagai calon IKN (Ibu Kota Nusantara) & KI (Kota Industri) Muara Jawa adalah karena wilayah - wilayah tersebut memiliki tingkat risiko bencana yang rendah. di lain sisi, berdasarkan website resmi Provinsi Kalimantan Timur dinyatakan bahwa jumlah kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2019 di Kalimantan Timur sekitar 6715 Ha. Oleh sebab alasan dan data tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membuat Peta Kerawanan Bencana Kebakaran di Wilayah IKN & KI Muara Jawa, untuk menguji apakah wilayah - wilayah tersebut layak dijadikan sebagai IKN. Metode penelitian adalah metode skoring terhadap semua variabel yang terlibat kemudian dilanjutkan dengan metode *overlay* (tumpang susun). Metode analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif dari peta kerawanan bencana kebakaran yang telah dihasilkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lebih dari 50% lahan di wilayah IKN & KI Muara Jawa didominasi oleh tingkat kerawanan sedang terhadap bencana kebakaran. Berdasarkan klasifikasi tutupan lahan di wilayah yang sama dikategorikan menjadi empat kelas yaitu tutupan lahan dengan tingkat kerawananan tertinggi adalah Permukiman, tingkat kerawanan sedang adalah Belukar, tingkat kerawanan rendah adalah Pertanian Lahan Kering Campur, dan Tingkat kerawanan sangat rendah adalah Lahan Terbuka.

Kata kunci: peta kerawanan, kebakaran, *overlay*, *skoring*, IKN

ABSTRACT

One of the reasons that caused Indonesia's Government to choose the region for the new capital city of Indonesia, such as Penajam Paser Utara and Kutai Kartangera all of these regions have a lower risk of disaster potential. On the other hand, based on the official website of Kalimantan Timur Province, there is an article written about information in 2019 that the forest and land in Kalimantan Timur Province has been burned was 6715 Ha. Based on these reasons and data, this research aims to create a vulnerability map of the forest and land fires in the region for the new capital city of Indonesia in IKN & KI Muara Jawa, to prove if the region is worthy of being the capital city. The analysis method of this research is scoring the variables that we used for this research, then overlaid them to the result. The analysis method is the descriptive analysis of the vulnerability map as a map result. The result shows that more than 50% of the research area is categorized as an area with a medium level of vulnerability to fire disasters. Based on the land cover classification, there are 4 classifications, namely the highest-class vulnerability is the settlement, the middle-class vulnerability is the thicket, the low-class vulnerability is the mixed dry land farming, and the lowest-class vulnerability is the open land.

***Keywords**: The vulnerability map, fires, overlay, scoring, IKN*

PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Provinsi Kalimantan Timur, yang mencakup Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara yang termasuk calon wilayah untuk IKN (Ibu Kota Nusantara) & KI (Kota Industri) Muara Jawa. Berdasarkan data Satpol PP Provinsi Kalimantan Timur pada tahun 2019, jumlah luas hutan dan lahan yang terdampak bencana kebakaran di Provinsi Kalimantan Timur sebanyak 6715

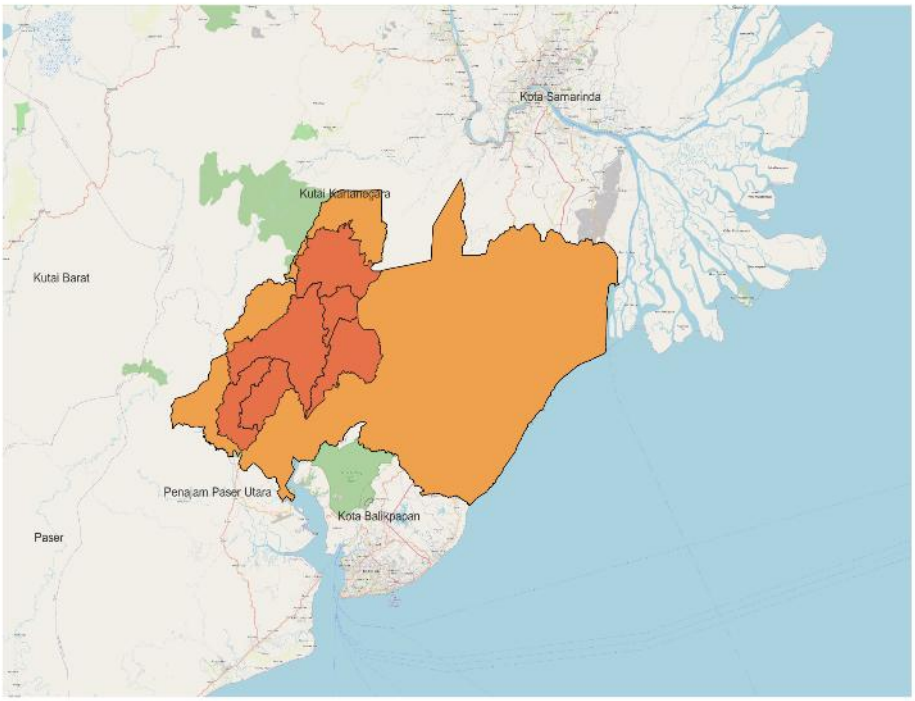
Ha. Menurut laporan BPBD, wilayah Kabupaten Penajam Paser Utara & Kabupaten Kutai Kartanegara juga terdampak kebakaran hutan dan lahan serta bencana asapnya. Menurut Jawad dkk (2015), Identifikasi daerah kebakaran hutan dilakukan dengan melakukan skoring atau pembobotan terhadap variabel - variabel yang digunakan kemudian langkah selanjutnya dilakukan analisis dan mengkombinasikan variabel - variabel tersebut dengan metode tumpang susun (*overlay*). Berdasarkan kombinasi tersebut kemudian dibuat bobot kerawanan wilayah IKN & KI Muara Jawa dalam bentuk peta.

Menurut (United Nations, 2004), Kerawanan adalah potensi kerusakan fisik, fenomena atau kegiatan manusia yang mengakibatkan kematian, luka - luka, kerusakan properti, gangguan ekonomi dan sosial ataupun degradasi lingkungan. Oleh sebab dasar tersebut, dilakukan penelitian mengenai tingkat kerawanan kebakaran hutan dan lahan di calon wilayah IKN yang mencakup wilayah Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Secara spesifik, wilayah yang menjadi fokus penelitian ini adalah IKN (Ibu Kota Nusantara) & KI Muara Jawa. Hasil penelitian ini akan menjadi gambaran tingkat kerawanan bencana kebakaran di wilayah tersebut.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi yang dijadikan wilayah penelitian adalah Kabupaten Penajam Paser Utara & Kabupaten Kutai Kartanegara yang akan dijadikan wilayah IKN (Ibu Kota Nusantara) dan KI (Kota Industri) Muara Jawa. Dua wilayah ini terletak dekat dengan Kota Samarinda, Kota Balikpapan dan Kota Kutai Barat. Data yang digunakan adalah data sekunder pada tahun 2019.



Gambar 1. Lokasi penelitian adalah wilayah IKN (jingga muda) dan KI Muara Jawa jingga tua)

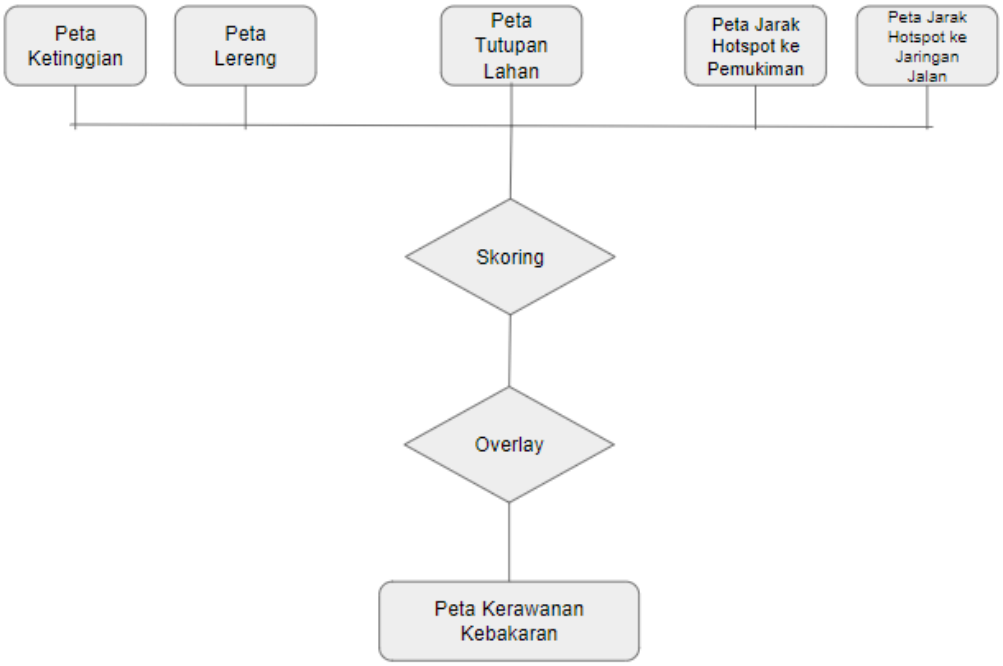
Landasan Teori

Menurut E N Sari. (2022), peta tingkat kerawanan kebakaran hutan dan lahan dibuat dengan teknik tumpang susun (*overlay*). Teknik tumpang susun digunakan untuk memetakan tingkat kerawanan, terdiri atas beberapa langkah berikut yaitu:

1. Pengumpulan data titik & non titik api serta variabel yan untuk membangun database SIG.
2. Menentukan sampel penelitian.
3. Menganalisis statistika deskriptif dan melakukan skoring untuk masing - masing variabel.
4. *Overlay* peta kerawanan kebakaran hutan dan lahan berdasarkan faktor penyala api.

5. Hasil akhir yaitu peta kerawanan kebakaran hutan dan lahan di kawasan IKN & KI Muara Jawa.

Diagram Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Pada Gambar 2 yang menunjukkan diagram alur penelitian, terlihat semua variabel penelitian melalui skoring/ pembobotan. Kemudian, dari setiap variabel yang telah diberikan bobot dihasilkan nilai faktor setiap variabel. Hasil tersebut kemudian ditumpang susun (*overlay*) yang kemudian akan menghasilkan Peta Kerawanan Kebakaran.

Pengambilan Data

Data yang digunakan di dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data vektor (shapefile) yang berasal dari website *https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web* dan data statistik yang diperoleh berdasarkan data dari beberapa jurnal. Metode untuk menentukan wilayah kerawanan bencana kebakaran adalah multi analisis kriteria dengan cara *overlay* beberapa data variabel dan mengklasifikasi data tersebut dengan kelas-kelas tertentu dan skoring. Variabel yang digunakan yaitu jarak titik panas kebakaran dengan permukiman, jarak titik panas kebakaran dengan jalan, data lereng, data ketinggian, dan tutupan lahan tahun 2019, yang berasal dari beberapa data sekunder sebagai berikut:

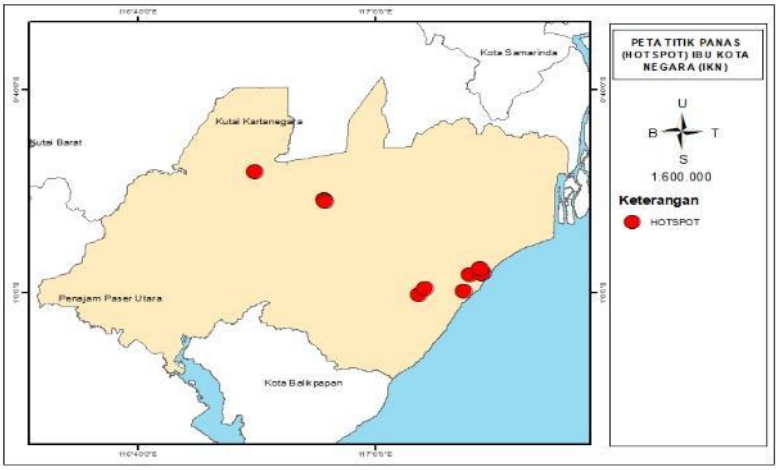
Tabel 1. Jenis dan sumber data sekunder berdasarkan variabel kerawanan bencana kebakaran.

Jenis Data	Sumber Data	Waktu
Peta Ketinggian IKN	Shapefile (BIG) Digital Elevation Model	2019
Peta Lereng IKN	Shapefile (BIG) Data Ketinggian Wilayah IKN	2019
Peta Hotspot IKN	Shapefile (BIG)	2019
Peta Tutupan Lahan IKN	Shapefile (KLHK) Google Earth SNI	2019
Peta Jaringan Jalan	Shapefile (BIG)	2019

Sumber: Pengolahan data

Pengolahan Data

Pada penelitian ini terdapat lima (5) variabel, lima variabel tersebut terdiri atas: Peta Ketinggian, Peta Lereng, Peta Tutupan Lahan, Peta Jarak Hotspot ke Permukiman dan Peta Jarak Hotspot ke Jaringan Jalan. Pada **Gambar 3**, terlihat di tahun 2019 terdapat sepuluh titik kebakaran di wilayah calon IKN & KI Muara Jawa. Titik panas atau Hotspot terkonsentrasi di sekitar wilayah pesisir wilayah penelitian.



Gambar 3. Peta Titik Panas Ibu Kota Negara (IKN) pada 20 Februari 2019 sampai 16 April 2019

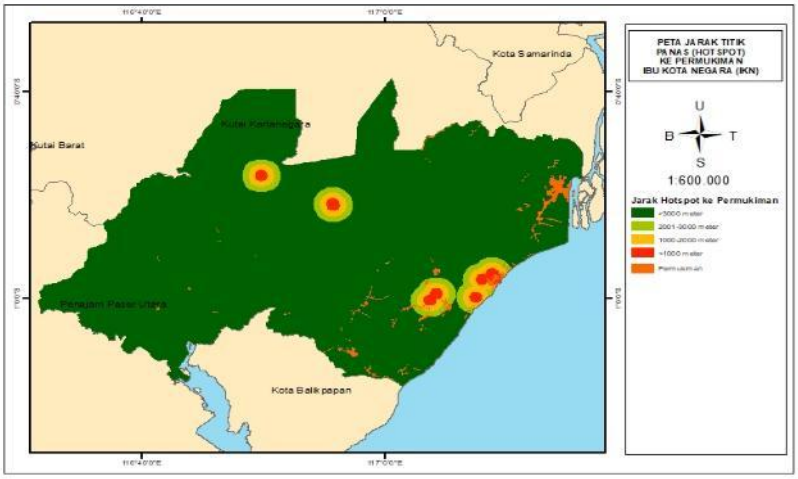
Peta Jarak Titik Panas Kebakaran dengan Permukiman

Jarak titik panas di IKN terhadap permukiman dibagi menjadi empat (4) kelas (Erten et al, 2004) seperti yang tertera pada **Tabel 2**. Semakin dekat titik panas kebakaran dengan permukiman maka semakin besar nilai faktor. Beberapa kelas untuk jarak titik panas dengan permukiman dan nilai faktor diurutkan pada **Tabel 2**. Jarak titik panas kebakaran dengan permukiman digambarkan dengan menggunakan teknik buffer tiap-tiap kelas pada **Gambar 4.** Pada Peta tersebut, terlihat luas wilayah permukiman yang memiliki jarak <1000 meter sampai >3000 meter adalah 577.34221 Ha.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Faktor jarak titik panas dengan permukiman di IKN & KI Muara Jawa.

No	Kelas	Nilai Faktor
1	<1000 meter	5
2	1000 - 2000 meter	4
3	2000-3000 meter	3
4	>3000 meter	2

Sumber: Erten et al, 2004



Gambar 4. Peta Jarak Titik Panas (Hotspot) ke Permukiman IKN

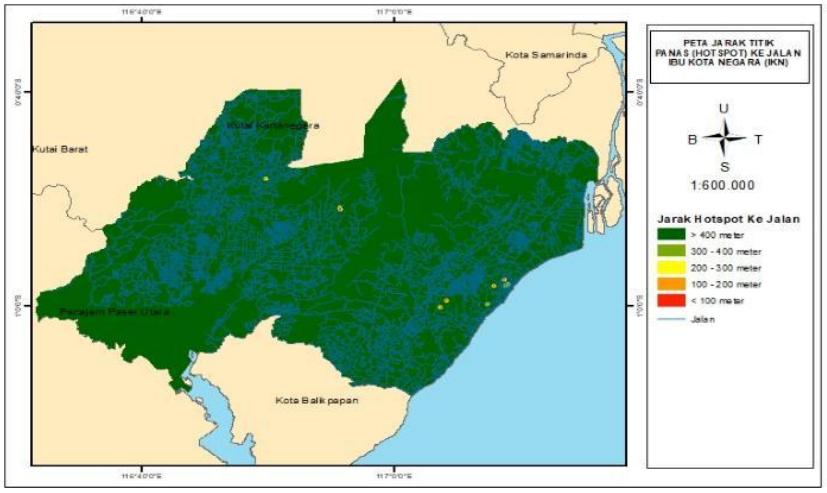
Peta Jarak Titik Panas Kebakaran dengan Jalan

Jarak titik panas dengan jalan dibagi menjadi lima (5) kelas (Erten et al, 2004) seperti yang tertera pada **Tabel 3**. Nilai faktor hasil skoring menunjukkan bahwa semakin dekat jarak titik panas kebakaran dengan jalan maka semakin tinggi nilai faktor pada **Tabel 3**. Jarak titik panas kebakaran dengan jalan divisualisasikan menggunakan teknik *buffer* sesuai dengan kelas-kelas pada klasifikasi yang telah ditentukan pada **Gambar 5**.

Tabel 3. Klasifikasi Nilai Faktor berdasarkan Jarak Titik Panas Kebakaran dengan Jalan.

No	Kelas	Nilai Faktor
1	<100 meter	5
2	100 - 200 meter	4
3	200 - 300 meter	3
4	300 - 400 meter	2
5	>400 meter	1

Sumber: Erten et al, 2004



Gambar 5. Peta Jarak Titik Panas (Hotspot) ke Jalan IKN

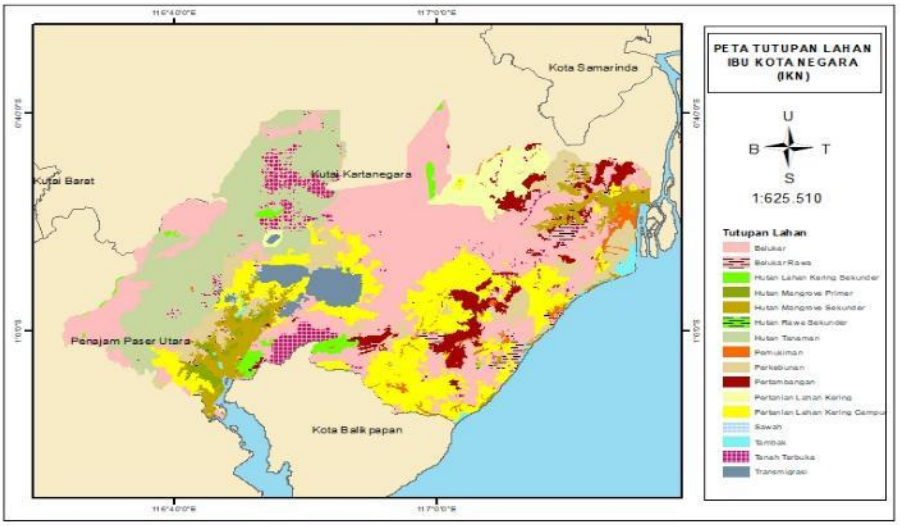
Peta Tutupan Lahan

Pada tutupan lahan menurut Sabaraji tahun 2005, klasifikasi tutupan lahan menggunakan nilai faktor untuk penentuan kriteria kerawanan bencana kebakaran pada **Tabel 4**. Visualisasi tutupan lahan di IKN pada tahun 2019 dapat dilihat pada peta di **Gambar 6**.

Tabel 4. Klasifikasi Nilai Faktor Tutupan Lahan.

Tutupan Lahan	Nilai Faktor
Belukar	7
Belukar Rawa	6
Hutan Lahan Kering Sekunder	6
Hutan Mangrove Primer	2
Hutan Mangrove Sekunder	3
Hutan Rawa Sekunder	5
Hutan Tanaman	6
Permukiman	7
Perkebunan	5
Pertambangan	2
Pertanian Lahan Kering	7
Pertanian Lahan Kering Campur	6
Sawah	7
Tambak	1
Tanah Terbuka	1
Transmigrasi	7

Sumber: Sabaraji et al, 2005



Gambar 6. Peta Tutupan Lahan IKN

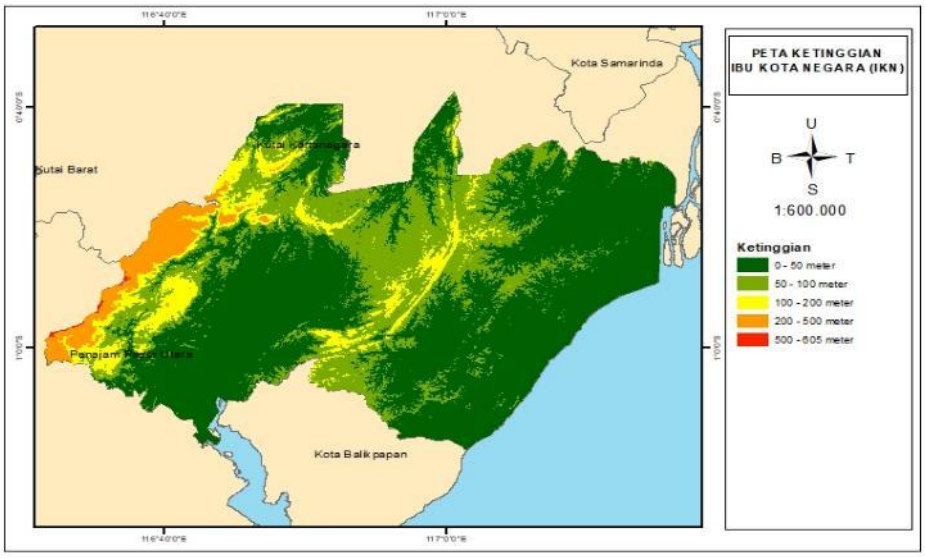
Peta Ketinggian

Ketinggian pada IKN dibagi menjadi menjadi lima (5) kelas (Jawad A et al, 2015) seperti yang tertera pada **Tabel 5**. Pada kelas ketinggian, jika semakin rendah suatu ketinggian tanah maka potensi untuk terbakar semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya. Potensi kebakaran dari variabel ketinggian ditentukan dengan nilai faktor. Sebagai visualisasi dapat dilihat di Peta Ketinggian pada **Gambar 7**.

Tabel 5. Klasifikasi Nilai Faktor berdasarkan Ketinggian IKN.

No	Ketinggian	Nilai Faktor
1	0 - 50 meter	5
2	50 - 100 meter	4
3	100 - 200 meter	3
4	200 - 500 meter	2
5	500 - 605 meter	1

Sumber: Jawad et al, 2015



Gambar 7. Peta Ketinggian IKN

Peta Lereng

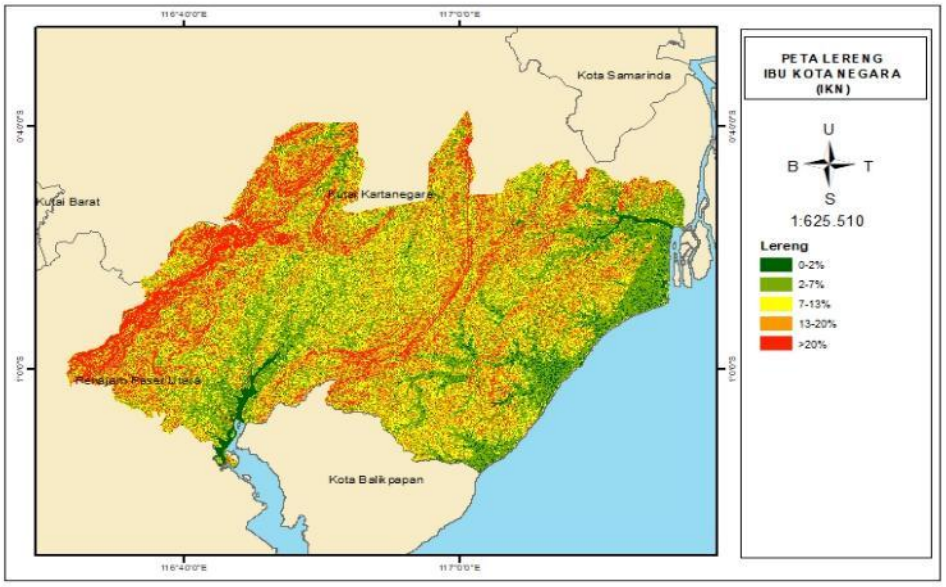
Pada klasifikasi lereng di wilayah IKN itu terbagi atas lima (5) kelas, seperti yang tertera pada **Tabel 6**. Menurut Erten pada tahun 2004, semakin tinggi persentase nilai lereng maka semakin

tinggi juga potensi terjadinya kebakaran, sehingga nilai faktornya juga semakin tinggi (**Tabel 6**). Lereng pada wilayah IKN divisualisasikan pada **Gambar 8** sesuai dengan klasifikasi Van Zuidam pada tahun 1979.

Tabel 6. Klasifikasi Nilai Faktor berdasarkan Lereng IKN

No	Lereng	Nilai Faktor
1	0 - 2%	1
2	2 - 7%	2
3	7 - 13%	3
4	13 - 20%	4
5	>20%	5

Sumber: Van Zuidam, 1983 dalam Geomorfologi 2020



Gambar 8. Peta Lereng IKN

Metode Overlay untuk Kerawanan Bencana Kebakaran

Metode overlay merupakan metode penggabungan data geometri dengan tumpang tindih pada aplikasi sistem informasi geografi (Esri, 1999). Metode yang digunakan yaitu *intersect* karena jenis keluaran dapat ditentukan sebagai Titik, Garis, atau Area ketika melintasi fitur garis atau area. Dimensi tipe geometri keluaran harus sama atau lebih kecil dari dimensi masukan dan *overlay*, dengan Titik=0 dimensi, Garis=1 dimensi, dan Luas=2 dimensi (Esri, 1999).

Skoring dan Penentuan Kelas Kerawanan Kebakaran

Skoring merupakan metode yang digunakan sebagai representasi tingkat kedekatan, keterkaitan, atau dampak tertentu secara spasial (S. Drobne, dan A.Lisec, 2009). Pada metode skoring didapat dari total penjumlahan nilai-nilai faktor dari setiap variabel. Kemudian total nilai faktor ditentukan kelas kerawanan kebakaran. Penentuan kelas kerawanan kebakaran di IKN dibagi menjadi empat (4) kelas (E N Sari, 2022). Penghitungan nilai batas jangkauan dalam satu kelas pada klasifikasi kerawanan kebakaran ditulis dengan rumus:

$$\text{rentang skor} = \frac{(X_{max} - X_{min})}{j} \quad \text{.....(1)}$$

Xmax: total skor tertinggi
Xmin: total skor terendah
j: merupakan banyak kelas

Rentang skor = (26 - 7)/4 = 4,75

Maka, hasil dari perhitungan rentang skor untuk klasifikasi kerawanan kebakaran pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Klasifikasi Rentang Tingkat Kerawanan IKN.

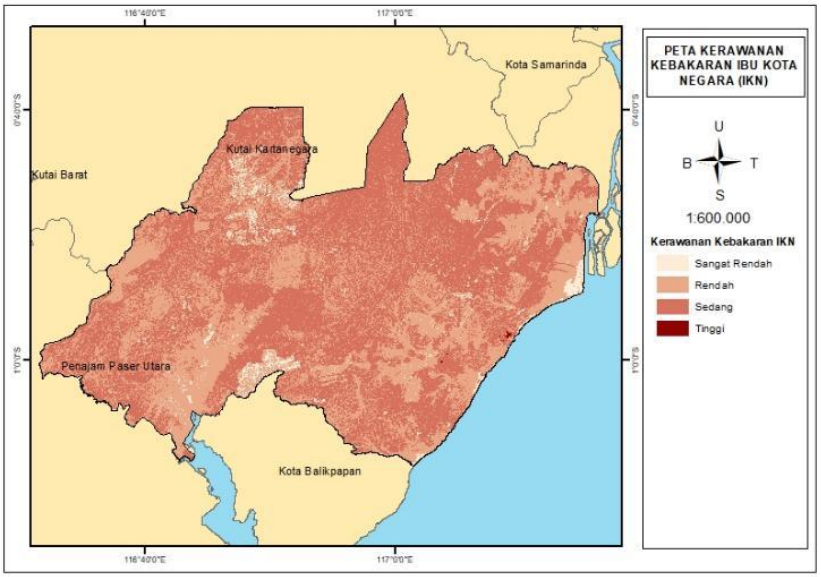
No	Rentang kerawanan	Tingkat kerawanan
1	7 - 11	Sangat Rendah
2	12 - 16	Rendah
3	17 - 21	Sedang
4	22 - 26	Tinggi

Sumber: Pengolahan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang telah diolah, dapat lihat bahwa ketinggian wilayah IKN & KI Muara Jawa terdiri atas 0 - 605 meter. Hal ini menunjukkan bahwa daerah calon IKN ini adalah wilayah dataran rendah, yang dibuktikan wilayah IKN & KI Muara Jawa dekat dengan pesisir pada **Gambar 9.** Pada gambar peta di bawah ini dapat dilihat, metode pembobotan dan tumpang susun (*overlay*) menunjukkan bahwa wilayah IKN & KI Muara Jawa memiliki 4 kelas rentang kerawanan kebakaran. Berdasarkan hasil analisis *overlay*, didapatkan hasil kerawanan bencana kebakaran pada **Tabel 8** berdasarkan tingkat kerawanan bencana kebakaran dan luas dalam hektar. Pada IKN tingkat kerawanan bencana kebakaran didominasi level sedang sebesar 140682.2 Ha atau lebih dari 55% luas tanah memiliki tingkat kerawanan sedang terhadap bencana kebakaran. Sebagai perbandingan dapat dilihat diagram batang pada **Gambar 10**.

Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah IKN & KI Muara Jawa termasuk kategori rawan terhadap kebakaran, kemudian wilayah tingkat kerawanan rendah ada sekitar 42.3 % dari luas seluruh wilayah, untuk urutan selanjutnya ada wilayah dengan tingkat kerawanan sangat rendah ada sekitar 2,6% dari seluruh wilayah dan kategori dengan persentase terendah adalah wilayah dengan tingkat kerawanan sebesar 0.33 % dari seluruh wilayah.

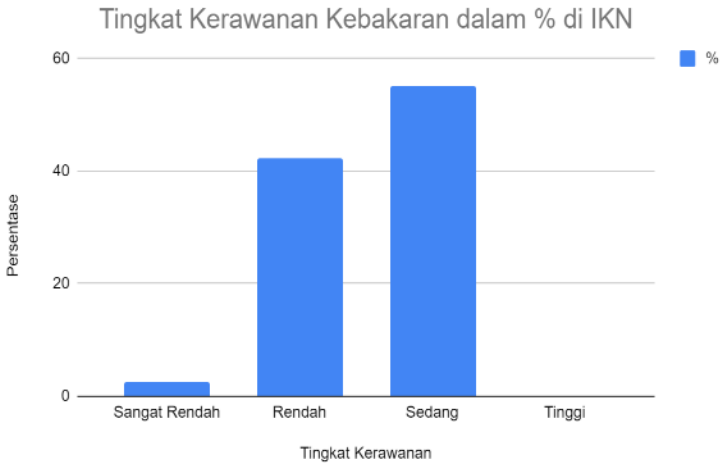


Gambar 9. Peta Kerawanan Kebakaran IKN

Tabel 8. Tingkat Kerawanan Bencana Kebakaran IKN.

Tingkat Kerawanan Kebakaran	Luas (Ha)	%
Sangat Rendah	6533.802828	2.560363907
Rendah	107888.3061	42.27757282
Sedang	140682.2447	55.12834579
Tinggi	86.04375094	0.03371747206
Total	255190.3974	

Sumber: Pengolahan data



Gambar 10. Diagram Batang Tingkat Kerawanan Kebakaran IKN

Selain itu, terdapat tabel tingkatan kerawanan bencana kebakaran berdasarkan klasifikasi tutupan lahan dengan luas dari hasil analisis pada **Tabel 9**.

Tabel 9 Tingkat Kerawanan Kebakaran IKN berdasarkan Tutupan Lahan.

Tutupan Lahan	Luas Berdasarkan Kerawanan Kebakaran (Ha)				
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Grand Total
Belukar		15883.3	69475.3	11.9193	85370.5
Belukar Rawa		2322.75	1145.31		3468.06
Hutan Lahan Kering Sekunder	0.190	1504.43	2156.6		3661.18
Hutan Mangrove Primer	324.297	1780.77			2105.07
Hutan Mangrove Sekunder		12926.2			12926.2
Hutan Rawa Sekunder		44.7253	4.54601		49.271
Hutan Tanaman	0.09499	20658.3	25402	0.671	46061.1
Permukiman		467.222	2926.22	72.5488	3465.9
Perkebunan		13348.1	3389.24		16737.3
Pertambangan	625.781	9797.2			10422.9
Pertanian Lahan Kering		1197.72	8451.73		9649.45
Pertanian Lahan Kering Campur		21730.8	20327.1	0.9043	42058.8
Sawah		65.9968	318.528		384.525
Tambak	1434.72	171.548			1606.27
Tanah Terbuka	4148.72	5621.92	0.00094		9770.64
Transmigrasi		367.436	7085.7		7453.13
Grand Total	6533.80	107888.3	140682.2	86.0438	255190.3

Pada tutupan lahan, Tanah Terbuka memiliki luas paling besar dengan tingkat kerawanan bencana kebakaran dengan level sangat rendah sebesar 4148.7 hektar. Kemudian, Pertanian Lahan Kering Campur merupakan tutupan lahan terluas pada kerawanan kebakaran dengan level rendah sebesar 21730.7 hektar. Lalu, tutupan lahan Belukar memiliki luas paling tinggi dengan tingkat kerawanan kebakaran sedang sebesar 69475.3 hektar. Permukiman merupakan tutupan lahan terluas yang memiliki tingkat kerawanan bencana kebakaran tinggi sebesar 72.5 hektar. Kerawanan bencana kebakaran tertinggi pada penggunaan lahan permukiman terjadi karena penjumlahan hasil skor dari beberapa variabel pendukung digabung menjadi satu.

KESIMPULAN

Berdasarkan HASIL DAN PEMBAHASAN penelitian in dapat disimpulkan bahwa lebih dari 50% (55.13%) tanah di wilayah IKN & KI Muara Jawa tergolong memiliki tingkat kerawanan bencana kebakaran yang "sedang". Tingkat kerawanan ini juga dipengaruhi oleh tutupan lahan di wilayah tersebut. Tutupan lahan dengan kerawanan bencana kebakaran "sangat rendah" yang paling luas adalah tanah terbuka, tutupan lahan dengan tingkat kerawanan "rendah" adalah pertanian lahan

kering campur, kemudian tutupan lahan dengan Tingkat kerawanan "sedang" adalah belukar dan tutupan lahan dengan kategori tinggi adalah permukiman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih banyak kepada seluruh peneliti, penulis, pemakalah yang karya karyanya telah menjadi referensi kami dalam penulisan dan penelitian kami ini. Kami sangat terbantu dalam menulis dan menyusun penelitian ini. Semoga penelitian ini memberikan manfaat dan kontribusi di dalam ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

E N Sari. (2022). Pemetaan Tingkat Kerawanan Kebakaran Hutan Kalimantan Barat Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Pontianak: Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster), Vol 11, No. 5 (2022), hal. 697 - 704

Erten, *et al.* (2004). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS: A case study. XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul

Esri. (1999). ArcGIS 9, Getting Started With ArcGIS. ESRI, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA

Jawad A. (2015). Zonasi Daerah Rawan Kebakaran Hutan dan Lahan di Kabupaten Kubu Raya Provinsi Kalimantan Barat. Pontianak: Jurnal Hutan Lestari (2015), Vol. 3 (1) : 88 – 97

S. Drobne, dan A.Lisec. (2009). "Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging," Informatica, hal.459-474.

Sabaraji, A. (2005}. Identifikasi Zona Rawan Kebakaran Hutan dan Lahan Dengan Aplikasi SIG di Kabupaten Kutai Timur. Universitas Mulawarman. Samarinda

Satpol PP. (2019). Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Timur, Nasib Ibu Kota Negara?. Satpol PP Kalimantan Timur. Retrieved: https://satpolpp.kaltimprov.go.id/516-2/ [2 April 2024]

Tanah Air Indonesia – BIG (2019). Retrieved: https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web [29 February 2024]

United Nations. (2004). Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives. United Nations publication Sales No.GV.E.03.0.2 (two-volume set), ISBN 92-1-101050-0 (two-volume set), Geneva, Switzerland

Van Zuidam, R.A, dan F.I. Van Zuidam Cancelado. (1979). Terrain Analysis and Classification using Aerial Photographs, International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC) 350, Boulevard Al Enschede, The Netherlands.

KAJIAN KERENTANAN BANJIR BERBASIS SPASIAL

Studi Kasus di Wilayah Ibu Kota Nusantara

(Spatial-based Flood Vulnerability Assessment. Case Study in Nusantara Capital Area)

Irman Lukmana, Rizal Imana, Purnama Graha
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB University

Jl. Perwira No.6 Babakan, Dramaga, Bogor, Jawa Barat
E-mail: irmanlukmana@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Banjir dapat menjadi ancaman serius bagi sebuah wilayah termasuk untuk di Ibu Kota Nusantara. Urgensi pemindahan ibu kota dari Jakarte ke Penajam Paser Utara didasarkan karena potensi bencana yang rendah. Meski demikian hal tersebut perlu dikaji ulang untuk mengetahui bagaimana risiko banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana bahaya dan kerentanan bencana banjir sehingga dapat menjadi perhatian utama dalam upaya mitigasi dan penanggulangan risiko bencana. Tujuan akhir dari penelitian ini terciptanya peta risiko bencana banjir di wilayah perencanaan Ibu Kota Nusantara. Metode dalam penelitian ini menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk membobot dan membandingkan antar indikator. Berdasarkan penelitian ini paramater curah hujan menjadi indikator paling tinggi dalam parameter bahaya banjir dengan bobot 31,12%. Sedangkan pada parameter kerentanan, Land Use Land Cover (LULC) menjadi indikator paling tinggi dengan bobot 41%. Hasil *weighted overlay* dengan menggabungkan parameter bahaya dan kerentanan banjir didapatkan bahya risiko banjir di Ibu Kota Nusantara dalam kategori rendah dengan persentase 53,30% dengan luas sebesar 135.653,67 hektar.

Kata kunci: Analytical Hierarchy Process, banjir, risiko bencana, IKN

ABSTRACT

Flooding can be a serious threat to an area including the capital city of the archipelago. The urgency of moving the capital city from Jakarte to Penajam Paser Utara is based on its low disaster potential. However, this needs to be reviewed to find out how the risk of flooding in the Capital City of the Archipelago. The purpose of this research is to find out how the hazards and vulnerabilities of flood disasters so that they can become the main concern in disaster risk mitigation and management efforts. The final goal of this research is the creation of a flood disaster risk map in the planning area of the Capital City of the Archipelago. The method in this research uses Analytical Hierarchy Process (AHP) to weight and compare between indicators. Based on this research, the rainfall parameter is the highest indicator in the flood hazard parameter with a weight of 31.12%. While in the vulnerability parameter, Land Use Land Cover (LULC) is the highest indicator with a weight of 41%. The results of weighted overlay by combining flood hazard and vulnerability parameters obtained that the flood risk in the Capital City of the Archipelago is in the low category with a percentage of 53.30% with an area of 135,653.67 hectares.

***Keywords**: flood, disaster risk, spatial, IKN*

PENDAHULUAN

Pemindahan Ibu Kota Indonesia dari Jakarta ke Penajam Paser Utara (PPU) didasarkan karena berbagai aspek, salah satunya potensi bencana. Banjir, abrasi dan polusi menjadi ancaman serius yang dihadapi oleh kota seperti Jakarta (Purnama dan Chotib, 2022). Sehingga urgensi dipindahkannya ibu kota ke Penajam Paser Utara dikarenakan wilayah tersebut minim risiko bencana terutama banjir (Aziz, 2019). Namun kondisi tersebut tidak sepenuhnya benar, beberapa desa di Kecamatan Sepaku, Kabupaten PPU menurut Herlambang (2022), mengalami banjir yang diakibatkan curah hujan yang tinggi. Ketiga desa tersebut yakni Desa Sukaraja, Desa Tengin Baru dan Desa Karang Jinawi. Kejadian ini juga disebabkan oleh sistem drainase yang belum terbangun secara baik.

Bahkan peneliti dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) memprediksikan akan terjadi banjir di Ibu Kota Nusantara. Hal ini disampaikan oleh Eddy Hermawan yang menyatakan jika IKN

akan mengalami banjir yang disebabkan karena adanya pergerakan semu matahari di garis ekuator atau biasa disebuat ekuinoks. Fenomena ini akan menyebabkan hujan selama tiga hari sehingga memungkinkan wilayah di IKN akan terendam banjir (Purnama, 2024).

Menurut Syukur (2021) bencana banjir diakibatkan curah hujan yang tinggi pada wilayah tersebut dan tidak diimbangi dengan pembuangan yang baik, hal inilah yang menyebakan banjir merendam beberapa wilayah. Senada dengan hal itu, Kodoatie (2013), menjelaskan bahwa banjir dapat diakibatkan oleh peristiwa alam dan juga oleh aktifitas manusia. Selain itu bencana banjir juga dapat diakibatkan karena kondisi alam dan aktifitas manusia secara bersamaan.

Risiko bencana banjir ini dapat dihitung dengan menggunakan teknik pemetaan. Menurut Muttaqin *et al.* (2023) teknik yang dapat dilakukan yakni dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dapat memproses data dari berbagai sumber agar analisi dapat dilakukan secara efisien. Penggunaan SIG ini juga dilakukan untuk menganalisi yang didasarkan kriteria yang telah ditentukan sebekumnya, hal ini akan meningkatkan ketepatan dalam menganalisis risiko banjir.

Penilaian risiko banjir ini juga dapat dintegrasikan dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode ini kerap digunakan untuk menghitung skala rasio dan pembobotan, penggunaan AHP yang dintegrasikan dengan SIG sudah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti untuk mengkaji risiko banjir pada berbagai wilayah (Mokhtari *et al*, 2023).

Tujuan dari penelitian ini adalah (i) untuk mengetahui bagaimana risiko banjir pada wilayah Ibu Kota Nusantara dan (ii) membuat peta risiko banjir Adapun pendekatan yang dilakukan menggunakan dua paramater, yaitu: bahaya dan kerentanan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pedoman berbagai pihak dalam pengambilan keputusan dalam pengelolaan Ibu Kota Nusantara yang bebas banjir dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Ibu Kota Nusantara, Kabupaten PPU, Provinsi Kalimantan Timur dengan wilayah mengacu pada Undang-undang Nomor 3 Tahun 2022. Adapun data dan sumber data yang digunakan pada penelitian ini mencakup dua paramater, yaitu: parameter bahaya dan kerentanan. Data dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data yang telah disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data dan Sumber Data

Data	Sumber	Tahun
Bahaya (Hazard)		
Curah Hujan	Basisdata Sistem Lahan BIG Skala 1:50.000	2017
Elevasi	Pengolahan Data dari DEM SRTM	2024
Slope	Pengolahan Data dari DEM SRTM	2024
Kedekatan dengan Sungai	Pengolahan dari RBI Skala 1:5000 Badan Informasi Geospasial	2019
Modified Normalized Difference Water Indeks (MNDWI)	Pengolahan dari Citra Satelit Landsat 8 OLI Surface Reflectance	
Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI)	Pengolahan dari Citra Satelit Landsat 8 OLI Surface Reflectance	
Kerentanan (Vurnebility)		
Populasi	Pengolahan data dari BPS	2018
Penduduk Anak-anak dan Manula	Pengolahan data dari BPS	2019
Penggunaan Lahan (LULC)	Pengolahan dari RBI Skala 1:5000 Badan Informasi Geospasial	2019
Kedekatan dengan Jalan	Pengolahan dari RBI Skala 1:5000 Badan Informasi Geospasial	2020
Kedekatan dengan Fasilitas Kesehatan	Pengolahan dari RBI Skala 1:5000 Badan Informasi Geospasial	2021

Data yang didapatkan kemudian diolah menggunakan bantuan software ArcGIS untuk mendapatkan peta dari parameter bahaya dan paramater kerentanan. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Penggunaan metode AHP dimaksudkan untuk memberikan bobot penilaian yang berbeda pada setiap parameter. Setelah dilakukan pembobotan menggunakan metode AHP, selanjutnya diterapkan *weighted overlay* menggunakan software ArcGis untuk menghasilkan tingkatan risiko banjir.

Pada tahap akhir dalam penelitian ini terciptanya peta risiko banjir yang merupakan penggabungan dari dua parameter yang telah diolah sebelumnya, rumus yang digunakan untuk membuat peta risiko banjir dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Risk (R)} = \text{Hazard (H)} \times \text{Vurnebility (V)} \quad \text{.....(1)}$$

dimana:
R = risiko
H = bahaya
V = kerentanan

HASIL DAN PEMBAHASAN

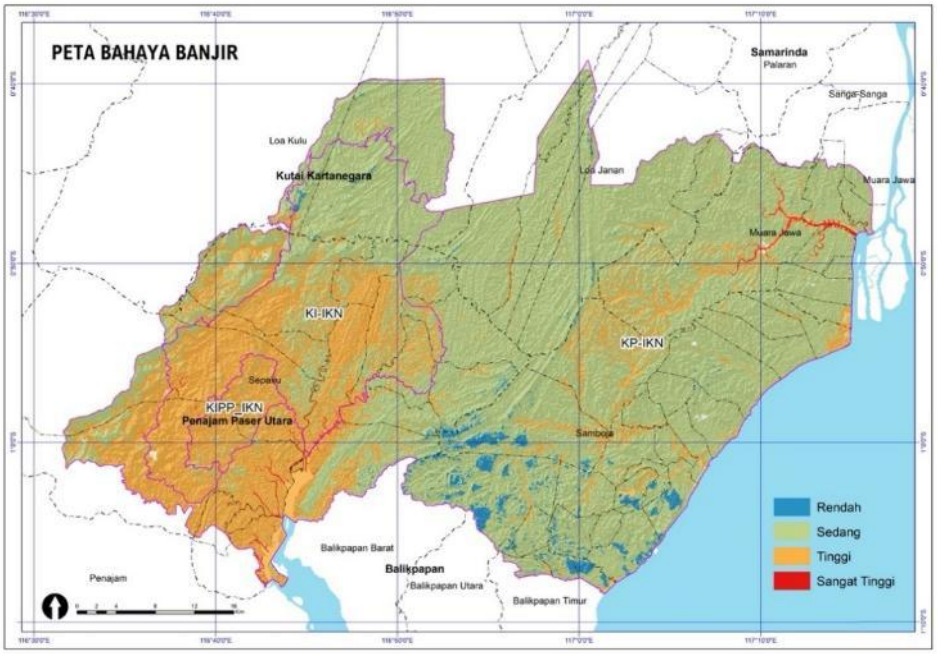
Peta Bahaya Banjir

Ada 6 indikator yang dilakukan pembobotan dan pembandingan pada parameter bahaya banjir, yaitu: curah hujan, elevasi, MNDWI, slope , NDVI dan kedekatan dengan sungai. Adapun hasil pembobotan dan pembandingan bahaya banjir tersaji sesuai dengan **Tabel 2**.

Tabel 2. Matrix Bahaya Banjir.

	Curah Hujan	Elevasi	MNDWI	Slope	NDVI	Kedekatan dengan Sungai	Bobot (persen)
Curah Hujan	1	1 3/4	4	2 2/3	1 5/8	3 1/5	31,12
Elevasi	4/7	1	1 5/8	5/7	1 5/8	1	15,27
MNDWI	1/4	3/5	1	1/2	2/7	2/7	6,26
Slope	3/8	1 3/8	2	1	1/3	6/7	12,07
NDVI	3/5	3/5	3 3/8	3 1/5	1	2/3	18,51
Kedekatan dengan Sungai	1/3	1 1/9	3 5/9	1 1/6	1 1/2	1	16,76

Hasil dari pembobotan dan pembandingan menunjukkan jika indikator curah hujan menjadi indikator dengan bobot yang paling tinggi dengan nilai 31,12%. Bencana banjir memang identik dengan curah hujan yang tinggi pada daerah yang terkena bencana tersebut. Menurut Purnama dan Chotib (2022) memang daerah Kalimantan Timur memiliki potensi bencana alam yang cukup tinggi. Tercatat pada tahun 2022 Kalimantan Timur mengalami kejadian banjir sebanyak 343 kasus. Curah hujan yang tinggi ini memang menjadi penyebab utama, menurut Herlambang (2022) curah hujan yang terpantau dan tertangkap pada data meterologi dari pengamatan Bandara Sepinggan, Balikpapan menunjukkan jika air hujan jatuh di wilayah perbukitan sebelah barat yang menyebabkan air mengalir ke anak sungai yang bermuara di Sungai Penajam. Debit air yang mengalir diperkirakan antara 1.000-4.000 liter/detik.



Sumber: Hasil pengolahan data (2024)

Gambar 26. Peta Bahaya Banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara.

Berdasarkan **Gambar 1**, bahaya banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara relatif dalam kategori sedang. Namun jika dilihat pada Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) bahaya banjir relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan kawasan lainnya. Kawasan yang berada di daerah Penajam Paser Utara ini memang memiliki problem banjir yang disebabkan kondisi eksisting wilayah tersebut. Menurut Yanti *et al* (2023) faktor utama banjir di daerah tersebut dikarenakan curah hujan yang tinggi dengan rata-rata curah hujan sebesar 300 mm.

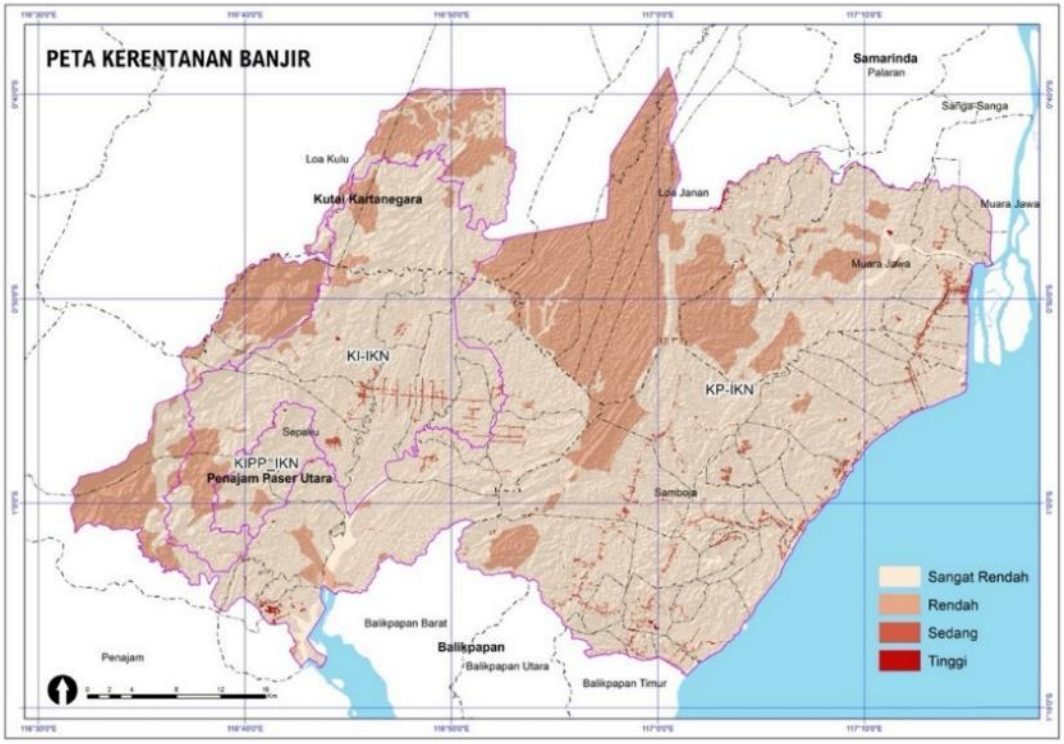
Peta Kerentanan Banjir

Terdapat 5 indikator yang digunakan dalam menentukan kerentanan banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara, diantaranya: populasi, penduduk anak dan manula, land use land cover (LULC), jarak ke Rumah Sakit dan jarak ke jalan. Seperti halnya pada parameter bahaya, pada paramater kerentaran dilakukan pembobotan dan penghitungan antar indikator dengan hasil seperti yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Matrix Kerentanan Banjir

	Populasi	Penduduk anak dan manula	LULC	Jarak ke RS	Jarak ke Jalan	Bobot (persen)
Populasi	1	2 1/4	1/3	2	2 6/7	22,88
Penduduk anak dan manula	4/9	1	4/9	3/5	1 ½	12,13
LULC	3 1/3	2 1/4	1	2	4 1/5	41,00
Jarak ke RS	1/2	1 5/8	1/2	1	1 1/3	15,03
Jarak ke Jalan	1/3	2/3	1/4	3/4	1	8,95

Berdasarkan hasil pembobotan dan penghitungan pada kelima indikator diatas, didapatkan bobot yang paling tinggi yakni land use land cover (LULC) dengan bobot 41%. LULC atau yang biasa disebut perubahan penggunaan lahan dan penutupan lahan merupakan bagian dari dinamika alam dan aktifitas manusia. Laksmi (2020) menyatakan jika perubahan penggunaan lahan ini memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap bencana banjir, seperti misalnya yang terjadi di Kota Pekalongan selama 20 tahun terakhir menyebabkan terjadinya banjir pada beberapa area.



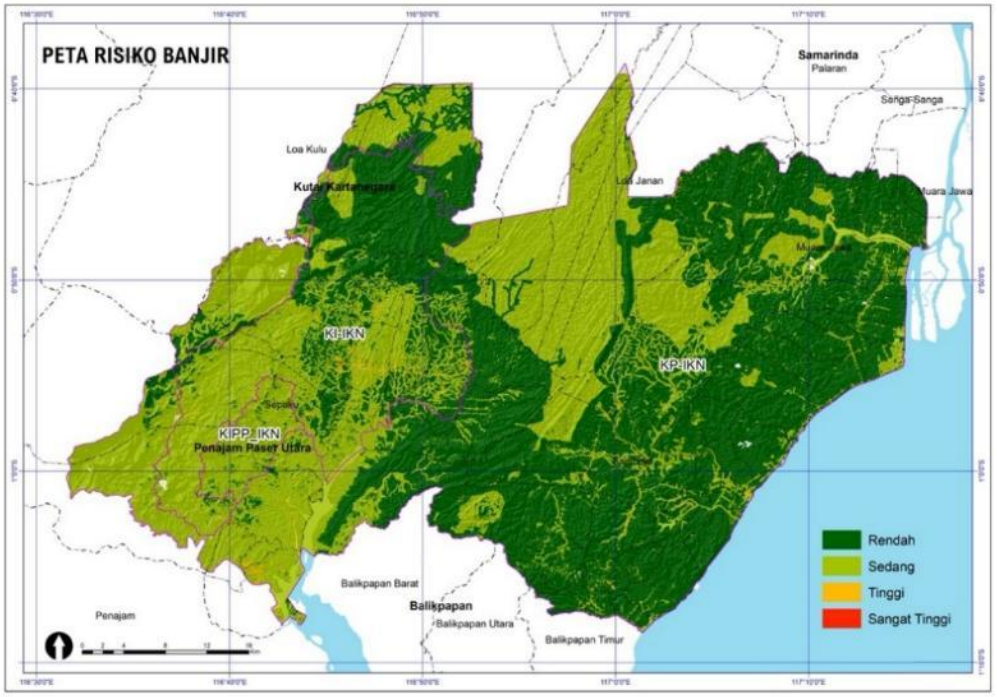
Sumber: Hasil pengolahan data (2024)

Gambar 2. Peta Kerentanan Banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara.

Berdasarkan **Gambar 2**, kerentanan banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara dikategorikan sangat rendah pada hampir seluruh wilayah.

Peta Risiko Banjir

Peta risiko banjir disajikan setelah didapatkan peta bahaya dan kerentanan banjir. Setelah dilakukan *weighted overlay* pada dua peta yakni bahaya dan kerentanan banjir didapatkan peta seperti yang disajikan pada **Gambar 3**.



Sumber: Hasil pengolahan data (2024)

Gambar 3. Peta Risiko Banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara.

Berdasarkan **Gambar 3**, secara keseluruhan risiko banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara dikategorikan memiliki risiko rendah, meski demikian pada Kawasan inti Pusat Pemerintahan risiko banjir dikategorikan dalam risiko sedang. Hanya pada beberapa daerah saja memiliki risiko tinggi dan sangat tinggi. Hal ini dapat dilihat berdasarkan **Tabel 4.**

Tabel 4. Luasan risiko banjir di wilayah Ibu Kota Nusantara

Risiko Banjir	Luas dalam ha	Persentase (%)
Rendah	135.653,67	53,30726
Sedang	117.301,70	46,09556
Tinggi	1.517,52	0,59633
Sangat Tinggi	2,14	0,00008
Total	254.475,03	100

Berdasarkan **Tabel 4**, risiko banjir yang terjadi di wilayah Ibu Kota Nusantara memiliki persentase rendah yakni 53,30% dengan luasan 135.653,67 hektar. Sedangkan persentase risiko banjir dengan kategori sedang sebesar 46,09% dengan total luasan 117.301,70 hektar. Sedangkan sisanya risiko banjir dengan kategori tinggi memiliki persentase yang kecil yakni 0,59% dengan luasan 1.517,52 hektar dan risiko banjir dengan kategori sangat tinggi di bawah 0,1 persen dengan luasan hanya 2,14 hektar.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan curah hujan menjadi indikator paling tinggi yang menyebabkan bahaya banjir dengan bobot 31,12% dengan memiliki bahaya banjir tinggi pada Kawasan Inti Pemerintahan Pusat (KIPP). Sedangkan LULC menjadi indikator paling tinggi penyebab kerentanan banjir dengan bobot 41% dengan kategori rata-rata kerentanan banjir sangat rendah. Hasil *weighted overlay* yang dilakukan dengan menggabungkan parameter bahaya dan kerentanan didapatkan bahya risiko banjir di Ibu Kota Nusantara dalam kategori rendah dengan persentase 53,30% dengan luas sebesar 135.653,67 hektar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada berbagai pihak yang sudah membantu dalam penelitian ini. Pertama, kami sampaikan terimakasih kepada Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB University yang telah memfasilitasi penelitian sehingga dapat berjalan dengan lancar. Selanjutanya, disampaikan terimakasih kepada para responden yang telah membantu dalam kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, N.L.L. (2019). Relokasi Ibu Kota Negara: Lesson Learned Dari Negara Lain. *Jurnal Kajian Wilayah*, 10: 37-64.

Herlambang, A. (2022). Estimasi Potensi Air Tanah Penajam Untuk Mendukung Kebutuhan Air Bersih IKN di Penajam Kalimantan Timur. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 16(2):1-11.

Kodoatie, R.J. (2013). *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. ANDI: Yogyakarta.

Laksmi, G.S. (2020). *Dampak Alih Fungsi Lahan dan Curah Hujan terhadap Banjir di Kota Pekalongan, Jawa Tengah*. Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8. 20 Oktober 2020. Palembang, Indonesia.

Mokhtari, E. Mezali, F. Abdelkebir, B. Engel, B. (2023). Flood risk assesment using analytical hierarchy process: A case study from the Cheliff-Ghrib watershed, Algeria. *Water & Climate Change*, 14(3): 694-711. DOI: 10.2166/wcc.2023.316

Muttaqin, D.A. Hidayah, E. Halik, G. (2023). Penilaian Risiko Banjir dengan Pendekatan Rasio Frekuensi dan AHP di Sub-DAS Jompo, Jember Jawa Timur. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*. 21(1): 47-54.

Purnama S.J. Chotib. (2022). Analisis Kebijakan Publik Pemindahan Ibu Kota Negara. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*, 13(2): 155-168.

Purnama, S. 2024. BRIN: *Waspada potensi banjir di IKN pada pertengahan Maret 2024*. https://www.antaranews.com/berita/3975642/brin-waspada-potensi-banjir-di-ikn-pada-pertengahan-maret-2024. [5 April 2024].

Syukur, A. (2021). *Buku Pintar Penanggulangan Banjir*. Diva Press: Yogyakarta.

Yanti, R.M.K. Patriadi, A. Rompis, N.A. Wahab, M.F. (2023). Potensi Penurunan Debit Banjir di Sungai Sepaku Akibat Pembangunan Bendungan Sepaku Semoi. *Jurnal Extrapolasi*, 20(2): 151-165.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMETAAN DAERAH RAWAN LONGSOR DAN PEMETAAN DAERAH PENGUNGSIAN PADA KAWASAN IBU KOTA NUSANTARA MENGGUNAKAN METODE SKORING DAN *OVERLAY*

Studi Kasus: Kawasan Inti Ibu Kota Nusantara

(Mapping of Landslides Prone Areas and Mapping of Refugee Areas in The Nusantara Capital Area Using Scoring and Overlay Methods. Case Study: Nusantara Core Area)

Muhammad Syahmi Syihabuddin, Artanty Basilia Ambarwati, Muhammad Irfan Ali, Fikri Algifahri, Teguh Budiman

Sains Informasi Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial,
Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No.229, Bandung, 40154, Indonesia
Email: musamiss@upi.edu

ABSTRAK

Indonesia yang terletak di Asia Tenggara terkenal rawan bencana alam. Kalimantan Timur, yang diusulkan sebagai lokasi ibu kota baru, memiliki risiko bencana alam yang relatif rendah. Namun, pembangunan ibu kota baru bisa meningkatkan risiko tanah longsor. Kajian ini bertujuan mengkaji kemungkinan terjadinya longsor dan titik evakuasi di kawasan potensial ibu kota baru. Penelitian dilakukan di Kalimantan Timur, daerah yang direncanakan menjadi ibu kota baru Indonesia. Meski risiko bencana alam rendah, banjir dan tanah longsor tetap perlu diwaspadai. Pengolahan data menggunakan data GIS, DEM/SRTM, Landsat 8 dan Chirps untuk mengukur curah hujan. Data tambahan diperoleh dari situs FAO Geoportal. Hasil penelitian menghasilkan peta wilayah rawan longsor di Kalimantan Timur, khususnya di Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Parameter yang digunakan meliputi kemiringan lereng, jenis tanah, tutupan lahan dan curah hujan. Kecamatan Penajam mempunyai jumlah penduduk tertinggi di Kabupaten Penajam Paser Utara. Tanah fluvisol dinilai sangat rentan terhadap longsor karena strukturnya didominasi pasir dan debu. Kawasan tanpa vegetasi seperti pemukiman dan lahan terbuka mempunyai risiko tinggi terjadinya longsor. Curah hujan yang tinggi juga meningkatkan kejenuhan tanah dan risiko tanah longsor. Hasil akhir dianalisis dengan metode Index Story dan ditampilkan pada peta rawan longsor. Analisis data lapangan menunjukkan bahwa kemiringan lereng, curah hujan, tutupan lahan dan jenis tanah semuanya sangat baik. Kawasan tengah IKN tergolong terlindungi dari longsor, sebagian besar wilayah mempunyai tingkat kerentanan sangat rendah hingga rendah. Hal ini menjadikan IKN sebagai lokasi ideal untuk mengungsi dari risiko longsor.

Kata Kunci : DEM, Citra Landsat 8, Skoring, dan Overlay

ABSTRACT

Indonesia, located in Southeast Asia, is notoriously prone to natural disasters. East Kalimantan, the proposed location of the new capital city, has a relatively low risk of natural disasters. However, the construction of a new capital city could increase the risk of landslides. This study aims to assess the likelihood of landslides and evacuation points in potential new capital city areas. The study was conducted in East Kalimantan, the area planned to be Indonesia's new capital city. Although the risk of natural disasters is low, floods and landslides still need to be watched out for. Data processing used GIS, DEM/SRTM, Landsat 8 and Chirps data to measure rainfall. Additional data was obtained from the FAO Geoportal site. The results of the study produced a map of landslide prone areas in East Kalimantan, especially in Penajam Paser Utara and Kutai Kartanegara districts. The parameters used include slope, soil type, land cover and rainfall. Penajam sub-district has the highest population in Penajam Paser Utara district. Fluvisol soil is considered very vulnerable to landslides because its structure is dominated by sand and dust. Areas without vegetation such as settlements and open land have a high risk of landslides. High rainfall also increases soil saturation and the risk of landslides. The final results were analyzed by Index Story method and displayed on the landslide prone map. Field data analysis showed that slope, rainfall, land cover and soil type are all very good. The central area of IKN is classified as protected from landslides, most areas have very low to low vulnerability levels. This makes IKN an ideal location to evacuate from the risk of landslides. Translated with DeepL.com (free version).

Keywords : *DEM, Landsat 8 Imagery, Scoring, and Overlaying*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara di Asia Tenggara yang secara geografis dan juga geologis dikatakan sebagai daerah yang rawan bencana. Hal ini berkaitan dengan letak Indonesia yang berada di antara pertemuan tiga lempeng besar dunia. Berbagai bencana alam layaknya gempa bumi, tsunami, banjir, tanah longsor, angin puting beliung, dan letusan gunungapi hampir pernah melanda seluruh penjuru negeri.

Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi bencana alam adalah Provinsi Kalimantan Timur. Wilayah ini dikatakan berpotensi terhadap bencana geologi, vulkanologi, hidrometeorologi, dan bencana alam lainnya. Namun, menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNBP), provinsi Kalimantan Timur memiliki angka yang paling rendah terhadap potensi kerawanan bencana alam di Indonesia.

Rendahnya angka kerawanan bencana di Provinsi Kalimantan Timur menjadi salah satu pendorong pemerintah memutuskan untuk memindahkan ibu kota negaranya ke Kabupaten Penajam Paser Utara yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Ibu kota negara yang kini sedang dalam proses pembangunan tersebut dinamakan Ibu Kota Nusantara (IKN).

Letak Ibu Kota Nusantara dijelaskan secara geografis dalam Undang-Undang tentang Ibu Kota Negara Pasal 6, yakni sebagai berikut:

- Bagian Utara: Berada pada 117° 0' 31.292" Bujur Timur dan 0° 38' 44.912" Lintang Selatan.
- Bagian Selatan: Terletak pada 117° 11' 51.903" Bujur Timur dan 1° 15' 25.260" Lintang Selatan.
- Bagian Barat: Berada pada 116° 31' 37.728" Bujur Timur dan 0° 59' 22.510" Lintang Selatan.
- Bagian Timur: Terletak pada 117° 18' 28.084" Bujur Timur dan 1° 6' 42.398" Lintang Selatan.

Adapun wilayah ibu kota baru ini dibatasi oleh:

- Di Selatan, berbatasan dengan Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara, Teluk Balikpapan; Kecamatan Balikpapan Barat; Kecamatan Balikpapan Utara; dan Kecamatan Balikpapan Timur, Kota Balikpapan.
- Di Barat, berbatasan dengan Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara; dan Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara.
- Di Utara, berbatasan dengan Kecamatan Loa Kulu, Kecamatan Loa Janan, dan Kecamatan Sanga-Sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara.
- Di Timur, berbatasan dengan Selat Makassar.

Meski berdasarkan letak geografis tersebut IKN dinilai memiliki bencana alam yang cukup rendah, namun setiap bencana yang terjadi baik skala kecil maupun besar akan tetap menghasilkan dampak terhadap masyarakat. Selain itu, pembangunan ibu kota baru tentu membutuhkan banyak pembebasan lahan. Seiring waktu, hal tersebut dapat memperbesar resiko terjadinya bencana alam, termasuk tanah longsor.

Berangkat dari kekhawatiran tersebut, pada penelitian kali ini kami mengkaji dan memetakan wilayah yang memiliki potensi terjadinya tanah longsor serta titik-titik pengungsian di wilayah IKN. Penelitian ini juga dapat menjadi salah satu bentuk kesiapsiagaan terhadap proses penanganan bencana, sehingga tidak hanya berfokus pada respon pasca bencana saja.

Tanah Longsor merupakan salah satu jenis pergerakan massa tanah ataupun batuan maupun keduannya menuruni lereng akibat terganggunya kestabilan bagian penyusun lereng tersebut. Menurut Karnawati 2005 sebenarnya longsoran merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah maupun batuan ataupun bahan rombakan yang menuruni lereng.

Terdapat berbagai pemicu yang dapat menyebabkan tanah longsor, mulai dari adanya penggundulan hutan, erosi, gempa bumi, hingga aktivitas gunung berapi. Namun, yang paling umum menjadi pemicunya adalah curah hujan yang tinggi serta kemiringan lereng suatu daerah.

Dikutip dari BPBD Kabupaten Bogor, proses terjadinya tanah longsor umumnya bermula dari air hujan yang meresap ke dalam tanah melalui retakan-retakan tanah kemudian air hujan tersebut memenuhi rongga serta menambah bobot tanah. Ketika hal tersebut terjadi, maka tanah

akan mengalami proses pergeseran. Pergeseran tanah tersebut menyebabkan erosi tanah yang kemudian dapat menyebabkan longsor.

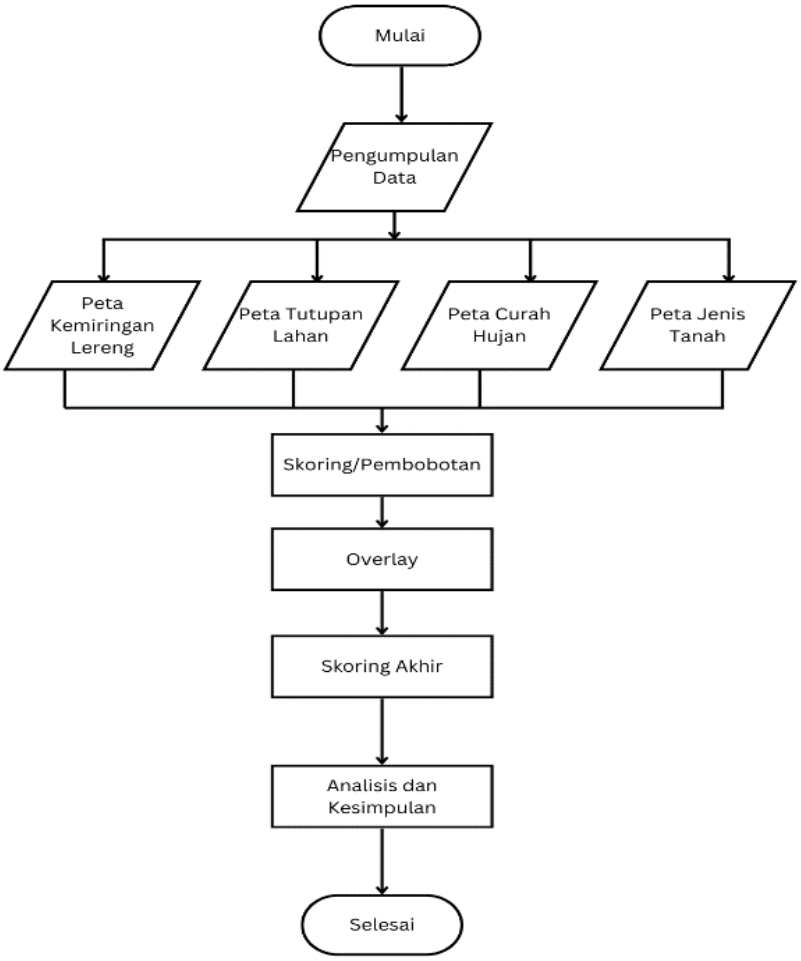
METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Provinsi Kalimantan Timur tepatnya berada di sebagian Kabupaten Penajam Paser Utara dan sebagai Kabupaten Kutai Kartanegara yang mana wilayah ini merupakan wilayah yang nantinya akan dijadikan Ibu Kota baru bagi Negara Indonesia. Tingkat risiko pada wilayah Kalimantan Timur yang tergolong rendah, tentunya tidak menjamin terlepasnya Kalimantan dari risiko bencana yang ada, karena rendah bukan berarti tidak ada. Sebuah penelitian oleh Brackenridge *et al.* (dalam Arofiati, 2020). Disamping hal itu bencana yang sering terjadi di Kalimantan Timur ini adalah banjir, secara umum bencana di Indonesia menjadi studi kasus yang sampai sekarang belum bisa terselesaikan secara utuh, bukan hanya banjir, risiko bencana longsor di Kalimantan Timur juga perlu diwaspadai sebab tidak menutup kemungkinan bahwa bencana lainnya akan muncul.

Prosedur Penelitian

Pengolahan data menggunakan aplikasi GIS memudahkan untuk mengolah dan memproyeksikan data yang ada. Berbagai macam data yang diolah dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian ini. Data dasar yang digunakan untuk pengolahan data ini adalah DEM/SRTM dan Citra Landsat 8. dan juga data *Chirps* untuk pengolahan peta curah hujan. Sementara Untuk data lainnya Kami dapatkan dari berbagai sumber seperti situs ina geoportal FAO dan lainnya. Berikut merupakan Bagan Alir dari proses peneilitian ini.



Gambar 1. Tahapan Pengolahan Data Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menghasilkan Peta Daerah Rawan Longsor di Kalimantan Timur tepatnya di sebagian Kabupaten Penajam Paser Utara dan sebagai Kabupaten Kutai Kartanegara.

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Kabupaten Penajam Paser Utara memiliki jumlah penduduk sebanyak 178,681 jiwa pada tahun 2020 dengan kepadatan penduduk mencapai 54 jiwa/km^2. Dari seluruh kecamatan yang ada di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kecamatan Penajam memiliki jumlah penduduk tertinggi yaitu sebanyak 86.040 Jiwa. Adapun data jumlah penduduk yang ada di Kabupaten Penajam Paser Utara.

Tabel 1. Jumlah Penduduk Berdasarkan Jenis Kelamin di Kabupaten Penajam Paser Utara.

Kecamatan	Jumlah Penduduk		
	Laki-Laki	Wanita	Jumlah
Babulu	18.769	17.431	36.200
Waru	10.420	9.664	20.084
Penajam	44.594	41.446	86.040
Sepaku	18.723	17.634	36.357
Jumlah	92.506	86.175	178.681

Sumber: BPS Kabupaten Penajam Paser Utara (2020)

Parameter Rawan Longsor

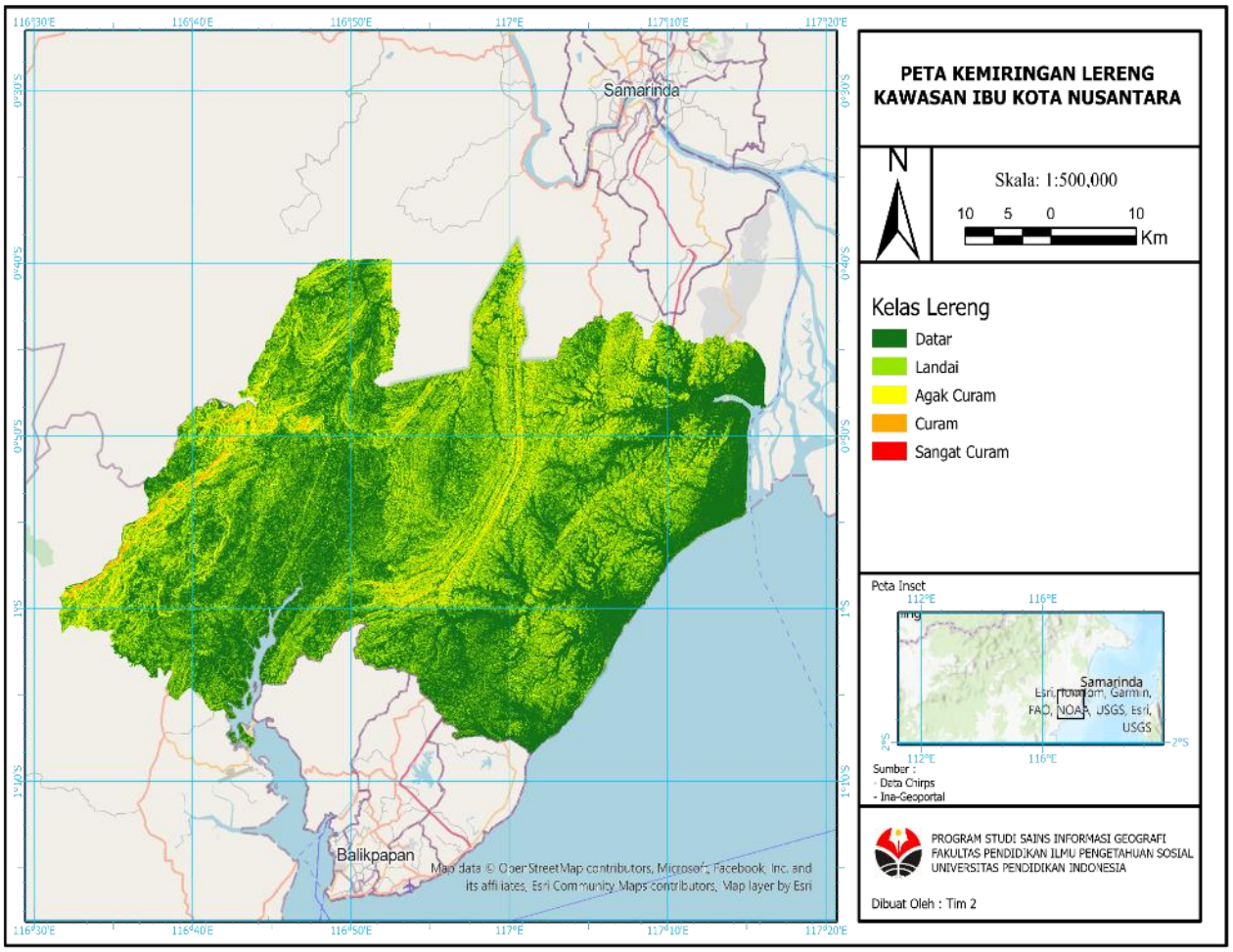
Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng yang cukup curam dapat menyebabkan pergerakan tanah yang mengakibatkan terjadinya longsor. Data kemiringan lereng ini didapatkan dari data DEM (*Digital Elevation Model*). DEM adalah data citra radar yang memungkinkan peneliti untuk mengkaji wilayah yang tidak memungkinkan untuk didatangi oleh manusia.Kelas Kemiringan lereng kami mengacu pada Penanganan Khusus Kawasan Puncak "Kriteria Lokasi & Standar Teknik", Dept. Kimpraswil dalam Permen PU, 2007 yang ditampilkan pada tabel berikut serta dengan pembobotan yang kami berikan

Tabel 2. Klasifikasi Kemiringan Lereng.

No	Kemiringan Lereng	Kelas Lereng	Skor
1	0-8 %	Datar	1
2	8-15%	Landai	2
3	15-25%	Agak Curam	3
4	25-45%	Curam	4
5	>45%	Sangat Curam	5

Semakin tinggi nilai skor maka akan semakin berpengaruh terhadap terjadinya bencana longsor dan telah divisualisasikan dengan peta di bawah ini.



Gambar 2. Peta Kemiringan Lereng Kawasan Ibu Kota Nusantara

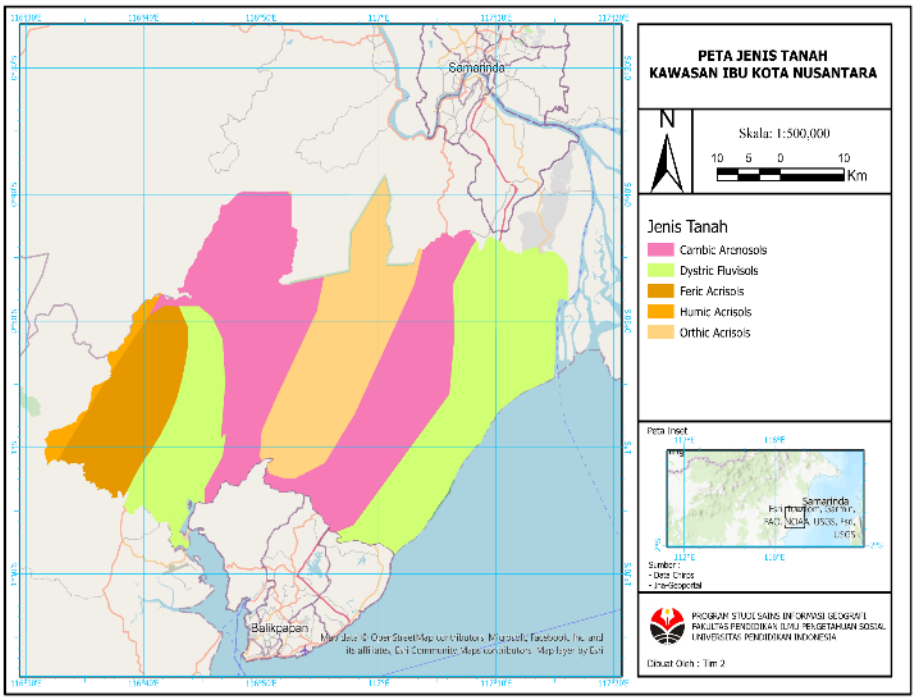
Jenis Tanah

Selanjutnya ada Parameter jenis tanah jenis tanah ini juga berpengaruh terhadap terjadinya bencana Longsor, yang menjadi acuan terhadap nilai skoring adalah karakteristik hingga usia jenis tanah tersebut, berikut merupakan tabel skoring terhadap jenis tanah.

Tabel 3. Klasifikasi Jenis Tanah.

No	Jenis Tanah	Skor
1	Cambic Arenosol	4
2	Ortic Acrisol	4
3	Humic Acrisol	4
4	Feric Acrisol	4
5	Dystric Fluvisol	5

Disini mayoritas berasal dari Acrisol dan sisanya merupakan Arenosol dan Fluvisol, Fluvisol mendapatkan Skor tinggi (5) yang artinya sangat berpotensi terjadinya longsor mengapa? Karena tanah fluvisol ini sendiri terdiri dari muatan suspend yang terbawa oleh arus sungai yang didominasi oleh pasir dan debu sehingga sangat rentan tergerus, sedangkan acrisol dan Arenosol memiliki nilai yang sama , kedua jenis tanah ini memiliki struktur agregat yang buruk dan rentan juga ter erosi karena karakteristik tanahnya yang berpasir terlebih jika curah hujan tinggi maka kedua jenis tanah tersebut akan rentan terjadinya longsor. Berikut adalah visualisasi jenis tanah di wilayah IKN.



Gambar 3. Peta Jenis Tanah Kawasan Ibu Kota Nusantara

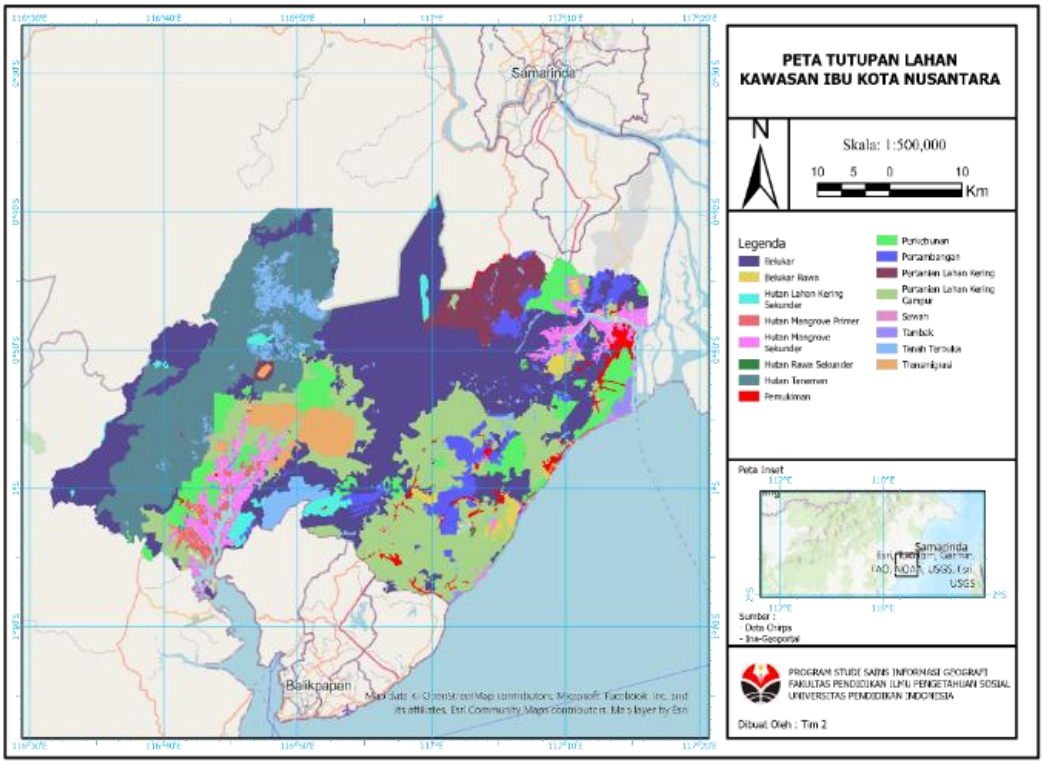
Tutupan Lahan

Parameter tutupan, ini juga parameter yang cukup penting terhadap terjadinya bencana longsor, karena ini berkaitan dengan vegetasi pada lahan tersebut, kita semua mengetahui bahwa vegetasi dapat mencegah terjadinya bencana longsor, sebab air yang masuk ke dalam tanah terserap oleh akar dari tanaman/vegetasi. Berikut adalah tabel pembobotan atau nilai skoring terhadap jenis tutupan lahan.

Tabel 4. Klasifikasi Tutupan Lahan.

No	Tutupan Lahan	Skor
1	Belukar	3
2	Belukar Rawa	4
3	Hutan Lahan Kering Sekunder	1
4	Hutan Mangrove Primer	1
5	Hutan Mangrove Sekunder	1
6	Hutan Rawa Sekunder	1
7	Hutan Tanaman	1
8	Permukiman	5
9	Perkebunan	3
10	Pertambangan	5
11	Pertanian Lahan Kering	4
12	Pertanian Lahan Kering Campuran	4
13	Sawah	5
14	Tambak	5
15	Lahan Terbuka	5
16	Transmigrasi	5

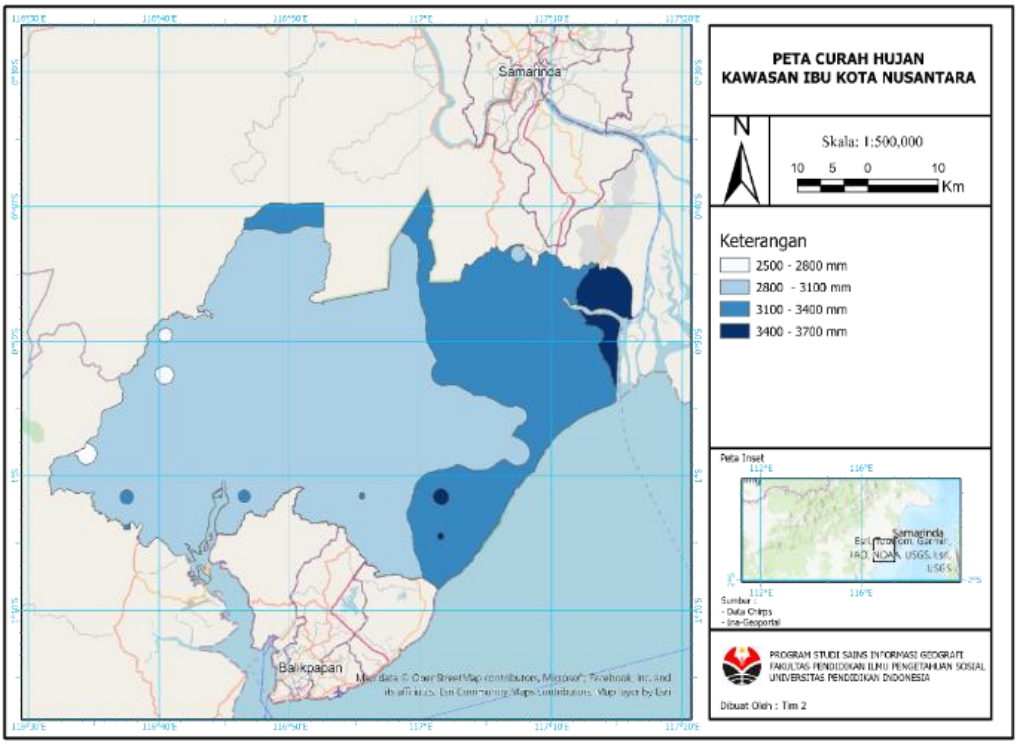
Dapat dilihat wilayah yang tidak bervegetasi seperti pemukiman, lahan terbuka, tambak, lahan kosong itu memiliki skor tinggi yang artinya sangat mungkin terjadinya tanah longsor di wilayah tersebut berbeda seperti di wilayah hutan yang memiliki vegetasi, sedangkan untuk perkebunan, ladang/pertanian lahan kering itu relatif menengah yang artinya tidak terlalu rentan akan terjadinya bencana longsor karena masih terdapat vegetasi yang bisa sedikit mencegah terjadinya longsor meskipun jenis vegetasi nya tidak se berpengaruh seperti vegetasi yang berada di hutan.



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Lereng Kawasan Ibu Kota Nusantara

Curah Hujan

Curah hujan menjadi salah satu parameter yang penting dalam membuat sebuah Peta Rawan Longsor sebab penggunaan lahan, kemiringan lereng, dan jenis tanah sangat berpengaruh dari besarnya curah hujan yang terjadi di daerah tersebut, pasalnya jumlah curah hujan yang menyerap ke dalam tanah dapat mengakibatkan kejenuhan tanah yang ada, kejenuhan tanah dapat mengakibatkan tidak adanya ruang bagi air untuk menyerap ke dalam tanah.



Gambar 5. Peta Curah Hujan Kawasan Ibu Kota Nusantara

Berikut merupakan skoring untuk curah hujan.

Tabel 5. Klasifikasi Curah Hujan.

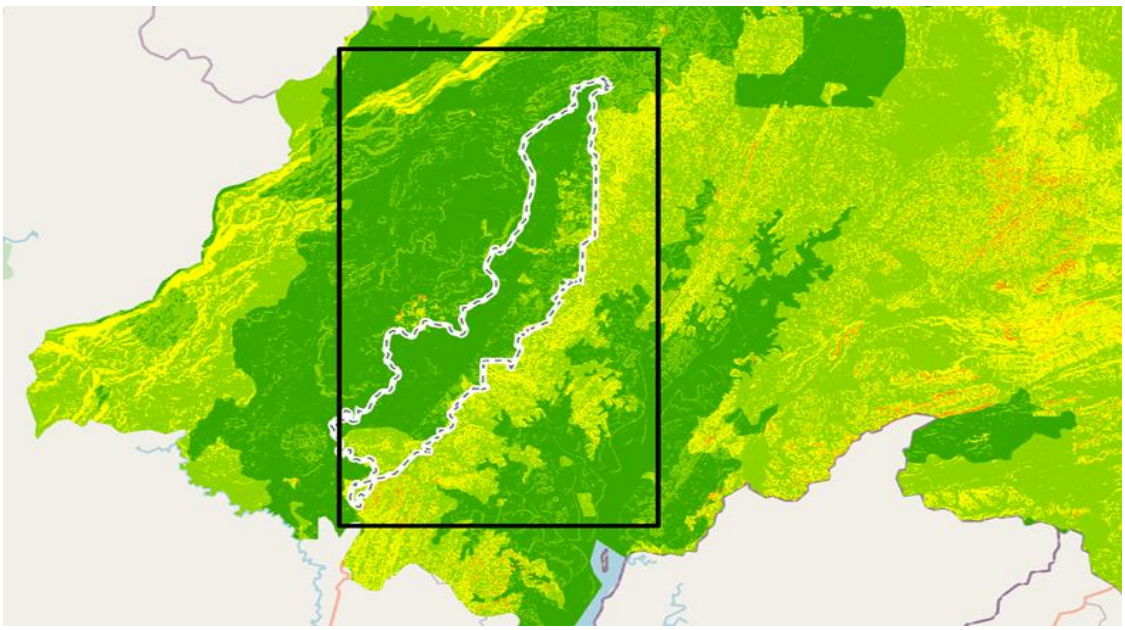
No	Curah Hujan (mm)	Skor
1	3400 - 3700	2
2	3100 - 3400	3
3	2800 - 3100	4
4	2500 - 2800	5

Hasil diatas merupakan hasil dari pembobotan dan pemrosesan yang telah dilakukan oleh penulis dan menghasilkan 4 skor yang ada.

Hasil Akhir

Setelah dilakukan *Overlay* dari semua parameter di atas dilakukan lah skor akhir, skor akhir ini menggunakan metode *Index Storie* dengan formula atau rumus (Sitorus Dama Arifin, 2006) sebagai berikut.

$$L = A \times \frac{B}{10} \times \frac{C}{10} \times \frac{D}{10} \quad \ldots\ldots\ldots\



Gambar 7. Kawasan Kerawanan Longsor Daerah Ibu Kota Nusantara

KESIMPULAN

Ibu Kota Nusantara menjadi salah satu tempat yang dipilih oleh Indonesia sebagai tempat Ibu Kota Baru yang mana hal ini dapat dibuktikan dengan minimnya rawan bencana longsor yang ada di Ibu Kota Nusantara ini pasalnya dalam hal ini baik secara data lapangan dan pengolahan dapat di analisis bahwa Ibu Kota Nusantara memiliki tingkat kemiringan lereng, jumlah curah hujan, tutupan lahan, dan jenis tanah yang sangat baik.

Berbicara mengenai daerah pengungsian untuk wilayah inti dari IKN ini sendiri itu hampir seluruh wilayah tersebut dapat dijadikan sebagai tempat pengungsian, berdasarkan gambar diatas wilayah inti dari IKN tersebut tergolong aman dari bencana longsor dilihat dari warnanya yang berwarna hijau dan hijau muda yang berarti tingkat kerawanan longsor di wilayah tersebut digolongkan sangat rendah dan rendah, maknanya wilayah inti IKN ini sangat aman dari bencana tanah longsor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada Allah SWT, teman-teman penulis, pemerintah yang telah memberikan sumber data yang diperlukan, kepada komunitas terkait yang telah memberikan lahan untuk penulis menuangkan ide-ide yang ada, kepada instansi pemerintah Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk meneruskan penulisan paper ini dan telah menerima abstrak penulis, dan jurnal/artikel terdahulu yang telah ditulis oleh penulis hebat sebelumnya, penulis mengucapkan terimakasih banyak atas bantuan yang telah diberikan, penulis dapat menyelesaikan paper ini dengan tempat waktu dan tidak mengalami kendala yang memberatkan penulis dalam pengerjaan paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

Erfani, S., Naimullah, M., & Winardi, D. (2023). GIS Scoring and Overlay Methods for Mapping Landslide Vulnerability in Lebak Regency, Banten. Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, 20(1), 61. https://doi.org/10.20527/flux.v20i1.15057

Gede, I., Gunadi, A., Made, I., Oka Gunawan, A., Widastra, P. E., Candana, H., Ayu, I., Arnawa, W., Agoes Edo, K., & Putra, K. (2022). Klasifikasi Curah Hujan Harian Menggunakan Learning Vector Quantization. Jurnal Ilmu Komputer Indonesia (JIK), 7(2), 1–7.

Hidayat, D. (2008). Kesiapsiagaan Masyarakat: Paradigma Baru Pengelolaan Bencana Alam (Community Preparedness: New Paradigm in Natural Disaster Management). Jurnal Kependudukan Indonesia, 3(1), 69–84. http://ejurnal.kependudukan.lipi.go.id/index.php/jki/article/view/164

Supriyati, S., Tjahjono, B., & Effendy, S. (2018). Analisis Pola Hujan untuk Mitigasi Aliran Lahar Hujan Gunungapi Sinabung. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan, 20(2), 95–100. https://doi.org/10.29244/jitl.20.2.95-100

Samsul Arifin, Ita Carolina, W. C. (2006). Implementasi Penginderaan Jauh dan SIG untuk Inventarisasi Daerah Rawan Bencana Longsor. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, 3, 77–86. http://www.jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja

Juhadi, Setyaningsih, W., & Kurniasari, N. (2016). Pola Perilaku Masyarakat dalam Pengurangan Resiko Bencana Tanah Longsor di Kecamatan Banjarwangu Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah. Jurnal Geografi : Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian, 13(2), 216–224.

Spaargaren, O. (2001). Major Soils of the World. Iternational Centre for Theoretical Physics, 5(April), 3. www.ictp.trieste.it

Margareth, H. (2017). No Title طرق تدريس اللغة العربية. Экономика Региона, 32.

Azam Aminudin, A. P. (2023). *ANALISIS ZONA RAWAN TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (FAHP) (Studi Kasus : Kabupaten Boyolali)*, 1-10.

M. Irvan, B. P. (2019). *Pemetaan Daerah Rawan Bencana Longsor di Desa Cendana Kecamatan Burau*, 282-291.

Wisnu Ismunandar, F. A. (2022). *Penentuan Area Bahaya Tanah Longsor Menggunakan Pendekatan SIG (Sistem Informasi Geografis) Dengan Metode Weighted Overlay di Kawasan IKN*, 1-8.

KECENDERUNGAN SPASIAL SUHU PERMUKAAN DARATAN BERBASIS GEOSTATISTIKA AUTOKORELASI SPASIAL DI WILAYAH IBU KOTA NUSANTARA (IKN)

(*Spatial Tendency of Land Surface Temperature Based on Geostatistic Spatial Autocorrelation in the Area of The Capital City of Nusantara*)

I Made Wahyu Gana Putra[1] dan Ahmad Fathin Firas[2]
[1]Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
[2]Universitas Halu Oleo

Jalan Jendral Sudirman No. 158 Kendari
E-mail: wahyu.putra@bmkg.go.id

ABSTRAK

Ibu Kota Nusantara dengan salah satu misinya yaitu sebagai kota berkelanjutan di dunia tidak lepas dari parameter iklim sebagai aspek perencanaannya. Salah satu parameter iklim yang penting dalam perencanaan perkotaan yaitu suhu udara. Suhu udara dapat menggambarkan kecenderungan tingkat pemanasan udara suatu wlayah dalam kurun waktu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengetahui kecenderungan spasial suhu permukaan daratan berdasarkan sebaran dan pola spasial dengan metode geostatistika autokorelasi spasial *Moran's I* di wilayah Ibu Kota Nusantara. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data suhu udara permukaan daratan dari satelit MODIS-Terra (MOD11A2) untuk tahun 2000 s.d 2023. Analisis autokorelasi spasial Moran's I menunjukkan bahwa suhu permukaan daratan membentuk pola mengelompok (indeks *Moran's I* = 0,79 s.d 0,94) dengan sebaran berautokorelasi secara keruangan (*z-score* > 1,96). Secara spasial, bagian wilayah perencanaan (BWP IV) memiliki kecenderungan spasial tertinggi terhadap suhu permukaan daratan dengan total luasan rata-rata klaster signifikan *high-high* (HH) mencapai 63% wilayahnya.

Kata kunci: suhu udara permukaan, kecenderungan spasial, *Moran's I*

ABSTRACT

The capital city of Nusantara with one of its mission as the world suistainable city cannot be separated from climate parameters as an aspect of its planning. The important climate parameter in urban planning is air temperature. Air temperature can describe the tendency of the level of air heating of a period. This study aims to determine the spatial tendency of land surface temperature based on distribution and spatial patterns with the Geostatistical method of spatial autocorrelation Moran's I in the Capital City of the Nusantara. The data used in this study is land surface air temperature data from the MODIS-Terra (MOD11A2) satellite for 2000 to 2023. Moran's I spatial autocorrelation analysis showed that land surface temperature formed a clustering pattern (Moran's index I = 0.79 to 0.94) with spatial autocorrelation distribution (z-score > 1.96). Spatially, the planning area (BWP IV) has the highest spatial tendency towards land surface temperature with the total average area of significant high-high (HH) clusters reaching 63% of the area.

***Keywords**: land surface temperature, spatial tendency, Moran's I*

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia melalui Undang-Undang No. 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara telah merencanakan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Pulau Kalimantan yang telah dimulai sejak tahun 2022. Ibu Kota Nusantara mempunyai visi sebagai kota dunia dengan salah satu tujuannya yaitu menjadi kota berkelanjutan di dunia (RI, 2022). Menurut Ghorab dan Shalaby (2016), kota berkelanjutan memiliki tujuan untuk mengurangi dampak lingkungan, untuk kesejahteraan sosial dan pertumbuhan sektor ekonomi. Pengurangan dampak lingkungan dalam hal ini terkait dengan pencegahan perubahan iklim demi meningkatkan kesejahteraan sosial dan pertumbuhan ekonomi. Pembahasan terkait perubahan iklim tidak jauh dari parameter iklim yaitu

suhu permukaan. Manurut Glasnovic *et al.* (2020), suhu permukaan menjadi salah satu dari tujuh parameter utama perubahan iklim yang didefinisikan oleh Badan Meteorologi Dunia (WMO).

Seperti yang diketahui bahwa Kawasan urban atau perkotaan menjadi salah satu kawasan yang memiliki tingkat panas udara yang tinggi dibandingkan dengan kawasan lain. Pemusatan populasi dan kegiatan urbanisasi menjadi salah satu pendorong terjadinya peningkatan suhu di kawasan perkotaan. Adanya kondisi tersebut menjadikan ancaman besar bagi kualitas peningkatan lingkungan perkotaan (Gaur *et al.*, 2018), dan kesehatan masyarakat (Farhadi *et al.*, 2019). Adanya banyak permasalahan di kawasan perkotaan yang disebabkan oleh peningkatan suhu udara menjadi suatu perhatian bagi perencanaan kawasan kota. Menurut Filho *et al.* (2022) peningkatan suhu udara di kawasan perkotaan memiliki dampak signifikan terhadap 70% dari penduduk kota di tahun 2050. Perencanaan kawasan perkotaan yang tidak melihat kecenderungan peningkatan suhu udara di suatu wilayah dapat menyebabkan pengembangan wilayah di kemudian hari tidak efektif dan mengancam keberadaan penduduk yang mendiami wilayah tersebut. Maka dari itu, perencanaan Ibu Kota Nusantara perlu memperhatikan kecenderungan peningkatan suhu udara sebagai langkah awal mewujudkan kota berkelanjutan dunia di masa depan.

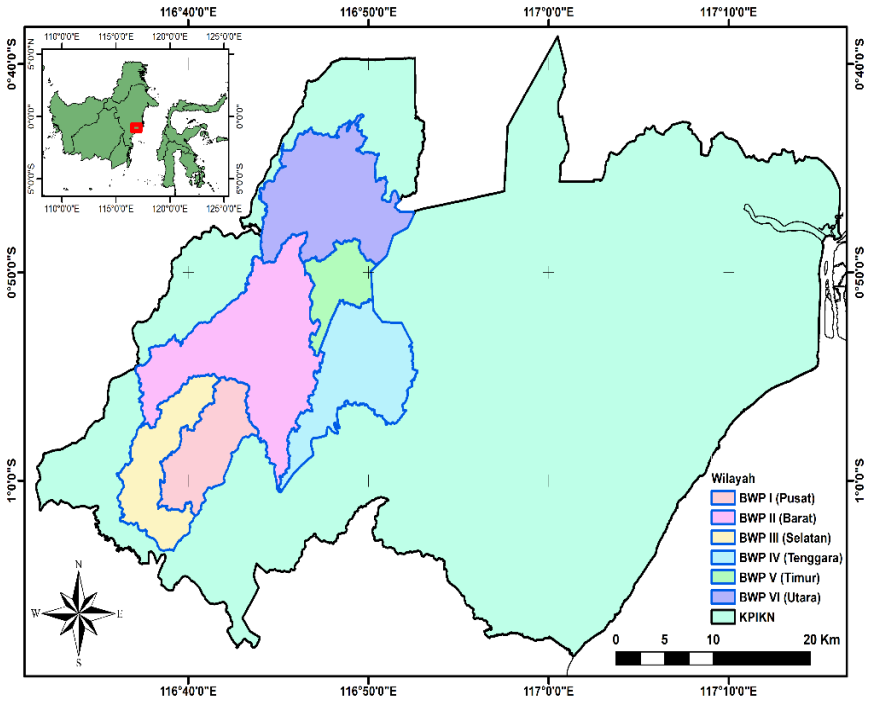
Penelitian mengenai suhu udara sebagai salah satu aspek perencanaan kawasan perkotaan telah banyak dibahas. Pemanfaatan data penginderaan jauh satelit dapat dipergunakan untuk menentukan tren spasial dan variasi suhu permukaan daratan sebagai pertimbangan perencanaan kawasan perkotaan (Sanjeewani dan Manawadu, 2017). Salah satu data yang dapat dimanfaatkan yaitu dari satelit MODIS untuk melakukan pemetaan pola spasial suhu permukaan daratan (Rakuasa *et al.*, 2023). Pemanfaatan metode autokorelasi spasial dapat dengan mudah mengidentifikasi pola dan sebaran suhu permukaan daratan berdasarkan klaster yang terbentuk di suatu wilayah (Yang *et al.,* 2021). Teridentifikasinya klaster suhu dapat dipergunakan sebagai bahan analisis kecenderungan suatu wilayah terhadap keberadaan peningkatan suhu secara spasial. Adanya variasi suhu udara disebabkan oleh distribusi jaringan transportasi seperti jalan (Sanjeewani dan Manawadu, 2016), populasi, kerapatan bangunan, dan penggunaan lahan (Bhargava *et al.*, 2017). Keberadaan jaringan jalan, bangunan dan populasi dipastikan kian bertambah di Ibu Kota Nusantara, sehingga meningkatkan kecenderungan suhu udara secara spasial. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kecenderungan spasial suhu permukaan daratan berdasarkan sebaran dan pola spasial dengan metode geostatistika autokorelasi di wilayah Ibu Kota Nusantara.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yaitu di wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) yang terdiri dari 6 bagian wilayah perencanaan (BWP) dan 1 kawasan pengambangan IKN (KPIKN). Pada gambar 1 di bawah menunjukkan peta wilayah penelitian (RI, 2022). Ibu Kota Nusantara berada di dua wilayah kabupaten di Provinsi Kalimantan Timur yaitu Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara dengan luas daratan 256.142 ha dan wilayah perairan 68.189 ha (RI, 2022). Penelitian ini menggunakan pembagian wilayah berdasarkan bagian wilayah perencanaan dan kawasan pengembangan sebagai aspek pemetaan kecenderungan spasial pemanasan udara di kawasan IKN.

Menurut RI (2022), pada BWP I direncanakan untuk wilayah pusat pemerintahan nasional, pertahanan dan keamanan yang menjadi kawasan inti pusat pemerintahan, selanjutnya BWP II terletak di bagian barat yang direncanakan sebagai pusat ekonomi, bisnis, dan keuangan. Bagian perencanaan wilayah III (BWP III) terletak di bagian selatan yang diperuntukan sebagai wilayah pengembangan energi baru terbarukan, serta permukiman perdesaan, kemudian untuk BWP IV diperuntukan sebagai kawasan pusat hiburan dan pariwisata yang terletak di bagian timur. Pada BWP V yang terletak di bagian timur diperuntukan untuk pengambangan kawasan pusat pendidikan tinggi, pusat riset dan inovasi. Sama seperti BWP V, pada BWP VI diperuntukan untuk pengambangan kawasan pusat pendidikan tinggi, pusat riset dan inovasi, ditambah pusat perkantoran dan pariwisata.



Gambar 27. Lokasi penelitian di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN)

Data dan Waktu Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data suhu udara permukaan darat yang bersumber dari penginderaan jauh satelit Terra Modis (MOD11A2) selama 24 tahun (2000 s.d 2023). Data tersebut diolah menggunakan *tools cloud computing Google Earth Engine* (GEE). Periode pengolahan data dipilih setiap 5 tahun dan tambahan 1 tahun setelah pembangunan pertama IKN, periode tahun tersebut yaitu tahun 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, mewakili periode 5 tahunan dan 2023 untuk tahun setelah pembangunan pertama IKN. Pemilihan periode setelah pembangunan pertama IKN ditujukan untuk melihat kecenderungan pemanasan setelah pembangunan IKN dimulai. Selain itu ditambah periode rata-rata dan tren spasial sepanjang waktu penelitian selama 24 tahun untuk melihat tingkat pemanasan secara klimatologis.

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan kedalam tiga jenis tahapan. Tahapan pertama yaitu merata-ratakan suhu permukaan darat setiap piksel data yang menghasilkan peta spasial rata-rata suhu permukaan darat untuk periode tahun 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2023, dan 2000 s.d 2023 dan melakukan pemetaan tren spasial suhu permukaan darat untuk periode tahun 2000 s.d 2023 menggunakan metode *linear fit* pada GEE (rumus 1). Selanjutnya dilakukan analisis kecenderungan spasial rata-rata dan tren spasial suhu permukaan darat untuk melihat perubahan suhu secara spasial berdasarkan lokasi absolut maupun relatif dari wilayah penelitian.

$$z(x,y) = f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 y \qquad \text{.....(1)}$$

dimana:

$z(x,y)$ = Indeks Moran
a_0, a_1, a_2 = banyaknya piksel
x = nilai pada piksel i
y = nilai pada piksel j

Tahapan kedua yaitu melakukan pemetaan klaster dari hasil rata-rata dan tren spasial suhu permukaan darat menggunakan metode autokorelasi spasial. Metode autokorelasi spasial yang digunakan yaitu global Moran's I. Indeks global Moran's I memberikan gambaran tentang pola spasial global menurut ruang lingkup dan distribusi data spasial (Sutarga, 2022). Hasil perhitungan

merupakan rangkuman analisis statistika yang menggambarkan pola spasial global. Indeks global Moran dihitung dengan persamaan. Adapun rumus perhitungan indeks Moran's I yaitu:

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad \text{.....(2)}$$

dimana:
I = Indeks Moran
n = banyaknya piksel
x_i = nilai pada piksel i
x_j = nilai pada piksel j
$\bar{x}$ = rata-rata dari jumlah nilai
w_{ij} = unsur pembobot

Indeks Moran memiliki rentang $-1 \leq I \leq 1$ (Habinuddin, 2021). Autokorelasi spasial negatif ditunjukkan oleh nilai $-1 \leq I \leq 0$, adanya autokorelasi spasial positif dengan nilai $0 \leq I \leq 1$ dan tidak berkelompok secara spasial dengan nilai nilai $I = 0$. Selanjutnya, dilakukan uji signifikansi I untuk menentukan terdapat atau tidaknya autokorelasi spasial, dilakukan dengan tingkat signifikansi α = 5% dengan pembobotan spasial *queen contiguity*. Adapun rumus uji signifikansi sebagai berikut:

$$Z(I) = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad \text{.....(3)}$$

$$E[I_i] = I_{i0} = -\frac{1}{n-1} \quad \text{.....(4)}$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad \text{.....(5)}$$

dimana:
$Z(I)$ = *z-score*
I_i = indeks Moran
$E[I_i]$ = ekspektasi indeks Moran
n = jumlah piksel
$V[I_i]$ = variansi indeks Moran

Nilai I positif dan signifikan menunjukkan pola mengelompok dengan klaster yang dikelilingi oleh klaster yang relatif sama dengan tetangganya (*High-High* atau *Low-Low*), sebaliknya nilai I negatif menunjukkan klaster dikelilingi oleh klaster yang berbeda dengan tetangganya (*high-low* atau *low-high*) (Asakereh *et al.*, 2019). Langkah berikutnya yaitu dilakukan penentuan jenis pola (mengelompok atau tersebar) dan mengidentifikasi autokorelasi spasial dengan kriteria uji sebagai berikut:

$|Z(I)| > Z_{1-\alpha}$ (terdapat autokorelasi spasial) .....(6)
$|Z(I)| < Z_{1-\alpha}$ (tidak terdapat autokorelasi spasial) .....(7)

Tabel 1 menunjukkan jenis-jenis klaster berdasarkan hasil perhitungan indeks Moran. Terdapat empat jenis klaster signifikan dan satu klaster tidak signifikan yang terbentuk dari perhitungan indeks Moran. Klaster spasial tersebut terdiri dari klaster high-high (HH), low-low (LL), low-high (LH, high-low (HL) dan klaster tidak signifikan.

Tabel 1. Interpretasi jenis kuadran dan klaster *Moran's I*

No	Kuadran	Klaster	Interpretasi
1	Kuadran 1	*High-High (HH)*	Menunjukkan piksel yang mempunyai nilai amatan tinggi dikelilingi oleh piksel yang mempunyai nilai amatan tinggi
2	Kuadran 2	*Low-High (LH)*	Menunjukan piksel yang mempunyai nilai amatan rendah dikelilingi oleh piksel yang mempunyai nilai amatan tinggi

No	Kuadran	Klaster	Interpretasi
3	Kuadran 3	*Low-Low (LL)*	Menunjukan piksel yang mempunyai nilai amatan rendah dikelilingi oleh piksel yang mempunyai nilai amatan rendah
4	Kuadran 4	*High-Low (HL)*	Menunjukkan piksel yang mmepunyai nilai amatan tinggi dikelilingi oleh piksel yang mempunyai nilai amatan rendah

Sumber: Habinuddin (2021)

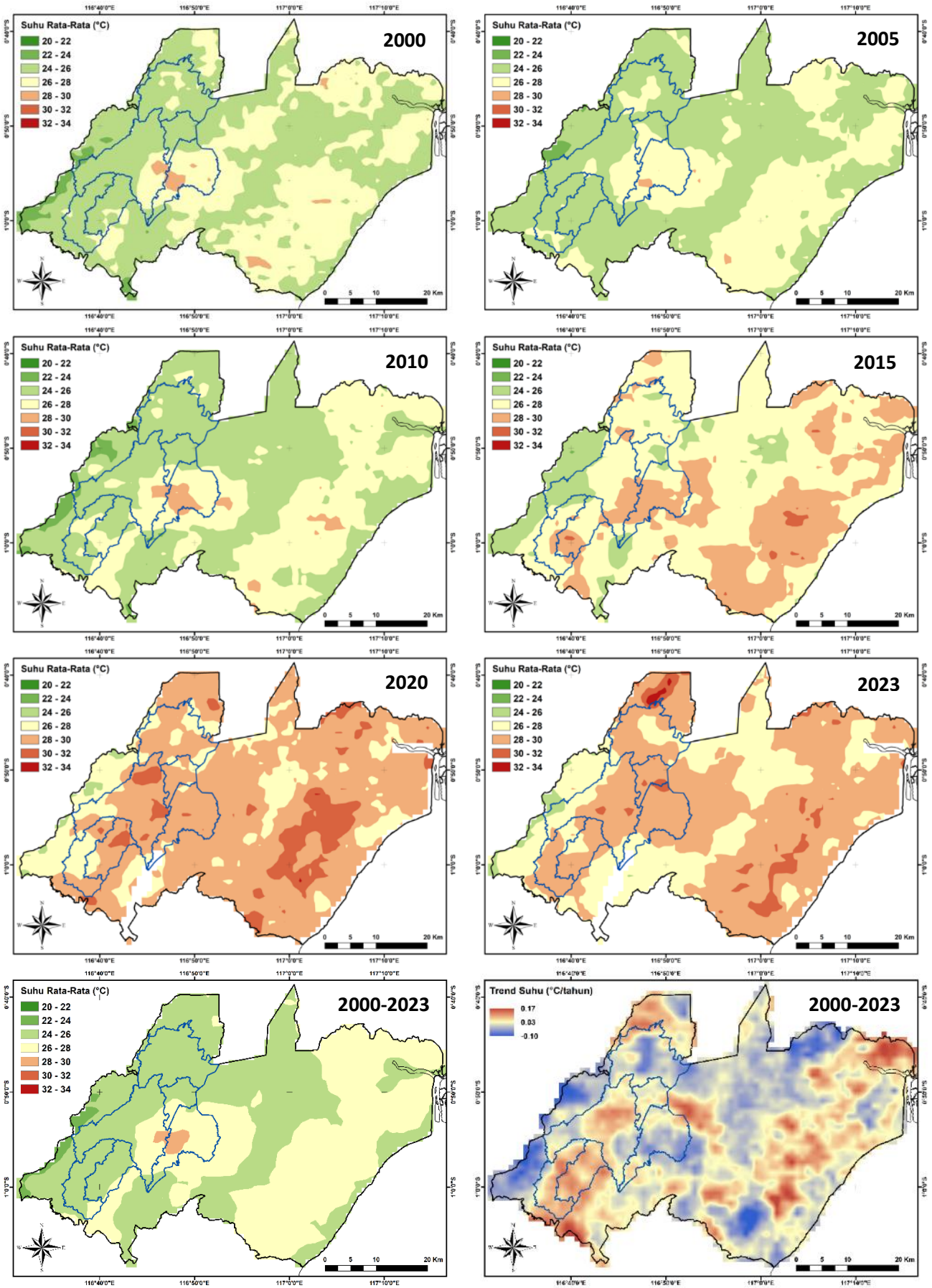
Hasil pengolahan autokorelasi spasial menghasilkan peta yang menunjukkan sebaran piksel-piksel data yang dapat diidentifikasi pola sebarannya untuk menentukan kecenderungan spasial suhu permukaan darat berdasarkan lokasi absolut maupun relatif. Analisis data selanjutnya dilakukan untuk menentukan total luasan wilayah (dalam %) tiap BWP dan PKIKN berdasarkan sebaran klaster.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran Rata-Rata dan Tren Suhu

Hasil pengolahan rata-rata suhu permukaan darat disajikan pada gambar 2 di bawah. Secara umum terlihat adanya dinamika suhu rata-rata yang terjadi pada kurun waktu 24 tahun. Pada semua periode tahun terlihat adanya kecenderungan spasial suhu rata-rata yang lebih tinggi di wilayah Kawasan Ibu Kota Nusantara (KIKN) bagian timur yang meliputi BWP II bagian timur, BWP IV dan BWP V dan bagian timur KPIKN (bukan wilayah pesisir) dengan suhu rata-rata berkisar antara 26 °C s.d 32°C. Secara spasial tiga periode awal yaitu tahun 2000, 2005, dan 2010 menunjukkan sebaran suhu rata-rata yang sama dengan periode rata-rata 24 tahun (gambar 1) pada rentang suhu 26 °C s.d 28 °C (warna kuning) di BWP II bagian timur, BWP IV dan BWP V dan bagian timur KPIKN (bukan wilayah pesisir). Suhu rata-rata dengan rentang 28 °C s.d 30 °C (warna oranye) yang terkonsentrasi di BWP II dan IV secara spasial mengalami penurunan luas pada tahun 2005 kemudian mengalami kenaikan pada tahun 2010. Pada periode berikutnya yaitu tahun 2015 di wilayah tersebut mengalami kenaikan luas cakupan dengan suhu rata-rata 28 °C s.d 30 °C, selain itu di BWP I bagian selatan dan KPIKN bagian timur mengalami kenaikan suhu rata-rata pada rentang 28 °C s.d 32 °C.

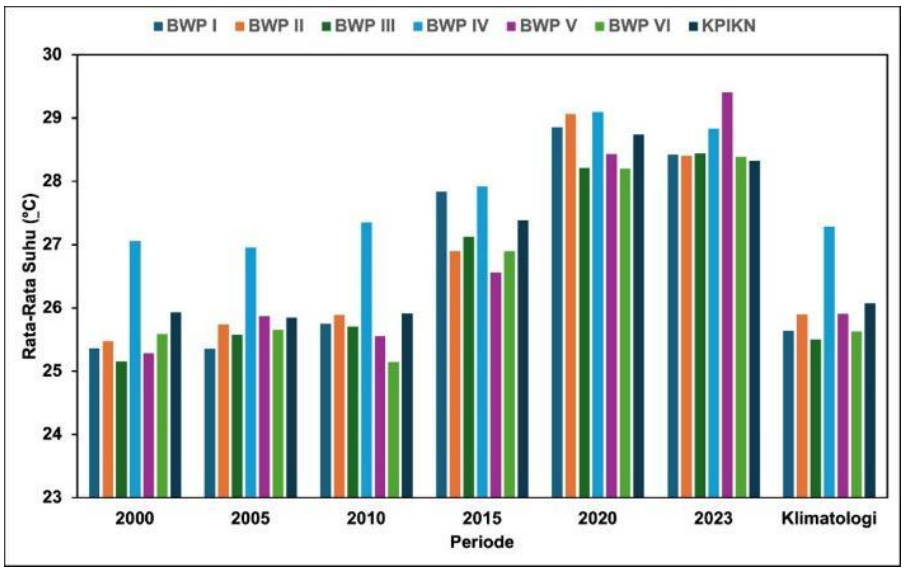
Periode tahun 2020 memiliki kecenderungan spasial kenaikan suhu rata-rata tertinggi di hampir seluruh wilayah IKN, peningkatan signifikan tertinggi terjadi di wilayah KPIKN bagian timur dan sebagian kecil KIKN. Pada periode tahun 2023 wilayah dengan suhu rata-rata pada rentang 28 °C s.d 32 °C mengalami penurunan cakupan wilayah dibandingkan dengan tahun 2020. Dilihat berdasarkan lokasi relatifnya, suhu rata-rata terendah terkonsentrasi di wilayah perbatasan bagian barat KPIKN yang berdekatan dengan KIKN bagian barat dengan rentang suhu 22 °C s.d 26 °C. Pada gambar 1.h menunjukkan tren suhu secara spasial dengan kecenderungan penurunan suhu -0,1°C/tahun di wilayah KPIKN bagian barat, utara, sebagian kecil bagian selatan dan timur. Wilayah KIKN dengan kecenderungan penurunan suhu terjadi di BPW IV, dan BPW VI dengan penurunan mencapai -0,1 °C/tahun. Wilayah dengan kecenderungan mengalami kenaikan suhu yaitu di BPW I, II, III, V mencapai 0,17 °C/tahun.



Gambar 2. Rata-Rata dan Tren Suhu Permukaan Darat tahun 2000 s.d 2023

Gambar 3 di bawah merupakan grafik variasi rata-rata suhu permukaan daratan untuk periode tahun 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2023, dan 2000 s.d 2023 (klimatologi). Secara

umum, grafik di bawah menunjukkan adanya peningkatan suhu rata-rata dari waktu ke waktu yang mengindikasikan adanya peningkatan rata-rata suhu secara temporal. Periode tahun 2000, 2005, dan 2010 relatif sama dengan periode klimatologi, hal tersebut menunjukkan bahwa tahun tersebut mempunyai keadaan suhu relatif normal dibandingkan dengan rata-rata klimatologinya. Sedangkan kondisi sebaliknya pada tahun 2015, 2020, dan 2023 memiliki suhu rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan klimatologinya, mengindikasikan keadaan suhu yang lebih panas dibandingkan normalnya. Secara spasial, BWP IV memiliki kecenderungan suhu rata-rata tertinggi dibandingkan dengan BWP lainnya, terkecuali pada tahun 2023 lebih rendah dibandingkan dengan BWP V. Dilihat berdasarkan periode sebelum dan setelah pengerjaan pertama IKN pada tahun 2022, yaitu perbandingan suhu rata-rata tahun 2020 dengan 2023. Pada tahun 2023 terjadi peningkatan suhu rata-rata pada BWP III, BWP V, dan BWP VI dibandingkan dengan tahun 2020.

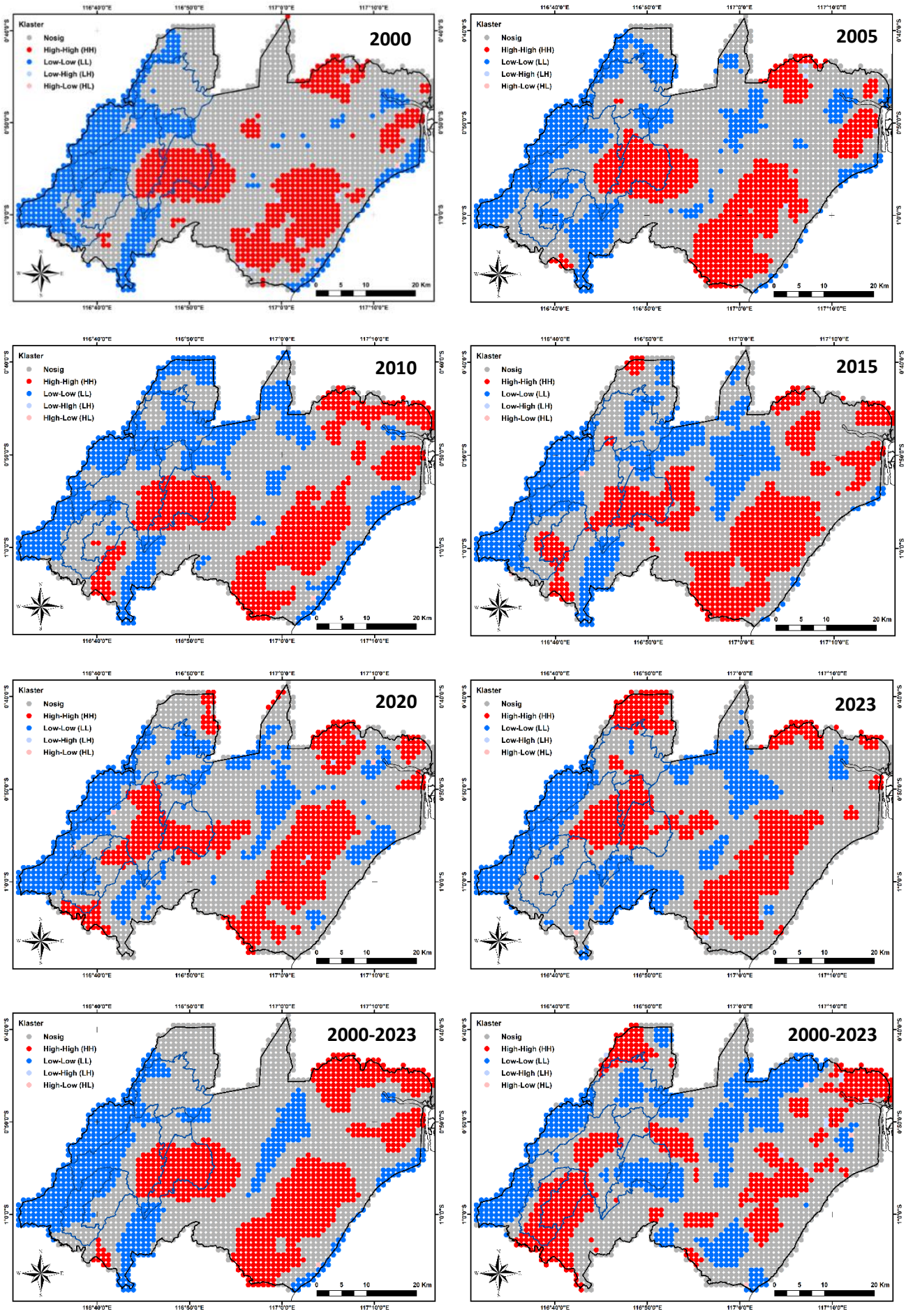


Gambar 3. Rata-Rata dan Tren Suhu Permukaan Darat tahun 2000 s.d 2023

Autokorelasi Spasial

Gambar 4 di bawah menunjukkan sebaran spasial piksel suhu rata-rata untuk periode tahun 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2023, 2000 s.d 2023, dan tren spasial tahun 2000 s.d 2023. Piksel dengan warna merah menunjukkan klaster *high-high* (HH) mengindikasikan kecenderungan spasial suhu permukaan daratan yang tinggi, kemudian piksel dengan warna biru merupakan klaster *low-low* (LL) menunjukkan kecenderungan spasial suhu permukaan daratan yang rendah, sedangkan warna merah muda dan biru muda menunjukkan klaster *low-high* (LH) dan *high-low* (HL) serta warna abu-bau merupakan klaster tidak signifikan (tidak dipertimbangkan dalam analisis).

Pada periode 2000 s.d 2023 (gambar 4), klaster HH membentuk pola mengelompok di wilayah BWP IV, bagian timur BWP II, bagian timur laut dan tenggara KPIKN. Dilihat berdasarkan periode lima tahunan, secara umum seluruh periode tahun menunjukkan pola sebaran yang sama dengan periode 2000 s.d 2023. Namun pada periode 2015, 2020, dan 2023 di wilayah BWP IV dan bagian timur BWP II menunjukkan perubahan klaster HH yang menyebar ke arah timur dan barat. Pada wilayah KPIKN bagian barat laut terlihat adanya klaster HH yang muncul pada tahun 2015 hingga 2023. Begitu juga di wilayah KPIKN bagian barat daya menunjukkan adanya klaster HH yang bertambah pada periode awal 2000 hingga 2020 dan hilang pada periode 2023. Berbeda dengan sebaran spasial piksel suhu rata-rata, pada sebaran spasial tren suhu (gambar 4) menunjukkan klaster HH berada lebih banyak di wilayah BWP I dan III serta bagian tenggara KPIKN.



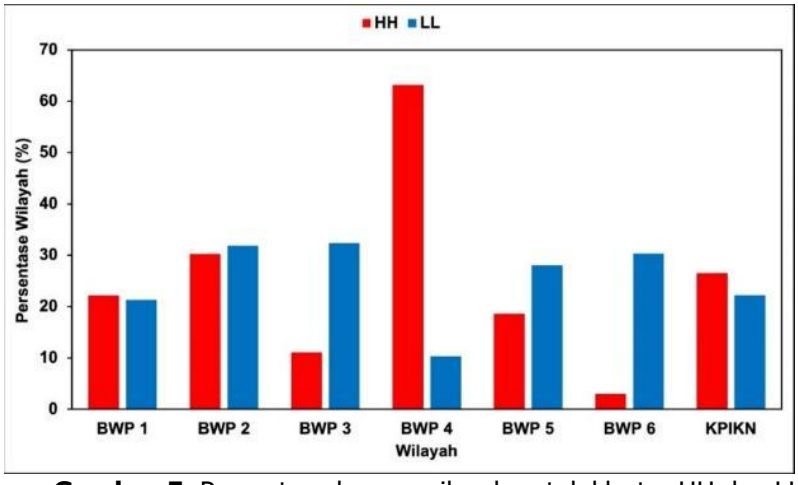
Gambar 4. Rata-Rata dan Tren Suhu Permukaan Darat tahun 2000 s.d 2023

Berdasarkan **Tabel 2** di bawah yaitu hasil perhitungan autokorelasi spasial Moran menunjukkan bahwa secara umum seluruh periode memiliki pola spasial suhu rata-rata dan tren suhu permukaan daratan mengelompok dan menunjukkan autokorelasi spasial signifikan positif, dikarenakan indeks Moran yaitu lebih besar dari 0 (nol) dan *z-score* memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan nilai baku pada tingkat kepercayaan 95% atau p-*value* 0,05 ($Z_{1-\alpha} = 1{,}96$). Nilai indeks Moran tertinggi terjadi pada periode klimatologis suhu rata-rata (2000 s.d 2023) dengan nilai 0,94 dan *z-score* 98,49. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada periode tersebut memiliki pola yang paling mengelompok dibandingkan dengan periode lain, hal tersebut dikuatkan oleh gambar 1 dan 2 yang menunjukkan nilai rata-rata suhu dan klaster yang lebih homogen di suatu wilayah. Sedangkan periode dengan nilai indeks Moran terendah pada periode klimatologis tren suhu (2000 s.d 2023) yaitu 0,79 dengan *z-score* 83,11. Pola yang terlihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** relatif menyebar dibandinkan dengan periode lainnya.

Tabel 2. Perhitungan *Moran's I*

Tahun	Moran's I	E(I)	*p-value*	$Z_{1-\alpha}$	*z-score*
2000	0,84	-0,0004	0,001	1,96	85,62
2005	0,86	-0,0004	0,001	1,96	91,74
2010	0,87	-0,0004	0,001	1,96	89,32
2015	0,88	-0,0004	0,001	1,96	91,62
2020	0,84	-0,0004	0,001	1,96	88,82
2023	0,86	-0,0004	0,001	1,96	89,60
2000 s.d 2023 (rata-rata)	0,94	-0,0004	0,001	1,96	98,49
2000 s.d 2023 (tren)	0,79	-0,0004	0,001	1,96	83,11

Mengetahui kecenderungan spasial suhu permukaan daratan maka dilakukan pendistribusian klaster signifikan (LL dan HH) dalam pada gambar 5 di bawah. Klaster HH tertinggi terindikasi di wilayah BWP 4 dengan cakupan wilayah hingga 63% diikuti oleh BWP 2 dengan 30%, kemudian tertinggi kedua hingga terakhir yaitu KPIKN, BWP I, BWP V, BWP III, dan BWP VI dengan masing-masing cakupan wilayahnya yaitu 27%, 22%, 19%, 11%, dan 3%. Pada klaster LL teridentifikasi wilayah dengan cakupan tertinggi pada BWP III diikuti oleh BWP II, BWP VI, KPIKN, BWP I, dan BWP IV dengan cakupan wilayah masing-masing yaitu 32%, 31%, 30%, 28%, 22%, dan 21%.



Gambar 5. Persentase luasan wilayah untuk klaster HH dan LL

KESIMPULAN

Berdasarkan HASIL DAN PEMBAHASAN di atas maka dapat disimpulkan bahwa di wilayah Ibu Kota Nusantara kecenderungan spasial suhu permukaan daratan relatif terhadap nilai rata-rata dan tren spasial. Berdasarkan rata-rata, wilayah BPW IV memiliki kecenderungan spasial tertinggi terhadap suhu permukaan daratan dengan persentase 86% dari tujuh periode waktu penelitian.

Rata-rata suhu permukaan daratan di wilayah BPW IV yaitu pada rentang 27 s.d 29 ^{o}C. Berdasarkan tren spasial, wilayah BWP I memiliki kecenderungan spasial tertinggi terhadap kenaikan suhu permukaan daratan dengan persentase cakupan wilayah mencapai 97% dengan rata-rata kenaikan suhu tertinggi mencapai 0,08 ^{o}C/tahun. Namun, setelah dilakukan analisis autokorelasi spasial maka didapatkan bahwa BPW IV memiliki kecenderungan spasial tertinggi terhadap suhu permukaan daratan dengan total luasan rata-rata klaster signifikan HH mencapai 63%. Pola sebaran yang terbentuk yaitu mengelompok dengan nilai indeks Moran pada rentang 0,79 s.d 0,94 dan berautokorelasi secara keruangan (*z-score* > 1,96).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih penulis ucapkan kepada pihak-pihak yang memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini. Kepada pimpinan kantor Bapak Sugeng Widarko yang telah memberikan dukungan moriil sehingga penelitian ini dapat diselesaikan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

Asakereh, H., Khosravi, Y., Doostkamian, M., & Solgimoghaddam, M. (2019). Assessment of Spatial Distribution and Temporal Trends of Temperature in Iran. *Asia-Pasific Journal of Atmospheric Sciences*.

Bhargava, A., Lakmini, S., Bhargava, S. (2017). Urban Heat Island Effect: It's Relevance in Urban Planning. *J Biodivers Endanger Species 5*: 187. doi: 10.4172/2332-2543.1000187

Farhadi, H., Faizi, M., & Sanaieian, H. (2019). Mitigating the Urban Heat Island in a Residential Area in Tehran: Investigating the Role of Vegetation, Materials, and Orientation of Buildings. *Sustain. Cities Soc*, 46, 101448.

Gaur, A., Eichenbaum, M. K., & Simonovic, S. P. (2018). Analysis and Modelling of Surface Urban Heat Island in 20 Canadian Cities under Climate and Land-Cover Change. *J. Environ. Manag. 206*, 145–157.

Ghorab, H. K. E., & Shalaby, H. A. (2016). Eco and Green cities as new approaches for planning and developing cities in Egypt. Alexandria Engineering Journal, 55, 495-503.

Glasnovic, Z., Margeta, K., Logar, N. Z. (2020). Humanity Can Still Stop Climate Change by Implementing a New International Climate Agreement and Applying Radical New Technology. *Energies*, 13(24), 6703. https://doi.org/10.3390/en13246703

Habinuddin, E. (2021). Identifikasi Autokorelasi Spasial Pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kota Bandung. *Sigma Mu*, 13(1), 7-15.

Leal Filho, W., Tuladhar, L., Li, C., Balogun, A.L.B., Kovaleva, M., Abubakar, I.R., Azadi, H. and Donkor, F.K.K. (2023). Climate change and extremes: implications on city livability and associated health risks across the globe, *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 15(1), 1-19. https://doi.org/10.1108/IJCCSM-07-2021-0078

Rakuasa, H., Sihasale , D. A., & Latue, P. C. (2023). Spatial pattern of changes in land surface temperature of seram island based on google earth engine cloud computing. *International Journal of Basic and Applied Science*, *12*(1), 1–9. https://doi.org/10.35335/ijobas.v12i1.172

Sanjeewani, R.M., & Manawadu, L. (2017). Spatial Trends of Land Surface Temperature Variation over Selected Urban Regions in Sri Lanka Using Remote Sensing. *Asian Journal of Geoinformatics, 16*.

Sutarga, I. K. (2022). Analisis Pola Spasial Sebaran COVID-19 Kota Bogor Berdasarkan Indek Moran. *Media Komunikasi Geografi*, Vol. 23 No. 2 p. 265-276.

Yang, L., Yu, K., Ai, J., Liu, Y., Lin, L., Lin, L., & Liu, J. (2021). The Influence of Green Space Patterns on Land Surface Temperature in Different Seasons: A Case Study of Fuzhou City, China. *Remote Sens*, 13, 5114. https://doi.org/10.3390/ rs13245114

ANALISIS TINGKAT BAHAYA KEBAKARAN HUTAN DI IBU KOTA NUSANTARA MENGGUNAKAN INTEGRASI PETA MULTI-PARAMETER

(Analysis Of Forest Fire Hazard Levels In The Capital City Of The Nusantara Using Multi-Parameter Map Integration)

Ghea Redana Pitaloka, Dian Apita Sari, Dita Novelasti Ayugrahani, Khalisha Noer Mumtaz, Sandra Tiana

Sains Informasi Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No. 229 Bandung 40154 Jawa Barat – Indonesia

E-mail: ghearedanap14@upi.edu

ABSTRAK

Kebakaran hutan di Indonesia merupakan ancaman permasalahan lingkungan yang cukup serius, hal ini perlu adanya antisipasi karena dapat menimbulkan kerugian besar bagi masyarakat. Sehubungan dengan hal tersebut, maka pengendalian kebakaran hutan ditetapkan sebagai salah satu Kebijakan Prioritas Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Penelitian di wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) bertujuan untuk memetakan tingkat bahaya kebakaran dengan menggunakan peta NDVI, curah hujan, titik panas, dan penutup lahan sebagai parameternya. Metode yang digunakan yaitu metode *weighted overlay* dengan memberikan skor pada masing – masing peta parameter. Peta penggunaan lahan menyajikan informasi terkait acuan pola persebaran penggunaan lahan yang mempengaruhi tingkat bahaya kebakaran hutan, dalam penelitian ini peta penggunaan lahan digunakan sebagai tolak ukur serta bahan pendukung dari parameter lainnya. Data curah hujan dan NDVI sebagai informasi kondisi vegetasi dan iklim. Hasil analisis menggunakan (NDVI) didapatkan nilai tingkat kehijauan tinggi. Hasil dari data Curah hujan 10 tahun terakhir dari tahun 2014 hingga 2023 setelah dilakukan pengolahan didapatkan hasil 2.717 mm/tahun yang mengacu pada stasiun Kota Samarinda dan 3.011mm/tahun pada stasiun di Kota Balikpapan yang dapat diartikan semakin ke arah selatan wilayah IKN curah hujan semakin tinggi. Sebaran Titik panas dengan tingkat kepercayaan tinggi ≥80 - 100% terdapat 249 titik dalam 10 tahun terakhir. Proses *weighted overlay* menghasilkan peta wilayah tingkat bahaya kebakaran hutan dengan menghasilkan 3 kelas yakni rendah, sedang, dan tinggi. Proses tersebut menginformasikan peta tingkat bahaya kebakaran hutan dan lahan dengan potensi sangat tinggi berada di perbatasan Kecamatan Sambala sampai sebagian Kecamatan Muara Jawa, dan beberapa wilayah di Kecamatan Loa Janan.

Kata kunci: Kebakaran, Titik Panas, Vegetasi, Iklim

ABSTRACT

Forest fires in Indonesia are a serious threat to the environment, which needs to be anticipated because it can cause huge losses to the community. In connection with this, forest fire control is designated as one of the Priority Policies of the Ministry of Environment and Forestry (KLHK). Research in the Capital City of the Nusantara (IKN) region aims to map the level of fire hazard using NDVI maps, rainfall, hotspots, and land cover as parameters. The method used is the weighted overlay method by giving a score to each parameter map. The land use map presents information related to the reference of land use distribution patterns that affect the level of forest fire hazard, in this study the land use map is used as a benchmark and supporting material for other parameters. Rainfall data and NDVI as information on vegetation and climate conditions. The results of the analysis using (NDVI) obtained a high greenness value. The results of the last 10 years of rainfall data from 2014 to 2023 after processing obtained the results of 2,717 mm/year referring to the Samarinda City station and 3,011mm/year at the station in Balikpapan City which can be interpreted that the more south the IKN area the higher the rainfall. Hotspot distribution with high confidence level ≥80 - 100% there are 249 spots in the last 10 years. The weighted overlay process produces a map of forest fire danger level areas by generating 3 classes namely low, medium, and high. The process informs the map of the level of danger of forest and land fires with very high potential on the border of Sambala sub-district to parts of Muara Jawa sub-district, and some areas in Loa Janan sub-district.

Keyword : *Fire, Hotspot, Vegetation, Climate*

PENDAHULUAN

Kebakaran hutan merupakan suatu ancaman yang perlu diwaspadai karena sering terjadi di wilayah Indonesia setiap tahunnya. Menurut KLHK pada tahun 2019 Indonesia memiliki luas lahan hutan daratan sekitar 94,1 juta ha atau 50,1% dari total daratan. Fakta tersebut tentunya perlu adanya dorongan pemerintah untuk mempertegas hukum dan kebijakan yang dapat mengantisipasi kebakaran hutan di Indonesia, mengingat hutan memiliki pengaruh yang sangat besar dalam memenuhi kebutuhan subsisten bagi masyarakat lokal dan memegang peran penting menjaga kesehatan ekosistem. Namun persoalan kebakaran hutan pada kenyataannya menjadi masalah yang paling sering terjadi setiap tahunnya (Susanti, 2021).

Kejadian Kebakaran hutan dan lahan dengan intensitas tinggi di wilayah Kalimantan tentu perlu adanya perhatian khusus, jika ditinjau dari ekologi politik penyebab kebakaran hutan kalimantan terjadi karena pembakaran hutan secara sengaja oleh oknum perusahaan yang memiliki izin konsesi (Yunianto, 2022). Tindakan ini dirasa sebagai jalan pintas yang efektif dan tak memerlukan biaya yang lebih banyak dibandingkan metode tanpa dibakar (Putri, 2019). Bencana kebakaran hutan dan lahan di wilayah Kalimantan ini tentunya menjadi perhatian khusus terlebih lagi saat ini terdapat adanya wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) yang berada di Provinsi Kalimantan Timur.

Menurut Peraturan Perundang - undangan no 3 tahun 2022 mengenai pembangunan IKN dipindahkan dari Pulau Jawa ke Pulau Kalimantan dengan memiliki tujuan menjadi kota yang berkelanjutan, sebagai penggerak ekonomi Indonesia dimasa mendatang dan menjadi simbol identitas nasional yang merepresentasikan keragaman bangsa Indonesia menindaklanjuti visi adanya pembangunan IKN tersebut hal ini tentunya perlu ada perhatian khusus pada wilayah Kalimantan yang secara terus berulang sering mengalami kebakaran hutan dan lahan agar visi pembangunan IKN tersebut dapat berjalan dengan baik sesuai dengan perencanaan.

Analisis kebakaran hutan ini dipilih menjadi salah satu permasalahan karena mengingat wilayah Kalimantan terkhususnya Ibu Kota Nusantara (IKN) perlu adanya perhatian khusus dan perlu adanya tindakan untuk melindungi wilayah tersebut dari bahaya bencana yang terjadi. Sehingga analisis menggunakan beberapa parameter seperti curah hujan, hotspot, NDVI, dan penggunaan lahan yang tentunya penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor lingkungan yang meningkatkan risiko kebakaran hutan, seperti kondisi cuaca, vegetasi, lalu dilakukan pemetaan menggunakan data satelit untuk mengidentifikasi dan memetakan area-area yang paling rentan terhadap kebakaran hutan, dan sebagai bentuk rekomendasi untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan respons terhadap kebakaran hutan di IKN.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian di wilayah administratif pengembangan Ibu Kota Nusantara yang mencakup dua kabupaten yakni Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Secara keseluruhan parameter yang dipakai dalam penelitian peta titik rawan kebakaran hutan terdiri dari 4 peta, yakn peta NDVI *(Normalized Difference Vegetation Index),* peta curah hujan, peta sebaran titik panas *(hotspot)*, dan peta penutup lahan. Untuk mengetahui tingkat bahaya kebakaran dilakukan metode proses *Weighted Overlay* dengan terlebih dahulu memberikan skor pada setiap peta parameter. Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian adalah Citra *Landsat* 9 dengan waktu pengambilan citra pada 26 April 2022 dan 19 Mei 2022, data curah hujan harian dengan rentang waktu 10 tahun yakni dari tahun 2014 - 2023, sebaran titik panas *(hotspot)* dengan pengambilan data pada 01 Januari 2014 - 31 Desember 2023, citra *google maps* yang diambil melalui *software SAS PLanet* pada 26 Maret 2024, dan pengolahan menggunakan software QGIS 3.28.1 serta ArcMap 10.8. Penjelasan metode lebih rinci dari setiap peta parameter sebagai berikut.

Koreksi Citra

Koreksi Citra dilakukan guna mempermudah pengolahan data raster yang diperhitungkan dengan parameter-parameter yang ada pada citra satelit. Hal ini agar citra mendapatkan nilai piksel -piksel dari apa yang dikoneksikan berdasarkan pemanfaatan metadata.

Koreksi Citra *Radiometric*

Koreksi citra *radiometric* merupakan salah satu proses koreksi yang akan memperbaiki piksel dengan tujuan menghilangkan *noise* yang terdapat pada citra sebagai akibat dari adanya distorsi oleh posisi cahaya matahari. Pada penggunaan citra satelit Landsat 9 bahwa perlu adanya koreksi citra agar dalam pengolahan terutama menggunakan beberapa metode nilai pikselnya bisa menyesuaikan dengan hasil koreksi. dalam pembuatan peta Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan salah satu parameternya adalah menggunakan metode NDVI, metode NDVI perlu menggunakan citra satelit sebagai bahan dasarnya, metode ini juga memiliki nilai yang perlu dicapai yakni -1 sampai 1. sebelum pengolahan menggunakan metode NDVI, perlu adanya koreksi citra terlebih dahulu. Koreksi citra yang dilakukan pada software QGIS.

Metode NDVI *(Normalized Difference Vegetation Index)*

Indeks vegetasi atau biasanya dikenal dengan NDVI merupakan salah satu indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan tanaman di suatu daerah. Pada metode NDVI ini perlu bahan menggunakan citra satelit dengan *band 4 RED dan band 5 NIR*, yang dapat digunakan sebagai parameter atau indikator keberadaan dan kondisi vegetasi serta tingkat kehijauan pada suatu wilayah. Pada algoritma yang digunakan pada metode NDVI ini didapatkan berasal dari rasio antara *band* inframerah dan *band* merah, yang diambil dari Citra Landsat 9 Tahun 2022. Dengan adanya metode ini diperlukan pengolahan menggunakan *tools calculator geometri* agar nilai dari *band* yang digunakan muncul. Rumus NDVI ini dikembangkan oleh Comton Tucker pada tahun 1977. Berikut adalah rumus NDVI yang digunakan.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{(1)}$$

Keterangan:
NIR = Band 5
RED = Band 4

Hasil yang didapatkan dari pengolahan NDVI ini memiliki 5 klasifikasi yang berbeda, yakni:

Tabel 1. Klasifikasi NDVI.

Rentang Klasifikasi	Kerapatan
-1<NDVI<-0,03	Lahan Tidak Bervegetasi
-0,03<NDVI<0,15	Kehijauan Sangat Rendah
0,15<NDVI<0,25	Kehijauan Rendah
0,25<NDVI<0,35	Kehijauan Sedang
0,35<NDVI<1	Kehijauan Tinggi

Sumber : (Wahyunto dkk., 2014)

Peta Parameter

Peta Curah Hujan

Pada pembuatan peta curah hujan ini menggunakan data online harian dari BMKG dengan jangka waktu 10 tahun yaitu pada tahun 2014 hingga 2023. Data curah hujan harian ini mengacu pada 2 stasiun yang berada di Kalimantan Timur yaitu pada wilayah Kota Samarinda dan Kota Balikpapan, pada wilayah Kota Samarinda digunakannya Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto dan pada wilayah Kota Balikpapan mengacu pada Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman, digunakannya 2 stasiun tersebut karena berada dekat dengan wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN). Data curah hujan harian yang digunakan perlu berjangka

minimal 10 tahun, karena dalam rentang waktu 10 tahun terdapat beberapa variasi cuaca seperti kemarau, musim hujan, *el nino, la nina* dengan digunakannya data 10 tahun anomali cuaca yang terjadi pada satu atau dua tahun tidak akan terlalu mempengaruhi hasil analisis, lalu digunakannya data curah hujan minimal 10 tahun juga akan mempengaruhi hasil pengolahan, semakin banyak data yang digunakan akan semakin akurat hasilnya mengenai pola hujan di daerah IKN.

Setelah dilakukannya pengunduhan data melalui data online BMKG dapat diketahui data curah hujan harian selama 10 tahun, dan mengetahui data koordinat yang ada pada 2 stasiun yang digunakan. Data yang didapat tentunya digunakan dalam pengolahan pembuatan peta curah hujan ini. Pada pengolahan ini dilakukannya metode *isoline* yaitu menghubungkan suatu titik, yang dimana titIKNya ini berupa suatu wilayah pos hujan yang ada di Kota Balikpapan dan Kota Samarinda, lalu digunakannya *tools Inverse Distance* (IDW) yaitu interpolasi *multipoint* yang berada pada *software* Arcmap 10.8. Pada metode ini dilakukannya input data titik pos hujan lalu dilakukannya interpolasi antar titik satu ke titik lain sehingga nanti akan membentuk suatu nilai dan nilai tersebut didapatkan dari nilai data titik yang sudah terisi data atributnya yaitu hasil penjumlahan curah hujan 10 tahun pada dua stasiun Kota Samarinda dan Kota Balikpapan dalam pengolahan interpolasi ini digunakan rumus Franke & Nielson (1980):

$$w_i = \frac{\left[\frac{R - d_i}{R d_i}\right]^p}{\sum_{j=i}^{n} \left[\frac{R - d_j}{R d_j}\right]^p} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Keterangan:
R = titik sampel terjauh dari pusat grid
n = jumlah titik sampel
i dan j = nomor titik sampel
w = bobot
D = jarak masing masing titik sampel

Tools IDW ini salah satu algoritma yang baik digunakan untuk peta curah hujan, sehingga pada pengolahan dihasilkan 5 kelas curah hujan dengan *tool classify* pada *software* Arcmap 10.8 yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.

Sebaran Titik Panas (Hotspot)

Titik panas (*hotspot)* merupakan hasil daerah yang memiliki indikasi deteksi kebakaran hutan/lahan menggunakan algoritma tertentu yang terpantau oleh citra satelit (Giglio L. *et al.* 2003). Data titik panas *(hotspot)* biasa digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang terindikasi mengalami kebakaran. Semakin banyak titik panas *(hotspot)* maka daerah tersebut semakin banyak daerah yang terindikasi kebakaran. Akan tetapi tidak selamanya banyaknya daerah dengan titik panas *(hotspot)* dan berulang terindikasi kebakaran. Maka dari itu ada klasifikasi penentuannya yang disebut tingkat kepercayaan atau *confidence level* merupakan tingkat kepercayaan sebenarnya suatu kejadian kebakaran pada suatu wilayah. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.8/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2018 Tentang Prosedur Tetap Pengecekan Lapangan Informasi Titik Panas Dan/Atau Informasi Kebakaran Hutan dan Lahan Pasal 8 ayat 3 sebagai berikut

Tabel 2. Klasifikasi tingkat kepercayaan.

Tingkat Kepercayaan	Kelas
< 30%	Rendah
30% - 79%	Sedang
> 80 %	Tinggi

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia

Mengacu Pada Endrawati (2016) bahwa identifikasi kebakaran hutan/lahan memfokuskan untuk dapat mendeteksi indikasi kebakaran hutan dan lahan di wilayah dengan tingkat

kemungkinan tertinggi. Hal ini diambil untuk mengefektifkan keterbatasan sumber daya manusia serta tingkat kepercayaan dibawah 80% terindikasi bukan kebakaran hutan melainkan suhu panas dari daerah tersebut. Pada penelitian ini menggunakan data dari *website FIRMS NASA* yang diambil dari tahun 2014 hingga 2023 menggunakan citra *Terra dan Aqua MODIS.* Setelah itu menggunakan Software Arcmap 10.8 dilakukan interpolasi menggunakan *Kernel Density* merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan fungsi kepadatan probabilitas suatu data. Dari hasil tersebut ke proses *reclassify* gunanya untuk membuat klasifikasi hasil raster tersebut menjadi 5 kelas (aman, tidak bahaya, agak bahaya, bahaya dan sangat bahaya) (Aldiansyah, 2022) dibuat menjadi data vektor untuk analisis lebih lanjut.

Metode Interpretasi Visual

Pemetaan penutupan lahan menggunakan metode penginderaan jauh dengan cara pengumpulan data berupa hasil interpretasi visual dari Citra *google maps* yang diperoleh dari *software Sas Planet* dengan waktu akses data pada 26 Maret 2024 yang kemudian dianalisis menggunakan unsur-unsur interpretasi citra. *Sasplanet* merupakan suatu program yang menjadi perantara yang dirancang untuk dapat mengakses citra satelit dengan resolusi tinggi.

Tahap penelitian pembuatan peta penutupan lahan meliputi: 1) tahapan persiapan, yaitu tahap pengumpulan data penginderaan jauh seperti citra satelit *google maps* 26 Maret 2024 dan data penunjang lainnya seperti data batas administrasi Kawasan Ibu Kota Nusantara dan data sekunder. 2) Tahap interpretasi citra *google maps*, tahapan ini merupakan tahapan interpretasi citra yang dilakukan dengan metode visual dengan menggunakan proses *digitasi on screen, di* tahapan ini melakukan kegiatan digitasi sesuai dengan karakteristik objek yang didasari unsur-unsur interpretasi dan membatasi kelompok yang memiliki karakteristik yang sama dengan kelompok yang memiliki karakteristik lain yang berbeda. 3) Setelah melakukan digitasi tahap selanjutnya adalah pengklasifikasian jenis tutupan lahan berdasarkan klasifikasi Standar Negara Indonesia tahun 2010 dan menghitung luasan dari masing-masing jenis tutupan lahan yang dihasilkan dengan cara memanfaatkan *tools dissolve* penggunaan lahan terlebih dahulu dan menggunakan *calculate geometry* untuk menghitung luasan tutupan lahan dalam bentuk hektare.

Proses Metode *Weighted Overlay*

Pada metode *weighted overlay* dilakukan pemrosesan pembobotan berdasarkan keempat peta parameter sebelumnya. Metode *weighted overlay* merupakan proses yang melibatkan pembobotan pada setiap peta parameter yang sebelumnya telah dilakukan skoring pada setiap klasifikasinya, setelah dilakukan pembobotan pada pada keempat peta parameter akan dihasilkan satu peta utama yaitu Peta Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan. Pada proses penentuan kelas bahaya yang digunakan yaitu berupa formula yang mengacu pada penelitian (Rizkia *et al.*, 2020) yang akan menghasilkan gambaran suatu wilayah titik rawan terjadinya kebakaran hutan. Penentuan kelas bahaya berdasarkan nilai tengah dan standar deviasi dengan menghasilkan tiga tingkatan kelas ancaman yang terdiri dari tinggi, sedang, dan rendah. (lihat **Tabel 3.**).

Tabel 3. Klasifikasi kelas bahaya.

Skor Y	Tingkat Ancaman
y min ≤ y < (y – ½ SD)	Rendah
(Y – ½SD) ≤ y < (Y + ½ SD)	Sedang
Y ≥ (Y + ½ SD)	Tinggi

Sumber: Jurnal Hutan Lestari (2020) (Rizki & Fadlan, 2020)

dimana:
Y = Median perhitungan jumlah skoring
SD = Standar Deviasi

Proses Pembuatan Peta Kerawanan Kebakaran Hutan

Peta Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan yang dihasilkan melalui proses *weighted overlay* dengan tujuan agar dapat melakukan analisis dari beberapa peta parameter yang telah disatukan menjadi satu kesatuan sebagai faktor perwakilan keseluruhan parameter. Dilakukan pembobotan yaitu dengan melakukan penjumlahan skor dari setiap parameter menggunakan *tools field calculator*, kemudian hasil penjumlahan keseluruhan tersebut dimasukkan kedalam klasifikasi berdasarkan (**Tabel 2.**) dengan mengacu pada perhitungan nilai tengah *(mean)* dan standar deviasi. Proses *weighted overlay* menjadi bahan acuan untuk peta titik kerawanan kebakaran hutan. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan klasifikasi yang terdiri dari 3 kelas yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

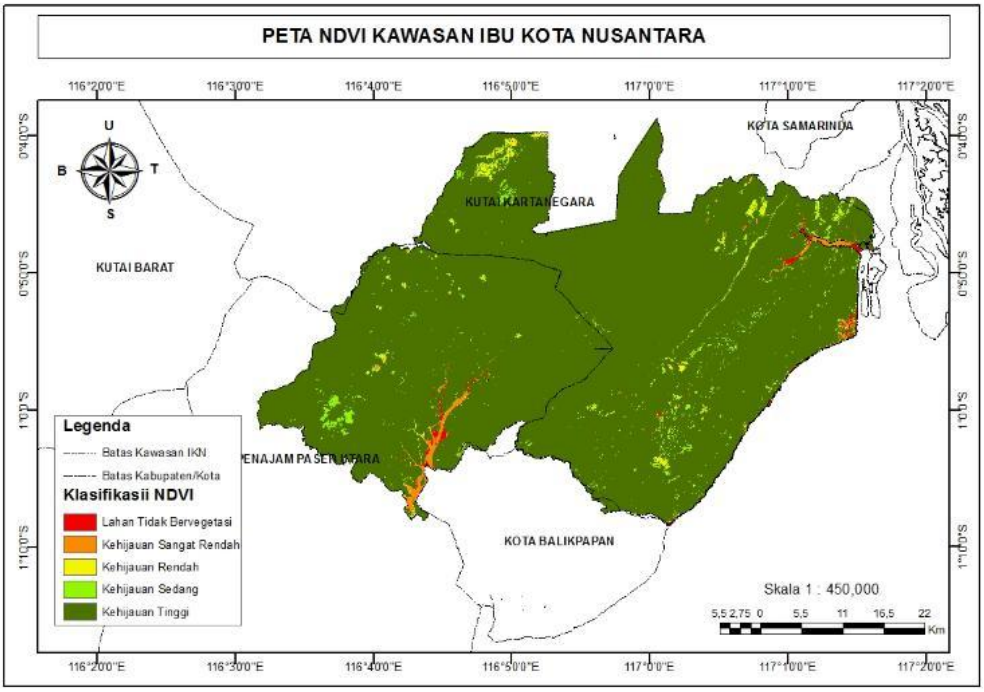
NDVI *(Normalized Difference Vegetation Index)*

Dapat dilihat pada peta NDVI bahwa tingkat kehijauan vegetasi daerah Ibu Kota Nusantara dengan menggunakan klasifikasi Wahyunto 2014 rentang klasifikasi yang pertama yakni Lahan Tidak Bervegetasi memiliki luasan 1.097,17 Ha hal ini dikarenakan daerah IKN terdapat beberapa wilayah yang dipergunakan menjadi penutup lahan dan biasanya penutup lahan ini dipergunakan untuk membuat pembangunan baru. Wilayah yang didominasi oleh klasifikasi ini berada pada kawasan inti dan kawasan pengembangan IKN, skoring yang didapatkan pada klasifikasi Lahan Tidak Hijau ini pada nilai 1 yang berarti sangat tidak berbahaya. klasifikasi yang kedua yakni Tingkat Kehijauan Sangat Rendah dengan luasan 2.399,44 Ha yang berarti titik kehijauannya sangat sedikit dan biasanya vegetasinya hampir digunakan dengan penggunaan lahan lainnya, pada klasifikasi ini memiliki nilai skoring 2 yang berarti tidak bahaya. Klasifikasi yang ketiga yakni Kehijauan Rendah yang memiliki luasan 2.633,67 Ha, hal ini dikarenakan terdapat beberapa wilayah yang memiliki tingkat kehijauan rendah, skoring yang didapatkan yakni 3 adalah sedang. Klasifikasi yang keempat yakni Kehijauan Sedang dengan luasan 4.588,19 Ha yang berarti klasifikasi ini luasannya cukup besar karena pada wilayah IKN sendiri tingkat kehijauannya masih mendominasi dibandingkan tutupan lahan. Skoring yang didapatkan yakni 4 yang berarti bahaya. dan klasifikasi terakhir yakni Kehijauan Tinggi, pada klasifikasi ini memiliki luasan 245.158 Ha, pada klasifikasi ini mendominasi pada wilayah IKN hal ini dikarenakan pada wilayah ini penutup lahannya masih sedikit dan tingkat vegetasinya sangat luas. skoring yang didapatkan pada klasifikasi ini adalah 5 yang berarti sangat berbahaya. Dari hasil skoring dengan memiliki klasifikasi yang digunakan bahwa jika tingkat kehijauan tinggi maka rawan kebakaran pun tinggi, maka jika sebaiknya tingkat kehijauan tidak ada makan rawan kebakaran pun sekali tidak ada. Karena sebaran kebakaran akan dipengaruhi oleh vegetasi.

Tabel 4. Hasil klasifikasi, luasan, dan skoring NDVI Ibu Kota Nusantara.

Klasifikasi	Luasan (Ha)	Skoring
Lahan Tidak Bervegetasi (-1< NDVI <-0,03)	1097,17	1
Kehijauan Sangat Rendah (-0,03< NDVI <0,15)	2399,44	2
Kehijauan Rendah (0,15< NDVI <0,25)	2633,67	3
Kehijauan Sedang (0,25< NDVI <0,35)	4588,19	4
Kehijauan Tinggi (0,35< NDVI <1)	245158	5

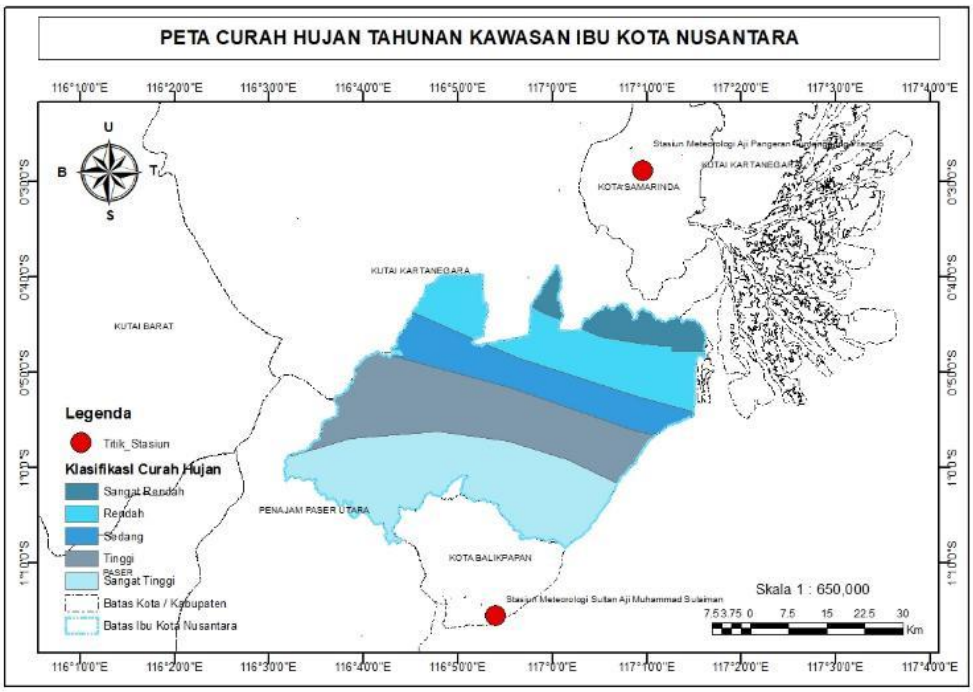
Setelah mendapatkan luasan dan *skoring* maka dapat divisualisasikan melalui peta NDVI dengan klasifikasi yang sudah ditentukan sebelumnya. nilai NDVI pada Ibu Kota Nusantara didominasi oleh rentang nilai 0,35 - 1 hal ini dikarenakan wilayah IKN sendiri tingkat vegetasinya masih luas dan sedikitnya tutupan lahan.



Gambar 1. Peta NDVI Kawasan Ibu Kota Nusantara.

Curah Hujan

Pada Peta Curah Hujan menggunakan data 10 tahun dari 2014 hingga 2023, dengan metode *Isoline* dan menggunakan *tools* IDW pada *software* Arcmap 10.8, data yang digunakan ini mengacu pada dua stasiun yang berada di Kalimantan Timur dan berada dekat dengan wilayah Ibu Kota Nusantara, yaitu dua pos hujan yang digunakan adalah pada Kota samarinda digunakannya Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto dan pada Kota Balikpapan digunakannya Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman. Data curah hujan yang didapatkan dari data online Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) ini adalah data curah hujan harian dan dilakukan pengolahan sehingga menghasilkan data curah hujan 10 tahun pada 2014 hingga 2023.



Gambar 2. Peta Curah Hujan Kawasan Ibu Kota Nusantara.

Data yang didapatkan dari hasil pengolahan interpolasi menghasilkan peta curah hujan tahunan wilayah Ibu Kota Nusantara seperti pada (**Gambar 2**) dari hasil pengolahan interpolasi dilakukan pengklasifikasian dengan menggunakan *tools classify,* dihasilkan 5 kelas berdasarkan curah hujan dengan menghasilkan pengkelasan sebagai berikut:

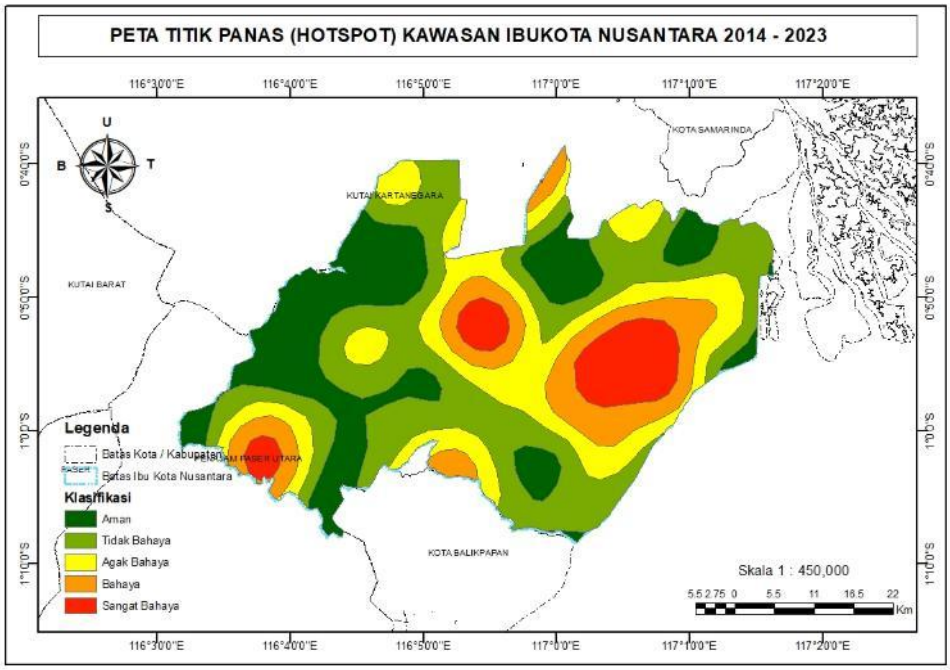
Tabel 5. Klasifikasi curah hujan menggunakan data online BMKG 2014 – 2023.

Kelas	Curah Hujan (mm/tahun)	Klasifikasi
1	2.717,2 - 2.788,7	Sangat Rendah
2	2.788,7 - 2.842,9	Rendah
3	2.842,9 - 2.881	Sedang
4	2.881 - 2.938	Tinggi
5	2.988.6 - 3.011	Sangat Tinggi

Sumber: Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS) Vol 1 No 1 (2020)

Pada 5 kelas yang dihasilkan dilakukannya *calculate geometry* untuk menghitung luasan setiap 5 kelasnya. Didapatkan pada klasifikasi sangat rendah menghasilkan luasan 16.555,5 Hektare (ha) pada bagian utara Ibu Kota Nusantara, lalu pada klasifikasi Rendah memiliki luasan 47.698,6 Hektare (ha), pada klasifikasi sedang memiliki luasan 38.108,3 Hektare (ha), pada klasifikasi tinggi memiliki luas 71.568,1 Hektare (ha), dan 81.943,7 Hektare (ha). Dari data yang dihasilkan pada wilayah yang berada di kelas rendah tersebut tentunya memiliki intensitas kebakaran yang tinggi dibanding dengan wilayah yang berada di kelas tinggi curah hujannya karena curah hujan yang rendah dapat menyebabkan kekeringan dan tentunya dapat menimbulkan potensi kebakaran hutan.

Sebaran Titik Panas *(Hotspot)*



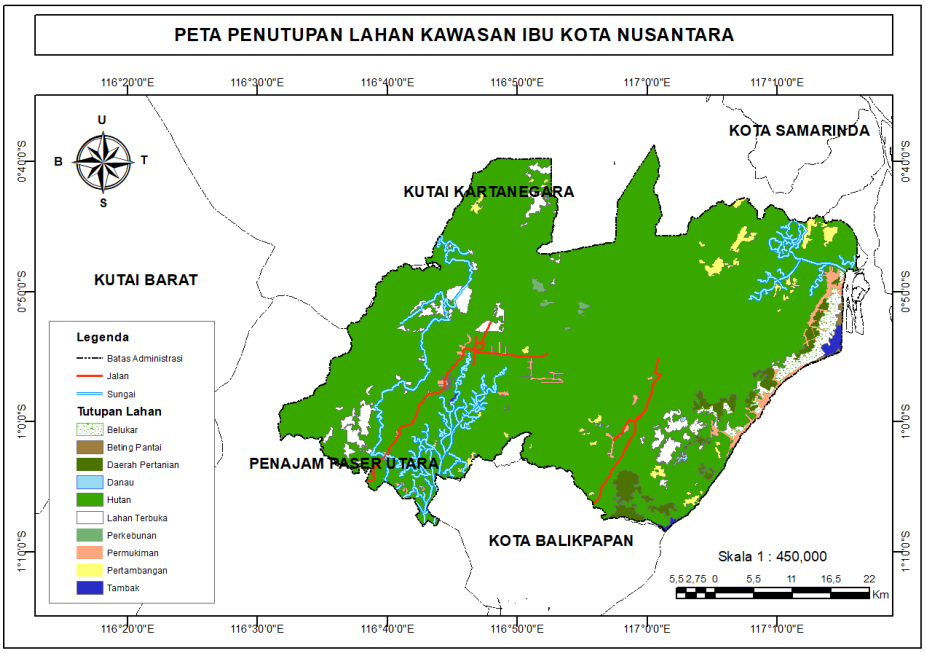
Gambar 3. Peta Titik Panas (Hotspot) Kawasan Ibukota Nusantara 2014-2023

Peta sebaran titik panas (*hotspot)* di daerah Ibukota Nusantara pada 10 tahun terakhir yaitu dari tahun 2014 hingga tahun 2023. Titik panas (*Hotspot)* daerah Ibu Kota Nusantara yang diperoleh dari *website FIRMS-NASA* dalam kurun waktu 10 tahun memiliki lebih dari 1000 titik panas (*hotspot)*, akan tetapi untuk penentuan daerah yang sudah atau terindikasi kebakaran hanya menggunakan titik dengan tingkat kepercayaan yaitu berjumlah 294 titik menggunakan Citra *Terra dan Aqua* MODIS. Titik-titik ini kemudian diinterpolasi menggunakan metode *Kernel Density.* Dari hasil pengolahan tersebut terklasifikasi menjadi 5 yang terdiri dari (aman, tidak bahaya, agak bahaya, bahaya dan sangat bahaya) yang ditunjukan pada (**Gambar 3.**) Kemudian

menggunakan *calculated geometry* dihasilkan luasan terbesar adalah Tidak bahaya dengan luas daerah 86.963 Ha dengan nilai *skoring* 2, disusul oleh daerah Aman dengan luas daerah 60450 Ha dengan nilai *skoring* 1, yang ketiga adalah kelas agak bahaya dengan luas 53.944 Ha dengan nilai *skoring* 3, yang keempat adalah daerah dengan kelas bahaya dengan luas daerah 33.590 Ha, dan terakhir adalah daerah dengan klasifikasi sangat bahaya terindikasi berpotensi kebakaran atau pernah mengalami kebakaran dengan luas total 20.741 Ha.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan dalam kurun waktu 10 tahun daerah Ibukota Nusantara memiliki banyak sebaran titik panas (*hotspot)* dengan tingkat kepercayaan tinggi diatas 80 %. Jika dilihat dari visualisasi hasil interpolasi dan sebaran titik panas bagian timur Kecamatan Samboja dan Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara dan sebagian tengah di Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara Ibukota Nusantara merupakan daerah yang sangat bahaya karena titik panas (*hotspot)* berkumpul pada daerah tersebut.

Penutupan Lahan



Gambar 4. Peta Penutupan Lahan Kawasan Ibu Kota Nusantara Tahun 2024.

Berdasarkan pada peta penutupan lahan seperti pada (**Gambar 4**) didapatkan dua belas jenis tutupan lahan hasil dari interpretasi visual citra *google maps* 26 Maret 2024. Pemetaan ini merupakan hasil dari proses interpretasi visual penutupan lahan dengan skala 1:50.000 yang mengacu pada klasifikasi Penutup Lahan Standar Nasional Indonesia (BSNI) tahun 2010 yang disusun berdasarkan sistem klasifikasi penutup Lahan *UNFAO* dan *ISO*. Penutup lahan merupakan salah satu peta parameter yang dapat mengidentifikasi sebaran daerah rawan kebakaran dengan melihat jenis tutupan lahan pada kawasan Ibu Kota Nusantara. *Skoring* peta penutupan lahan dilakukan berdasarkan tingkat kerentanan tutupan lahan yang mudah terbakar. Nilai skor 1 diberikan untuk jenis tutupan lahan yang mudah terbakar sampai nilai skor 7 untuk tutupan lahan yang tidak mudah terbakar. pembobotan ini mengacu pada Ruecker 2002 dalam sabaraji (2005).

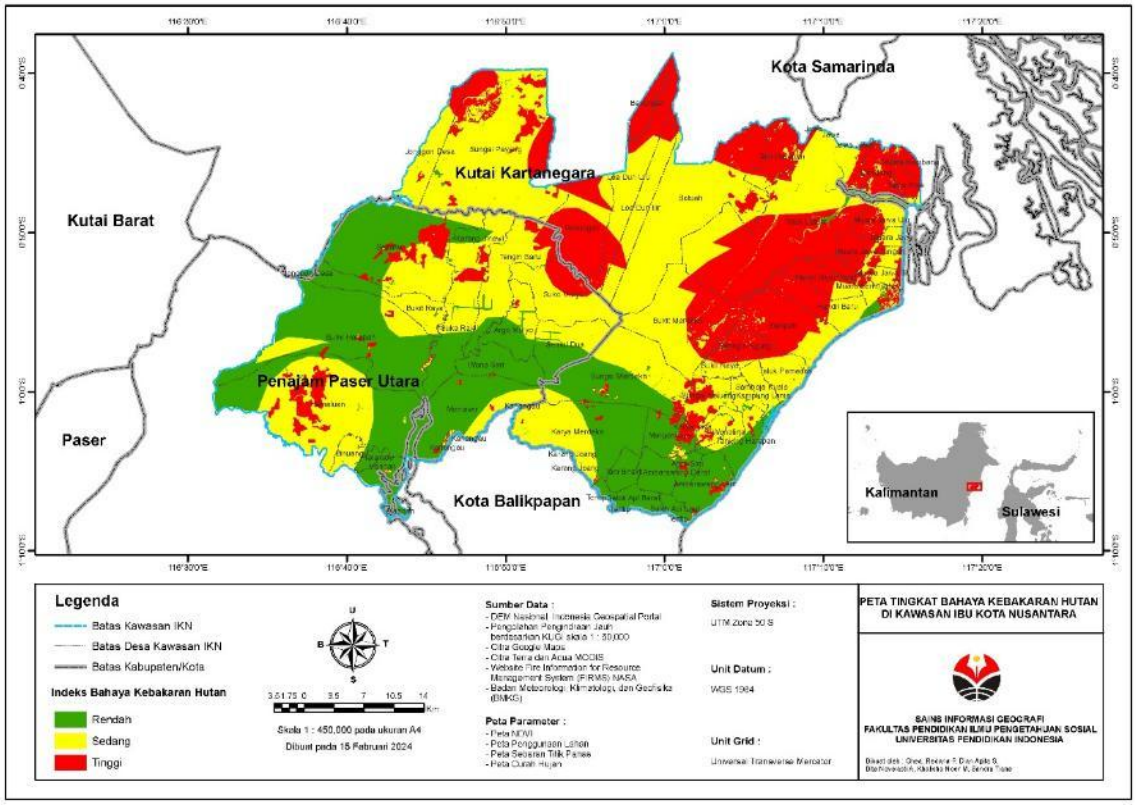
Tabel 6. Skor kelas penutupan lahan.

No.	Penutup Lahan	Skor
1.	Belukar dan Permukiman	1
2.	Daerah Pertanian, Hutan	2
3.	Perkebunan	3
4.	Pertambangan	6
5.	Beting pantai, danau, lahan terbuka, tambak, dan sungai	7

Sumber: Ruecker dalam Sabaraji (2005)

Berdasarkan Hasil *Skoring* Tutupan Lahan yang memiliki tingkat bahaya kebakaran adalah Belukar dengan total luasan 4.342 Ha dan Permukiman dengan total luasan 3.529 Ha, hal ini dapat terjadi dikarenakan jenis vegetasi pada area belukar relatif lebih kering sehingga menyebabkan tingginya potensi tingkat bahaya kebakaran pada area ini, sedangkan pada area permukiman tingkat bahaya kebakaran dapat terjadi akibat lahan yang berdekatan serta banyak potensi benda yang mudah terbakar sehingga memiliki potensi api lebih cepat menyebar luas ke area lain. Sedangkan untuk tutupan lahan dengan hasil skoring yang memiliki tingkat paling rendah terjadinya potensi kebakaran relatif merupakan jenis tutupan lahan badan air dan area tutupan lahan yang minim seperti danau dengan luas 334 Ha, tambak dengan luas 943 Ha, benting pantai dengan luas 340 Ha dan Lahan Terbuka dengan luas 7.456 Ha. Adapun total luasan penutup lahan lainnya yaitu hutan dengan luas area 229.938 Ha, daerah Pertanian dengan total luasan area 5.614 Ha, perkebunan dengan total luasan area 474 Ha dan pertambangan dengan total luas area 3.185 Ha.

Peta Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan Kawasan Ibu Kota Nusantara



Gambar 5. Peta Tingkat Bahaya Kebakaran Hutan di Kawasan Ibu Kota Nusantara.

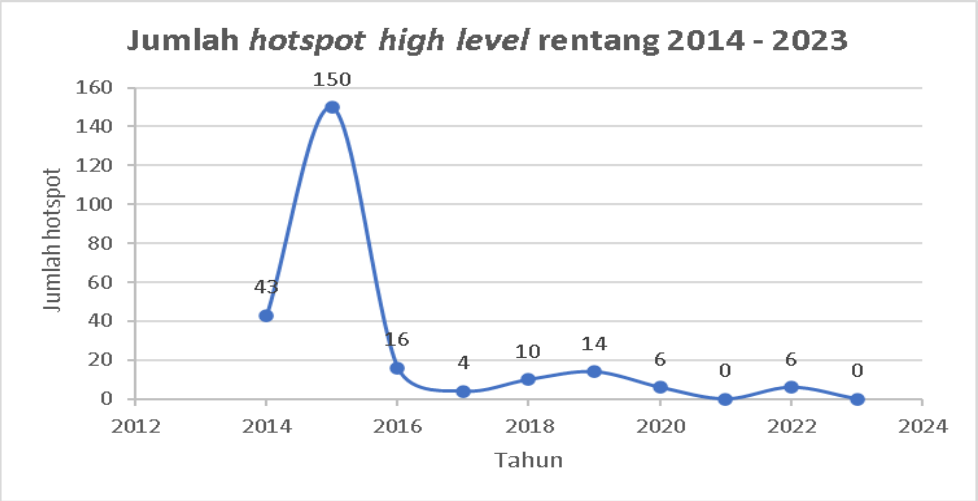
Berdasarkan proses pembuatan peta tingkat bahaya kebakaran hutan, dihasilkan tingkatan risiko bahaya kebakaran hutan di Kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) seperti pada (**Gambar 5**), serta didapatkan pula analisis luasan dari setiap tingkatan risiko bahaya kebakaran hutan dengan klasifikasi ancaman rendah seluas 72.692,2 Ha (28,62%), ancaman sedang seluas 118.860 Ha (46,78 %), dan ancaman tinggi seluas 62.506,6 Ha (24,60%). Wilayah yang termasuk tingkat bahaya kebakaran hutan yang tinggi diantaranya terdapat di perbatasan Kecamatan Sambala sampai sebagian Kecamatan Muara Jawa, dan beberapa wilayah di Kecamatan Loa Janan. Pada (**Gambar 5**) menunjukan bahwa kawasan IKN termasuk dalam tingkat bahaya kebakaran hutan dari sedang hingga tinggi, ditandai dengan adanya penutup lahan berupa hutan yang sangat luas, semak belukar serta banyaknya sebaran *hotspot di* wilayah tersebut.

Kebakaran hutan yang sering terjadi di Indonesia menimbulkan asap kabut yang berdampak buruk tidak saja di wilayah Indonesia tetapi juga sampai ke negara tetangga. Dampak buruk dari asap kabut tersebut terjadi pada sektor kesehatan dan lingkungan, sektor ekonomi dan

transportasi, serta menyebabkan pencemaran lintas batas (Suryani, 2012). Mengacu terhadap realita tersebut, dalam penelitian ini digunakan distribusi *hotspot* dengan difokuskan pada wilayah IKN yang mencakup sebagian Kabupaten Penajam Paser Utara dan sebagian Kabupaten Kutai Kartanegara. Berdasarkan website *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) teridentifikasi jumlah *hotspot* sebanyak 249 titik dalam rentang tahun 2014 - 2023. dengan tingkat *confidence level* ≥ 80% dan termasuk *high level* yang didefinisikan sebagai sebuah *confidence level* bahwa *hotspot* tersebut terpantau oleh satelit penginderaan jauh sebagai sebuah kejadian kebakaran yang terjadi di lapangan. Informasi data *hotspot* yang diperoleh dari satelit MODIS dengan kemampuanya dalam mendeteksi kebenaran api kebakaran dalam resolusi spasial 1 km persegi saat melintasi di atas areal yang terbakar (Giglio, dkk. 2016). Hasil Identifikasi jumlah *hotspot* (*high level*) mendominasi pada tahun 2015 sebanyak 150 *hotspot*, namun pada tahun setelahnya sampai tahun 2022 tren *hotspot* mengalami penurunan yang cukup signifikan (**Gambar 6.**).

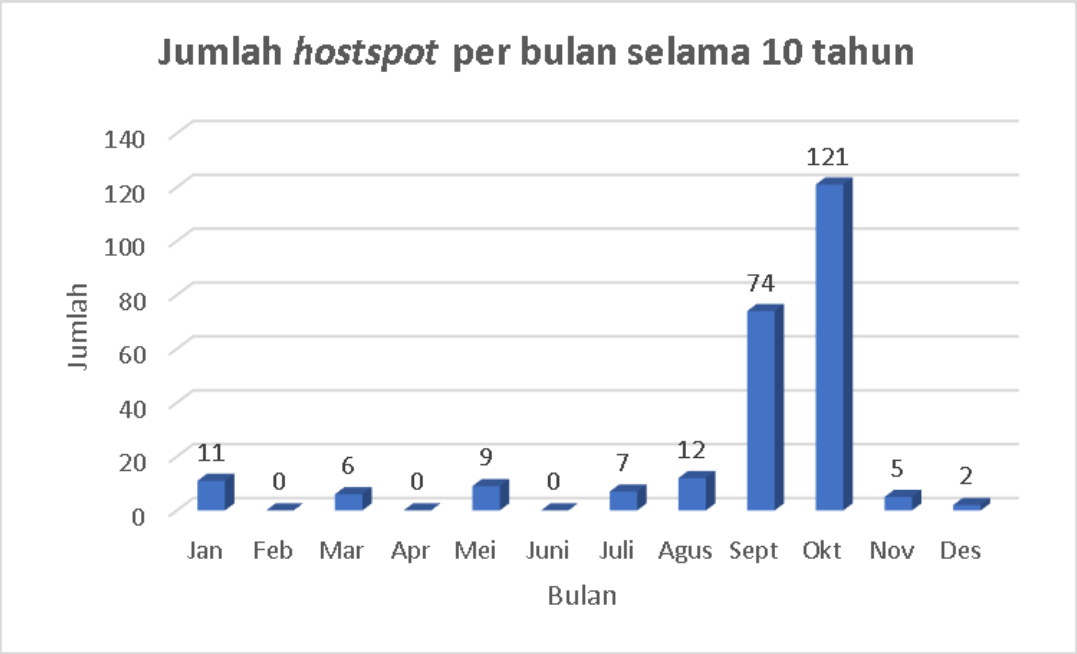
Tabel 7. Ringkasan jumlah *hotspot high level* selama rentang 2014 - 2023 (10 tahun)

	Bulan												
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agus	Sept	Okt	Nov	Des	**Jumlah**
2014	1	0	2	0	3	0	4	2	14	14	1	2	43
2015	0	0	0	0	1	0	0	8	35	103	3	0	150
2016	7	0	2	0	4	1	1	0	1	0	0	0	16
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	4
2018	0	0	0	0	0	0	1	1	7	1	0	0	10
2019	0	0	0	0	0	0	0	1	13	0	0	0	14
2020	3	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0	1	6
2023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	**11**	**0**	**6**	**0**	**9**	**0**	**7**	**12**	**74**	**121**	**5**	**2**	**249**



Gambar 6. Jumlah *hotspot high level* rentang 2014 - 2023 (10 tahun).

Secara keseluruhan dari penjumlahan *hotspot* tiap bulannya, dapat dilihat mulai dari bulan Januari sampai bulan Agustus masih terpantau jumlah *hotspot* yang stabil dan cenderung rendah, sedangkan pada bulan berikutnya terdapat kemunculan *hotspot* yang signifikan dimulai pada bulan September dengan jumlah 74 *hotspot* dan puncaknya pada bulan Oktober dengan jumlah *hotspot* sebanyak 121, serta mengalami penurunan kembali secara drastis di bulan November (**Gambar 7**.). Jumlah sebaran *hotspot* dengan tingkat klasifikasi sangat bahaya berfokus pada 3 wilayah yakni di sebagian Kecamatan Muara Jawa, sebagian Kecamatan Samboja yang terdiri dari beberapa desa diantaranya Desa Beringin Agung dan Desa Sanipah, sebagian Kecamatan Loa Janan tepatnya di Desa Bakungan, serta 2 desa di Kecamatan Cipaku tepatnya di Desa Suko Mulyo dan Desa Pemaluan. (**Gambar 3**.).



Gambar 7. Jumlah *hotspot high level* yang dihitung dalam rentang 10 tahun.

Hal tersebut menggambarkan adanya hubungan yang dekat antara penutup lahan berupa hutan yang luas serta semak belukar dan beberapa penutup lahan lainnya yang memiliki kerentanan tinggi dengan sebaran *hotspot*, hal ini dibuktikan dengan terdapat banyak *hotspot di* wilayah hutan bersamaan dengan tingkatan risiko dari sedang hingga tinggi. Analisis lain terhadap penutup lahan berupa pemukiman, belukar, dan daerah pertanian menjadi daerah yang sensitif terhadap kebakaran dibandingkan dengan penutup lahan lainnya, hal ini disebabkan karena jenis penutup lahan yang disebutkan menjadi bahan utama dalam proses pembakaran ringan dengan minimnya kandungan air sehingga relatif kering. Menurut Anderson dkk (1999) dalam Sabaradji (2005) bahwa jenis vegetasi padang rumput dan semak belukar tingkat bahaya kebakarannya sangat tinggi.

Parameter NDVI sebagai acuan untuk melihat keberadaan vegetasi yang ada di wilayah IKN dengan mengukur nilai yang didapatkan dari nilai reflektan cahaya dekat (*RED*) dan cahaya inframerah dekat (*NIR*) untuk menghasilkan informasi kepadatan dan kesehatan vegetasi. Pada (**Gambar 1.**) disajikan peta NDVI yang menunjukkan keberadaan vegetasi yang sangat luas dengan kehijauan dan kerapatan yang tinggi, hal tersebut menjadikan 95.81% dari total keseluruhan luas IKN adalah vegetasi berupa hutan yang dinilai memiliki ancaman bahaya terbakar yang cukup tinggi, hal ini dapat dilihat pada (**Gambar 5.**). Selain ketiga parameter yang telah disebutkan, peta tingkat bahaya kebakaran hutan juga dipengaruhi oleh curah hujan di wilayah tersebut. Curah hujan merupakan faktor alamiah yang berhubungan erat dengan tingkat kerawanan kebakaran hutan. Pada (**Gambar 5.**) terdapat wilayah berwarna hijau di sebagian wilayah IKN yang berada di Kabupaten Penajam Paser Utara sampai wilayah Kabupaten Kutai Kartanegara tepatnya pada sebelah selatan dekat perbatasan dengan Kabupaten Penajam Paser

Utara. Wilayah tersebut termasuk dalam klasifikasi ancaman rendah karena dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi yaitu dengan intensitas curah hujan sebesar 2.881 - 3.011 mm/tahun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis berbagai parameter seperti curah hujan, penggunaan lahan, nilai NDVI, dan hotspot, serta penilaian menggunakan skoring dan pembobotan, dapat ditarik kesimpulan bahwa Kawasan Ibukota Nusantara menghadapi risiko kebakaran hutan yang dapat dikategorikan sebagai sedang. Temuan ini menggambarkan adanya keterkaitan yang erat antara luasnya hutan dan semak belukar, serta beberapa jenis penutup lahan lainnya yang menunjukkan tingkat kerentanan yang signifikan dengan distribusi hotspot yang teridentifikasi. Dengan kata lain, terdapat potensi risiko yang cukup serius terhadap kebakaran hutan di kawasan tersebut, meskipun tingkat bahayanya tidak dapat disebut sebagai sangat tinggi. Namun demikian, perlu diingat bahwa ada daerah-daerah tertentu yang mungkin memerlukan perhatian lebih besar, khususnya di sekitar batas wilayah administratif seperti Kecamatan Sambala, sebagian Kecamatan Muara Jawa, dan sejumlah area di Kecamatan Loa Janan. di wilayah-wilayah ini, risiko kebakaran hutan cenderung lebih tinggi, sehingga langkah-langkah pencegahan dan mitigasi yang efektif akan menjadi sangat penting.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan suatu perjalanan dan pengalaman berharga bagi para penulis, maka dari itu kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pihak yang sudah memberikan dorongan dan motivasi yang konstruktif baik itu dalam bentuk bantuan saran dan masukan yang sangat berguna bagi kami dalam meningkatkan kualitas penyusunan *paper* yang berjudul "Analisis Sebaran Titik Rawan Kebakaran Hutan di Ibu Kota Nusantara Menggunakan Integrasi Peta Multiparameter".

Terimakasih dan apresiasi sebesar-besarnya kepada Tim Penulis yang sudah berusaha keras dalam menyusun dan merumuskan *Paper* ini sehingga dapat terealisasi dan selesai tepat waktu. Dedikasi serta kerja keras tim merupakan kunci utama keberhasilan Penelitian ini.

Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada Pihak Badan Informasi Geospasial (BIG) selaku penyelenggara acara Seminar Nasional Geomatika VII Tahun 2024 yang telah memberikan kesempatan juga wadah bagi kami untuk menuangkan ide dalam bentuk karya tulis ini serta berpartisipasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang geospasial. Tentunya dukungan BIG sangat berarti bagi kelancaran Penelitian ini.

Kami menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca untuk meningkatkan kualitas penelitian kami di masa yang mendatang. Harapannya semoga *Paper* ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang geospasial, khususnya dalam upaya penanggulangan kebakaran hutan di Kawasan Ibu Kota Nusantara.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Muin & Heinrich Rakuasa. (2023). Pemetaan Kerentanan Kebakaran Hutan di Pulau Buru, Provinsi Maluku Berdasarkan Fire Hotspot. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, *2*(4), 675–683. https://doi.org/10.55123/insologi.v2i4.2256

Abdul Muhari. (01 Agustus). Karhutla Seluas 1,6 Ha di Wilayah Penajam Paser Utara Padam. *2021*. https://www.bnpb.go.id/berita/karhutla-seluas-1-6-ha-di-wilayah-penajam-paser-utara-padam

Agustina, A., Sugandi, D., & Somantri, L. (2012). *PEMANFAATAN CITRA QUICKBIRD UNTUK PEMETAAN PENGGUNAAN LAHAN di CIBEUNYING KOTA BANDUNG*. *12*.

Aldiansyah, S., Wahid, K. A., & Ningsih, D. S. W. (2022). PEMETAAN WILAYAH KEBAKARAN HUTAN dan LAHAN MENGGUNAKAN CITRA MODIS (Studi Kasus: Provinsi Sulawesi Tenggara). *Jurnal Geosaintek*, *8*(1), 141. https://doi.org/10.12962/j25023659.v8i1.12019

Eko Priyanto. (2024). STRATEGI PENCEGAHAN KARHUTLA dalam PEMBANGUNAN IKN. *Banjarbaru*, *Vol. 3 No. 1*. https://majalah.bsilhk.menlhk.go.id/index.php/STANDAR/article/view/189/171

Elania Aflahah, Furqon Alfahmi, Rahmat Hidayat, & Rini Hidayati. (2018). Pendugaan hotspotsebagai indikator kebakaran hutan di Kalimantan berdasarkan faktor iklim. *Bogor*, 1–14. http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.405-418

Endrawati, S.Hut. (n.d.). *ANALISA DATA TITIK PANAS (HOTSPOT) & AREAL KEBAKARAN HUTAN dan LAHAN*. Desember 2016.

Feriansyah, T., Febriani, R., Norcela, P. D., Elvira, W. V., Gayatri, R., Hary, R., Muchliana, S. S., & Nahar, N. (2020). Integrasi SIG dan Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Kebakaran Lahan di Lampung Utara. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, *1*(2), 71–79. https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i2.20

Humam, A., Hidayat, M., Nurrochman, A., Anestatia, A. I., Yuliantina, A., & Aji, S. P. (2020). Identifikasi Daerah Kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh di Kawasan Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, *1*(1), 32–42. https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.14

IKN. (21 Januari). *Letak Ibu Kota Baru Indonesia Bernama Nusantara, Ini Detail Lokasinya*. http://news.detik.com/berita/d-5908269/letak-ibu-kota-baru-indonesia-bernama-nusantara-ini-detil-lokasinya

Jawad, A., Nurdjali, B., & Widiastuti, T. (2015). *ZONASI DAERAH RAWAN KEBAKARAN HUTAN dan LAHAN di KABUPATEN KUBU RAYA PROVINSI KALIMANTAN BARAT*. *3*.

Pramono, G. H. (2008). Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi. *Forum Geografi*, *22*(1), 97. https://doi.org/10.23917/forgeo.v22i1.4929

Sadam Richwanudin, F. D. S. (2 Maret). Fenomena Kebakaran Hutan Kalimantan dalam Kacamata Ekologi Politik. *2 Maret 2021*, *Kebakaran Hutan Kalimantan*, 1.

Saharjo, B. H., & Effendi, D. A. (2023). Pengaruh Curah Hujan dan Terjadinya Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut di Kabupaten Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi. *Journal of Tropical Silviculture*, *14*(02), 126–131. https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.02.126-131

Sari, E. N., Debataraja, N. N., & Huda, N. M. (n.d.). *Pemetaan Tingkat Kerawanan Kebakaran Hutan Kalimantan Barat Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)*. *Vol 11, No. 5 (2022),* hal. 697-704.

SEBAIKNYA ANDA TAHU TENTANG "KARHUTLA." (28). *November 2022*, *Karhutla*, 1.

Suryani, A. S. (2012). *PENANGANAN ASAP KABUT AKIBAT KEBAKARAN HUTAN di WILAYAH PERBATASAN INDONESIA*. *3*.

Tohir, Ri. K., & Pramatana, F. (2020). PEMETAAN ANCAMAN dan KARAKTERISTIK KEBAKARAN HUTAN dan LAHAN (KARHUTLA) PROVINSI LAMPUNG. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, *15*(2), 12–27. https://doi.org/10.31849/forestra.v15i2.4705

Undang-undang (UU) Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara. (15 Februari). *15 Februari 2022*.

KAJIAN KERUSAKAN LINGKUNGAN PASCA GEMPA BUMI DI DESA LIANG KECAMATAN SALAHUTU KABUPATEN MALUKU TENGAH PROVINSI MALUKU

(*Study Of Environmental Damage Post Earthquake In Liang Village Salahutu District Central Maluku Maluku Province*)

Badarudin Aswat Tutupoho, Danang Sri Hadmoko, Bowo Susilo
Pengelolaan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada

Universitas Gadjah Mada, Jalan Teknika Utara, Mlati, Sleman, Yogyakarta 5528.
Email: aswatbadar98@gmail.com

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia dan dapat mengakibatkan perubahan terhadap kondisi lingkungan. Perubahan kondisi lingkungan pasca terjadinya gempa bumi meliputi komponen abiotik, biotik, dan kultural. Desa Liang, Kecamatan Salahutu, merupakan salah satu wilayah yang rawan dan pernah beberapa kali mengalami gempa bumi. Dampak gempa bumi tersebut, khususnya terhadap kondisi lingkungan, belum pernah dikaji. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan tingkat kerusakan lingkungan pasca terjadinya gempa, serta merumuskan strategi dan kebijakan pengelolaan untuk pelestarian lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode survei dengan pendekatan analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan cara menganalisis kondisi topografi di lapangan. Analisis kuantitatif terhadap kondisi kerusakan dengan klasifikasi pembagian perubahan kualitas air, kerusakan sumur, likuifaksi, longsor, rumah. Untuk mengetahui persepsi masyarakat dilakukan dengan cara wawancara mendalam kepada informan yang telah ditentukan. Hasil analisis tingkat kerusakan lingkungan di Desa Liang masuk kategori kerusakan ringan, sedang, dan berat. Tingkat kerusakan lingkungan termasuk dalam ketegori ringan, sedang, berat. Strategi pengelolaan lingkungan yang dipandang sesuai diterapkan adalah pendekatan ekologis, teknologi, sosial, dan institusi. strategi tersebut perlu diterapkan dengan memperlihatkan aspek abiotik, biotik, dan kulural pada setiap lokasi akibat bencana pasca gempa bumi.

Kata Kunci: Kerusakan Lingkungan, Gempa Bumi, Desa Liang

ABSTRACT

Earthquakes are one of the disasters that often occur in Indonesia and can result in changes to environmental conditions. Changes in environmental conditions after the earthquake include, including abiotic, biotic, and cultural components. Liang Village, Salahutu District, is one of the areas that is prone to earthquakes and has experienced several times. The impact of the earthquake, particularly on environmental conditions, has never been studied. This study aims to determine the type and level of environmental damage after the earthquake, and to formulate management strategies and policies for environmental conservation. This study uses a survey method with quantitative and qualitative analytical approaches. Qualitative analysis is carried out by analyzing topographic conditions in the field. Quantitative analysis of the damage conditions with the classification of damage to wells, changes in water quality, liquefaction, landslides, houses. To find out the perception of the community, it was done by means of in-depth interviews with predetermined informants. The results of the analysis of the level of environmental damage in Liang Village are categorized as light, medium, and heavy damage. The level of environmental damage is included in the category of mild, moderate, severe. Environmental management strategies that are deemed appropriate to be applied are ecological, technological, social and institutional approaches. The strategy needs to be implemented by showing the abiotic, biotic, and cultural aspects of each location as a result of the post-earthquake disaster.

Keywords: *Environmental Damage, Earthquake, Liang Village*

PENDAHULUAN

Secara umum lingkungan hidup dikelompokan menjadi tiga golongan, yaitu: (i) lingkungan fisik (physical environment); (ii) lingkungan biologis (*biological environment*); lingkungan sosial (*social environment*), (Abdurrahman (2015). Kondisi lingkungan di Indonesia saat ini sangatlah dinamis dikarenakan banyaknya bencana yang mengakibatkan perubahan lingkungan meliputi komponen abiotik, biotik, dan kultural. Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007, bencana dapat didefinisikan sebagai peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam.

Indonesia merupakan negara rawan bencana dilihat dari aspek geografis, klimatologis dan demografis. Keberadaan Indonesia yang terletak pada 3 (tiga) lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik yang bergerak saling menumbuk menyebabkan dinamika geologi sangat dinamis dan mengakibatkan potensi bencana seperti gempa bumi, tsunami, dan longsor (BNBP, 2012).

Gempa bumi merupakan salah satu fenomena alam yang dapat disebabkan oleh buatan/akibat kegiatan manusia maupun akibat peristiwa alam. Akibat dari kedua tersebut tanah menjadi bergetar sebagai efek dari menjalarnya gelombang energi yang memancar dari pusat gempa (Pujianto, 2007).

Pemicu terjadinya gempa bumi disebabkan oleh beberapa hal yaitu (a) tectonic force yang berkaitan erat dengan pembentukan patahan (fault), interkasi antar lempeng pembentuk kulit bumi, (b) gempa vulkanik yang berkaitan dengan aktivitas gunung api (c) jatuhan atau runtuan massa batuan/tanah yang berukuran besar (d) ledakan konvensional dan nuklir serta (e) dampak tumbukan meteorit (Villaverde, 2009).

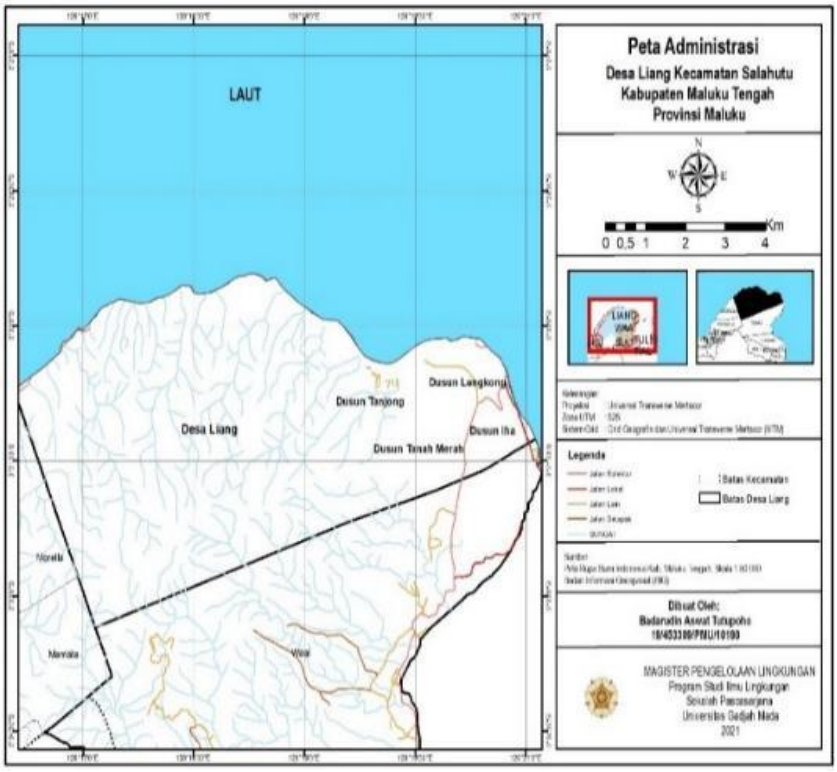
Rumusan masalah adalah mengkaji jenis maupun menganalisis tingkat kerusakan lingkungan pasca gempa bumi. Tujuan penelitian adalah mengkaji dan menentukan tingkat kerusakan lingkungan pasca gempa bumi dan merumuskan strategi pengelolaan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan selama 1 bulan yaitu dimulai dari Juli-Agustus 2021. Tempat penelitian di Desa Liang, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Adapun lokasi penelitian diperlihatkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**. Pemilihan lokasi kajian penelitian di Desa Liang karena wilayah ini mengalami dampak kerusakan lingkungan pasca gempa bumi tahun 2019 dari segi komponen abiotik, biotik, dan kultural.

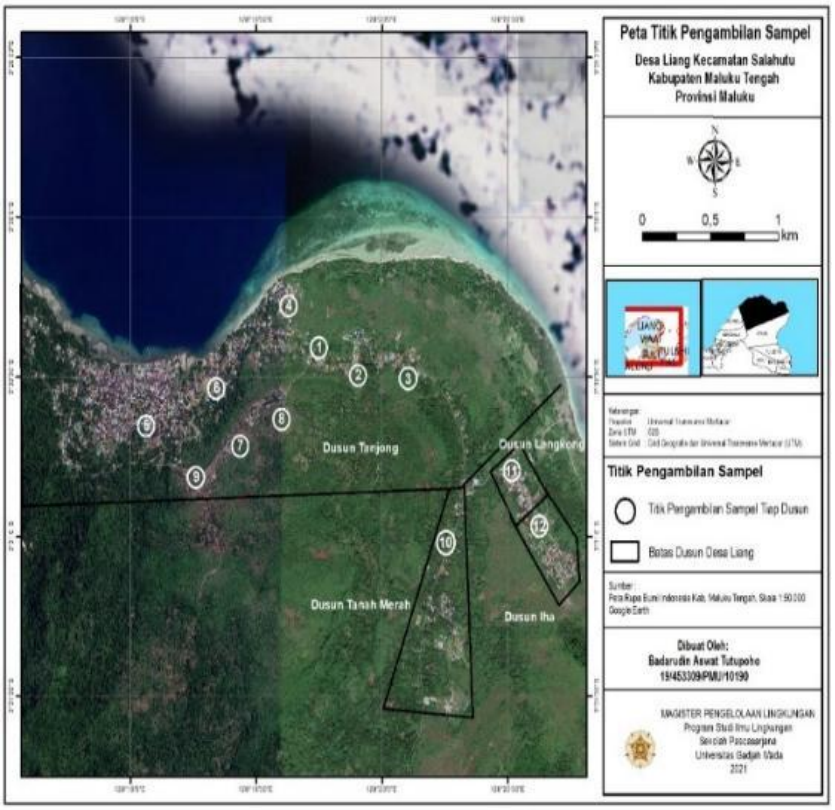
Penelitian menggunakan pendekatan analisis kuantitatif dan kualitatif Analisis kualitatif dilakukan dengan cara menganalisis kondisi topografi di lapangan serta identifikasi kerusakan pasca gempa bumi. Analisis kuantitatif terhadap kondisi kerusakan dengan klasifikasi pembagian perubahan kualitas air, kerusakan sumur, likuifaksi, longsor, rumah. Metode survey dilakukan untuk mengetahui keadaan nyata (*real*) di lapangan, dimana metode ini adalah salah satu metode dalam penelitian kualitatif (Creswell, 2014). Sampel ini dimaksudkan untuk menghimpun data yang akan menjawab rumusan-rumusan permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian. Data yang telah dihimpun baik dari survei lapangan maupun dari instasional akan dianalisis secara deskriptif kualitatif untuk memperloleh data dampak pasca gempa bumi secara menyeluruh. Analisis data diarahkan secara mendalam dan menyeluruh (*deep & holistic*) sehingga pembahasan yang disajikan dapat bermakna dan akurat. Daerah penelitian secara administrasi berada di Desa Liang, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah yang dapat dilihat pada **Gambar 1.** Luas wilayah Desa Liang adalah 19.90% (BPS Kecamatan salahutu Tahun 2019).



Gambar 1. Peta Administrasi Desa Liang

Prosedur

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode survei dan pengamatan lapangan. Hasil analisis kerusakan lingkungan pasca gempa bumi kemudian dibuat peta titik pengambilan sampel pada masing-masing lokasi kajian penelitian sebagaimana tampak pada **Gambar 2.** Penentuan jenis dan tingkat kerusakan lingkungan abiotik, biotik, dan kultural menggunakan kriteria penilaian komponen lingkungan disajikan pada **Tabel 1.**



Gambar 2. Peta Titik Pengambilan Sampel.

Tabel 1. Kriteria penilaian komponen lingkungan.

No	Bidang/Sektor	LOK	Tingkat Kerusakan		
			RB	RS	RR
1.	Kondisi Air				
2.	Sumur				
3.	Longsor				
4.	Likuifaksi				
5.	Pertanian				
6.	Perkebunan				
7.	Rumah				
8.	Ekonomi				
9.	Psikis				
10.	Sosial Masyarakat				

Sumber: *Peraturan BNPB Nomor 11 Tahun 2008 tentang Pedoman Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis dan Tingkat Kerusakan Lingkungan

Analisis Jenis Kerusakan Lingkungan

Berdasarkan hasil dari pengamatan langsung di lokasi penelitian, ditemukan beberapa titik lokasi yang terdampak akibat adanya bencana gempa bumi. Titik lokasi ditentukan berdasarkan hasil data pengamatan di lapangan yang terdiri dari 4 dusun. Kejadian bencana gempa bumi biasanya terjadi akibat pergeseran lempeng sehingga meningkatnya faktor pemicu terjadinya gempa bumi. Bencana gempa bumi terjadi di lokasi penelitian tepatnya di 1 dusun yang mengakibatkan kerusakan lingkungan abiotik, biotik, dan kultural sedangkan di 3 dusun lainnya hanya terjadi kerusakan yang berkaitan dengan komponen kultural, mengakibatkan adanya kerusakan lingkungan yang terlihat maupun yang dirasakan oleh warga yang terdapat pasca terjadinya gempa bumi. Analsis kerusakan lingkungan dengan pengambilan data untuk mengetahui jenis kerusakan lingkungan dan tingkat kerusakan lingkungan di lokasi penelitian, kemudian dilakukan identifikasi terkait data yang telah dihimpun. Titik pengamatan di lokasi penelitian disajikan pada **Tabel 2** dibawah ini:

Tabel 2. 12 lokasi pengambilan sampel.

Sampel	Lokasi	Deskripsi	Tahun
1.	Tanjong	Imran	2019
2.	Tanjong	Ali	2019
3.	Tanjong	Azis	2019
4.	Tanjong	Nona	2019
5.	Tanjong	Saleh	2019
6.	Tanjong	Lahan	2019
7.	Tanjong	Jalan	2019
8.	Tanjong	Jalan	2019
9.	Tanjong	Jalan	2019
10.	T.Merah	Rumah	2019
11.	Lengkong	Rumah	2019
12.	Iha	Rumah	2019

Jenis kerusakan lingkungan ditentukan dengan melakukan identifikasi terhadap kondisi lingkungan abiotik, biotik, dan kultural di lokasi penelitian berdasarkan parameter lingkungam abiotik yaitu perubahan kondisi air, kerusakan sumur, longsor, dan likuifaksi. Lingkungan biotik adalah tutupan lahan menjadi gundul, tanaman mati. Lingkungan menggunakan metode wawancara langsung kepada korban yang terdampak gempa bumi di Desa Liang, Perangkat Desa Liang, dan Kepala BPBD Kab. Maluku Tengah. Wawancara dilakukan untuk mengetahui secara rinci

dampak yang terjadi pasca gempa bumi dimulai dari kerusakan kerusakan bangunan rumah, menurunnya mata pencaharian, menimbulkan trauma, dan penduduk mengungsi.

Kondisi Lingkungan daerah penelitian Pasca Gempa Bumi

Pasca gempa bumi di lokasi kajian menyebabkan berbagai macam kerusakan komponen abiotik, biotik, dan kultural diantaranya perubahan kondisi air, kerusakan sumur, longsor dan likuifkasi pada tanah. Perubahan kualitas air dan kerusakan sumur pasca gempa bumi menimbulkan dampak pada perubahan kuantitas dan kualitas airtanah yang bervariasi dari suatu tempat ke tempat lain ditandai dengan turun dan naIKNya muka air tanah akibat proses gempa berlangsung. Disamping itu pasca gempa bumi menyebabkan pencemaran yang lebih parah akibat sanitasi serta kemungkinan perubahan struktur geologi bawah tanah seperti retaknya lapisan kedap air dan akuifer (Sudarmadji, 2006). Temuan di lapangan kerusakan pada sumur dan menyebabkan perubahan kondisi air dari yang sebelumnya pasca gempa bumi diperlihatkan pada **Gambar 3**. Longsor yang terjadi karena pergerakan tanah saat gempa berlangsung menyebabkan degradasi pada lereng-lereng sehingga batuan jatuh berserta gumpalan besar tanah. Proses terjadinya longsor pasca gempa bumi akibat pergeseran yang besar dari proses guncangan gempa dan faktor lingkungan lainnya yang mempengaruhi pembentukan wilayah dan distribusi spasial suatu daerah (wang, 2014). Hasil temuan di lapangan yaitu longsor menyebabkan kerusakan pada tutupan lahan sehingga tanaman yang sejenis mati/rusak. Lokasi kajian di titik lainnya terjadi likuifaksi pada tanah. Fenomena ini terjadi dikarenakan terjadi pencairan pada tanah yang kemudian menyebabkan bongkahan kubang-lubang pada suatu kawasan dan terjadi tergantung jenis tanah pada suatu daerah (Naik, 2020). Pasca gempa bumi yang terjadi menyebabkan fenomena sumur menjadi kering, terjadinya likuifaksi pada tanah, terjadinya longsor pada beberapa bagian lereng, dan terjadinya kerusakan rumah. Sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 3, 4, 5**, dan **6**.



Gambar 3. Kondisi Sumur



Gambar 4. Likuifaksi Pada Tanah



Gambar 5. Kondisi Longsor



Gambar 6. Kondisi Bangunan Rumah

Tingkat Kerusakan Lingkungan

Analisis tingkat kerusakan lingkungan didapatkan dari jenis kerusakan di lokasi penelitian, kemudian dikelompokkan berdasarkan kerusakan abiotik, biotik, dan kultural. Pemberian skor dilakukan pada setiap parameter untuk mengetahui parameter tingkat kerusakan lingkungan yang

terjadi pada setiap komponen lingkungan. Kerusakan dikategorikan menjadi 4 dengan pemberian bobot masing-masing pada komponen yaitu, tidak ada kerusakan 0, kerusakan ringan 1, kerusakan sedang 2, dan kerusakan berat 3.

Tabel 3. Parameter kerusakan lingkungan aspek abiotik, biotik, dan kultural.

No	Titik Sampel	Parameter								Jumlah
		Abiotik					Biotik		Kultural	
		Air	Sumur	Longsor	Likuifaksi	Tutupan Lahan	Kebun	Semak Belukar	Rumah	
1	1	3	2	1	0	1	0	1	3	11
2	2	0	0	1	0	1	0	1	3	6
3	3	0	0	1	0	1	0	1	3	6
4	4	3	3	0	0	0	0	0	2	8
5	5	3	3	0	0	1	1	1	3	12
6	6	0	0	0	3	3	2	2	0	10
7	7	0	0	1	0	1	1	2	0	5
8	8	0	0	1	0	2	1	1	0	5
9	9	0	0	1	0	1	0	1	0	3
10	10	0	0	0	0	0	0	0	1	1
11	11	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12	12	0	0	0	0	0	0	0	3	3

Analisis pengharkatan dengan pemberian skor pada setiap parameter. Tingkat kerusakan lingkungan ditentukan dengan menghitung interval menggunakan rumus:

$$i = \frac{\sum a - \sum b}{n} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
Σb : Jumlah harkat terendah
Σa : Jumlah harkat tertinggi
n : Jumlah kelas
I : Lebar interval

Kelas dan harkat parameter kerusakan lingkungan pada unsur abiotik, biotik, dan kultural akibat bencana pasca gempa bumi berdasarkan rumus interval yang telah dilakukan didapatkan kriteria/ harkat pada setiap titik sampel dituangkan dalam **Tabel 4** sebagai berikut:

Tabel 4. Kriteria/Kelas dan Harkat.

No	Titik Sampel	Skor	Kelas	Kriteria Kerusakan
1	1	11	III	Berat
2	2 dan 3	6	III	Berat
3	4	8	II	Sedang
4	5	12	III	Berat
5	6	10	III	Sedang
6	7	5	III	Sedang
7	8	5	III	Sedang
8	9	3	I	Ringan
9	10	1	I	Ringan
10	11	1	I	Ringan
11	12	3	III	Berat

Berdasarkan analisis pada aspek kerusakan lingkungan abiotik, biotik, dan kultural pasca gempa bumi di Desa Liang dilakukan penyusunan kriteria/kelas dan harkat untuk mengetahui dampak pasca gempa bumi di titik-titik Lokasi pengambilan sampel yang ditujukan pada **Tabel 5** dibawah ini.

Tabel 5. Kriteria/Kelas dan Harkat.

Kelas	Kriteria	Harkat/Skor
I	Kerusakan Ringan	1-4
II	Kerusakan Sedang	5-8
III	Kerusakan Berat	9-12

Kerusakan lingkungan pada aspek kultural disajikan pada **Tabel 6.** menunjukan bahwa terjadi dampak yang sangat berpengaruh akibat adanya bencana gempa bumi dan pasca terjadinya gempa bumi bagi masyarakat Desa Liang. mulai dari rusaknya bangunan tempat tinggal, sulitnya untuk bekerja, turunnya pendapatan, menimbulkan trauma akut apabila terjadi gempa bumi kembali, dan masyarakat harus mengungsi ke tempat pengungsian karena masih sering terjadi gempa susulan pasca bencana gempa yang terjadi di Desa Liang. Sehingga menurut analisis termasuk ke dalam kriteria kerusakan berat.

Tabel 6. Parameter Kerusakan Kultural.

No	Variabel	Parameter	Nilai
1	Rumah	Rusak, Roboh	3
2	Ekonomi	Pekerjaan, Pendapatan	2
3	Kesehatan	Penyakit, Trauma	2
4	Penduduk	Mengungsi	3
Jumlah			**10**

Sumber: Analisis (2021)

Analisis Strategi dan Kebijakan Pengelolaan Lingkungan

Strategi Pengelolaan Lingkungan

Perumusan strategi pengelolaan lingkungan di daerah penelitian dirumuskan berdasarkan pada Peraturan BNPB Nomor 11 Tahun 2008 Tentang Pedoman Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana. Daerah penelitian merupakan wilayah dengan peruntukan sebagai kawasan wisata bahari dengan keindahan pantai dan terumbu karang berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Maluku Tengah Nomor 01 Tahun 2012 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Maluku Tengah Tahun 2011-20131.

Arahan pengelolaan lingkungan yang diterapkan yaitu melakukan upaya perbaikan dan mitigasi bencana pasca gempa bumi dengan metode-metode serta cara yang tepat dan benar guna mengendalikan, memperbaiki, serta meminimalisir terjadinya kerusakan terhadap lingkungan abiotik, biotik, dan kultural di Desa Liang. Perumusan strategi pengelolaan lingkungan dilakukan dengan 4 (empat) pendekatan yaitu pendekatan ekological, pendekatan teknologi, pendekatan sosial, dan pendekatan institusi. Rumusan strategi pengelolaan lingkungan adalah sebagai berikut:

Pendeketan Ekologi

Pendekatan Ekological adalah upaya pengelolaan lingkungan yang digunakan untuk mengelola lingkungan hidup pada lokasi penelitian yaitu di Desa Liang pasca gempa bumi dengan melakukan proses penerapan penanaman pepohonan pada kawasan lereng yang mengalami kerusakan lahan pasca gempa bumi sehingga dapat memperkuat lereng guna meminimalisir terjadinya longsor pasca gempa bumi.

Pendekatan Teknologi

Pendekatan teknologi adalah upaya pengelolaan lingkungan dengan penerapan teknologi baik dengan menggunakan pendekatan spasial maupun non spasial yang digunakan untuk memperbaiki kondisi kerusakan lingkungan maupun mengidentifikasi sebaran kerusakan pasca gempa bumi pada lokasi penelitian di Desa Liang dengan melakukan perbaikan sumur-sumur warga sekitar yang mengalami kerusakan dengan membangun kembali sumur dengan pendekatan teknologi sumur bor atau sejenisnya guna mengembalikan fungsi sumur sebagai wadah untuk masyarakat sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih sehari-hari. Sebab pasca kejadian bencana pasca gempa bumi masyarakat kesulitan untuk mendapatkan air bersih sehingga perlu dilakukan perbaikan.

Pendekatan Sosial

Pendekatan sosial adalah Upaya pengelolaan lingkungan dengan melalui tindakan interaksi sosial dengan objek tujuan yakni masyarakat yang terdampak bencana pasca gempa bumi. Yaitu

dengan melakukan sosialisasi kepada masyarakat terdampak bencana pasca gempa bumi dan memberikan bantuan kepada masyarakat terdampak pasca gempa bumi.

Pendekatan Institusi

Melakukan monitoring lingkungan kegiatan ini merupakan bentuk pengkajian dampak kerusakan lingkungan yang timbul pasca gempa bumi yang telah menyebabkan penurunan kualitas lingkunagn abiotik, biotik, dan kultural. Upaya monitoring yaitu dengan melakukan perbaikan sumur yang rusak, kondisi air yang menjadi kering dan melalukan penanaman pohon/ tanaman pada area longsor guna mencegah terjadinya longsor serta dilakukan pula pada area lahan yang rusak pasca gempa bumi.

Kebijakan Pengelolaan Lingkungan

Kebijakan pengelolaan lingkungan diarahkan kepada keterlibatan aktif dari masyarakat maupun pihak terkait guna melakukan perbaikan pada setiap komponen kerusakan lingkungan sehingga dapat diperbaiki sesuai dengan pendekatan pengelolaan lingkungan sehingga lingkungan tidak semakin terdegradasi pasca bencana gempa bumi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut yaitu, Jenis kerusakan lingkungan di Desa Liang khusunya di Dusun Tanjong yakni kerusakan abiotik meliputi air menjadi kering, sumur menjadi rusak, terjadinya longsor, likuifakasi pada tanah. Kerusakan biotik meliputi tutupan lahan menjadi gundul, tanaman mati akibat rusak pasca gempa bumi. Kerusakan lingkungan yang berkaitan dengan komponen kultural meliputi bangunan rumah rusak, penurunan matapencaharian, menyebabkan trauma akut bagi warga yang mengalami dampak pasca bencana gempa bumi, masyarakat mengungsi. Kerusakan yang terjadi di 3 Dusun lainnya yakni Tanah Merah, Lengkong, dan Iha hanya terjadi kerusakan bangunan rumah dan komponen kultural lainnya; Tingkat kerusakan lingkungan di Desa Liang termasuk ke dalam 3 (tiga) kategori, yaitu kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat; Strategi pengelolaan lingkungan yang dipandang sesuai diterapkan di Desa Liang yaitu dengan menerapkan metode pendekatan secara ekologis, teknologi, sosial dan institusi menyesusaikan dengan kondisi lingkungan aspek abiotik, biotik, dan kultural pada setiap lokasi akibat bencana pasca gempa bumi. Strategi pengelolaan lingkungan dengan pendekatan ekologis yaitu dengan menanam tanaman untuk memperkuat lereng Pendekatan teknologi dengan memperbaiki kondisi sumur yang rusak menggunakan teknologi sumur bor. Pendekatan sosial yaitu melakukan sosialiasi kepada masyarakat dan memberikan bantuan pada masyarakat yang terdampak pasca gemba bumi. Pendekatan institusi yaitu melakukan monitoring terhadap kondisi lingkungan pasca gempa bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan masukan dalam penelitian ini, terima kasih kepada Universitas Gadjah Mada yang telah menjadi tempat dalam menuntut ilmu, terima kasih kepada Kabupaten Maluku Tengah, Kecamatan Salahutu, dan Desa Liang yang telah memberikan izin serta informasi yang dibutuhkan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurahman, (2005). Pengantar Hukum Lingkungan Indonesia. Bandung: Alumni

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2008). Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 11 Tahun 2008 tentang Pedoman Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana. Jakarta: BNPB.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana No. 07 Tahun 2012 tentang Pedoman Pengelolaan Data dan Informasi Bencana Indonesia. Jakarta: BNPB.

Badan Pusat Statistik BPS. (2019). Kecamatan Salahutu dalam Angka 2019. Kecamatan Salahutu: BPS.

Creswell, J, W. (2014). Penelitian Kualitatif & Desain Riset. Yogyakarta: Pustaka Pelajar

Pujianto,. (2007). *Perencanaan Struktur Tahan Gempa. Yogyakarta:* Universitas Muhammadiah Yogyakarta.

Naik, S.P., Gwon, O., Park, K., dan Kim, Y.S, 2020. *Land Damage Mapping and Liquefaction Potential Analysis Of Soils From The Epicentral Region Of 2017 Pohang Mw 5,4 Earthquake*, South Korea. Pukyong National University, Korea. Doi: https://doi.org/10.3390/su12031234

Sudarmadji, (2006). *Perubahan Kualitas AirTanah di Sekitar Sumber Pencemar Akibat Bencana Gempa Bumi*. Forum Geografi, Vol. 20, No.2, Desember 2006: 00-119

Villaverde. R., (2009). *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering*. CRC Press-Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA

Wang, M., Liu, M., Yang, S., 2014. *Intercorporating Triggering and Environmental Factors In The Analysis Of* Earthquake-*Induced Landslide Hazards*. Journal Of Springer. Doi: 10.1007/s13753-014-0020-7

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMANFAATAN GNSS *INTERFEROMETRIC REFLECTOMETRY* UNTUK PEMANTAUAN KENAIKAN PERMUKAAN AIR LAUT ABSOLUT DI WILAYAH PESISIR BARAT SUMATERA UTARA

(Utilization of GNSS Interferometric Reflectometry for Monitoring Absolute Sea Level Rise in the West Coastal Region of North Sumatra)

Muhammad Giovani[1] dan Zulfikar Adlan Nadzir[1,2]
[1]Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera
[2]Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn

Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung
E-mail: mgiovani610@gmail.com

ABSTRAK

Wilayah pesisir rentan terhadap bencana akibat kapasitasnya yang terbatas dalam menghadapi perubahan iklim global. Kenaikan permukaan laut menjadi ancaman utama yang sering terjadi. Pengukuran menggunakan stasiun pasut diperlukan untuk melihat kenaikan muka air laut. di Indonesia, persebaran stasiun pasang surut belum merata, menunjukkan perlunya memperbanyak instrumen pengamatan pasang surut. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi metode *Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry* (GNSS-IR) untuk memantau kenaikan absolut permukaan air laut di pesisir Sumatera Utara dengan data dari Stasiun InaCORS CBRS dan CTEK periode 2020-2022. Hasil menunjukkan penerapan koreksi RHdot dan IFCorr dapat meningkatkan presisi pengukuran dengan nilai RMSE mencapai 0,145 m untuk CBRS dan 0,123 m untuk CTEK pada 2022. Tingkat presisi yang baik ini memungkinkan hasil GNSS-IR digunakan untuk keperluan analisis lebih lanjut, seperti meneliti tren kenaikan muka air laut dan melakukan peramalan untuk tahun-tahun mendatang. Analisis tren kenaikan muka air laut hasil GNSS-IR mengungkapkan kenaikan yang besar di kedua stasiun yang diamati, melebihi rata-rata kenaikan muka air laut global dengan kelajuan 9,7 mm/tahun untuk CBRS dan 8 mm/tahun untuk CTEK. Peramalan untuk tahun 2050 dan 2100 memprediksi kenaikan muka air laut yang cukup besar, mencapai 28,98 cm di CBRS dan 23,86 cm di CTEK pada 2050, serta 77,28 cm di CBRS dan 63,64 cm di CTEK pada 2100. Informasi ini penting untuk perencanaan adaptasi dan mitigasi risiko dalam pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN), agar strategi adaptasi yang tepat dapat dirancang untuk memastikan keberlanjutan dan ketahanan IKN terhadap dampak perubahan iklim di masa depan.

Kata kunci: GNSS-IR, Ibu Kota Nusantara, kenaikan muka air laut, pesisir.

ABSTRACT

Coastal areas were vulnerable to disasters due to their limited capacity in facing global climate change. Sea level rise became a major recurring threat. Measurements using tide stations were necessary to observe sea level rise. In Indonesia, the distribution of tide stations was uneven, indicating the need to increase tide observation instruments. This research aimed to analyze the potential of the Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) method to monitor the absolute sea level rise along the coast of North Sumatra using data from the InaCORS CBRS and CTEK stations for the period of 2020-2022. The results showed that the application of RHdot and IFCorr corrections could improve the measurement precision with RMS values reaching 0.145 m for CBRS and 0.123 m for CTEK in 2022. This good level of precision allowed the GNSS-IR results to be used for further analysis purposes, such as investigating sea level rise trends and forecasting for future years. The analysis of sea level rise trends from GNSS-IR revealed a significant rise at both observed stations, exceeding the global mean sea level rise rate with 9.7 mm/year for CBRS and 8 mm/year for CTEK. Forecasts for the years 2050 and 2100 predicted a considerable sea level rise, reaching 28.98 cm at CBRS and 23.86 cm at CTEK in 2050, and 77.28 cm at CBRS and 63.64 cm at CTEK in 2100. This information was crucial for adaptation and risk mitigation planning in the development of the new Ibu Kota Nusantara (IKN), by considering sea level rise projections to design appropriate adaptation strategies to ensure the sustainability and resilience of the IKN against the impacts of future climate change.

***Keywords**: GNSS-IR, IKN, sea level rise, coastal area.*

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir menjadi pusat dari kegiatan ekonomi dan sosial yang sangat penting bagi suatu negara. Sebagai pusat kegiatan ekonomi, wilayah pesisir menjadi tumpuan bagi sektor-sektor strategis, seperti transportasi, pelabuhan, industri, permukiman, dan pariwisata. Pertumbuhan ekonomi yang pesat di wilayah pesisir seringkali didorong oleh faktor-faktor strategis tersebut. Namun, keberadaannya yang strategis juga menjadikan wilayah pesisir rentan terhadap berbagai gangguan alam dan aktivitas manusia yang dapat meningkatkan ancaman risiko bencana (Syaiful & Koswara, 2021).

Salah satu ancaman utama wilayah pesisir adalah kenaikan permukaan air laut yang disebabkan oleh perubahan iklim global (Wahyudin, 2020). Fenomena perubahan iklim telah menyebabkan pemanasan global yang mengakibatkan mencairnya es di kutub dan pemuaian air laut, sehingga menyebabkan gelombang ekstrim dan kenaikan permukaan laut. Kenaikan permukaan laut akan memiliki dampak negatif yang luas, tidak hanya terhadap lingkungan pantai, tetapi juga sangat merugikan dari sudut pandang sosial dan ekonomi, terutama di daerah pantai dan pulau-pulau kecil (Rumahorbo *et al.*, 2023). Berdasarkan data dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), disebutkan bahwa tinggi rata-rata permukaan laut global terus meningkat dari 1,3 mm per tahun antara 1901-1971, menjadi 1,9 mm per tahun antara 1971-2006, dan mencapai 3,7 mm per tahun antara 2006-2018, dengan total kenaikan 0,20 m selama periode 1901-2018. IPCC juga memprediksi bahwa kenaikan permukaan air laut global dapat mencapai 0,26 hingga 0,98 meter pada tahun 2100 yang bervariasi tergantung pada faktor-faktor lokal seperti tektonik, erosi pantai, dan subsidensi tanah (IPCC, 2023).

Pengukuran tinggi muka air laut di Indonesia umumnya mengandalkan stasiun pasang surut yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Stasiun pasut ini terletak di sepanjang pesisir dan dilengkapi dengan sensor tekanan, sensor apung, dan radar untuk mengakuisisi data tinggi muka air laut (Fadlan & Rosanti, 2019). Namun stasiun pengamatan pasang surut cenderung bersifat lokal dan mengacu pada referensi daratan setempat, sehingga rentan terhadap perubahan elevasi permukaan tanah yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran terutama dalam konteks pengukuran kenaikan muka air laut absolut. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang mengacu pada kerangka referensi global untuk memastikan akurasi pengukuran yang lebih baik. Salah satu metode yang potensial adalah *Global Navigation Satellite System - Interferometric Reflectometry* (GNSS-IR) yang memanfaatkan data pengamatan GNSS.

GNSS-IR adalah metode yang memanfaatkan sinyal *multipath* (pantulan) dari pengamatan sinyal GNSS untuk mendeteksi karakteristik permukaan di bawah antena penerima GNSS. Dengan menganalisis parameter seperti *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan pola interferensi antara sinyal langsung dan sinyal pantulan, GNSS-IR dapat mengukur lokasi permukaan pantulan yang merujuk pada jarak vertikal dari penerima ke permukaan pantulan. Hal ini memungkinkan metode GNSS-IR untuk menentukan tinggi permukaan laut jika penerima GNSS diletakkan pada pandangan yang terbuka dengan laut (Larson & Williams, 2023). Metode GNSS-IR memiliki keunggulan dalam memperoleh perubahan muka laut secara relatif dari sinyal satelit yang dipantulkan permukaan air serta pergerakan vertikal lempeng dari sinyal satelit secara langsung sehingga mengatasi keterbatasan pengukuran pasang surut konvensional (Peng *et al.*, 2021). Metode GNSS-IR telah terbukti dapat digunakan sebagai alat pengukur pasang surut untuk menentukan permukaan air laut dengan menggunakan data pengamatan GNSS dengan ketelitian mencapai 2,1 cm (Larson *et al.*, 2017). Penelitian lain yang dilakukan di Stasiun Palmer, Antartika dengan rentang pengamatan selama tahun 2020 juga menunjukkan kualitas metode GNSS-IR sebagai alat pengukur tinggi muka air laut yang akurat, dengan koefisien korelasi hingga 0,91 terhadap pengamatan stasiun pasut konvensional dan root mean square error (RMSE) mencapai 14,1 cm(Selbesoglu, 2022). Penggunaan metode GNSS-IR juga pernah dilakukan di Indonesia, pada 4 stasiun InaCORS di Morotai (Maluku Utara), Piru (Maluku), Tehoru (Maluku), dan Pasangkayu (Sulawesi Barat), dengan pengamatan selama 2 bulan (60 hari). Hasil penelitian tersebut menunjukkan tingkat akurasi mencapai 18 cm dan korelasi sebesar 90% jika dibandingkan dengan data dari stasiun pasut. Temuan ini mengindikasikan potensi penggunaan GNSS-IR sebagai alat bantu pemantauan permukaan air laut yang dapat melengkapi fungsi dar stasiun pasut, terutama dalam situasi di

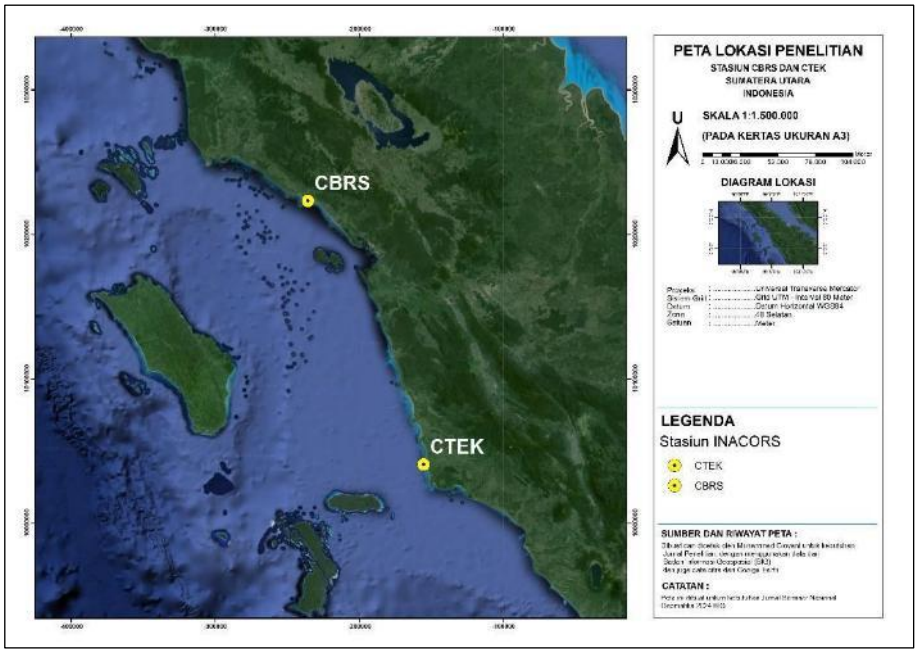
mana stasiun pasut memerlukan perawatan atau tidak dapat memberikan data secara optimal (Syetiawan *et al.*, 2022).

Diperlukan upaya-upaya yang komprehensif untuk memantau dan memitigasi risiko terkait kenaikan permukaan air laut di wilayah pesisir. Untuk memantau kenaikan permukaan air laut secara akurat, diperlukan metode yang andal dan efisien. dalam konteks tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi metode GNSS-IR dalam memantau kenaikan permukaan air laut absolut di pesisir barat Sumatera Utara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai presisi tinggi muka air laut absolut yang dihasilkan oleh metode GNSS-IR di pesisir barat Sumatera Utara, menganalisis tren kenaikan muka air laut di pesisir barat Sumatera Utara menggunakan data GNSS-IR periode tahunan. Penelitian ini penting dilakukan untuk memperoleh data yang akurat tentang kenaikan permukaan air laut di wilayah pesisir Sumatera Utara. Data tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk merencanakan strategi adaptasi dan mitigasi yang tepat dalam menghadapi ancaman perubahan iklim global dan kenaikan permukaan air laut. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terkait adaptasi perubahan iklim bagi perencanaan dan pengembangan Ibu Kota Nusantara (IKN) dalam konteks penggunaan metode GNSS-IR sebagai metode pengamatan komplementer akan tinggi muka laut selain stasiun pasang surut konvensional.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada 2 stasiun InaCORS yaitu, Stasiun CBRS yang terletak di Desa Pasar Batu Gerigis, Kec.Barus, Kab.Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara pada koordinat Lintang 0º 21' 53,72787" N , Bujur 99º 7' 7,16439" E dan Stasiun CTEK yang berada Desa Parlimbungan Ketek, Kec.Pasar Baru, Kec.Batahan, Kab.Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara pada koordinat Lintan 2 º 0' 18,05296" N , Bujur 98 º 23' 52,44478" E. Peta lokasi pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Software Package gnssrefl* yang dapat diakses secara terbuka (*open source*) pada laman *https://github.com/kristinemlarson/gnssrefl.* Software ini dikembangkan oleh Kristine M. Larson. Software gnssrefl berguna dalam pengolahan GNSS-IR agar mendapatkan estimasi tinggi permukaan air laut secara berkala dari data stasiun INACORS. Pengolahan tren kenaikan tinggi permukaan air laut dilakukan menggunakan software Microsoft

Excel dengan mengaplikasikan analisis regresi linier guna mendapatkan persamaan garis tren yang menggambarkan kecenderungan perubahan tinggi permukaan air laut dalam jangka panjang di stasiun CBRS dan CTEK.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) dari dua stasiun INACORS (*Indonesian Continuously Operating Reference Station*), yaitu CBRS dan CTEK dengan versi RINEX 2.11. Data RINEX ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) selaku pemilik data INACORS dan mengelola jaringan stasiun INACORS di seluruh wilayah Indonesia. Informasi detail mengenai data INACORS dari stasiun CBRS dan CTEK juga dapat diakses secara *online* melalui website *srgi.big.go.id*. Kedua stasiun tersebut dipilih dalam penelitian ini karena lokasinya yang berdekatan dengan wilayah pesisir sehingga memungkinkan pengukuran tinggi permukaan air laut dengan metode GNSS-IR. Data RINEX yang digunakan mencakup periode selama 3 tahun, yaitu dari tahun 2020 hingga 2022. Pemilihan rentang waktu selama 3 tahun bertujuan untuk mendapatkan data yang cukup panjang sehingga dapat menangkap tren jangka panjang dari tinggi permukaan air laut.

Pengolahan GNSS-IR

GNSS-IR, singkatan dari *Global Navigation Satellite Systems Interferometric Reflectometry*, adalah sebuah teknik yang memanfaatkan sinyal dari satelit navigasi global untuk mengukur permukaan air laut atau permukaan tanah dengan presisi tinggi. Teknik ini berbeda dari penggunaan konvensional GNSS, di mana sinyal satelit biasanya digunakan untuk menentukan posisi atau pergerakan suatu objek. dalam GNSS-IR sinyal yang dipantulkan dari permukaan air laut atau tanah digunakan untuk mengevaluasi ketinggian, tekstur, dan karakteristik permukaan tersebut. Sinyal pantulan tersebut adalah *multipath* yang merupakan pemantulan sinyal ke benda di sekitar antena sebelum diterima oleh penerima GNSS (Peng *et al.*, 2021).

Multipath adalah fenomena yang terjadi dalam pengamatan GNSS ketika sinyal-sinyal GNSS memantul dari permukaan sekitar antena penerima lalu menyebabkan sinyal menyimpang dari jalur langsung antara satelit pemancar dan antena penerima. Secara sederhana *multipath* disebabkan oleh pantulan sinyal dari permukaan horizontal di bawah antena GNSS. Ketika sinyal langsung dari satelit ke antena mengambil jalur yang berbeda dengan sinyal pantul sesuai dengan geometri pantulan, terjadi perbedaan waktu tiba dan fase antara sinyal langsung dan sinyal pantul. Meskipun ada skenario *multipath* yang lebih kompleks, prinsip dasarnya tetap sama. Dampak dari sinyal pantulan ini adalah kesalahan dalam pengamatan fase pembawa GNSS yang dapat mempengaruhi penentuan posisi. Oleh karena itu, dalam aplikasi penentuan posisi konvensional, *multipath* dianggap sebagai sumber kesalahan yang perlu diatasi atau diminimalkan. Namun pada metode GNSS-IR sinyal *multipath* merupakan komponen utama yang digunakan (Larson & Williams, 2023).

Frekuensi *multipath* f dalam pengamatan fase pembawa yang disebabkan oleh pantulan planar horizontal ini telah dikenal selama bertahun-tahun yang ditunjukkan pada Rumus 1.

$$f = \frac{2H}{\lambda} cos(e) \frac{de}{dt} \quad \text{.....(1)}$$

Sudut elevasi e adalah sudut satelit GNSS di atas horizon lokal, H adalah tinggi pusat fase antena di atas permukaan pantulan, dalam penelitian ini mereferensikan tinggi muka air laut dan λ adalah panjang gelombang GNSS. Jika sebuah antena GNSS dikelilingi oleh permukaan planar yang luas, pada prinsipnya frekuensi *multipath* ini dapat ditentukan dari salah satu pengamatan GNSS dan profil koreksi untuk setiap satelit dapat dihitung dan diterapkan (Bilich *et al.*, 2008).

Tren Kenaikan Muka Air Laut

Kenaikan permukaan air laut merupakan fenomena naIKNya permukaan air laut yang disebabkan oleh penambahan volume air laut (Maciej Serda *et al.*, 2014). Fenomena ini menyebabkan perubahan ketinggian permukaan air laut yang dapat terjadi secara periodik maupun berkelanjutan. Perubahan periodik dapat diamati melalui fenomena pasang surut, sedangkan kenaikan yang berkelanjutan merupakan dampak dari pemanasan global. Fenomena

kenaikan permukaan air laut ini dapat mengakibatkan beberapa dampak, seperti pengurangan garis pantai, erosi pantai yang lebih cepat, banjir di wilayah pesisir, serta kerusakan infrastruktur pesisir seperti dermaga dan bangunan pantai lainnya, sehingga penting untuk mengetahui tren kenaikan permukaan air laut ke depannya (Ginanjar *et al.*, 2019).

Tinggi permukaan air laut yang diperoleh dari metode GNSS-IR dicari nilai rata-rata bulanannya untuk mendapatkan tren kenaikan tahunan, kemudian dilakukan analisis kenaikan permukaan air laut. Analisis dilakukan pada masing-masing titik stasiun INACORS untuk mengetahui besarnya kenaikan permukaan air laut yang terjadi. Dari analisis ini akan diketahui titik mana yang mengalami kenaikan permukaan air laut paling besar. Analisis ini juga dapat mengungkapkan kecenderungan atau tren kenaikan permukaan air laut yang terjadi setiap tahun.

Analisis tren dilakukan untuk mengamati kecenderungan data secara keseluruhan pada kurun waktu tertentu. dalam hal ini, analisis dilakukan untuk mengetahui adanya fenomena kenaikan permukaan air laut terhadap data tinggi permukaan air laut yang dihasilkan GNSS-IR. Metode yang digunakan adalah regresi linier dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Dari hasil regresi linier akan diperoleh persamaan garis linear sebagai berikut (Rahman & Khomsin, 2014):

$$y = ax + b \quad \text{.....(2)}$$

Di mana:
y = Tinggi Muka Air Laut
x = Jumlah bulan.
a = Koefisien regresi yang menyatakan ukuran kemiringan garis (*slope*).
b = Titik perpotongan garis dengan sumbu Y.

Peramalan Kenaikan Muka Air Laut

Proyeksi atau peramalan merupakan suatu estimasi atau perkiraan tentang kemungkinan kejadian di masa depan yang dapat diamati melalui kecenderungan atau tren yang sedang berlangsung saat ini. Proyeksi kenaikan muka air laut bisa dilakukan dengan metode *slope*. dalam konteks statistika, metode *slope* atau garis kemiringan merupakan koefisien regresi yang mengukur kontribusi atau pengaruh variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y). Nilai *slope* menunjukkan rata-rata perubahan yang terjadi pada variabel Y untuk setiap peningkatan satu satuan pada variabel X. Semakin besar nilai slope, semakin kuat pengaruh variabel X terhadap perubahan nilai Y. dalam peramalan kenaikan muka air laut, nilai *slope* merepresentasikan kelajuan atau laju kenaikan muka air laut per satuan waktu, biasanya dinyatakan dalam mm/tahun atau cm/tahun. Dengan mengestimasi *slope* dari data pengamatan tinggi muka air laut dalam rentang waktu tertentu, kita dapat memperoleh nilai yang menunjukkan pengaruh faktor waktu terhadap perubahan tinggi permukaan air laut. Nilai *slope* ini kemudian dapat digunakan untuk melakukan peramalan atau proyeksi kenaikan muka air laut di masa depan dengan mengekstrapolasi garis kemiringan berdasarkan *slope*, sehingga dapat memperkirakan tinggi permukaan air laut pada tahun-tahun mendatang seperti 2050 atau 2100. Peramalan ini menjadi sangat penting dalam perencanaan adaptasi dan mitigasi risiko terkait perubahan iklim, terutama bagi wilayah pesisir yang rentan terhadap dampak kenaikan permukaan laut (Agung *et al.*, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Presisi Tinggi Muka Air Laut GNSS-IR

Dalam penelitian ini, presisi mengacu pada tingkat ketelitian dari pengukuran tinggi muka air laut menggunakan metode GNSS-IR. Evaluasi presisi dilakukan dengan membandingkan nilai *Root Mean Square* (RMS). RMS yang dimaksud adalah nilai dari kesalahan atau penyimpangan antara nilai yang diamati dan nilai yang diprediksi oleh *spline fit* atau kurva *spline*. Sehingga, nilai RMS yang lebih rendah menunjukkan peningkatan presisi dari hasil tinggi muka air laut yang diperoleh metode GNSS-IR. Terdapat 3 nilai RMS yang berbeda berdasarkan koreksi yang digunakan. Metode koreksi yang digunakan mencakup 3 jenis, yaitu tanpa koreksi, hanya koreksi RHdot, dan koreksi RHdot dan Interfrequency Bias (IF). Tujuan kedua koreksi tersebut adalah untuk

meningkatkan akurasi nilai RH dengan menghilangkan pengaruh laju perubahan RH terhadap waktu (RHdot) dan menstandarisasi nilai RH antar berbagai frekuensi GNSS yang digunakan. Pengamatan dilakukan di dua stasiun INACORS, yakni CBRS dan CTEK, selama periode tiga tahun dari 2020 hingga 2022. Nilai RMS yang lebih rendah menunjukkan presisi yang lebih baik dalam pengukuran tinggi muka air laut. Nilai Presisi tinggi muka air laut hasil metode GNSS-IR dapat dilihat pada **Tabel 1 di** bawah.

Tabel 1. Nilai Presisi Tinggi Muka Air Laut GNSS-IR.

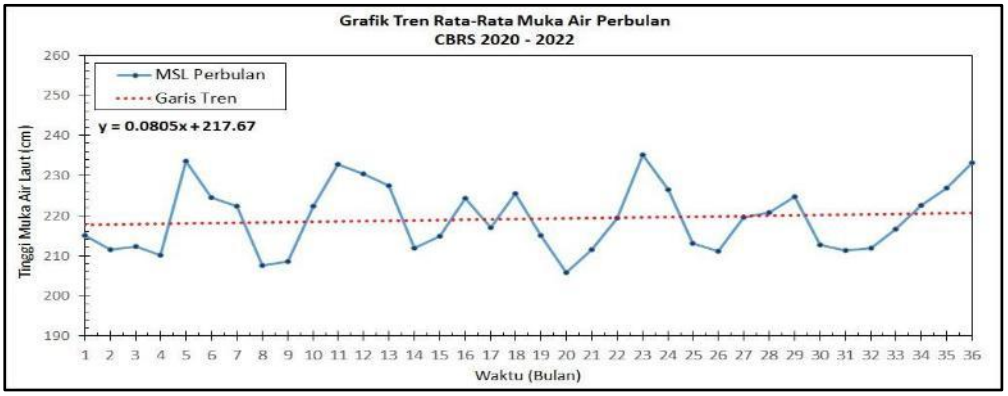
STASIUN	TAHUN	RMS w/o RHDot (m)	RMS w/ RHDot (m)	RMS w/ RHDot+IFCorr (m)
CBRS	2020	0,193	0,324	0,185
	2021	0,199	0,236	0,173
	2022	0,161	0,197	0,145
CTEK	2020	0,176	0,139	0,121
	2021	0,158	0,115	0,100
	2022	0,186	0,142	0,123

Hasil penelitian yang dapat dilihat pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa tanpa menggunakan koreksi perubahan tinggi antena (RHDot) dan koreksi interferensi (IFCorr), nilai RMS cenderung lebih besar, mencapai 0,193 m untuk stasiun CBRS dan 0,176 m untuk stasiun CTEK pada tahun 2020. Saat hanya menggunakan koreksi RHDot, terjadi perbedaan pengaruh antara kedua stasiun. Untuk stasiun CBRS, nilai RMS meningkat menjadi 0,324 m pada tahun 2020, sementara untuk stasiun CTEK, nilai RMS mengalami penurunan menjadi 0,115 m pada tahun 2021.

Presisi pengukuran tinggi muka air laut mengalami peningkatan yang signifikan ketika menggunakan koreksi RHDot dan IFCorr secara bersamaan. Nilai RMS terendah tercatat pada tahun 2022, yakni 0,145 m untuk stasiun CBRS dan 0,123 m untuk stasiun CTEK. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan koreksi RHDot dan IFCorr dapat meningkatkan akurasi pengukuran tinggi muka air laut dengan metode GNSS-IR. Meskipun demikian, terdapat perbedaan presisi antara stasiun CBRS dan CTEK, yang mungkin disebabkan oleh faktor-faktor seperti lingkungan sekitar stasiun, geometri satelit, dan kondisi permukaan air. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi presisi pengukuran tinggi muka air laut menggunakan metode GNSS-IR di setiap lokasi stasiun.

Analisis Tren Kenaikan Muka Air Laut

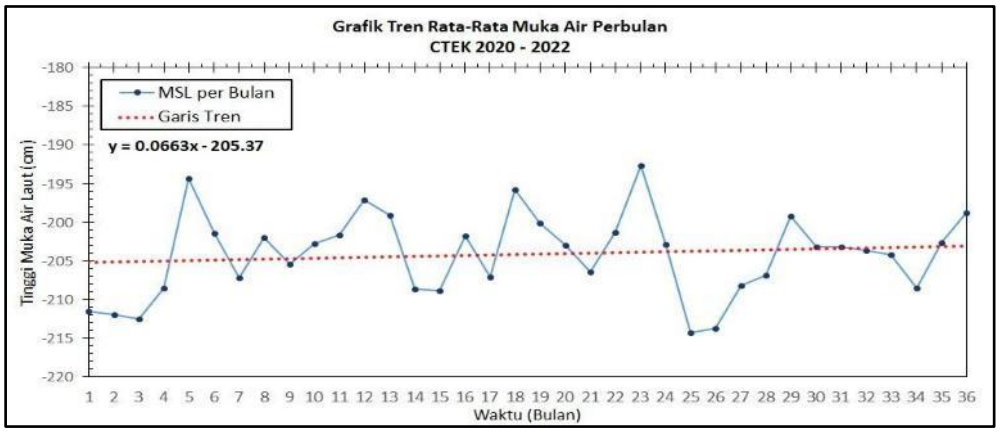
Pada penelitian ini, dilakukan analisis terhadap tren kenaikan permukaan air laut dengan menggunakan data tinggi permukaan air laut yang diperoleh dari metode GNSS-IR pada stasiun CBRS dan CTEK dalam rentang waktu tahun 2020 hingga 2022. Dari hasil analisis, grafik tren rata-rata muka air laut perbulan dari kedua stasiun menggambarkan pola yang fluktuatif. Secara keseluruhan terdapat kecenderungan kenaikan permukaan air laut yang signifikan. Temuan ini memberikan wawasan yang penting dalam memahami dinamika perubahan permukaan air laut di wilayah yang teramati.



Gambar 2. Tren Rata-Rata Muka Air Laut perbulan stasiun CBRS Tahun 2020 – 2022.

Berdasarkan grafik pada **Gambar 2.** yang menunjukkan tren rata-rata muka air per bulan di stasiun CBRS periode 2020-2022, dapat dilihat adanya fluktuasi yang cukup signifikan dari bulan

ke bulan. Garis tren linear (garis putus-putus) memiliki kemiringan positif dengan persamaan y = 0,0805x + 217,67 yang menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan rata-rata muka air laut meskipun tidak terlalu tajam dalam rentang waktu tersebut. Nilai 0,0805 pada persamaan tersebut menunjukan kelajuan kenaikan muka air laut per bulan sebesar 0,0805 cm/bulan, dari nilai tersebut bisa didapat kenaikan muka air per tahun sebesar 0,966 cm/tahun atau 9,7 mm/tahun. Puncak tertinggi terjadi pada bulan ke-23 (sekitar pertengahan tahun 2022), sedangkan titik terendah berada pada bulan ke-20.



Gambar 3. Tren Rata-Rata Muka Air Laut perbulan stasiun CTEK Tahun 2020 – 2022.

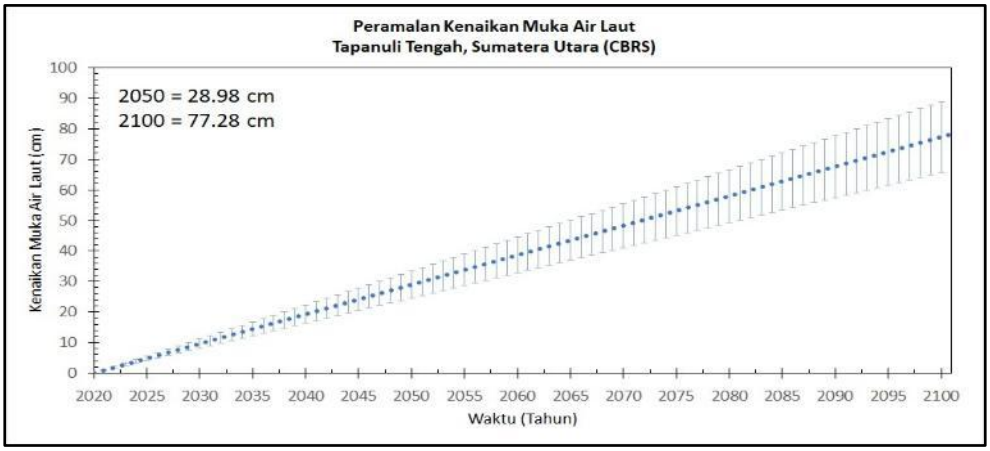
Pada **Gambar 3.** dapat dilihat grafik yang menunjukkan tren rata-rata muka air perbulan di Stasiun CTEK periode 2020-2022, dapat dilihat adanya fluktuasi yang cukup signifikan dari bulan ke bulan. Garis tren linear juga memiliki kemiringan positif dengan persamaan y = 0,0663x + 205,37, yang menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan rata-rata muka air laut. Namun kelajuan kenaikan muka air laut di stasiun CTEK lebih kecil dibandingkan stasiun CBRS dengan kelajuan per bulan sebesar 0,0663 cm/bulan, jika dijadikan kelajuan per tahun menjadi 0,7956 cm/tahun atau 7,96 mm/tahun. Puncak tertinggi terjadi pada bulan ke-23 (sekitar pertengahan tahun 2022), sedangkan titik terendah berada pada bulan ke-25 (awal tahun 2022). Meski terjadi fluktuasi, tren kenaikan jangka panjang tetap perlu diperhatikan dan dievaluasi secara berkala. Hal ini penting untuk memantau dampak dari perubahan iklim global dan menyusun strategi adaptasi yang tepat, terutama bagi wilayah pesisir yang rentan terhadap kenaikan permukaan laut.

Perbedaan kenaikan permukaan air laut yang tidak terlalu signifikan antara stasiun CBRS dan CTEK disebabkan oleh lokasi kedua stasiun yang berdekatan yaitu di perairan pesisir barat Sumatera Utara. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pola pasut di kedua lokasi tersebut memiliki kesamaan yang cukup besar. Kemiripan dalam pola pasut antara kedua stasiun ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk karakteristik geografis dan lingkungan yang serupa di sekitar kedua lokasi. Misalnya, topografi, kedalaman perairan, dan pola arus laut yang mirip dapat berkontribusi pada kesamaan pola pasut di kedua stasiun. Selain itu, faktor-faktor seperti vegetasi pesisir, erosi pantai, dan aktivitas manusia juga dapat memiliki dampak serupa pada dinamika permukaan air laut di kedua lokasi tersebut. Dengan demikian kesamaan stasiun CBRS dan CTEK dalam pola pasut menunjukkan adanya faktor-faktor lingkungan dan geografis yang serupa yang mempengaruhi kenaikan muka air laut di kedua lokasi tersebut.

Peramalan Kenaikan Muka Air Laut Tahun 2050 dan Tahun 2100

Pada penelitian ini dilakukan peramalan kenaikan muka air laut di tahun 2050 dan 2100 agar bisa memprediksi kenaikan tinggi muka air laut di masa mendatang. Tujuan peramalan adalah untuk memprediksi tingkat kenaikan muka air laut di masa depan. Informasi ini memiliki signifikansi penting dalam konteks mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim, serta dalam perencanaan infrastruktur dan pengembangan wilayah pesisir yang rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut. Hasil peramalan memberikan pengetahuan tentang potensi dampak kenaikan muka air laut di masa depan, sehingga dapat memberikan dasar yang kuat untuk

pengambilan keputusan yang tepat dalam upaya menghadapi tantangan lingkungan global yang semakin kompleks.



Gambar 4. Grafik Peramalan Muka Air Laut di stasiun CBRS Tahun 2050 & 2100.

Berdasarkan persamaan garis tren y = 0,0805x + 217,67 yang diperoleh dari data stasiun CBRS, dapat dilakukan proyeksi kenaikan permukaan air laut untuk tahun-tahun mendatang. Dari persamaan tersebut didapat kelajuan kenaikan muka air laut sebesar 9,7 mm/tahun. Peramalan pada tahun 2050 (x = 372 bulan dari awal pengamatan) dengan persamaan tersebut memprediksi tinggi permukaan air laut mencapai sekitar 247,17 cm atau mengalami kenaikan sekitar 28,98 cm. Sementara itu, pada tahun 2100 (x = 972 bulan), tinggi permukaan air laut diproyeksikan mencapai sekitar 295,47 cm atau kenaikan sekitar 77,28 cm dari awal pengamatan. Grafik kenaikan muka air laut dari awal pengamatan tahun 2020 sampai 2100 dapat dilihat pada **Gambar 4.**



Gambar 5. Grafik Peramalan Muka Air Laut di stasiun CTEK Tahun 2050 & 2100.

Sementara itu, dengan persamaan garis tren y = 0,0663x + 205,37 untuk stasiun CTEK, proyeksi kenaikan permukaan air laut tidak lebih rendah daripada stasiun CBRS. Dari persamaan tersebut didapat kelajuan kenaikan muka air laut sebesar 8 mm/tahun. Peramalan pada tahun 2050 (x = 372 bulan dari awal pengamatan) dengan persamaan tersebut memprediksi tinggi permukaan air laut mencapai sekitar -181,07 cm atau mengalami kenaikan sekitar 23,86 cm. Sementara itu, pada tahun 2100 (x = 972 bulan), tinggi permukaan air laut diproyeksikan mencapai sekitar -141,29 cm atau kenaikan sekitar 63,64 cm dari awal pengamatan. Tanda negatif pada tinggi muka air laut menandakan bahwa tinggi muka air laut berada dibawah ellipsoid. Grafik kenaikan muka air laut dari awal pengamatan tahun 2020 sampai 2100 dapat dilihat pada **Gambar 5.**

Tren peramalan kenaikan tinggi muka air laut dari kedua stasiun menunjukkan angka yang signifikan, melebihi rata-rata global sebesar 3,4 mm/tahun. Hal ini menandakan adanya potensi dampak yang lebih besar dari kenaikan permukaan air laut di kedua lokasi tersebut. Kondisi ini memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan dan mitigasi risiko terkait dengan perubahan iklim di wilayah-wilayah tersebut. Karena kenaikan permukaan air laut yang melebihi rata-rata

global dapat memiliki konsekuensi yang serius terhadap infrastruktur pesisir, kehidupan laut, serta komunitas manusia yang tinggal di sekitar pantai. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memahami faktor-faktor yang mendorong kenaikan tinggi muka air laut di kedua stasiun tersebut, serta upaya-upaya adaptasi dan mitigasi yang sesuai dengan kondisi lokal guna menghadapi perubahan iklim yang semakin nyata dan berdampak luas (Lumban-Gaol *et al.*, 2024).

Meskipun demikian, perlu diingat bahwa proyeksi ini hanya berdasarkan tren lokal yang diamati selama periode 2020-2022. Faktor-faktor lain seperti perubahan pola iklim global, aktivitas manusia, dan kondisi geografis wilayah dapat mempengaruhi kenaikan permukaan air laut secara keseluruhan. Oleh karena itu, pemantauan dan evaluasi secara berkala terhadap tren kenaikan permukaan air laut tetap diperlukan untuk memastikan akurasi proyeksi dan mengambil tindakan mitigasi yang tepat.

Kontribusi Ilmiah Untuk Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN)

Pembelajaran yang dapat diambil dari analisis dari penelitian ini adalah pentingnya memperhatikan dan memahami tren kenaikan permukaan air laut untuk perencanaan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) baru. Dengan mempertimbangkan data yang diperoleh dari penelitian ini, pembangunan IKN dapat dirancang dengan memperhitungkan potensi risiko akibat kenaikan permukaan air laut di masa depan. Langkah-langkah adaptasi dan mitigasi yang tepat, seperti pembangunan infrastruktur tahan air dan penataan ruang yang sesuai dengan tinggi permukaan air laut yang diproyeksikan, dapat diintegrasikan dalam perencanaan pembangunan IKN untuk memastikan keberlanjutan dan ketahanannya terhadap perubahan lingkungan yang terjadi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap fenomena kenaikan permukaan air laut, tetapi juga memberikan kontribusi penting dalam konteks perencanaan adaptasi dan mitigasi bencana di wilayah pesisir, termasuk pembangunan IKN.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, evaluasi terhadap metode GNSS-IR menunjukkan bahwa penggunaan koreksi perubahan tinggi antena (RHDot) dan koreksi interferensi (IFCorr) secara bersamaan dapat meningkatkan akurasi pengukuran tinggi muka air laut secara signifikan. Hal ini memperkuat kegunaan GNSS-IR dalam memonitor perubahan muka air laut dengan presisi yang tinggi, memberikan kontribusi penting dalam pemahaman dinamika perubahan permukaan air laut di wilayah pesisir. Sehingga pemantauan muka air laut bisa lebih luas tidak terbatas hanya menggunakan data pasang surut namun bisa menggunakan stasiun CORS.

Analisis tren kenaikan permukaan air laut dari data GNSS-IR menunjukkan adanya fluktuasi musiman yang signifikan, khususnya pada stasiun CBRS. Meskipun demikian, secara keseluruhan, terdapat kecenderungan kenaikan permukaan air laut yang signifikan selama periode pengamatan. Pada stasiun CBRS kenaikan rata-rata per tahun sebesar 9,7 mm/tahun, sedangkan untuk stasiun CTEK kenaikan rata-rata muka air laut per tahun lebih kecil sekitar 8 mm/tahun. Hasil peramalan menunjukkan potensi kenaikan permukaan air laut yang besar pada tahun-tahun mendatang, khususnya pada stasiun CBRS di tahun 2050 dan 2100 kenaikan muka air laut mencapai 247,17 cm dan 295,47 cm yang menunjukkan pentingnya memperhitungkan dan memahami tren kenaikan permukaan air laut dalam perencanaan pembangunan infrastruktur dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Pembelajaran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah pentingnya mempertimbangkan risiko kenaikan permukaan air laut dalam perencanaan pembangunan infrastruktur, termasuk pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) yang sedang dalam tahap pembangunan. Data dan analisis dari penelitian ini dapat digunakan untuk merancang langkah-langkah adaptasi dan mitigasi yang tepat, seperti pembangunan infrastruktur tahan air dan penataan ruang yang sesuai dengan tinggi permukaan air laut yang diproyeksikan, guna memastikan keberlanjutan dan ketahanan terhadap perubahan lingkungan yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Khususnya, penulis mengapresiasi Bapak Zulfikar Adlan Nadzir, S.T., M.Sc., selaku penulis kedua dan dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan selama proses penelitian. Terima kasih atas waktu, semangat, dan pengetahuan yang telah menjadi faktor kunci dalam kemajuan penelitian ini. Selain itu, penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) atas penyediaan data dan sebagai penyelenggara Seminar Nasional Geomatika VII 2024. Semua bantuan dan dukungan yang diberikan sangat berharga dan berperan penting dalam kelancaran serta keberhasilan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agung, H. N., Adil, I., & Nadzir, Z. A. (2019). ANALISIS SEA LEVEL RISE MENGGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI JASON-2 (STUDI KASUS PERAIRAN PESISIR BARAT PROVINSI LAMPUNG) [Skripsi, Institut Teknologi Sumatera]. Lampung Selatan.

Bilich, A., Larson, K. M., & Axelrad, P. (2008). Modeling GPS phase multipath with SNR: Case study from the Salar de Uyuni, Bolivia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *113*(4). https://doi.org/10.1029/2007JB005194

Fadlan, A., & Rosanti, R. (2019). Variabilitas Tinggi Muka Laut di Indonesia Berdasarkan Pengamatan Satelit Altimetri Variability of Sea Surface Height in Indonesia Using Altimetry Satellite. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh Ke-6*.

Ginanjar, S., Putri, C. K., & Nurhakim, R. (2019). KAJIAN KENAIKAN MUKA AIR LAUT dan TINGGI GENANGAN (ROB) PADA TAHUN 2023, 2028, dan 2033 di KOTA SAUMLAKI, KABUPATEN MALUKU TENGGARA BARAT. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, *6*(2). https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.122

IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H. Lee & J. Romero, Ed.). IPCC. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Larson, K. M., Ray, R. D., & Williams, S. D. P. (2017). A 10-year comparison of water levels measured with a geodetic GPS receiver versus a conventional tide gauge. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, *34*(2), 295–307. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-16-0101.1

Larson, K. M., & Williams, S. D. P. (2023). Water level measurements using reflected GNSS signals. *The International Hydrographic Review*, *29*(2), 66–76. https://doi.org/10.58440/ihr-29-2-a30

Lumban-Gaol, J., Sumantyo, J. T. S., Tambunan, E., Situmorang, D., Antara, I. M. O. G., Sinurat, M. E., Suhita, N. P. A. R., Osawa, T., & Arhatin, R. E. (2024). Sea Level Rise, Land Subsidence, and Flood Disaster Vulnerability Assessment: A Case Study in Medan City, Indonesia. *Remote Sensing*, *16*(5). https://doi.org/10.3390/rs16050865

Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, … ح ,فاطمی. (2014). STUDI KENAIKAN MUKA AIR LAUT di PERAIRAN KENDAL. *Journal of Oceanography*, *3*(4).

Peng, D., Feng, L., Larson, K. M., & Hill, E. M. (2021). Measuring coastal absolute sea-level changes using GNSS interferometric reflectometry. *Remote Sensing*, *13*(21). https://doi.org/10.3390/rs13214319

Rahman, N., & Khomsin, K. (2014). ANALISA SEA LEVEL RISE PERAIRAN INDONESIA MENGGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI JASON-2 TAHUN 2009-2012. *Geoid*, *9*(2). https://doi.org/10.12962/j24423998.v9i2.744

Rumahorbo, B. T., Warpur, M., Tanjung, R. H. R., & Hamuna, B. (2023). Spatial Analysis of Coastal Vulnerability Index to Sea Level Rise in Biak Numfor Regency (Indonesia). *Journal of Ecological Engineering*, *24*(3). https://doi.org/10.12911/22998993/157539

Selbesoglu, M. O. (2022). *ACCURACY INVESTIGATION OF MULTI- GNSS REFLECTOMETRY FOR COASTAL SEA LEVEL MONITORING: A CASE STUDY IN ANTARCTICA*. https://doi.org/10.15659/isag2021.12588

Susanto, K. E., & Mardiatno, D. (2010). PROYEKSI KENAIKAN PERMUKAAN LAUT dan DAMPAKNYA TERHADAP BANJIR GENANGAN KAWASAN PESISIR. *Majalah Geografi Indonesia*, *24*(2).

Syaiful, F. A., & Koswara, A. Y. (2021). Penentuan Prioritas Pengembangan Infrastruktur Wilayah Pesisir Kecamatan Sangatta Utara dan Kecamatan Sangatta Selatan Kabupaten Kutai Timur. *Jurnal Teknik ITS*, *9*(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.55916

Syetiawan, A., Wijaya, D. D., & Meilano, I. (2022). Coastal tides measurement in Indonesia using GNSS-Reflectometry. *Regional Studies in Marine Science*, *56*. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102694

Wahyudin, B. (2020). ANCAMAN KENAIKAN MUKA AIR LAUT BAGI NEGARA-NEGARA di KEPULAUAN PASIFIK. *Review of International Relations*, *2*(1). https://doi.org/10.24252/rir.v2i1.15421

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS DINAMIKA LUAS GLETSER DI PEGUNUNGAN JAYAWIJAYA MENGGUNAKAN METODE *NORMALIZED DIFFERENCE SNOW INDEX* (NDSI) PADA CITRA SATELIT LANDSAT

(*Analysis Of Glacier Area Dynamics In The Jayawijaya Mountain Range Using The Normalized Difference Snow Index (NDSI) Method On Landsat Satellite Imagery*)

Mutia Rahma Apriani[1] dan Zulfikar Adlan Nadzir[1,2]
[1]Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia
[2]Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn, Germany

Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan
E-mail: mutiarahmaa12@gmail.com

ABSTRAK

Gletser di Pegunungan Jayawijaya dikenal oleh masyarakat sebagai salju abadi karena keunikannya sebagai gletser yang terletak di negara dengan iklim tropis. Gletser ini disebut juga sebagai gletser tropis yang mana perubahan luasnya mengindikasikan adanya perubahan iklim di lokasi tersebut. Mencairnya gletser di Pegunungan Jayawijaya menyebabkan luas area gletser di wilayah tersebut menyusut dari tahun ke tahun. Penelitian ini bertujuan untuk mengkuantifikasi penyusutan luas gletser di Pegunungan Jayawijaya. Periode pengamatan luas gletser di Pegunungan Jayawijaya dalam penelitian ini dilakukan selama 20 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2004-2023. Pengamatan dilakukan secara berkala menggunakan citra satelit Landsat dengan metode *Normalized Difference Snow Index* (NDSI) untuk mengklasifikasikan wilayah salju dan bukan salju. Pengamatan berfokus pada wilayah yang masih memiliki gletser pada tahun 2004, yaitu West Northwall Firn, East Northwall Firn, dan Carstensz. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa West Northwall Firn menghilang pada 2010. Hingga saat ini, dari ketiga lokasi yang diamati hanya tersisa dua lokasi yang masih memiliki gletser, yaitu East Northwall Firn dan Carstensz. Secara keseluruhan, berdasarkan hasil klasifikasi NDSI, luas area gletser di Pegunungan Jayawijaya pada tahun 2004 memiliki luas sebesar 1,53 km^2 dan pada tahun 2023 terjadi penurunan luas gletser hingga luas gletser hanya sebesar 0,14 km^2. Hal tersebut menunjukkan, gletser di Pegunungan Jayawijaya telah kehilangan 91% luas gletsernya. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan iklim adalah hal yang nyata dan sedang berlangsung. Oleh sebab itu, dalam pembangunan ibukota baru Indonesia (Nusantara), perlu memperhatikan dan mengantisipasi aspek tersebut.

Kata Kunci: dinamika gletser, NDSI, landsat, perubahan iklim.

ABSTRACT

Glaciers in the Jayawijaya Mountains are known as eternal snow because of their uniqueness, as the glaciers that are located in tropical countries. These glaciers are also referred to as tropical glaciers whose changes in extent can indicate climate change. The melting of glaciers in the Jayawijaya Mountains causes the area of glaciers in the region to shrink from year to year. This research aims to quantify the shrinkage of Jayawijaya glaciers. The observation period of glacier area in the Jayawijaya Mountains was carried out for the last 20 years, from 2004-2023. A regular set of observations were made using Landsat satellite image data with the Normalized Difference Snow Index (NDSI) method used to classify snow and non-snow areas. Observations focused on areas that still had glaciers in 2004, namely West Northwall Firn, East Northwall Firn, and Carstensz. Observations showed that West Northwall Firn disappeared in 2010. Until now, only two of the three locations observed still have glaciers, namely East Northwall Firn and Carstensz. Overall, based on the NDSI classification results, the glacier area in the Jayawijaya Mountains in 2004 had an area of 1.53 km^2 and in 2023 there was a decrease in glacier area until the glacier area was only 0.14 km^2. This shows that the glaciers in the Jayawijaya Mountains have lost 91% of their glacier area. These results evidently show that climate change is real and apparent. Therefore, one should take this effect into consideration and account for the planning of Nusantara, the new capital city of Indonesia.

Keywords: *glacier dynamics, NDSI, landsat, climate change.*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki gletser tropis yang terletak di Pegunungan Jayawijaya, Papua. Pegunungan Jayawijaya merupakan salah satu pegunungan tertinggi di Indonesia dengan ketinggian mencapai 4.884 meter di atas permukaan laut dan terletak pada koordinat 4°05′ LS dan 137°10′ BT (Veettil & Wang, 2018). Gletser di Pegunungan Jayawijaya kerap kali disebut sebagai salju abadi karena gletser tersebut tidak pernah mencair meskipun berada di negara beriklim tropis. Namun, dilansir dari berita harian BBC News Indonesia, gletser tersebut akan menghilang selamanya, tidak lebih dari tahun 2026 (BBC News Indonesia, 2023). dalam berita harian tersebut, Kepala BMKG menyebutkan kelelehan gletser sejak tahun 1974 hingga tahun 2021 menghilang telah sebanyak 99% (BBC News Indonesia, 2023). Gletser di Pegunungan Jayawijaya awalnya memiliki luas sebesar 19 km^2 pada tahun 1850 (Permana, 2015). Namun, kelelehan gletser terus berlanjut hingga pada tahun 1988 dan 2015 luas gletser di Pegunungan Jayawijaya menyusut dari seluas 3,85 km^2 menjadi 0,58 km^2 (Veettil & Wang, 2018). Mencairnya gletser di Pegunungan Jayawijaya termasuk fenomena yang kompleks. Penyebab mencairnya bisa terjadi karena beberapa hal, diantaranya adalah pengaruh sistem iklim regional seperti *El Nino* (Permana *et al.*, 2019) serta kenaikan suhu, variasi cuaca seperti curah hujan, dan aktivitas penambangan (Veettil & Wang, 2018).

Perubahan luas dan ketebalan gletser tropis dapat mengindikasi adanya perubahan iklim yang sedang terjadi (Zemp *et al.*, 2015). Pemanasan global mulai terjadi dan meningkat sejak tahun 1970, hal ini sesuai dengan ungkapan BMKG yang menyebutkan gletser di Pegunungan Jayawijaya mulai menyusut drastis sejak tahun 1974. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), sebuah organisasi internasional yang berfokus pada kajian perubahan iklim, menyebutkan kenaikan suhu permukaan bumi yang meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Berdasarkan IPCC *Sixth Assessment Report* (IPCC AR6), suhu permukaan bumi mengalami peningkatan sebesar 1,1°C dibandingkan dengan suhu permukaan bumi pada 100 tahun terakhir (IPCC, 2023). Oleh sebab itu, pemanasan global merupakan salah satu penyebab utama mencairnya gletser di seluruh dunia, termasuk gletser tropis yang ada di Pegunungan Jayawijaya.

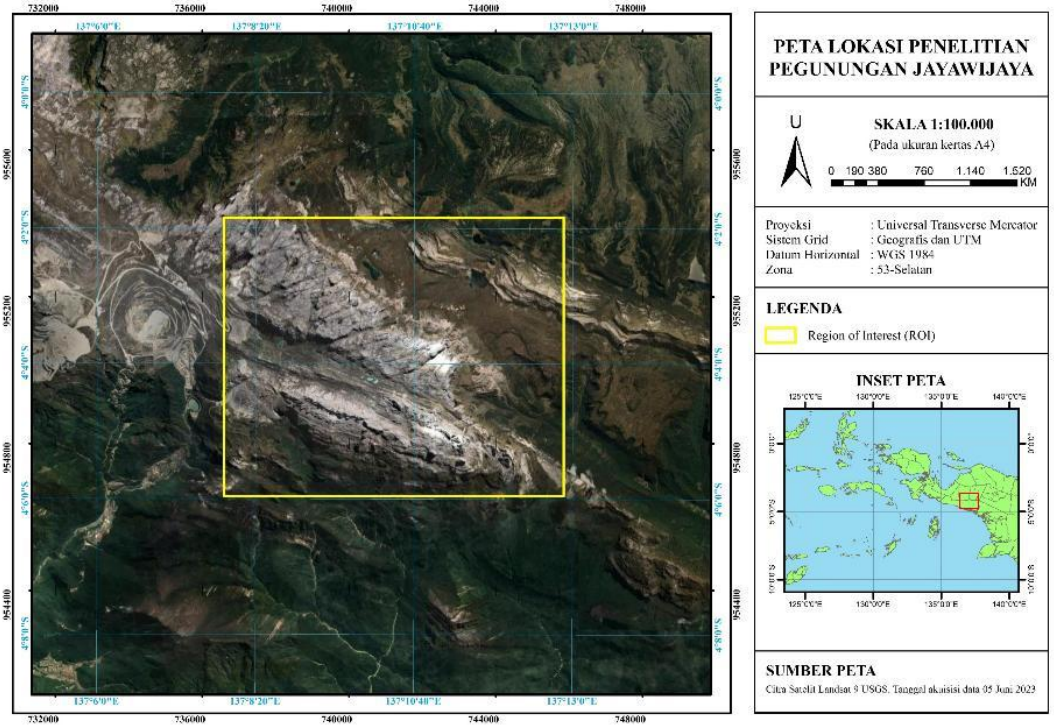
Perkembangan teknologi satelit dalam mendeteksi berbagai macam objek di permukaan bumi telah dikembangkan, termasuk untuk mendeteksi area gletser. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi area gletser menggunakan klasifikasi *Normalized Difference Snow Index* (NDSI) berbasis Google Earth Engine (GEE). Google Earth Engine merupakan *platform* berbasis *cloud* yang yang memfasilitasi *geoprocessing* secara efisien (Velastegui-Montoya *et al.*, 2023). GEE mampu mengolah data multitemporal lebih praktis, sehingga tepat untuk digunakan dalam penelitian ini. Penelitian ini mengamati luas gletser di Pegunungan Jayawijaya menggunakan citra satelit Landsat secara berkala dari tahun ke tahun. Citra satelit Landsat merupakan citra satelit resolusi menengah dengan rekaman data yang sudah ada sejak 1972 sampai saat ini, sehingga banyak digunakan untuk mempelajari tutupan salju di seluruh dunia (Yin *et al.*, 2013). Pengamatan data yang panjang menggunakan citra satelit Landsat sejak tahun 2004 sampai dengan tahun 2023 akan memberikan pemahaman mengenai dinamika luas gletser.

Gletser tropis mampu mengindikasi adanya perubahan iklim berdasarkan perubahan kuantitasnya. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung luas gletser di Pegunungan Jayawijaya dalam kurun waktu 20 tahun ke belakang. Tujuannya, yaitu untuk mengindikasi adanya perubahan iklim yang sedang terjadi di Indonesia berdasarkan analisis perubahan luas gletser di Pegunungan Jayawijaya. Harapannya, analisis ini dapat membantu dalam perencanaan pembangunan yang berkelanjutan untuk Ibu Kota Nusantara (IKN). Pembangunan kota tersebut diharapkan untuk memperhatikan langkah-langkah adaptasi dan pencegahan yang diperlukan untuk mengurangi kerentanan terhadap dampak perubahan iklim yang salah satu efeknya didemonstrasikan dalam penelitian ini.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Pegunungan Jayawijaya, Kabupaten Mimika, Papua, yang terletak pada koordinat 4°05’ LS dan 137°10’ BT. Gletser di Pegunungan Jayawijaya memiliki lokasi yang cukup dekat dengan area penambangan. Batas kajian ditandai dengan *Region of Interest* (ROI) berupa kotak berwarna kuning pada Gambar 1.



Sumber: Citra Satelit Landsat 9 Tahun 2023.

Gambar 1. Peta lokasi penelitian Pegunungan Jayawijaya.

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan Google Earth Engine untuk mengakses data citra satelit Landsat dari United States Geological Survey (USGS) dan mengolah data citra satelit. Perangkat lunak lain yang dibutuhkan adalah aplikasi pengolah data SIG untuk melakukan *layouting* peta dan analisis spasial, serta aplikasi pengolah angka untuk melakukan tabulasi data.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Landsat tahun 2004-2023 sejumlah 14 *scene* data dengan rerata interval pengamatan sebesar 1,42 tahun. Citra satelit Landsat merupakan citra satelit resolusi menengah dengan resolusi spasial 30 meter. Data citra satelit diambil berdasarkan ketersediaan data dengan kriteria lokasi pengamatan tidak tertutup awan. Satu *scene* citra yang digunakan dalam penelitian ini memiliki rentang *cloud cover* yang berkisar antara 10,15% hingga 61,1%. Satu *scene* citra yang memiliki *cloud cover* tinggi dapat digunakan dengan catatan tutupan awan tersebut tidak mengenai objek atau gletser yang diamati. Adapun uraian data citra satelit Landsat beserta tanggal akuisisinya ditampilkan dalam **Tabel 1** di bawah ini.

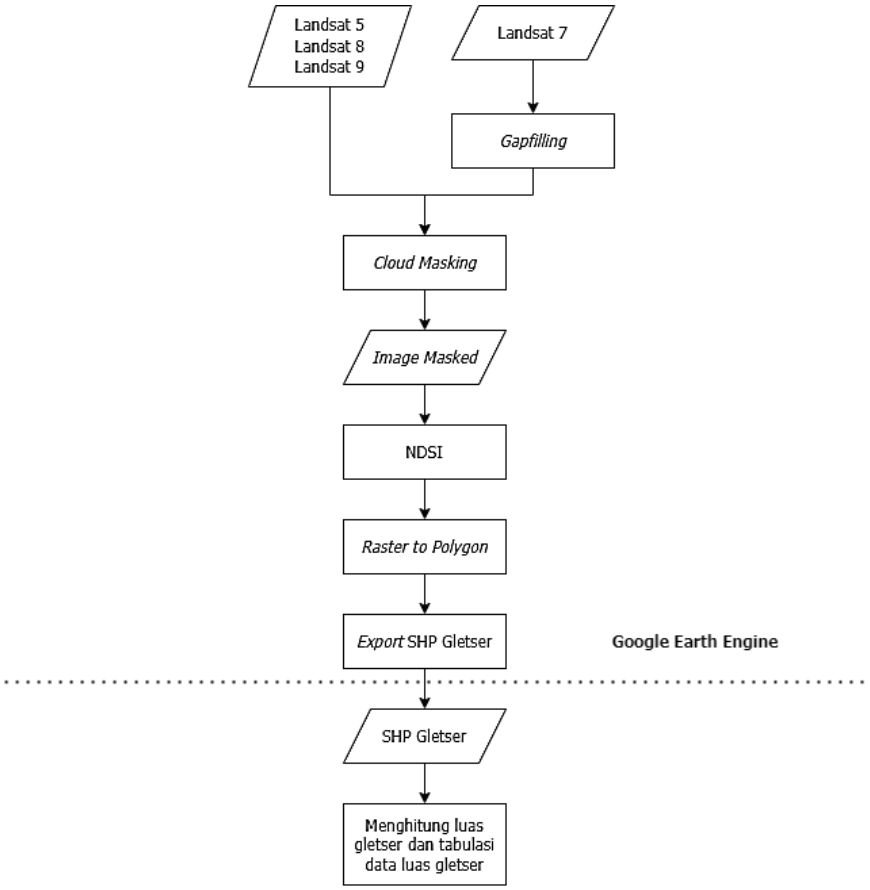
Tabel 1. Data penelitian.

Citra Satelit	Tanggal Akuisisi Citra
LANDSAT 5 TM	14/10/2004
	11/06/2005
	04/10/2006
	28/10/2009
LANDSAT 7 ETM+	16/05/2010
	13/03/2010
	15/06/2021
	01/07/2021

Citra Satelit	Tanggal Akuisisi Citra
LANDSAT 8 OLI/TIRS	02/07/2014
	09/07/2015
	19/09/2018
	19/05/2020
	30/09/2022
LANDSAT 9 OLI-2/TIRS-2	05/06/2023

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data citra satelit yang akan digunakan. Selanjutnya masuk ke tahap *pre-processing data*, yaitu tahap sebelum melakukan klasifikasi NDSI pada citra satelit Landsat. Pengolahan data citra dari awal pengaksesan data citra, *pre-processing*, hingga klasifikasi NDSI dilakukan menggunakan Google Earth Engine. Adapun diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat melalui diagram alir pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram alir pelaksanaan penelitian.

Pre-processing Data

Tahap ini merupakan tahap awal penelitian. Setelah mengakses seluruh citra yang akan dilakukan pengamatan, tahapan pertama adalah melakukan *gap filling* pada citra satelit Landsat 7. Citra satelit Landsat 7 memiliki kerusakan sensor sehingga terdapat celah pada citra. Untuk mengisi kekosongan tersebut, dilakukan *gap filling* dengan menggabungkan dua data citra pada tahun yang sama. Selanjutnya, melakukan *cloud masking* untuk menghilangkan tutupan awan di sekitar objek pengamatan. Meskipun citra yang digunakan adalah citra yang tutupan awannya tidak mengenai objek pengamatan, namun tutupan awan tetap harus dihilangkan. Hal ini dikarenakan awan memiliki karakteristik yang sama dengan salju dengan rentang nilai -0,4 hingga 0,4 (Zhu & Woodcock, 2014). Tutupan awan akan mengurangi kemampuan optis satelit terutama di wilayah pegunungan (Stillinger *et al.*, 2023). Oleh sebab itu, perlu dilakukan *cloud masking* agar pada saat pengaplikasian klasifikasi NDSI, tutupan awan tidak mempengaruhi hasil klasifikasi.

Image masked merupakan hasil citra yang sudah dilakukan *cloud masking* sehingga terbebas dari tutupan awan.

Normalized Difference Snow Index **(NDSI)**

Salju atau gletser memiliki karakteristik yaitu penyerapan yang tinggi pada band *Shortwave Infrared* (SWIR) dan memiliki reflektansi yang tinggi pada gelombang tampak (Stillinger *et al.*, 2023). Oleh sebab itu, pemetaan klasifikasi NDSI dikembangkan menggunakan *visible band dan* SWIR *band*. *Normalized Difference Snow Index* (NDSI) merupakan metode klasifikasi pada citra multispektral menggunakan teknik rasio *band* untuk memetakan area tutupan salju (Stillinger *et al.*, 2023). Persamaan NDSI ditulis sebagai berikut:

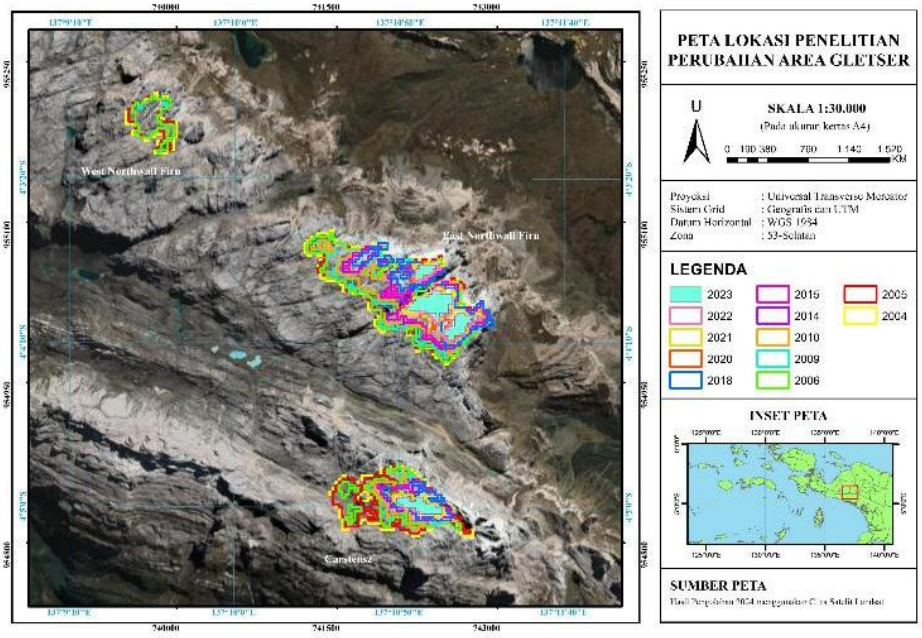
$$NDSI = \frac{Green-SWIR}{Green+SWIR} \quad \text{.....(1)}$$

di mana:
NDSI = *Normalized Difference Snow Index*
Green = band Hijau pada citra satelit Landsat
SWIR = band *Shortwave Infrared* pada citra satelit Landsat

NDSI memiliki rentang nilai -1 sampai dengan 1. Nilai kurang dari 0 mengklasifikasi wilayah bukan salju, dan nilai lebih besar daripada 0 mengklasifikasi wilayah salju (Poussin *et al.*, 2023). Hasil klasifikasi salju atau gletser yang didapatkan selanjutnya diubah menjadi vektor, dan di-*export* dalam bentuk *shapefile* (SHP). Setelah didapatkan SHP gletser, dilakukan perhitungan luas gletser menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk melakukan tabulasi data sebagai tahap akhir analisis data sekaligus melakukan proses penyajian hasil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pegunungan Jayawijaya memiliki tiga lokasi gletser sejak tahun 2004, yaitu West Northwall Firn, East Northwall Firn, dan Carstensz. Namun, gletser di area tersebut mencair secara signifikan sehingga pada tahun 2023 hanya menyisakan sedikit gletser pada lokasi East Northwall Firn dan Carstensz. Perubahan luas gletser ini memberikan pandangan terkait dampak nyata dari perubahan iklim. Berikut akan ditampilkan peta perubahan area gletser di Pegunungan Jayawijaya untuk memvisualisasikan mencairnya gletser antara tahun 2004-2023 pada **Gambar 3**.



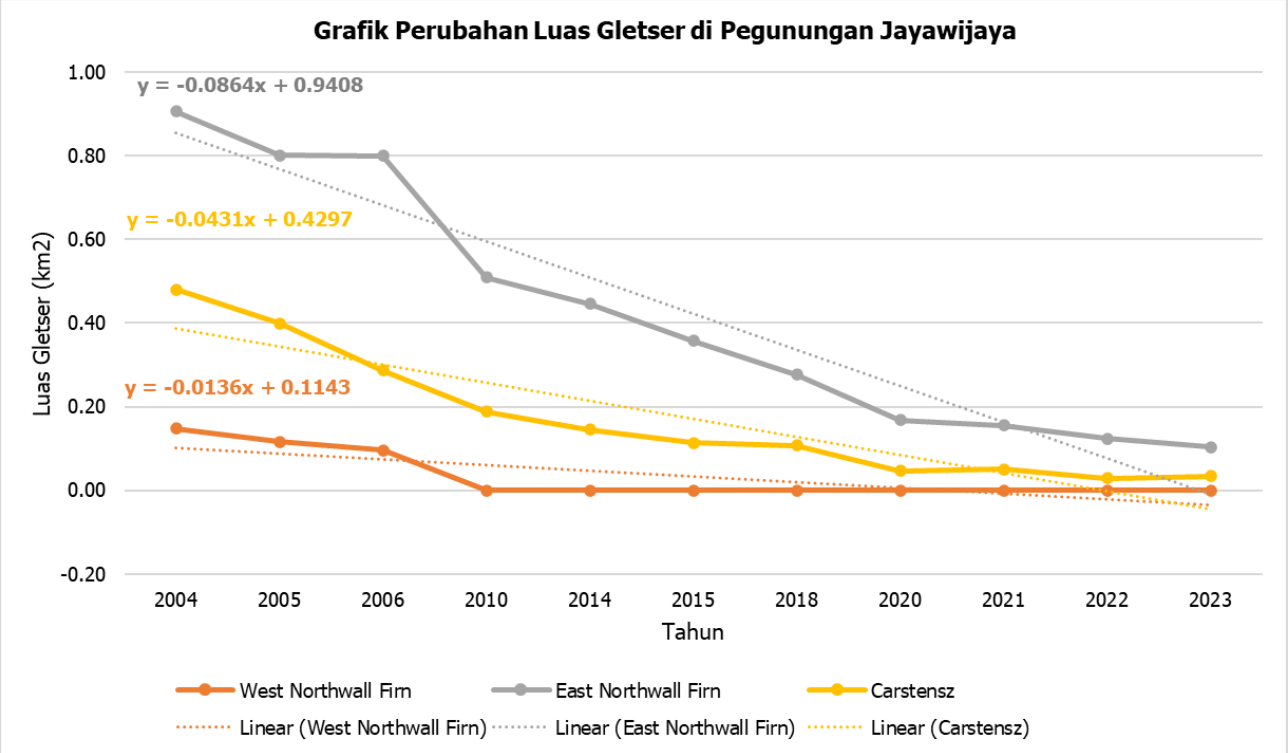
Gambar 2. Perubahan area gletser di Pegunungan Jayawijaya Tahun 2004-2023.

Peta di atas menunjukkan perubahan luas gletser selama 20 tahun terakhir (2004-2023). Hasil menunjukkan bahwa gletser di Pegunungan Jayawijaya saat ini hanya tersisa sekitar 9%. Secara detail, berdasar pada hasil klasifikasi NDSI, luas keseluruhan gletser pada tahun 2004 sebesar 1,53 km^2 dan mencair hingga luasnya hanya 0,14 km^2 pada tahun 2023. Selama 20 tahun terakhir, gletser di Pegunungan Jayawijaya telah menghilang sebanyak 1,40 km^2 atau sebesar 91% sejak tahun 2004. Perhitungan luas gletser di Pegunungan Jayawijaya ditampilkan dalam Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Luas Gletser di Pegunungan Jayawijaya Tahun 2004-2023.

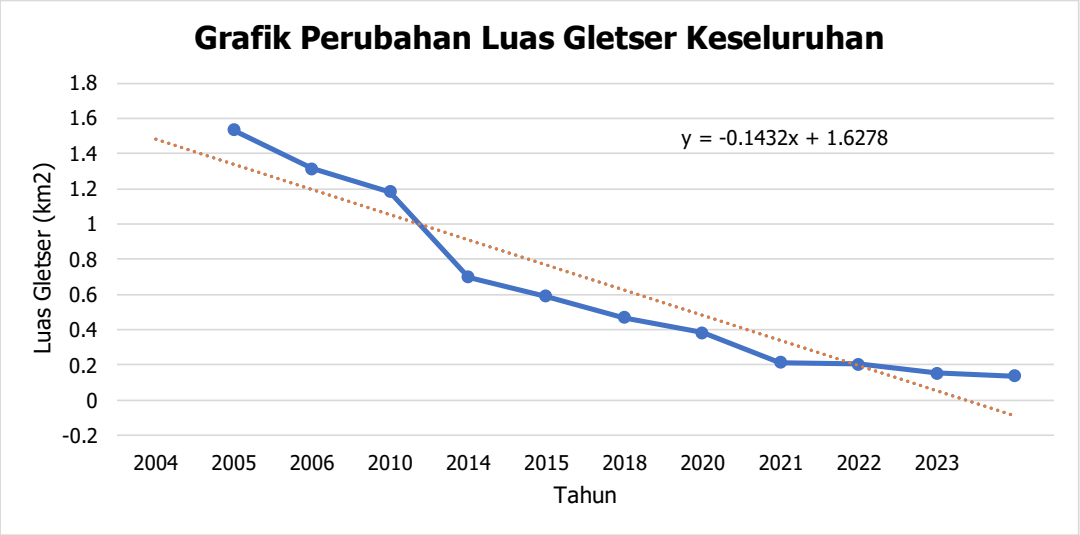
Tahun	Lokasi Gletser Pegunungan Jayawijaya (km^2)			Luas total (km^2)	Total kehilangan gletser	
	West Northwall Firn	East Northwall Firn	Carstensz		km^2	%
2004	0,15	0,91	0,48	1,53	1,40	91
2005	0,12	0,80	0,40	1,32		
2006	0,10	0,80	0,29	1,18		
2010	0,00	0,51	0,19	0,70		
2014	0,00	0,45	0,14	0,59		
2015	0,00	0,36	0,11	0,47		
2018	0,00	0,28	0,11	0,38		
2020	0,00	0,17	0,05	0,21		
2021	0,00	0,16	0,05	0,21		
2022	0,00	0,12	0,03	0,15		
2023	0,00	0,10	0,03	0,14		

Tabel di atas menunjukkan perubahan luas gletser di Pegunungan Jayawijaya, dengan informasi yang menunjukkan dari tiga lokasi gletser di tahun 2004 hanya tersisa dua lokasi gletser di tahun 2023. Gletser di lokasi West Northwall Firn telah menghilang dan habis sejak tahun 2010. Namun, kehilangan gletser di lokasi West Northwall Firn bisa saja terjadi antara tahun 2007 sampai 2009. Hal ini dikarenakan gletser West Northwall Firn di tahun 2006 hanya memiliki luas 0,10 km^2. Informasi perubahan luas gletser antara tahun 2007-2009 tidak diketahui dikarenakan tidak tersedia data citra satelit Landsat yang bisa digunakan dalam pengamatan.



Gambar 4. Grafik perubahan luas gletser di Pegunungan Jayawijaya.

Grafik pada **Gambar 4** di atas menunjukkan perubahan luas gletser pada setiap lokasi beserta dengan tren penurunannya. Terdapat variasi trend penurunan atau laju penyusutan pada masing-masing lokasi gletser. East Northwall Firn, Carstensz, dan West Northwall Firn masing-masing memiliki laju penyusutan 0,086 km^2/tahun; 0,043 km^2/tahun; dan 0,013 km^2/tahun.



Gambar 4. Grafik perubahan luas gletser secara keseluruhan.

Jika laju penyusutan atau tren penurunan gletser dihitung berdasarkan luas gletser secara keseluruhan, maka akan menghasilkan laju penyusutan sebesar 0,143 km^2/tahun seperti yang tergambar pada Gambar 5. Laju penyusutan ini dapat memiliki hasil yang berbeda tergantung dari rentang waktu pengamatan. Laju penyusutan yang diamati dalam penelitian ini memiliki rentang waktu 20 tahun dengan ketersediaan data yang tidak setiap tahun ada. Akan lebih baik jika pengamatan dilakukan dalam rentang waktu yang lebih panjang dengan data luas gletser yang tersedia setiap tahun. Gletser di Pegunungan Jayawijaya mencair dengan cepat dan signifikan. Jika penyusutan ini terus berlanjut, maka gletser di Pegunungan Jayawijaya akan menghilang dan habis dalam kurun waktu 3-5 tahun, sesuai dengan informasi yang disampaikan Peneliti BMKG dalam artikel dari BBC Indonesia yang menyebutkan gletser di Pegunungan Jayawijaya akan menghilang tidak lebih dari tahun 2026 (BBC News Indonesia, 2023).

Mencairnya gletser merupakan dampak dari perubahan iklim, yang bisa ditandai dengan kenaikan suhu permukaan bumi serta kenaikan muka air laut. Kenaikan suhu permukaan bumi yang terus meningkat, ditambah dengan informasi bahwa mencairnya gletser memiliki kontribusi sekitar 52% terhadap kenaikan muka air laut (IPCC, 2023), menunjukkan hubungan diantara mencairnya gletser dengan perubahan iklim. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa perubahan iklim adalah salah satu faktor kenaikan muka air laut yang paling dominan di Bumi. Efeknya untuk daerah perkotaan, khususnya di area pesisir, adalah diperlukannya tindakan adaptasi untuk mencegah kehidupan penduduk di kota tersebut terganggu (Cao *et al.*, 2021). Hal ini relevan dengan perencanaan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN), yang harus mempertimbangkan dampak perubahan iklim secara serius. IKN terletak di wilayah pesisir yang rentan terkena dampak dari kenaikan muka air laut sehingga diperlukan Langkah adaptasi dari perubahan iklim tersebut.

KESIMPULAN

Mencairnya gletser tropis di Indonesia merupakan salah satu dampak nyata dari perubahan iklim. Sejak tahun 2004, Pegunungan Jayawijaya telah kehilangan 91% luas gletsernya. Sisa 9% pada tahun 2023 tersebut memiliki luas sebesar 0,14 km^2 dari yang awalnya seluas 1,53 km^2. Dari ketiga lokasi gletser, hanya lokasi East Northwall Firn dan Carstensz yang masih memiliki gletser. Jika tren penurunan luas gletser terus berlanjut, gletser di Pegunungan Jayawijaya tidak lama lagi akan menghilang. Perubahan iklim memberikan dampak yang signifikan terhadap mencairnya gletser, dan juga akan memiliki dampak jangka panjang terhadap lingkungan.

Perubahan iklim dapat mengidentifikasi adanya kenaikan suhu dan kenaikan muka air laut yang bisa menyebabkan bencana alam. Perencanaan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) diharapkan dapat mengambil langkah-langkah adaptasi untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan membangun ketahanan yang lebih baik. Misalnya, pembangunan infrastruktur yang tahan terhadap bencana banjir akibat degradasi hutan, curah hujan yang tinggi, dan kenaikan muka air laut. Pembangunan sebuah kota juga diharapkan dapat menggunakan energi terbarukan sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca yang akan berdampak pada bencana akibat perubahan iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Zulfikar Adlan Nadzir, S.T., M.Sc., selaku penulis kedua sekaligus dosen Institut Teknologi Sumatera yang telah memberikan arahan serta bimbingan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

BBC News Indonesia. (2023). *Salju Abadi Papua Akan Lenyap, 99 Persen Lapisan Es Sudah Hilang - BBC News Indonesia*. https://www.youtube.com/watch?v=jWH_U0Iy9Hc

Cao, A., Esteban, M., Valenzuela, V. P. B., Onuki, M., Takagi, H., Thao, N. D., & Tsuchiya, N. (2021). Future of Asian Deltaic Megacities under sea level rise and land subsidence: current adaptation pathways for Tokyo, Jakarta, Manila, and Ho Chi Minh City. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *50*(February), 87–97. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.02.010

IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report | UNEP - UN Environment Programme*. 35–115. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Permana, D. S. (2015). RECONSTRUCTION OF TROPICAL PACIFIC CLIMATE VARIABILITY FROM PAPUA ICE CORES, INDONESIA. In *The Ohio State University*.

Permana, D. S., Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Lin, P. N., Nicolas, J. P., Bolzan, J. F., Bird, B. W., Mikhalenko, V. N., Gabrielli, P., Zagorodnov, V., Mountain, K. R., Schotterer, U., Hanggoro, W., Habibie, M. N., Kaize, Y., Gunawan, D., Setyadi, G., Susanto, R. D., … Mark, B. G. (2019). Disappearance of the last tropical glaciers in the western pacific warm pool (Papua, Indonesia) appears imminent. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(52), 26382–26388. https://doi.org/10.1073/pnas.1822037116

Poussin, C., Timoner, P., Chatenoux, B., Giuliani, G., & Peduzzi, P. (2023). Improved Landsat-based snow cover mapping accuracy using a spatiotemporal NDSI and generalized linear mixed model. *Science of Remote Sensing*, *7*(February), 1–13. https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100078

Stillinger, T., Rittger, K., Raleigh, M. S., Michell, A., Davis, R. E., & Bair, E. H. (2023). Landsat, MODIS, and VIIRS snow cover mapping algorithm performance as validated by airborne lidar datasets. *Cryosphere*, *17*(2), 567–590. https://doi.org/10.5194/tc-17-567-2023

Veettil, B. K., & Wang, S. shan. (2018). State and fate of the remaining tropical mountain glaciers in australasia using satellite imagery. *Journal of Mountain Science*, *15*(3), 495–503. https://doi.org/10.1007/s11629-017-4539-0

Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L., & Adami, M. (2023). Google Earth Engine: A Global Analysis and Future Trends. *Remote Sensing*, *15*(14). https://doi.org/10.3390/rs15143675

Yin, D., Cao, X., Chen, X., Shao, Y., & Chen, J. (2013). Comparison of automatic thresholding methods for snow-cover mapping using Landsat TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, *34*(19), 6529–6538. https://doi.org/10.1080/01431161.2013.803631

Zemp, M., Frey, H., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli, W., Denzinger, F., Ahlstrøm, A. P., Anderson, B., Bajracharya, S., Baroni, C., Braun, L. N., Càceres, B. E., Casassa, G., Cobos, G., Dàvila, L. R., Delgado Granados, H., Demuth, M. N., … Vincent, C. (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of Glaciology*, *61*(228), 745–762. https://doi.org/10.3189/2015JoG15J017

Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, *144*, 152–171. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011

PENGAWASAN VARIASI POLUSI UDARA DAN SUMBERNYA DI DKI JAKARTA DAN JAWA BARAT MENGGUNAKAN SATELIT SENTINEL-5P PADA TAHUN 2020-2023

(Monitoring of Air Pollution Variation and its Sources in DKI Jakarta and West Java with Sentinel-5P Satellite in 2020 to 2023)

Zulfikar Adlan Nadzir[1,2] Nirmawana Simarmata[1,3] Dewi Nawang Sari[1]
[1]Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia
[2]Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn, Germany
[3]Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan
E-mail: zulfikar.nadzir@gt.itera.ac.id

ABSTRAK

Kualitas udara adalah parameter yang rutin diukur oleh berbagai institusi sebagai ukuran kebaikan hidup di sebuah kota. dalam parameter tersebut, beberapa senyawa digunakan sebagai indikator penting, seperti NO_2, CO dan SO_2. Ketiga senyawa tersebut mengindikasikan bagaimana konsentrasi asap dan gas buang dari industri dan kendaraan bermotor di sebuah daerah. Penelitian ini menggunakan data rerata bulanan pada tahun 2020 sampai tahun 2023 dari satelit Sentinel-5P dari ESA (European Space Agency) untuk mendapatkan konsentrasi ketiga senyawa. Data tersebut lalu di-normalisasi berdasarkan jangkauan dari bulan Mei 2020 yang dipilih berdasarkan analisis boxplot. Hasil analisis boxplot menunjukkan bahwa CO memiliki tingkat fluktuasi dalam satu bulan yang lebih rendah daripada SO_2 dan NO_2. Analisis temporal dari rentang yang sama menunjukkan bahwa pembatasan pergerakan penduduk pada tahun 2020 dan 2021 saat pandemi COVID-19 berkontribusi dalam penurunan konsentrasi NO2, CO, dan SO2, dengan presentase penurunan konsentrasi CO dan NO_2 lebih besar daripada SO_2. Selain itu, hasil analisis temporal menunjukkan bahwa senyawa CO memiliki pola 6-bulanan, sedangkan NO_2 dan SO_2 memiliki pola tahunan. dalam kata lain, senyawa NO_2 dan SO_2 mencapai tingkat terendah pada musim hujan dan pada musim kemarau mencapai tingkat tertinggi. Analisis spasial dalam pencarian sumber polusi di DKI Jakarta dan Jawa Barat menunjukkan delapan lokasi utama: PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Suralaya, Jakarta, Kawasan Industri Karawang, Kawasan Industri Cikande, Depok, Bandung, Kawasan Industri Tangerang, Kawasan Industri Bekasi, dan Cirebon. 4 kawasan industri dan 1 PLTU yang disebutkan memiliki konsentrasi SO_2 yang lebih tinggi dari area perkotaan, dengan PLTU Suralaya mengeluarkan emisi SO_2 dan NO_2 terbesar. Sedangkan, 3 area perkotaan di atas memiliki konsentrasi CO dan NO_2 yang lebih tinggi dari rerata, di mana Jakarta mendominasi sebagai daerah dengan emisi tertinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa daerah industri menyumbang mayoritas SO_2 dari asap pabrik sedangkan daerah perkotaan didominasi oleh asap buang kendaraan bermotor yang berisikan NO_2 dan CO. Hasil di atas menunjukkan bahwa Sentinel-5P dapat digunakan sebagai proksi awal dalam pengawasan kadar kualitas udara di sebuah kawasan, memungkinkan penggunaan metode yang sama untuk Kawasan Ibu Kota Negara (IKN) sebagai usaha melakukan pengawasan lingkungan yang berkelanjutan.

Kata Kunci: polusi udara, sentinel-5p, sumber

ABSTRACT

Air quality is a parameter that is routinely measured by various institutions as a measure of the quality of life in a city. Within this parameter, several compounds are used as important indicators, such as NO_2, CO and SO_2. These three compounds indicate the concentration of smoke and exhaust from industries and motor vehicles in an area. This study used monthly average data from 2020 to 2023 from the Sentinel-5P satellite from ESA (European Space Agency) to obtain the concentrations of the three compounds. The data were then normalized based on the range from May 2020, which was selected based on boxplot analysis. The results of the boxplot analysis shows that CO has a lower level of fluctuation within a month than SO_2 and NO_2. Temporal analysis of the same range indicates that restrictions on population movement in 2020 and 2021 during the COVID-19 pandemic contributed to the decrease in NO_2, CO, and SO_2 concentrations, with the percentage decrease in CO and NO_2 concentrations greater than that of SO_2. In addition, the temporal analysis results show that CO compounds have a semi-annual pattern, while NO_2 and SO_2 have an annual pattern. In other words, NO_2 and SO2 compounds reach the lowest levels in the rainy season and the

highest levels in the dry season. Spatial analysis in the search for pollution sources in DKI Jakarta and West Java showed eight main locations: PLTU (Steam Power Plant) Suralaya, Jakarta, Karawang Industrial Estate, Cikande Industrial Estate, Depok, Bandung, Tangerang Industrial Estate, Bekasi Industrial Estate, and Cirebon. The 4 industrial estates and 1 PLTU mentioned have higher SO_2 concentrations than urban areas, with PLTU Suralaya emitting the largest SO_2 and NO_2 emissions. Meanwhile, the 3 urban areas above have higher than average CO and NO_2 concentrations, with Jakarta dominating as the highest emitting area. This finding suggests that industrial areas contribute the majority of SO_2 from factory fumes while urban areas are dominated by motor vehicle exhaust fumes containing NO_2 and CO. The above results show that Sentinel-5P can be used as an initial proxy in monitoring air quality levels in a region, allowing the use of the same method for the Ibu Kota Negara (IKN) in an effort to conduct sustainable environmental monitoring.

Keywords: *air pollution, source, sentinel-5p*

PENDAHULUAN

Kualitas udara merupakan salah satu parameter lingkungan yang kritis bagi kesehatan manusia dan keberlangsungan lingkungan (Kusuma dkk., 2019; Marć dkk., 2015). di kota-kota padat penduduk seperti DKI Jakarta dan Jawa Barat, masalah polusi udara telah menjadi perhatian serius karena potensi dampak negatifnya terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan (Astriyani dkk., 2023; Syuhada dkk., 2023). dalam 15 tahun terakhir, konsentrasi elemen penyebab polusi udara di Indonesia memiliki tren yang terus naik dan melebihi rerata nasional (Santoso dkk., 2013, 2020). Sebuah proyeksi menunjukkan bahwa konsentrasi CO di Indonesia pada tahun 2050 akan mencapai tingkat dapat menyebabkan perubahan iklim yang besar (Eko Cahyono dkk., 2022). Polusi udara, yang umumnya disebabkan oleh emisi dari industri, transportasi, dan kegiatan manusia lainnya, dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan beberapa penyakit lainnya (Maharani & Aryanta, 2023). Selain itu, polusi udara juga terasosiasikan dengan kematian karena kejadian khusus seperti infeksi saluran pernafasan atas (ISPA) dan radang tenggorokan (Atkinson dkk., 2016).

Pemantauan kualitas udara secara teratur menjadi kunci dalam upaya mengidentifikasi sumber polusi dan mengimplementasikan langkah-langkah mitigasi yang efektif. Namun, pemantauan tradisional sering kali terbatas dalam cakupannya dan memiliki keterbatasan dalam mendapatkan data yang akurat dan real-time (Ranganathan dkk., 2023; Samad dkk., 2023). Oleh karena itu, penggunaan teknologi satelit telah menjadi alternatif yang menjanjikan dalam pemantauan polusi udara (Holloway dkk., 2021). Ditambah lagi dengan adanya teknologi pengolahan data berbasis awan (*cloud computing*) dan penggunaan metodologi berbasis kecerdasan buatan untuk data dari satelit (Evans dkk., 2013; Martin, 2008; Rohde & Muller, 2015; Smit dkk., 2019; Stirnberg dkk., 2020).

Salah satu satelit yang telah memberikan kontribusi besar dalam pemantauan polusi udara adalah Sentinel-5p, yang dikelola oleh ESA (European Space Agency) (Hassaan dkk., 2023; Mejía C. dkk., 2023). Sentinel-5p merupakan salah satu dari sedikit satelit dengan tujuan untuk mengawasi kualitas udara dengan mengamati polutan-polutan di atmosfer. Dengan kemampuannya untuk menghasilkan data secara global dengan resolusi spasial yang tinggi serta resolusi temporal yang cepat, Sentinel-5P memberikan kesempatan untuk memantau polusi udara secara luas dan akurat, termasuk di kawasan perkotaan yang padat penduduk seperti DKI Jakarta dan Jawa Barat.

Penelitian sebelumnya menjelaskan penelitian-penelitian sebelumnya menganalisis kerentanan daerah padat dengan memanfaatkan data CO yang diekstraksi dari citra Sentinel 5P, yang menunjukkan bahwa citra ini mampu untuk memantau kualitas udara dan menilai kerentanan penduduk terhadap polusi udara (Hassaan dkk., 2023). Selain itu, penelitian sebelumnya menunjukkan variasi dari senyawa NO_2 di China sebagai salah satu aplikasi dari data Sentinel-5p (Zheng dkk., 2019). Penggunaan citra satelit juga menjadi topik utama dalam penelitian yang dilakukan di Ukraina serta Eropa secara keseluruhan untuk melihat efek dari perang di Ukraina dan pembatasan pergerakan manusia dalam masa pandemi COVID-19 (Mehrabi dkk., 2023; Vîrghileanu dkk., 2020).

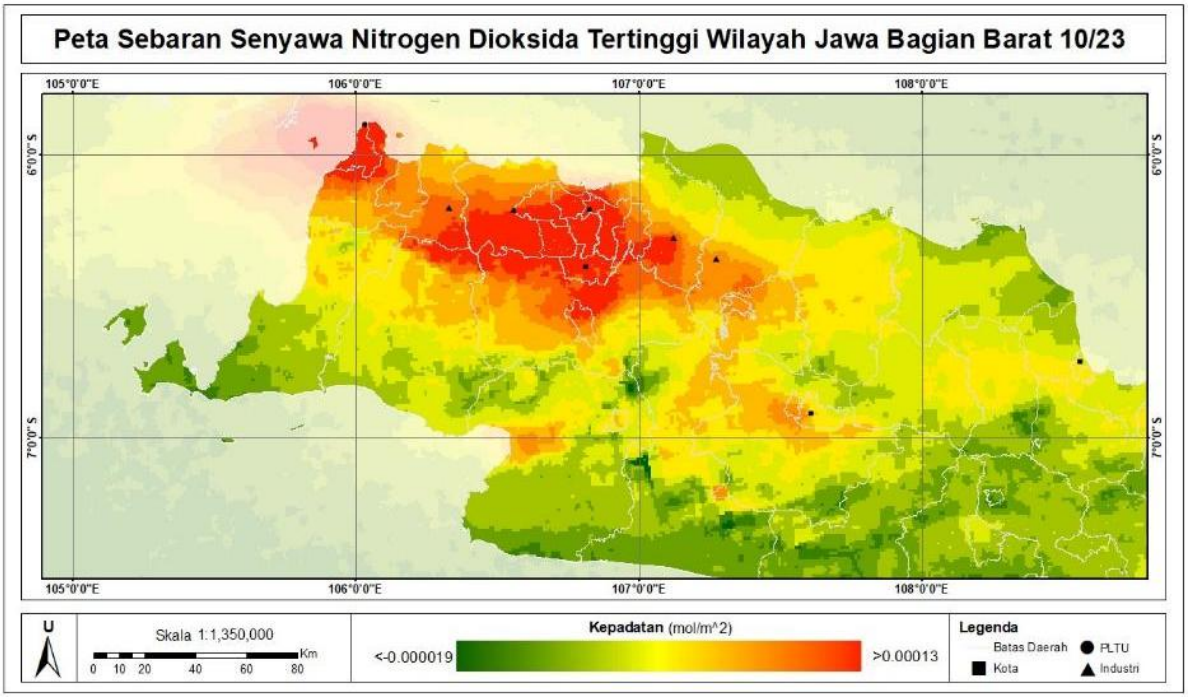
Penelitian-penelitian sebelumnya, seperti dijelaskan pada paragraf sebelumnya, telah menggunakan berbagai metode untuk memantau dan menganalisis polusi udara, mulai dari pemantauan langsung di lokasi hingga penggunaan teknologi satelit untuk keperluan-keperluan yang berbeda. Beberapa penelitian telah mengintegrasikan data satelit dengan metode pemodelan untuk memperkirakan emisi dan distribusi polusi udara dengan lebih akurat. Namun, masih ada kebutuhan untuk meningkatkan pemahaman tentang distribusi spasial polusi udara di kawasan perkotaan yang padat penduduk dengan jumlah stasiun pengamatan yang sedikit seperti di Indonesia, terutama di wilayah DKI Jakarta dan Jawa Barat. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk menggunakan data Sentinel-5P untuk memantau variasi spasial dan temporal dari polusi udara berdasar tiga senyawa (CO, NO_2, SO_2) dan mengidentifikasi sumber-sumber utamanya pada area DKI Jakarta, Jawa Barat dan Banten selama periode 2020 hingga 2023 dan kaitannya dengan pembatasan penduduk pada masa pandemi COVID-19.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penggunaan data satelit Sentinel-5P untuk pemantauan polusi udara di wilayah perkotaan yang padat penduduk seperti DKI Jakarta dan Jawa Barat. Kontribusi utamanya adalah memberikan pemahaman yang lebih baik tentang distribusi polusi udara di wilayah tersebut serta mengidentifikasi kontribusi relatif dari berbagai sumber emisi. Dengan mengumpulkan dan menganalisis data ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang distribusi polusi udara di wilayah tersebut, serta kontribusi relatif dari berbagai sumber emisi. Selain itu, penelitian ini diharapkan bisa menjadi pelajaran dan referensi penggunaan metode penginderaan jauh dalam rangka mengawasi kualitas udara di area Ibu kota Negara (IKN). Sehingga, target pada IKN sebagai kota dengan *net-zero emission* dan siap menghadapi perubahan iklim dapat terpenuhi.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di Provinsi Jawa Barat, DKI Jakarta dan Banten yang terletak pada rentang koordinat 7°20′ – 5°55′ LS dan 105° - 108°50′ BT yang tergambar pada **Gambar 1** di bawah ini. Lokasi *(region of interest)* yang dipilih pada penelitian, terdapat 9 lokasi sebagai fokus sumber polusi potensial, yang terbagi menjadi 2: sumber berbasis industri *(industrial-based source)* dan sumber berbasis perkotaan *(city-based source)*, terdaftar pada **Tabel 1**.



Sumber: Citra Satelit Sentinel-5p pada Oktober 2023.

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Pemilihan kedua jenis sumber ini digunakan untuk mengetahui polutan/senyawa apa, dari 3 senyawa yang diteliti, lebih besar dikeluarkan oleh sumber-sumber tersebut. Selain itu, pemilihan PLTU Suralaya dan Jakarta berasal dari asumsi bahwa kedua lokasi tersebut mengeluarkan 3 senyawa yang diteliti dalam jumlah sangat besar (Heriyanto dkk., 2020; Muliane & Lestari, 2011; Nugroho dkk., 2023). Sebaliknya, penggunaan kota Cirebon dan Bandung dapat dijadikan perbandingan, dengan kedua kota tersebut diasumsikan sebagai kota yang memiliki konsentrasi 3 senyawa yang rendah (Zulkarnain & Ramadani, 2021).

Tabel 1. Data Penelitian.

Jenis Lokasi	Nama Lokasi
Industri	PLTU Suralaya
	Kawasan Industri Tangerang
	Kawasan Industri Bekasi
	Kawasan Industri Karawang
	Kawasan Industri Cikande
Perkotaan	Jakarta
	Depok
	Cirebon
	Bandung

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah aplikasi berbasis awan Google Earth Engine untuk mendapatkan akses dari citra satelit Sentinel-5p. Selain itu, aplikasi pengolah data sistem informasi geospasial (SIG) digunakan untuk proses pembuatan peta, analisis spasial dan temporal. Aplikasi pengolah angka berbasis matriks juga digunakan untuk proses tabulasi, analisis kuantitatif dan pembuatan grafik-grafik.

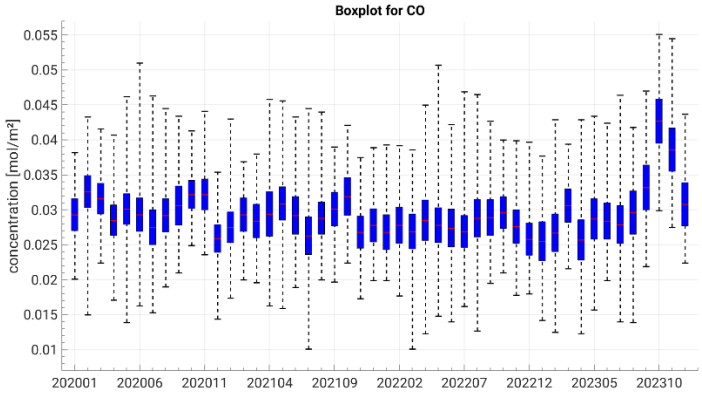
Citra satelit Sentinel-5p yang digunakan dalam penelitian ini merupakan komposit rerata dari data selama satu bulan yang mana rumusnya ditunjukkan dalam **Persamaan 1** dengan $\bar{x}_{ij}$ adalah rerata pada koordinat i dan j, serta n_t adalah jumlah data sesuai dengan waktu t, mulai Januari 2020 sampai Desember 2023. Terdapat 3 koleksi data *(Data Collection)* yang digunakan sesuai dengan jumlah senyawa yang diteliti (CO, NO_2, dan SO_2), yang terdaftar pada **Tabel 2**. Koleksi data yang digunakan memiliki karakteristik berupa waktu tunggu selama beberapa hari sesuai dengan waktu untuk menyelesaikan satu orbit penuh. Selain itu, koleksi data yang digunakan mewakili densitas konsentrasi masing-masing senyawa yang diintegrasikan secara vertikal mulai ketinggian nol meter sampai pada batas ketinggian satelit dengan satuan mol/m^2, ditunjukkan dalam **Persamaan 2** dengan y adalah nilai densitas konsentrasi, h merupakan tinggi dan k adalah indeks untuk tinggi dari muka laut. Tambahan karakteristik daripada data di atas adalah diaplikasikannya koreksi dan filter sesuai dengan aplikasi HARP. Selanjutnya, resolusi spasial yang digunakan pada koleksi data ketiga senyawa adalah 3.5 x 7 km^2 (persegi panjang), sedikit berbeda dari bentuk jamak citra satelit yang berbentuk persegi.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\sum x_{ij,t}}{n_t} \dots\dots\dots\

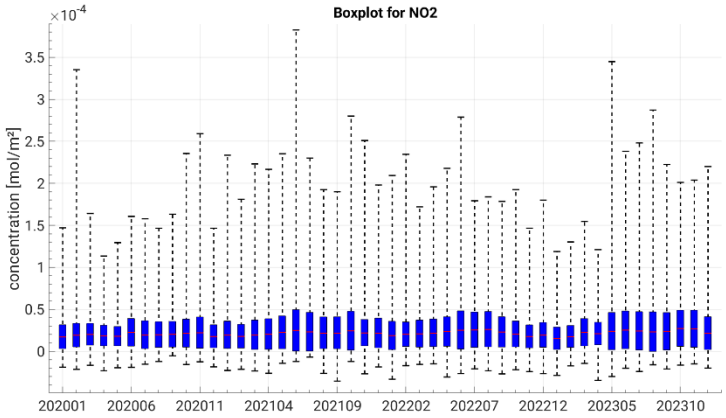
$$y = \int_0^h \sum y_k \dots\dots\dots\

Tabel 3. Statistik Boxplot setiap Senyawa dalam periode 2020 sampai 2023 di lokasi penelitian.

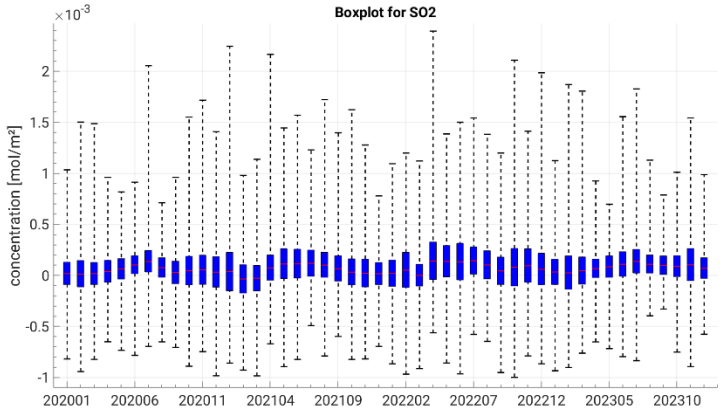
Jenis Senyawa	Min [mol/m^2]	Mean [mol/m^2]	Max [mol/m^2]
CO	0,018	0,029	0,043
NO_2	0,000020	0,000022	0,0002
SO_2	0,0000078	0,00007	0,0014



(a)



(b)

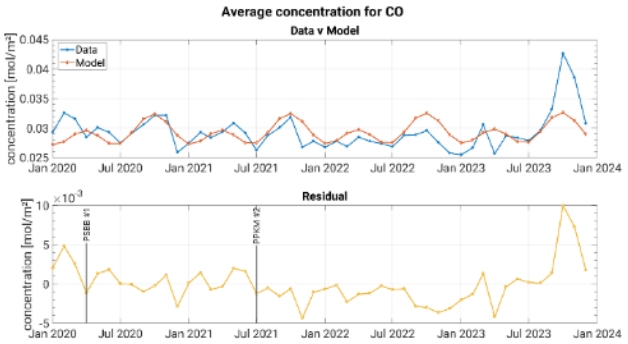


(c)

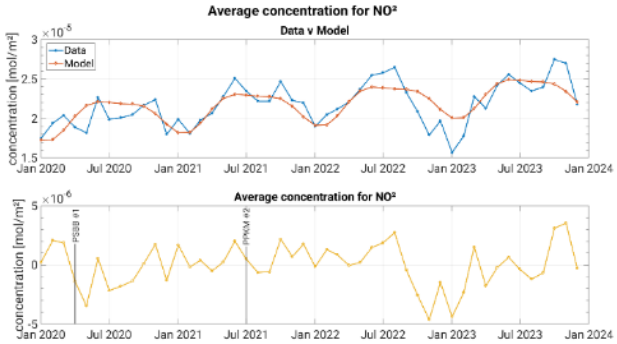
Gambar 2. Grafik Boxplot ketiga senyawa di lokasi penelitian pada rentang tahun 2020 sampai 2023: (a) CO; (b) NO_2; (c) SO_2.

Setelah mengalami proses model-fitting, terlihat pada **Gambar 3** bahwa periode dari ketiga senyawa cukup berbeda. Untuk CO, periode yang dominan adalah periode musiman (sekali setiap 6 bulan), sedang dua senyawa lainnya lebih dominan periode tahunan. Pada ketiga senyawa, dapat dilihat bahwa konsentrasinya cenderung menurun pada musim hujan (Januari-Februari), dan mencapai puncaknya pada musim kemarau (Juni-Juli) kecuali CO yang menunjukkan

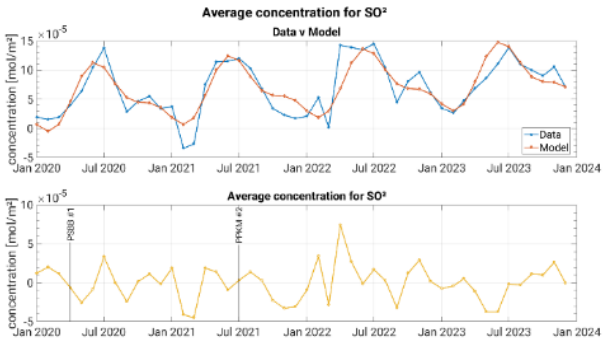
kecenderungan mencapai puncak di tegah musim hujan ataupun kemarau, di bulan Maret-April dan September-Oktober. Kecenderungan ini dapat diartikan bahwa perhatian lebih terhadap efek polusi dari ketiga senyawa perlu diberikan saat musim kemarau oleh pemerintah ataupun masyarakat, khususnya di bulan Juni-Juli. Contoh dari perhatian lebih tersebut adalah pemakaian masker, sosialisasi pengamanan diri ataupun persiapan secara sarana maupun prasarana dari sistem kesehatan di lokasi penelitian. Sinyal residu atau sisa dari data dikurangi model menunjukkan bahwa dari lima masa pembatasan pergerakan yang dirangkum pada Tabel 4, PSBB pertama pada bulan April 2020 dan PPKM kedua pada bulan Juli 2021 dapat diasosiasikan dengan penurunan konsentrasi dari ketiga senyawa. Tetapi, perlu diperhatikan bahwa besar tren penurunan di kedua momen tersebut lebih kecil daripada amplitudo dari sinyal tahunan maupun 6-bulanan.



(a)



(b)

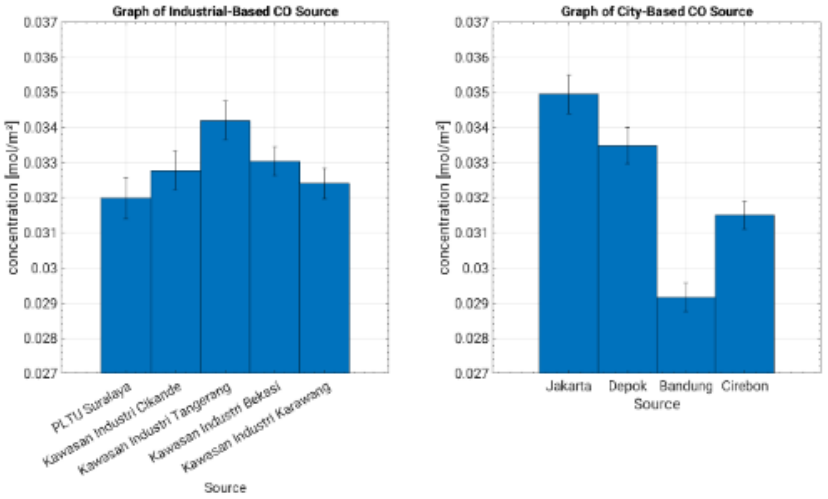


(c)

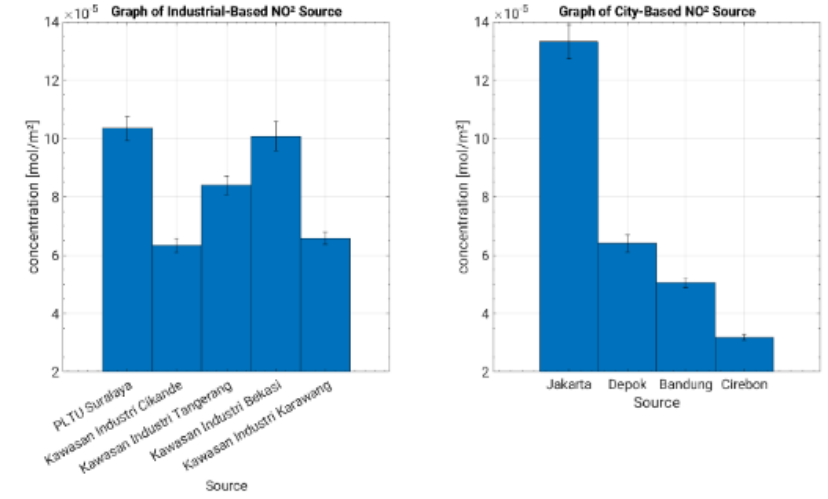
Gambar 3. Grafik Data vs Model Fit vs Residual ketiga senyawa pada tahun 2020 - 2023 (a) CO; (b) NO_2; (c) SO_2.

Analisis temporal yang diwujudkan dengan melakukan perhitungan rerata dari data per-bulan di 9 lokasi yang tergambar pada **Gambar 4** menemukan bahwa Jakarta dan Kawasan Industri Tangerang mendominasi emisi CO, dan sebaliknya, Bandung memiliki emisi CO yang paling kecil. Selain itu, PLTU Suralaya memiliki emisi NO_2 dan SO_2 terbesar dibandingkan dengan sumber lainnya untuk kategori industri, dan Jakarta merupakan sumber terbesar untuk NO_2 dalam kategori perkotaan. Pada SO_2, emisi yang dikeluarkan oleh keempat kawasan perkotaan lebih kecil secara

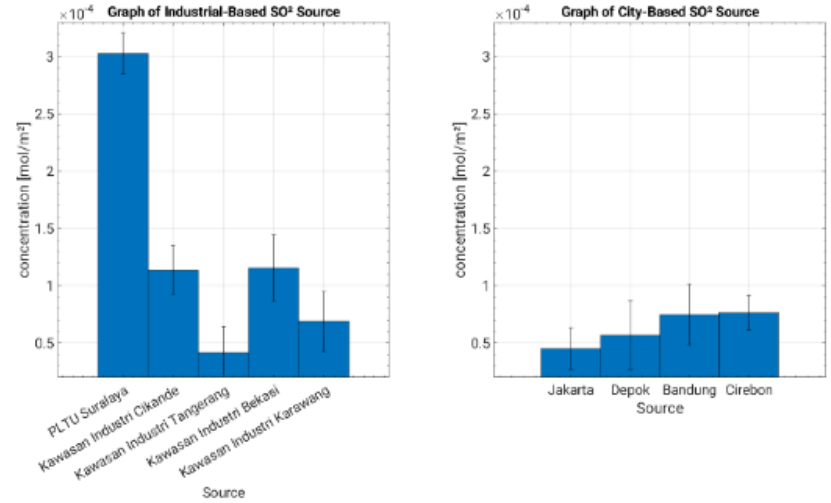
signifikan dari lokasi dalam kategori industri. Apabila diperhatikan berdasarkan sumber emisi polusi yang memungkinkan, dapat dilihat bahwa industri mengeluarkan senyawa SO_2, yang dapat diasosiaskan dengan asap pabrik, lebih besar daripada perkotaan. Sebaliknya kawasan perkotaan mengeluarkan emisi NO_2 yang identik dengan gas buang kendaraan bermotor lebih besar daripada kawasan industri. Untuk senyawa CO, kedua jenis sumber memiliki kecenderungan yang setara.



(a)



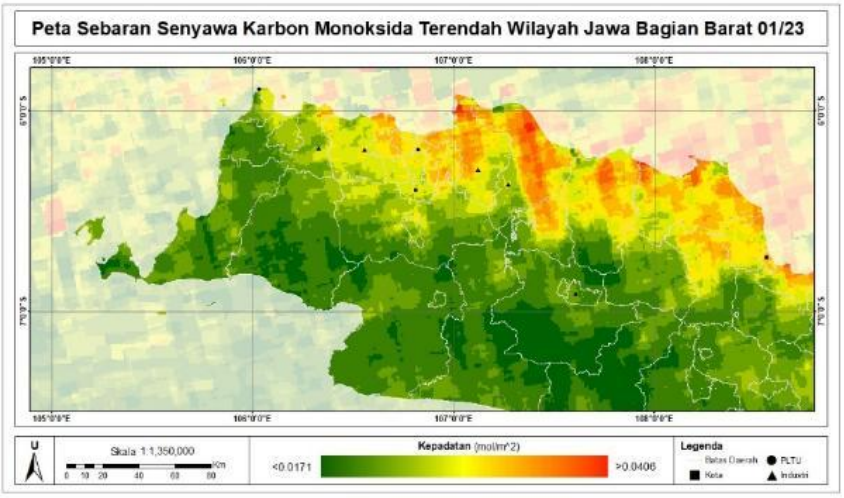
(b)



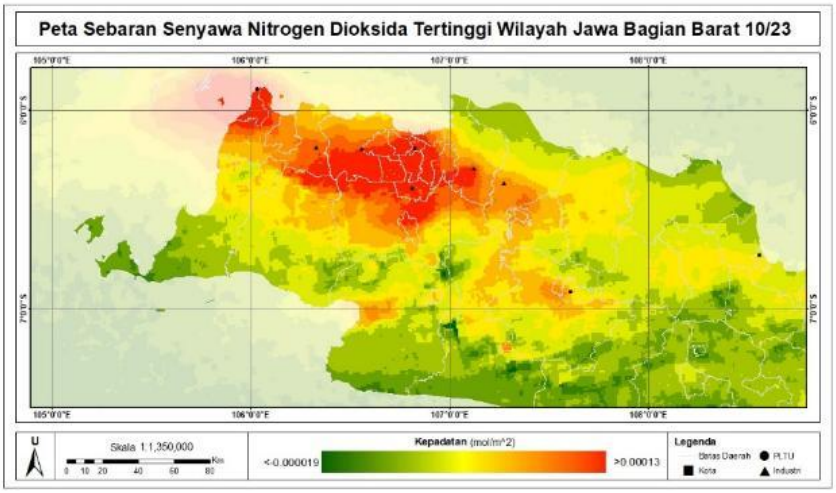
(c)

Gambar 4. Rerata Sumber Polusi dari ketiga senyawa pada tahun 2020 - 2023 (a) CO; (b) NO_2; (c) SO_2.

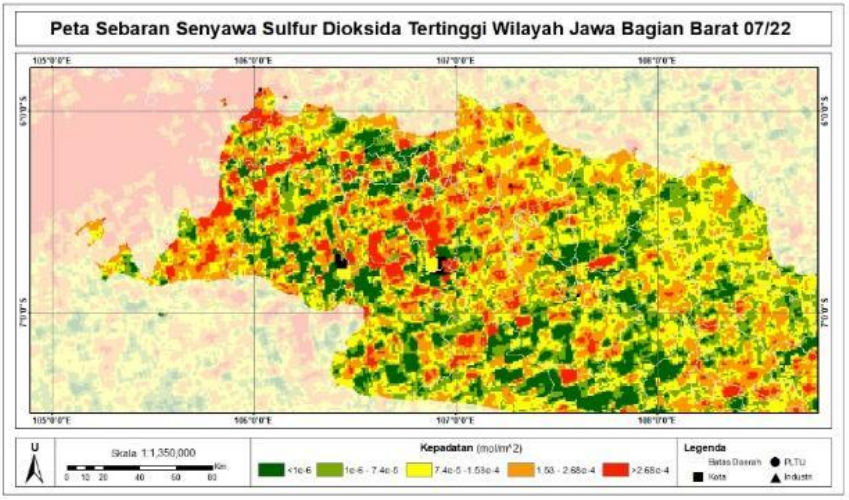
Temuan sebelumnya diperkuat dengan analisis spasial yang tergambar pada **Gambar 5**. Dapat dilihat bahwa untuk CO terkonsentrasi pada lokasi perkotaan, sedangkan untuk SO_2 terlihat bahwa daerah industri lebih dominan dengan warna merah. Selanjutnya, untuk senyawa NO_2, tergambar bahwa warna merah tersebar pada perkotaan khususnya DKI Jakarta, kawasan industri di sekitarnya dan juga PLTU Suralaya yang berada di barat laut muka peta.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Rerata Sumber Polusi dari ketiga senyawa pada tahun 2020 - 2023 (a) CO; (b) NO_2; (c) SO_2.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa satelit Sentinel-5p dapat digunakan sebagai usaha komplementer untuk melengkapi pengamatan lapangan dalam pengawasan kualitas udara di sebuah area. Metode ini dapat menjadi awalan dalam membangun sistem yang akan diaplikasikan pada Ibu Kota Negara (IKN) sesuai semangat revolusi digital.

KESIMPULAN

Hasil dari rerata perbulan dari citra satelit Sentinel-5p untuk senyawa CO, NO_2, dan SO_2 menunjukkan bahwa CO lebih stabil daripada kedua senyawa lainnya. Selain itu, CO ditemukan memiliki pola yang berulang setiap 6 bulan sedangkan NO_2, dan SO_2 memiliki pola yang berulang sekali setiap tahun, mencapai puncak di musim kemarau dan sebaliknya mengalami fase rendah pada musim hujan. Analisis pada data residu menunjukkan bahwa PSBB pertama di bulan April 2020 dan PPKM kedua di buan Juli 2021 berasosiasi dengan penurunan konsentrasi dari ketiga senyawa. Secara spasial, ditemukan bahwa Jakarta mendominasi daerah perkotaan sebagai area dengan emisi tertinggi, seperti PLTU Suralaya yang memiliki tingkat emisi terbesar untuk kategori kawasan industri.

Penggunaan data penginderaan jauh sebagaimana yang dilakukan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai usaha komplementer untuk membangun sistem pengawasan terpadu dan berbasis revolusi digital, sesuai dengan semangat yang dibawa pada pengembangan Ibu Kota Negara (IKN).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan penulis untuk semua pihak yang berkaitan, khususnya kolega anonim yang memberikan kritik dan saran membangun pada tahapan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

Astriyani, M., Laela, I. N., Lestari, D. P., Anggraeni, L., & Astuti, T. (2023). ANALISIS KLASIFIKASI DATA KUALITAS UDARA DKI JAKARTA MENGGUNAKAN ALGORITMA C.45. *JuSiTik : Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi Komunikasi*, *6*(1), 36–41. https://doi.org/10.32524/jusitik.v6i1.790

Atkinson, R. W., Analitis, A., Samoli, E., Fuller, G. W., Green, D. C., Mudway, I. S., Anderson, H. R., & Kelly, F. J. (2016). Short-term exposure to traffic-related air pollution and daily mortality in London, UK. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, *26*(2), 125–132. https://doi.org/10.1038/jes.2015.65

Chen, J., Fenoglio, L., Kusche, J., Liao, J., Uyanik, H., Nadzir, Z. A., & Lou, Y. (2023). Evaluation of Sentinel-3A altimetry over Songhua river Basin. *Journal of Hydrology*, *618*, 129197. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129197

Eko Cahyono, W., Parikesit, Joy, B., Setyawati, W., & Mahdi, R. (2022). Projection of CO2 emissions in Indonesia. *Materials Today: Proceedings*, *63*, S438–S444. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.091

Evans, J., Van Donkelaar, A., Martin, R. V., Burnett, R., Rainham, D. G., Birkett, N. J., & Krewski, D. (2013). Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery. *Environmental Research*, *120*, 33–42. https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.08.005

Fenoglio-Marc, L., Schöne, T., Illigner, J., Becker, M., Manurung, P., & Khafid. (2012). Sea Level Change and Vertical Motion from Satellite Altimetry, Tide Gauges and GPS in the Indonesian Region. *Marine Geodesy*, *35*(sup1), 137–150. https://doi.org/10.1080/01490419.2012.718682

Frigge, M., Hoaglin, D. C., & Iglewicz, B. (1989). Some Implementations of the Boxplot. *The American Statistician*, *43*(1), 50–54. https://doi.org/10.1080/00031305.1989.10475612

Hassaan, M. A., Abdallah, S. M., Shalaby, E.-S. A., & Ibrahim, A. A. (2023). Assessing vulnerability of densely populated areas to air pollution using Sentinel-5P imageries: A case study of the Nile Delta, Egypt. *Scientific Reports*, *13*(1), 17406. https://doi.org/10.1038/s41598-023-44186-4

Heriyanto, E., Kadarsah, K., & Pradana, R. P. (2020). DISTRIBUSI POLA AEROSOL di WILAYAH INDUSTRI BALONGAN dan SURALAYA (Aerosol Distribution in The Industry Areas of Balongan and Suralaya). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, *25*(2), 45. https://doi.org/10.22146/jml.24142

Holloway, T., Miller, D., Anenberg, S., Diao, M., Duncan, B., Fiore, A. M., Henze, D. K., Hess, J., Kinney, P. L., Liu, Y., Neu, J. L., O'Neill, S. M., Odman, M. T., Pierce, R. B., Russell, A. G., Tong, D., West, J. J., & Zondlo, M. A. (2021). Satellite Monitoring for Air Quality and Health. *Annual Review of Biomedical Data Science*, *4*(1), 417–447. https://doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120

Kusuma, W. L., Chih-Da, W., Yu-Ting, Z., Hapsari, H. H., & Muhamad, J. L. (2019). PM2.5 Pollutant in Asia—A Comparison of Metropolis Cities in Indonesia and Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(24), 4924. https://doi.org/10.3390/ijerph16244924

Maharani, S., & Aryanta, W. R. (2023). Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan dan Cara Meminimalkan Risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, *3*(2), 47–58. https://doi.org/10.36733/jeco.v3i2.7035

Marć, M., Tobiszewski, M., Zabiegała, B., Guardia, M. D. L., & Namieśnik, J. (2015). Current air quality analytics and monitoring: A review. *Analytica Chimica Acta*, *853*, 116–126. https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.018

Martin, R. V. (2008). Satellite remote sensing of surface air quality. *Atmospheric Environment*, *42*(34), 7823–7843. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.018

Mehrabi, M., Scaioni, M., & Previtali, M. (2023). Forecasting Air Quality in Kiev During 2022 Military Conflict Using Sentinel 5P and Optimized Machine Learning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *61*, 1–10. https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3292006

Mejía C., D., Alvarez, H., Zalakeviciute, R., Macancela, D., Sanchez, C., & Bonilla, S. (2023). Sentinel satellite data monitoring of air pollutants with interpolation methods in Guayaquil, Ecuador. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *31*, 100990. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100990

Muliane, U., & Lestari, P. (2011). Pemantauan kualitas udara ambien daerah padat lalu lintas dan komersial DKI Jakarta: Analisis konsentrasi PM2, 5 dan black carbon. *Jurnal Teknik Lingkungan*, *17*(2), 178–188.

Nadzir, Z. A., Simarmata, N., & Aliffia, A. (2020). PENGEMBANGAN ALGORITMA IDENTIFIKASI SAWAH PADI BERDASARKAN SPEKTRA FASE PADI (STUDI KASUS: LAMPUNG SELATAN) (Paddy Field Identification Algorithm Development Using Spectral Value of Paddy Field (Case Study: South Lampung)). *JURNAL SAINS INFORMASI GEOGRAFIS*, *3*(1), 23. https://doi.org/10.31314/jsig.v3i1.537

Nugroho, A., Asror, I., & Wibowo, Y. F. A. (2023). Klasifikasi Tingkat Kualitas Udara DKI Jakarta Berdasarkan Open Government Data Menggunakan Algoritma Random Forest. *eProceedings of Engineering*, *10*(2).

Passaro, M., Nadzir, Z. A., & Quartly, G. D. (2018). Improving the precision of sea level data from satellite altimetry with high-frequency and regional sea state bias corrections. *Remote Sensing of Environment*, *218*, 245–254. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.007

Ranganathan, R. H., Balusamy, S., Partheeban, P., Mani, C., Sridhar, M., & Rajasekaran, V. (2023). Air Quality Monitoring and Analysis for Sustainable Development of Solid Waste Dump Yards Using Smart Drones and Geospatial Technology. *Sustainability*, *15*(18), 13347. https://doi.org/10.3390/su151813347

Rohde, R. A., & Muller, R. A. (2015). Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources. *PLOS ONE*, *10*(8), e0135749. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135749

Royeen, C. B. (1986). The Boxplot: A Screening Test for Research Data. *The American Journal of Occupational Therapy*, *40*(8), 569–571. https://doi.org/10.5014/ajot.40.8.569

Samad, A., Garuda, S., Vogt, U., & Yang, B. (2023). Air pollution prediction using machine learning techniques – An approach to replace existing monitoring stations with virtual monitoring stations. *Atmospheric Environment*, *310*, 119987. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119987

Santoso, M., Dwiana Lestiani, D., & Hopke, P. K. (2013). Atmospheric black carbon in PM $_{2.5}$ in Indonesian cities. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *63*(9), 1022–1025. https://doi.org/10.1080/10962247.2013.804465

Santoso, M., Lestiani, D. D., Damastuti, E., Kurniawati, S., Kusmartini, I., Dwi Atmodjo, D. P., Sari, D. K., Muhtarom, T., Permadi, D. A., & Hopke, P. K. (2020). Long term characteristics of atmospheric particulate matter and compositions in Jakarta, Indonesia. *Atmospheric Pollution Research*, *11*(12), 2215–2225. https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.09.006

Smit, R., Kingston, P., Neale, D. W., Brown, M. K., Verran, B., & Nolan, T. (2019). Monitoring on-road air quality and measuring vehicle emissions with remote sensing in an urban area. *Atmospheric Environment*, *218*, 116978. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116978

Stirnberg, R., Cermak, J., Fuchs, J., & Andersen, H. (2020). Mapping and Understanding Patterns of Air Quality Using Satellite Data and Machine Learning. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *125*(4), e2019JD031380. https://doi.org/10.1029/2019JD031380

Syuhada, G., Akbar, A., Hardiawan, D., Pun, V., Darmawan, A., Heryati, S. H. A., Siregar, A. Y. M., Kusuma, R. R., Driejana, R., Ingole, V., Kass, D., & Mehta, S. (2023). Impacts of Air Pollution on Health and Cost of Illness in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(4), 2916. https://doi.org/10.3390/ijerph20042916

Vîrghileanu, M., Săvulescu, I., Mihai, B.-A., Nistor, C., & Dobre, R. (2020). Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. *Remote Sensing*, *12*(21), 3575. https://doi.org/10.3390/rs12213575

Zheng, Yang, Wu, & Marinello. (2019). Spatial Variation of NO2 and Its Impact Factors in China: An Application of Sentinel-5P Products. *Remote Sensing*, *11*(16), 1939. https://doi.org/10.3390/rs11161939

Zulkarnain, R., & Ramadani, K. D. (2021). KUALITAS UDARA dan POTENSI TRANSMISI COVID-19 di PULAU JAWA. *Seminar Nasional Official Statistics*, *2020*(1), 23–33. https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2020i1.398

STUDI KENAIKAN MUKA AIR LAUT SECARA RELATIF DARI KOMBINASI DATA STASIUN PASANG SURUT, GPS, DAN ALTIMETRI DI JAKARTA

(*Study of Relative Sea Level Rise from Tide Gauges, GPS and Altimetry in Jakarta*)

Zulfikar Adlan Nadzir[1,2], Ihsan Naufal Muafiry[3], Albertus Sulaiman[3]
[1]Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia
[2]Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn, Germany
[3]Research Center for Climate and Atmosphere, National Research and Innovation Agency, Indonesia

Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan
E-mail: zulfikar.nadzir@gt.itera.ac.id

ABSTRAK

Kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah adalah dua parameter yang menandakan efek dari perubahan iklim pada sebuah wilayah. Kedua parameter ini penting untuk dihitung dan diketahui, khususnya di negara kepulauan seperti Indonesia. Hanya saja, dua parameter di atas masih belum banyak diteliti dan dihitung pada wilayah Indonesia. Hal ini terjadi karena kurangnya kualitas data untuk mengukur kenaikan muka air laut dari altimetri dan belum digunakannya data penurunan muka tanah dari stasiun pengamatan GPS secara luas. Secara matematis, kenaikan muka air laut dan pergerakan muka tanah adalah sama dengan kenaikan muka air laut secara relatif dari stasiun pasang surut. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menghitung kenaikan muka air laut secara relatif di Jakarta. Menggunakan kombinasi dari 3 stasiun pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG), 1 stasiun pengamatan GPS kontinu dan titik terdekat dari pengamatan altimetri melalui perlakuan berupa rerata bulanan, sebuah model diestimasi menggunakan pendekatan pola tahunan, setengah tahunan, linear dan rerata. Hasil menujukkan bahwa mayoritas lokasi stasiun pasut terdapat kenaikan muka air laut relatif yang positif, sebesar 10 mm/tahun secara rata-rata, selaras dengan hasil kombinasi data altimetri dan pengamatan GPS sebesar 8,9 mm/tahun. Prediksi pada tahun 2050 dan 2100 menunjukkan kenaikan muka air laut sebesar 24,87±4,01 cm dan 66,33±10,7 cm di Jakarta. Hasil di atas menunjukkan bahwa Jakarta bisa saja tenggelam di tahun 2100 jika kita tidak mulai memikirkan untuk mengurangi efek penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut tersebut secara sistemik dan berkelanjutan. Selain itu, hasil ini dapat digunakan sebagai referensi untuk membangun Ibu Kota Negara (IKN) secara berkelanjutan dan memasukkan perubahan iklim sebagai salah satu faktor yang perlu diperhatikan.

Kata Kunci: Jakarta, kenaikan muka air laut, perubahan iklim, stasiun pasang surut

ABSTRACT

Sea level rise and vertical land motion are two parameters that signify the influence of climate change in a region. These two parameters are very important to be calculated and estimated, especially in an archipelago like Indonesia. However, the two parameters above are still not widely studied and derived in the Indonesian region. This is mostly due to the lack of quality data to measure sea level rise from altimetry and the lack of widespread use of land subsidence data from GPS observation stations. Mathematically, sea level rise and vertical land motion are equal to the relative sea level rise from tidal stations. This research aims to compute the relative sea level rise rate in Jakarta. Using combined dataset of 3 tidal stations from the Geospatial Information Agency (BIG), 1 continuous GPS station and nearest altimetry observation point after monthly averaging treatment, a model was fitted with annual, semi-annual, linear, and mean constituents was estimated. The results show that most tide gauges have a positive relative sea level rise of 10 mm/year on average, like the combination of altimetry and GPS data of 8,9 mm/year. The relative sea level rise forecasted for 2050 and 2100 in Jakarta amounts to 24.87±4.01 cm and 66.33±10.7 cm, respectively. Above results suggest that Jakarta could be submerged by 2100 if we do not start thinking about mitigating the effects of land subsidence and sea level rise in a systemic and sustainable manner. Additionally, this finding could be utilized as a reference for Ibu Kota Negara's (IKN) city planning with sustainability and climate change resilience in consideration.

Keywords: Jakarta, *climate change, sea level rise, tide gauge*

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap pemanasan global dan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, termasuk karbon dioksida, telah meningkat secara signifikan (Mauritsen *et al.*, 2019; Stainforth *et al.*, 2005). Peningkatan emisi gas-gas tersebut, terutama dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi, telah menjadi penyebab utama pemanasan atmosfer global (Alves De Oliveira *et al.*, 2021). Sejak tahun 1970, kenaikan suhu rerata global mengalami tren yang terus bertambah, dengan nilai kenaikan suhu sebesar 1,1°C daripada suhu 100 tahun yang lalu (Calvin *et al.*, 2023). Kenaikan suhu rata-rata dunia telah menyebabkan pencairan es di kutub dan gletser, yang kemudian berpotensi meningkatkan jumlah air yang mengalir ke dalam laut (Simarmata *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024). Dampaknya, akan terjadi kenaikan muka air laut global yang signifikan, yang berpotensi mengancam kota-kota pesisir di seluruh dunia (Tay *et al.*, 2022), termasuk Jakarta (Cao *et al.*, 2021).

Pengamatan kenaikan muka air laut dapat dilakukan menggunakan beberapa metode. Secara umum, terdapat dua opsi metode untuk mendapatkan nilai kenaikan muka air laut yang dirasakan oleh penduduk di lokasi tersebut, yaitu menggunakan stasiun pasang surut yang mendapatkan kenaikan muka ait laut secara relatif seperti PSMSL (Holgate *et al.*, 2013; Wöppelmann & Marcos, 2012) dan kombinasi dari data altimetri (Cazenave *et al.*, 2019; Kuo *et al.*, 2004; Passaro *et al.*, 2018) dan GPS (Blewitt *et al.*, 2010; Wöppelmann & Marcos, 2016). Namun penggunaan kedua metode di atas masih terbatas dalam tingkat ketelitian dan persebaran lokasi stasiun, khususnya di negara berkembang. Beberapa usaha sudah dilakukan untuk menyelesaikan keterbatasan-keterbatasan tersebut, seperti memperbaiki ketelitian dari satelit altimetri (Nadzir *et al.*, 2022; Nadzir, Fenoglio, *et al.*, 2023), mendesain proses *pre-processing* untuk data stasiun pasang surut (Míguez *et al.*, 2012; Nadzir, Simarmata, *et al.*, 2023) dan menggunakan model untuk menghitung penurunan muka tanah (Klos *et al.*, 2019).

Penelitian-penelitian sebelumnya menggunakan salah satu atau kedua metode pengamatan dari stasiun pasang surut, stasiun GPS dan altimeri di beberapa lokasi. Hasil dari penelitian di Indonesia 12 tahun yang lalu menunjukkan bahwa penurunan tAanah terjadi di Jakarta (Fenoglio-Marc, Schöne, *et al.*, 2012) dan Semarang (Nandika *et al.*, 2020), sedangkan hasil di laut Adriatik mengindikasikan ketelitian yang baik dari metode yang digunakan (De Biasio *et al.*, 2020; Fenoglio-Marc, Braitenberg, *et al.*, 2012). Penelitian serupa di Malaysia menunjukkan hasil yang selaras dengan rerata kenaikan muka air laut global sebesar 4 sampai 6 mm per tahun (Simons *et al.*, 2023). Selain itu, penggunaan data InSAR sebagai validator tambahan pada penelitian di kota Brest di Prancis menunjukkan hasil yang menjanjikan (Poitevin *et al.*, 2019).

Jakarta sebagai ibu kota Indonesia, memiliki bagian pesisir pantai, sehingga menghadapi ancaman serius dari kenaikan muka air laut global. Diperkirakan bahwa kenaikan yang terus meningkat dapat mengakibatkan banjir yang lebih sering dan lebih parah di wilayah pesisir (Tay *et al.*, 2022). Selain itu, ada risiko penurunan tanah di Jakarta (Chaussard *et al.*, 2013), yang dapat mengancam ketahanan air dan infrastruktur vital kota-kota tersebut. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang kenaikan muka air laut dan penurunan tanah di Jakarta penting untuk terus diperbaharui dengan melakukan pengukuran yang intens.

Menghubungkan kenaikan muka air laut yang memiliki bidang referensi berupa elipsoid dengan penurunan muka tanah yang juga menggunakan elipsoid sebagai bidang referensi diperlukan untuk mengetahui besar kenaikan muka air laut yang dirasakan oleh penduduk di lokasi tersebut. dalam konteks Jakarta, nilai kenaikan muka air laut ini perlu dikuantifikasi sebagai usaha awal untuk memulai proses mitigasi dan penanggulangan akibat terjadinya naIKNya muka air laut tersebut. dalam penelitian ini, kami akan melakukan pengukuran dua komponen bencana tersebut: kenaikan air laut (menggunakan satelit altimetri) dan penurunan muka tanah (menggunakan pengamatan posisi GNSS teliti). Tidak hanya itu, kedua komponen tersebut akan divalidasi dengan data *relative sea level rise* (RSLR) hasil pengamatan stasiun pasang surut yang ada di Jakarta. Untuk menjawab pertanyaan apakah Jakarta akan tenggelam, kami melakukan perhitungan projeksi RSLR di Jakarta hingga tahun 2050 dan 2100, sesuai dengan Persetujuan Paris (*Paris Agreement*) (Agreement, 2015).

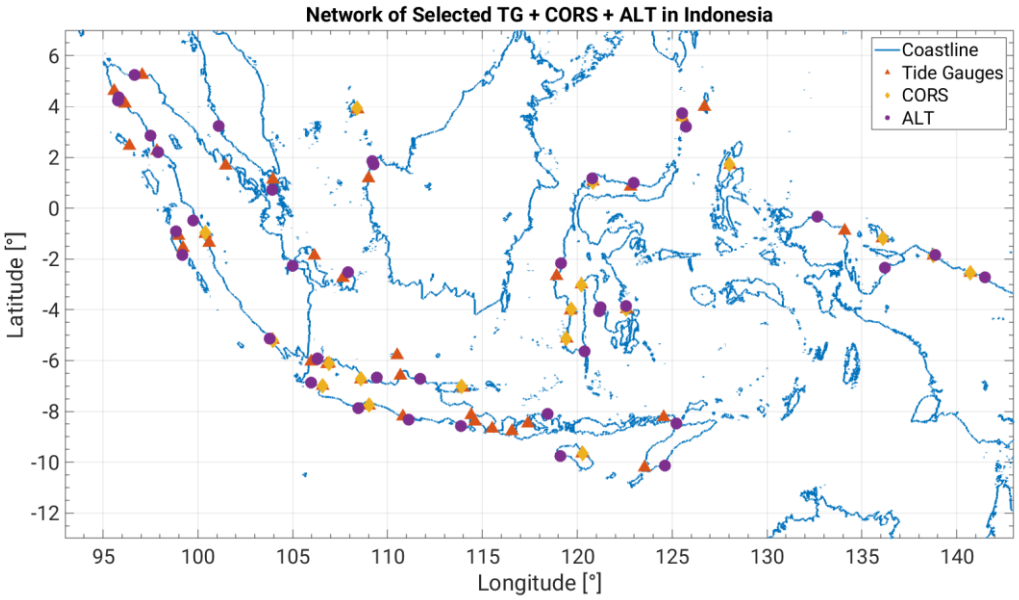
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memberikan gambaran mengenai tingkat urgensi dari pencegahan naIKNya muka air laut di Jakarta lebih jauh secara

kuantitatif. Selain itu, penelitian ini juga memiliki kebaruan sebagai salah satu studi yang melanjutkan waktu pengamatan dari kenaikan muka air laut di Jakarta, dari tahun 2012 menjadi tahun 2021. Hasil dari studi ini dapat juga digunakan sebagai pelajaran (*lesson learned*) dalam merencanakan pembangunan kota-kota lain, khususnya Ibu Kota Negara (IKN), dengan memperhatikan perubahan iklim dan akibatnya.

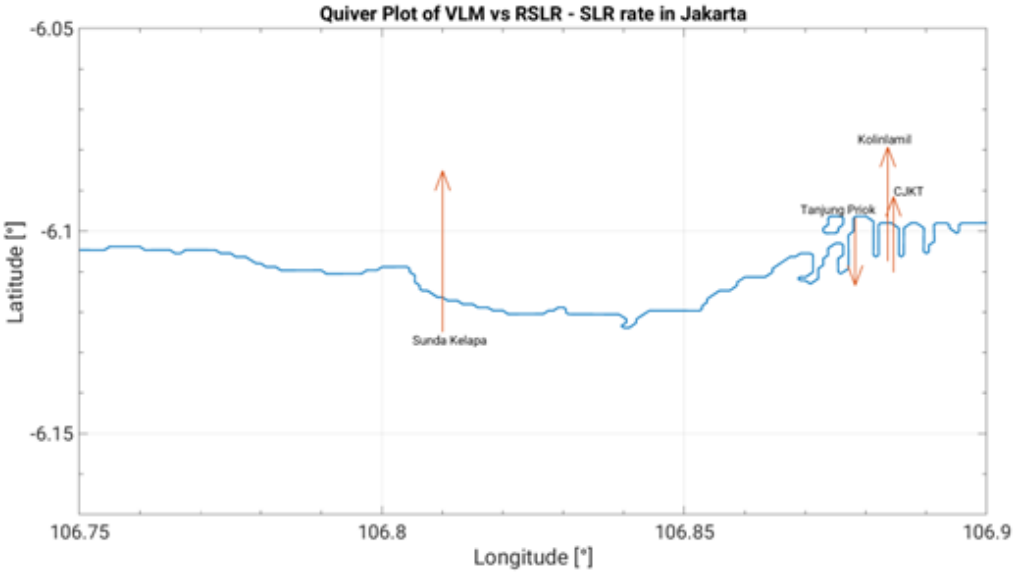
METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di dua tempat, yaitu Indonesia secara menyeluruh dan Jakarta secara khusus. Secara geografis, lokasi pertama terletak pada koordinat 6°30′ – 11° LS dan 92° - 143° BT pada **Gambar 1**. Selain itu, **Gambar 2** mewakili lokasi Jakarta dengan rentang koordinat 6°05′ – 6°18′ LS dan 106°45′ - 106°55′ BT. dalam lokasi pertama, terdapat 3 sumber data yang tercantum, yaitu 49 stasiun pasang surut, 19 stasiun GNSS dan 49 titik altimetri, dengan parameter seleksi yang tergambar pada **Tabel 1**. Untuk Jakarta, 1 stasiun GNSS (CJKT), 3 stasiun pasang surut (Kolinlamil, Tanjung Priok, dan Sunda Kelapa) yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG), dan 3 titik altimetri digunakan.



Gambar 1. Peta Indonesia sebagai lokasi penelitian.



Gambar 2. Peta Jakarta sebagai lokasi penelitian.

Tabel 1. Parameter Seleksi tiap Dataset.

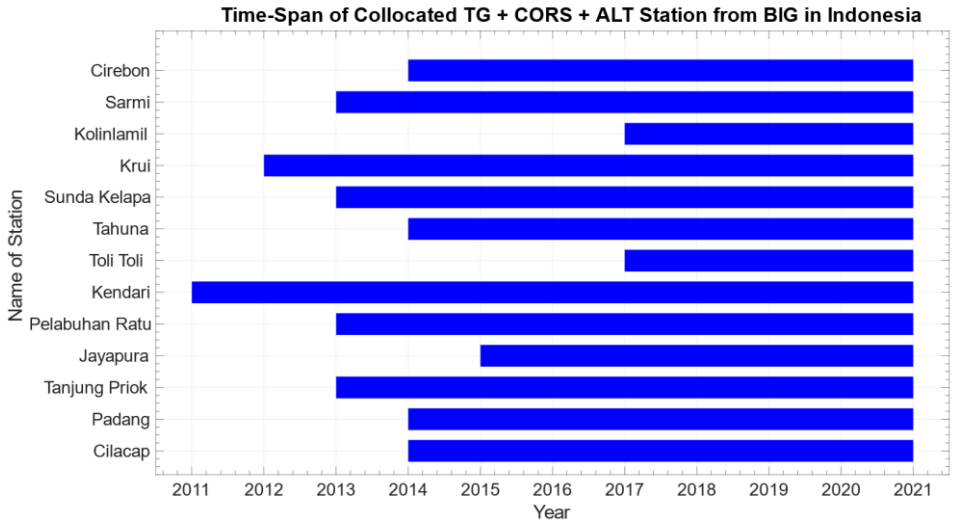
Dataset	Parameter
Stasiun Pasang Surut	Rentang Waktu ≥ 5 tahun
	Indeks Kelengkapan ≥ 0,8
	Jarak kepada stasiun pasut ≤ 10 km
Stasiun GPS	Rentang Waktu ≥ 5 tahun
	Indeks Kelengkapan ≥ 0,7
Titik Altimetri	Jarak kepada stasiun pasut ≤ 111.11 km (1°)

Alat dan Bahan

Aplikasi pengolah angka berbasis matriks merupakan alat utama yang digunakan dalam penelitian ini dalam proses tabulasi, pendekatan model, analisis kuantitatif dan pembuatan model. Selain itu, untuk melakukan proses pembuatan peta, aplikasi sistem informasi geografis dimanfaatkan.

Data stasiun pasang surut berjumlah 49 didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dalam jaringan Ina-TIDES (*https://srgi.big.go.id/tides).* 19 stasiun pengamatan GPS dalam jaringan Ina-CORS dari BIG (*https://srgi.big.go.id/rinex/v1)* yang berlokasi dekat dengan stasiun pasang surut digunakan sebagai bahan selanjutnya. Untuk melengkapi kombinasi data, 19 lokasi altimetri yang didapatkan dari *SEANOE* - *https://www.seanoe.org/data/00631/74354/* (Cazenave *et al.*, 2024) juga dimasukkan. 12 lokasi kolokasi antara stasiun pasang surut, stasiun GPS dan lokasi altimetri digunakan sesuai dengan parameter seleksi, dengan jangka waktu pengamatan mulai tahun 2011 sampai tahun 2021, ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Perlakuan yang dilakukan pada data pasang surut dan GPS menggunakan algoritma *pre-processing* yang memenuhi syarat tidak ada data kosong dalam waktu 120 hari, tidak ada data yang dianggap macet dan melompat, serta melalui proses filter dengan batas tiga-sigma (Nadzir, Simarmata, *et al.*, 2023). Algoritma *pre-processing* ini tersedia secara terbuka dan bisa diakses pada laman GitHub *https://github.com/zulfikarnadzir/IndonesianTideGauges.* Langkah pertama yang dilakukan pada kedua jenis data di atas adalah proses menghitung rerata selama satu bulan, sesuai dengan **Persamaan 1** dengan $\bar{x}_i$ adalah rerata pada indeks i, serta n_t adalah jumlah data sesuai dengan waktu t. Selanjutnya, data rerata setiap bulan ini didekatkan dengan sebuah model untuk mengetahui kecenderungan periodisitas dari masing-masing lokasi. Model yang digunakan dalam perhitungan ini memiliki 4 komponen: komponen tahunan (*annual*), setengah tahunan (*semi-annual*), tren linier dan rerata atau *offset*, yang ditunjukkan dalam **Persamaan 2** (Fenoglio-Marc dkk., 2012).



Gambar 3. Interval waktu pengamatan dari *collocated stations*.

$$\bar{x}_i = \frac{\sum x_{i,t}}{n_t} \quad (1)$$

$$z = a\cos(2\pi f_1 t) + b\sin(2\pi f_2 t) + ct + d \quad (2)$$

Pelaksanaan Penelitian

Sebagai penelitian yang berbasis kuantitatif, sebuah skrip pada aplikasi pengolah angka berbasis matriks dikembangkan, dengan beberapa *sub-routine* untuk menyelesaikan proses secara kronologis.

Perhitungan kenaikan muka air laut dari altimetri (*sea level rise – SLR*)

Satelit altimetri mengukur jarak vertikal antara satelit dan permukaan laut. Satelit mengirimkan sinyal radar ke laut, sebagian dipantulkan kembali ke satelit (Fu & Cazenave, 2000). Dengan mengukur waktu sinyal bergerak bolak-balik dari dan ke satelit, kita bisa tahu jarak antara dua objek tersebut. Dengan cara ini, kita bisa dapatkan ketinggian permukaan laut (SSH) dengan mengurangi ketinggian satelit dari elipsoid referensi, sesuai dengan jaraknya ke laut. Namun, untuk mendapatkan pengukuran yang akurat tidak mudah, diperlukan nilai koordinat orbit satelit dan koreksi-koreksi lainnya, seperti koreksi instrumen, refraksi atmosfer, dan kondisi laut (Nadzir, 2017).

Data dari satelit Jason-1, Jason-2, dan Jason-3 dari tahun 2002 sampai tahun 2022 yang berlokasi dari 20 km menuju ke pesisir dimasukkan dalam pemrosesan yang berbasis atas perhitungan kembali untuk data mentah (*waveform,* (Passaro *et al.*, 2014)) dan koreksinya (Passaro *et al.*, 2018) sebagai usaha untuk memperbaiki kualitas data. Setelah itu, dilakukan proses pemilihan lokasi untuk membangun rangkaian data untuk satu lokasi (*virtual station*). Lokasi-lokasi tersebut lalu digunakan sebagai bahan dasar dalam menghitung kenaikan muka air laut, dengan elipsoid sebagai referensinya (Cazenave *et al.*, 2022). Pengamatan di Jakarta dalam 3 lokasi yang berdekatan dengan 3 titik stasiun pasang surut dari tahun 2002 sampai 2022 menunjukkan nilai 2,89 ± 0,74 mm/tahun.

Penurunan muka tanah (*vertical land motion – VLM*)

Penurunan muka tanah dengan GPS melibatkan pemasangan *receiver* GNSS di beberapa titik di permukaan tanah yang ingin diukur. *Receiver* tersebut menerima sinyal dari satelit GNSS dan menggunakan informasi waktu kedatangan sinyal tersebut untuk menentukan posisi relatif penerima terhadap satelit-satelit tersebut. Dengan memonitor posisi penerima GNSS dari waktu ke waktu, kita dapat memperoleh data time-series yang mencatat perubahan posisi relatif penerima GNSS terhadap waktu. Dari data time-series yang diperoleh, kita dapat menggunakan data posisi muka tanah terhadap selama beberapa tahun untuk menghitung trend subsidennya. Adapun sebelum dilakukan perhitungan trend, data posisi time-series dari receiver GNSS tersebut diseleksi terlebih dahulu sehingga dipastikan tidak terdapat bias/outlier, jump, gap, maupun efek perubahan posisi akibat aktivitas seismik.

Hasil pengamatan perubahan muka tanah secara vertikal dari GNSS di sekitar Jakarta dari tahun 2010 hingga 2020 pada stasiun CJKT, didapatkan nilai trend peningkatan peningkatan air laut dalam rentang 6,65 ± 1,46 mm/tahun. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya pada tahun 2011 dan 2012, ditemukan bahwa kecepatan penurunan muka tanah di Jakarta turun, dari 115 mm/tahun menggunakan hasil InSAR (Ng *et al.*, 2012) dan 10 cm/tahun (Abidin *et al.*, 2011).

Perhitungan kenaikan muka air laut secara relatif (*relative sea level rise - RSLR*)

Pengamatan stasiun pasang surut dapat mendeteksi kenaikan air laut relatif (RSLR) dengan efektif. Stasiun ini cukup sensitif terhadap perubahan muka air laut dan muka tanah secara berkala. Dengan menganalisis data pengukuran ketinggian air laut (interval pengukuran 1 jam) dari stasiun pasang surut milik BIG, yang kemudian dihitung rata-rata bulanannya, kita dapat menganalisis trend kenaikan air laut relatif secara lebih teliti. Perhitungan trend RSLR tersebut diperoleh dari perhitungan regresi linear data pengamatan tinggi air laut rata-rata bulanan dari tahun 2011 hingga 2020 pada 3 stasiun (Sunda Kelapa, Kolinlamil, dan Tanjung Priok).

Hasil pengamatan kenaikan air laut relatif (RSLR) dari stasiun pasang surut di sekitar Jakarta didapatkan nilai trend peningkatan peningkatan air laut dalam rentang -11,95 sampai 20,25 mm/tahun. Nilai ini besar dikarenakan kuatnya trend penurunan muka tanah di Jakarta

berdasarkan data GNSS. Hubungan antara RSLR, SLR dan VLM dari kombinasi sumber data tergambar pada **Persamaan 3**.

$$RSLR = VLM + SLR \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

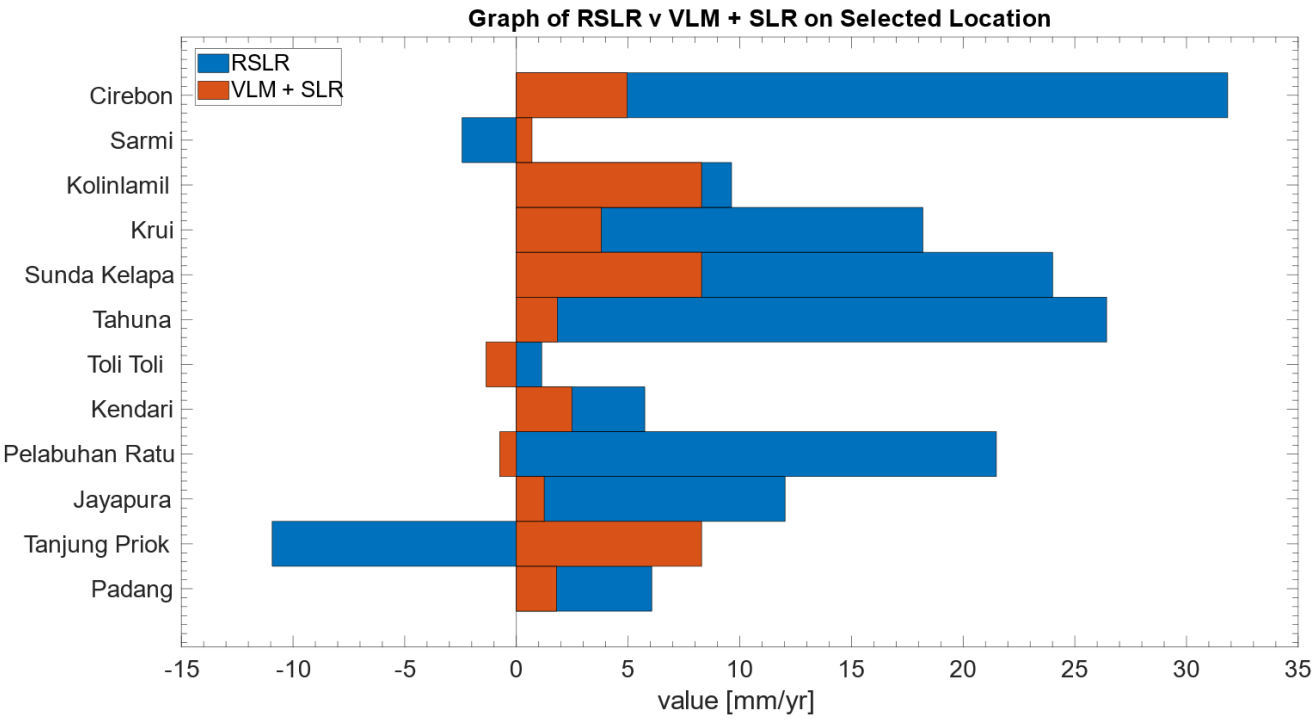
Peramalan kenaikan muka air laut (*Forecast*)

Proses selanjutnya adalah melakukan estimasi tinngkat kenaikan muka air laut secara relatif. Menggunakan tren yang didapatkan dari RSLR dan VLM + SLR dalam **Persamaan 4**, ramalan untuk kenaikan muka laut di tahun 2050 dan tahun 2100 dihitung. Peramalan ini penting untuk mengetahui secara praktis akibat dari perubahan iklim, seperti yang ditunjukkan pada laporan terkini dari IPCC, yaitu AR6 (Calvin *et al.*, 2023).

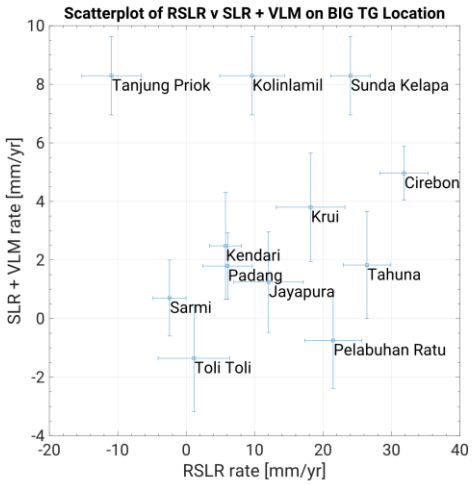
$$y = ax + b \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

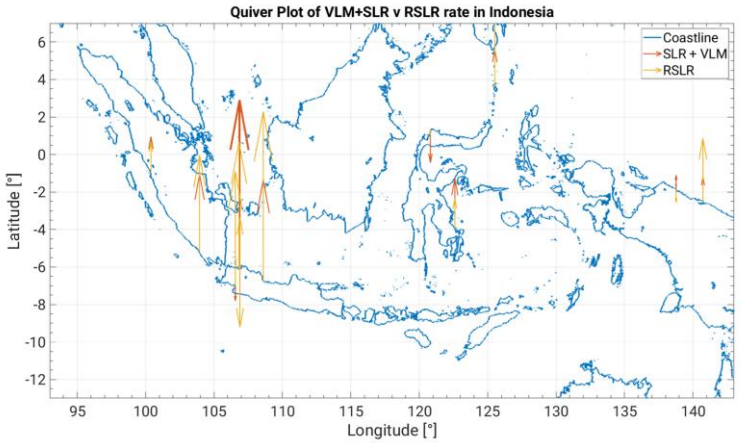
Kombinasi dari data stasiun pasang surut, stasiun GNSS dan pengamatan altimetri di seluruh Indonesia menunjukkan kecenderungan yang berbeda-beda di beberapa area. Pada **Gambar 4**, terlihat bahwa nilai RSLR memiliki rerata nilai ~4 kali lipat daripada nilai VLM + SLR. Secara kuantitatif, nilai rerata RSLR adalah 10,83 ± 3,89 mm/tahun sedangkan VLM + SLR senilai 2,16 ± 1,49 mm/tahun. Selain itu, 10 dari 12 lokasi menunjukkan RSLR yang positif, atau dengan kata lain, berbagai lokasi di Indonesia mengalami kenaikan muka laut secara relatif. Terlihat pula bahwa 6 dari 12 stasiun memiliki nilai kenaikan muka air laut relatif yang sama dengan rerata global (~2 sampai 3 mm/tahun). Melihat lebih jauh di Jakarta yang tergambar di **Gambar 5**, didapatkan bahwa tiga stasiun pasang surut memiliki nilai yang berbeda-beda, dengan Kolinlamil yang memiliki nilai RSLR dan VLM + SLR yang hampir sama. Secara peta yang terwakili di **Gambar 6**, dapat dilihat bahwa Jawa dan Sumatra memiliki nilai tren yang lebih besar daripada di Indonesia bagian Timur.



Gambar 4. RSLR v VLM + SLR dari *collocated stations*.

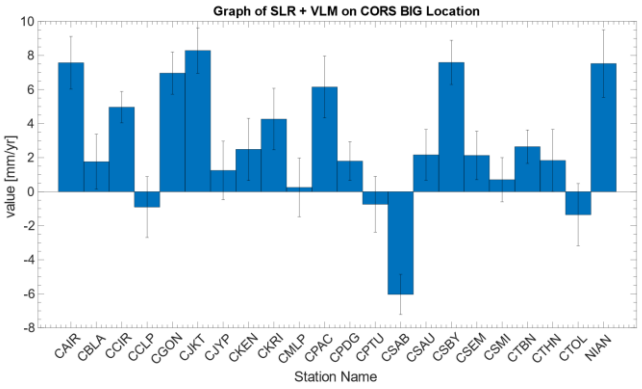


Gambar 5. *Scatterplot* dari RSLR v VLM + SLR di *collocated stations*.

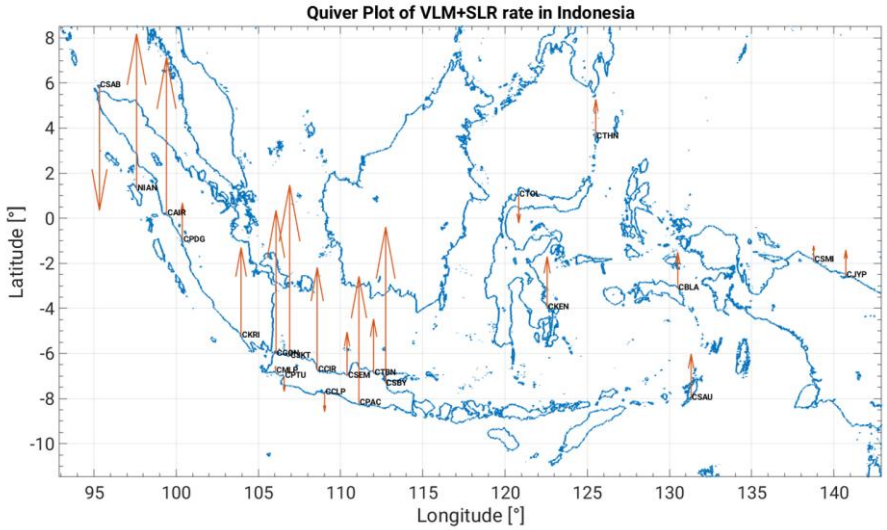


Gambar 6. Peta dari RSLR v VLM + SLR di *collocated stations*.

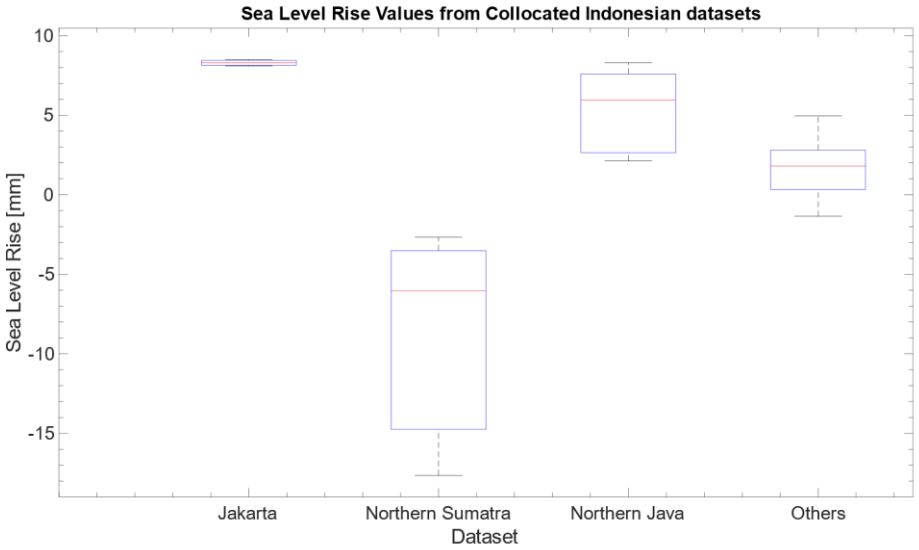
Pengamatan selanjutnya adalah nilai RSLR yang didapatkan dari kombinasi VLM + SLR pada 22 lokasi yang terwakili oleh **Gambar 7**. Ditemukan bahwa median dari hasil kombinasi tersebut selaras dengan rerata global mencapai 2,14 ± 1,58 mm/tahun, dan 82% dari 22 stasiun memiliki nilai RSLR positif, atau dalam kata lain, muka air laut mengalami kenaikan secara relatif. Menilik peta pada **Gambar 8**, kecenderungan yang sudah ditemukan sebelumnya bahwa Indonesia secara umum mulai tenggelam juga ditemukan. Selain itu, hasil estimasi di pantai utara Jawa dan Sumatra bagian selatan menunjukkan nilai 2 kali lipat lebih besar daripada lokasi lainnya dan juga ditemukan bahwa Indonesia bagian timur memiliki tingkat yang lebih lambat daripada Indonesia bagian barat. Yang menarik adalah bahwa di ujung utara Sumatra (Sabang) nilai dari RSLR bernilai negatif, yang mana berarti secara relatif di lokasi muka air laut bukan naik, tetapi turun yang tergambar pada boxplot di **Gambar 9**.



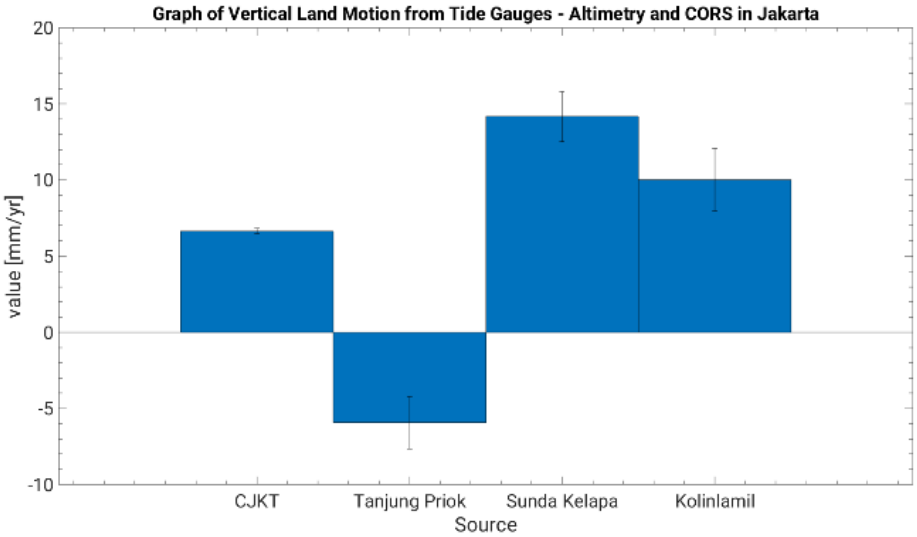
Gambar 7. VLM + SLR dari *collocated stations*.



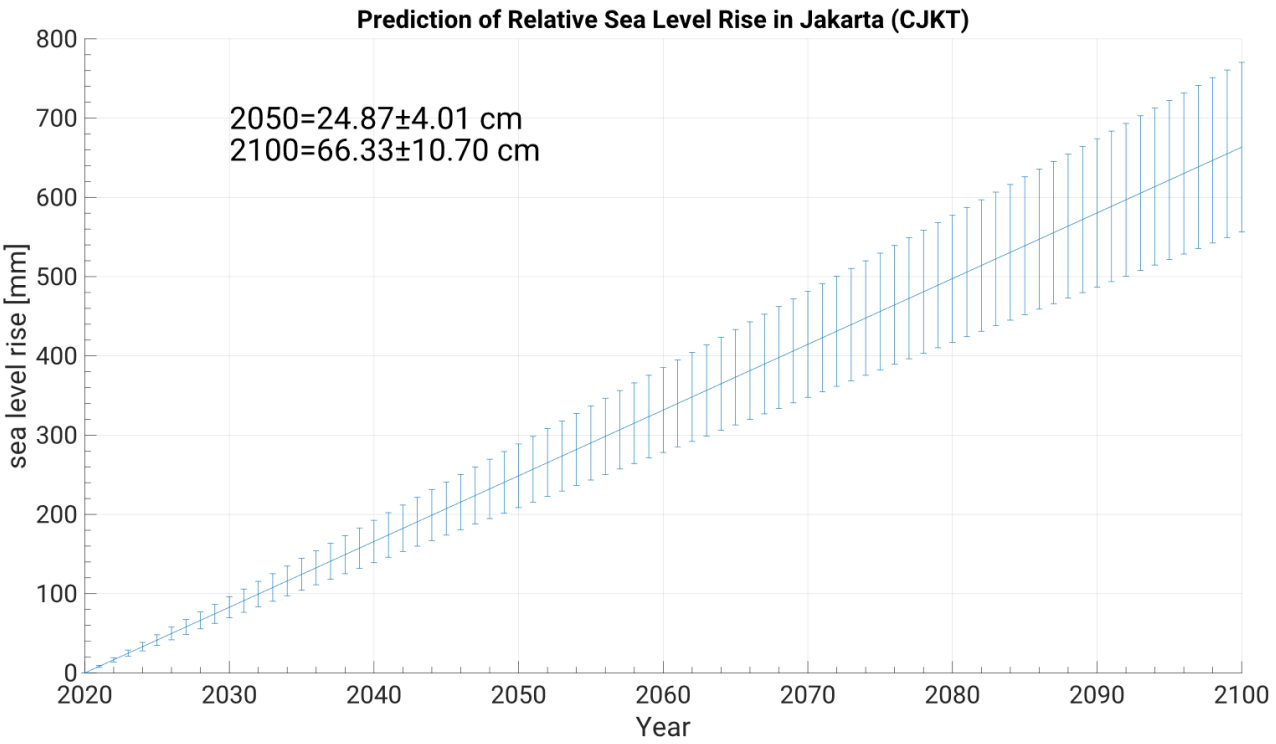
Gambar 8. Peta VLM + SLR dari *collocated stations*.



Gambar 9. Boxplot dari beberapa lokasi di Indonesia.



Gambar 10. Grafik dari VLM dari stasiun pasang surut vs stasiun GNSS di Jakarta.



Gambar 11. Prediksi kenaikan muka air laut relatif di Jakarta sampai tahun 2100.

Analisis lebih jauh di area Jakarta menunjukkan bahwa nilai VLM serta ekuivalensinya (RSLR – SLR) menunjukkan nilai yang bervariasi, mulai -7 sampai 14 mm/tahun, yang tergambar pada **Gambar 10**. Senada dengan hasil sebelumnya, ditemukan bahwa kecepatan di Jakarta 2 sampai 2,5 kali lebih cepat daripada lokasi lainnya di Indonesia, sama halnya dengan temuan bahwa Kolinlamil merupakan stasiun pasang surut dengan nilai paling mendekati hasil dari stasiun GNSS CJKT. Hasil ini senada tetapi 2 kali lebih kecil dengan nilai kenaikan muka air laut pada tahun 2012, yaitu 24 mm/tahun (Fenoglio-Marc, Schöne, *et al.*, 2012). Prediksi di **Gambar 11** memperlihatkan bahwa di tahun 2050 muka air laut akan naik sebesar 24,87 ± 4,01 cm dan pada tahun 2100 naik sebesar 66,33 ± 10,70 cm.

Penelitian ini menunjukkan bahwa Indonesia, khususnya Jakarta, melalui analisis data lapangan memang tenggelam dengan nilai sebesar lebih dari 50 cm pada tahun 2100. Penggunaan kombinasi data dan metode ini dapat dijadikan sebagai pelajaran dan referensi dalam merencanakan dan membangun Ibu Kota Negara (IKN).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa 85% dari stasiun yang diteliti menunjukkan nilai RSLR yang positif, yang mana berarti bahwa Indonesia memang mulai tenggelam. Setengah dari stasiun-stasiun tersebut memiliki trend kenaikan muka air laut secara relatif yang sama dengan rerata global. Estimasi kenaikan muka air laut pada 3 lokasi di Jakarta dengan data altimetri selama 10 tahun (2011 sampai 2021) menunjukkan nilai 2,89 mm/tahun. Selain itu, di tempat yang sama, penurunan tanah terhitung sebesar 6,65 mm/tahun yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya di tahun 2011 dan 2012 yang mencapai tingkat centimeter/tahun. Kombinasi dari kedua data di atas menunjukkan nilai kenaikan muka air laut secara relatif sebesar 20,25 mm/tahun yang sedikit lebih kecil dari nilai yang ditemukan pada tahun 2012. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun angka yang didapatkan di Jakarta 2,5 kali lipat lebih besar dibandingkan dengan lokasi lainnya di Indonesia, nilainya berkurang jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Lebih jauh, teridentifikasi bahwa bagian utara Jawa dan Sumatra bagian selatan tenggelam 2 kali lebih cepat dari rerata global. Pada tahun 2050 dan 2100 muka air laut di Jakarta akan naik sebesar 25 cm dan 66 cm.

Prediksi ini perlu digunakan sebagai referensi dan pembelajaran dalam proses pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) agar dapat mengantisipasi efek perubahan iklim berupa kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan penulis untuk semua pihak yang berhubungan dan membantu dalam proses penelitian, khususnya kolega anonim yang memberikan kritik dan saran membangun pada tahapan analisis serta institusi terkait.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T. (2011). Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, *59*(3), 1753–1771. https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9

Agreement, P. (2015). Paris agreement. *Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris). Retrived December*, *4*(2017), 2.

Alves De Oliveira, B. F., Bottino, M. J., Nobre, P., & Nobre, C. A. (2021). Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. *Communications Earth & Environment*, *2*(1), 207. https://doi.org/10.1038/s43247-021-00275-8

Blewitt, G., Altamimi, Z., Davis, J., Gross, R., Kuo, C., Lemoine, F. G., Moore, A. W., Neilan, R. E., Plag, H., Rothacher, M., Shum, C. K., Sideris, M. G., Schöne, T., Tregoning, P., & Zerbini, S. (2010). Geodetic Observations and Global Reference Frame Contributions to Understanding Sea-Level Rise and Variability. In J. A. Church, P. L. Woodworth, T. Aarup, & W. S. Wilson (Eds.), *Understanding Sea-Level Rise and Variability* (1st ed., pp. 256–284). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781444323276.ch9

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., … Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Cao, A., Esteban, M., Valenzuela, V. P. B., Onuki, M., Takagi, H., Thao, N. D., & Tsuchiya, N. (2021). Future of Asian Deltaic Megacities under sea level rise and land subsidence: Current adaptation pathways for Tokyo, Jakarta, Manila, and Ho Chi Minh City. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *50*, 87–97. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.02.010

Cazenave, A., Gouzenes, Y., Birol, F., Leger, F., Passaro, M., Calafat, F. M., Shaw, A., Nino, F., Legeais, J. F., Oelsmann, J., Restano, M., & Benveniste, J. (2022). Sea level along the world's coastlines can be measured by a network of virtual altimetry stations. *Communications Earth & Environment*, *3*(1), 117. https://doi.org/10.1038/s43247-022-00448-z

Cazenave, A., Gouzenes, Y., Lancelot, L., Birol, F., Legér, F., Passaro, M., Calafat, F. M., Shaw, A., Niño, F., Legeais, J. F., Oelsmann, J., & Benveniste, J. (2024). *New network of virtual altimetry stations for measuring sea level along the world coastlines* [dataset]. [object Object]. https://doi.org/10.17882/74354

Cazenave, A., Hamlington, B., Horwath, M., Barletta, V. R., Benveniste, J., Chambers, D., Döll, P., Hogg, A. E., Legeais, J. F., Merrifield, M., Meyssignac, B., Mitchum, G., Nerem, S., Pail, R., Palanisamy, H., Paul, F., Von Schuckmann, K., & Thompson, P. (2019). Observational Requirements for Long-Term Monitoring of the Global Mean Sea Level and Its Components Over the Altimetry Era. *Frontiers in Marine Science*, *6*, 582. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00582

Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., & Hong, S.-H. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of Environment*, *128*, 150–161. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.015

De Biasio, F., Baldin, G., & Vignudelli, S. (2020). Revisiting Vertical Land Motion and Sea Level Trends in the Northeastern Adriatic Sea Using Satellite Altimetry and Tide Gauge Data. *Journal of Marine Science and Engineering*, *8*(11), 949. https://doi.org/10.3390/jmse8110949

Fenoglio-Marc, L., Braitenberg, C., & Tunini, L. (2012). Sea level variability and trends in the Adriatic Sea in 1993–2008 from tide gauges and satellite altimetry. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *40–41*, 47–58. https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.05.014

Fenoglio-Marc, L., Schöne, T., Illigner, J., Becker, M., Manurung, P., & Khafid. (2012). Sea Level Change and Vertical Motion from Satellite Altimetry, Tide Gauges and GPS in the Indonesian Region. *Marine Geodesy*, *35*(sup1), 137–150. https://doi.org/10.1080/01490419.2012.718682

Fu, L.-L., & Cazenave, A. (2000). *Satellite altimetry and earth sciences: A handbook of techniques and applications*. Elsevier.

Holgate, S. J., Matthews, A., Woodworth, P. L., Rickards, L. J., Tamisiea, M. E., Bradshaw, E., Foden, P. R., Gordon, K. M., Jevrejeva, S., & Pugh, J. (2013). New Data Systems and Products at the Permanent Service for Mean Sea Level. *Journal of Coastal Research*, *29*(3), 493–504. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00175.1

Klos, A., Kusche, J., Fenoglio-Marc, L., Bos, M. S., & Bogusz, J. (2019). Introducing a vertical land motion model for improving estimates of sea level rates derived from tide gauge records affected by earthquakes. *GPS Solutions*, *23*(4), 102. https://doi.org/10.1007/s10291-019-0896-1

Kuo, C. Y., Shum, C. K., Braun, A., & Mitrovica, J. X. (2004). Vertical crustal motion determined by satellite altimetry and tide gauge data in Fennoscandia. *Geophysical Research Letters*, *31*(1), 2003GL019106. https://doi.org/10.1029/2003GL019106

Mauritsen, T., Bader, J., Becker, T., Behrens, J., Bittner, M., Brokopf, R., Brovkin, V., Claussen, M., Crueger, T., Esch, M., Fast, I., Fiedler, S., Fläschner, D., Gayler, V., Giorgetta, M., Goll, D. S., Haak, H., Hagemann, S., Hedemann, C., … Roeckner, E. (2019). Developments in the MPI-M Earth System Model version 1.2 (MPI-ESM1.2) and Its Response to Increasing CO_2. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, *11*(4), 998–1038. https://doi.org/10.1029/2018MS001400

Míguez, B. M., Testut, L., & Wöppelmann, G. (2012). Performance of modern tide gauges: Towards mm-level accuracy. *Scientia Marina*, *76*(S1), 221–228. https://doi.org/10.3989/scimar.03618.18A

Nadzir, Z. A. (2017). *Coastal Sea State Bias: Correcting Coastal Sea Level by Studying the Relation between Wind, Waves, and the Radar Signals.* [Master Thesis]. Technische Universität München.

Nadzir, Z. A., Fenoglio, L., & Kusche, J. (2023). *Coastal Altimetry Datasets Performance in Indonesian Seas*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29283.02082

Nadzir, Z. A., Fenoglio, L., Uebbing, B., & Kusche, J. (2022). *Exploring Coastal Altimetry Datasets for Indonesian Seas in relation to Local Tide Gauges*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14872.98566

Nadzir, Z. A., Simarmata, N., Agustina, L. K., & Kusche, J. (2023). *Uncovering Differences: A Comparative Study of Tide Gauges Quality Control Methods in Indonesian Waters*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36444.36484

Nandika, M. R., Susilo, S. B., & Siregar, V. (2020). VERTICAL LAND MOTION AND INUNDATION PROCESSES BASED ON THE INTEGRATION OF REMOTELY SENSED DATA AND IPCC AR5 SCENARIOS IN COASTAL SEMARANG, INDONESIA. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, *16*(2), 121. https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2019.v16.a3272

Ng, A. H.-M., Ge, L., Li, X., Abidin, H. Z., Andreas, H., & Zhang, K. (2012). Mapping land subsidence in Jakarta, Indonesia using persistent scatterer interferometry (PSI) technique with ALOS PALSAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *18*, 232–242. https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.018

Passaro, M., Cipollini, P., Vignudelli, S., Quartly, G. D., & Snaith, H. M. (2014). ALES: A multi-mission adaptive subwaveform retracker for coastal and open ocean altimetry. *Remote Sensing of Environment*, *145*, 173–189. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.008

Passaro, M., Nadzir, Z. A., & Quartly, G. D. (2018). Improving the precision of sea level data from satellite altimetry with high-frequency and regional sea state bias corrections. *Remote Sensing of Environment*, *218*, 245–254. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.007

Poitevin, C., Wöppelmann, G., Raucoules, D., Le Cozannet, G., Marcos, M., & Testut, L. (2019). Vertical land motion and relative sea level changes along the coastline of Brest (France) from combined space-borne geodetic methods. *Remote Sensing of Environment*, *222*, 275–285. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.035

Simarmata, N., Nadzir, Z. A., & Sari, D. N. (2023). Analisis Perubahan Garis Pantai menggunakan Metode Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) berbasis Data Multitemporal pada Google Earth Engine. *Geomatika*, *29*(2), 107–120.

Simons, W., Naeije, M., Ghazali, Z., Rahman, W. D., Cob, S., Kadir, M., Mustafar, A., Din, A. H., Efendi, J., & Noppradit, P. (2023). Relative Sea Level Trends for the Coastal Areas of Peninsular and East Malaysia Based on Remote and In Situ Observations. *Remote Sensing*, *15*(4), 1113. https://doi.org/10.3390/rs15041113

Stainforth, D. A., Aina, T., Christensen, C., Collins, M., Faull, N., Frame, D. J., Kettleborough, J. A., Knight, S., Martin, A., Murphy, J. M., Piani, C., Sexton, D., Smith, L. A., Spicer, R. A., Thorpe, A. J., & Allen, M. R. (2005). Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature*, *433*(7024), 403–406. https://doi.org/10.1038/nature03301

Tay, C., Lindsey, E. O., Chin, S. T., McCaughey, J. W., Bekaert, D., Nguyen, M., Hua, H., Manipon, G., Karim, M., Horton, B. P., Li, T., & Hill, E. M. (2022). Sea-level rise from land subsidence in major coastal cities. *Nature Sustainability*, *5*(12), 1049–1057. https://doi.org/10.1038/s41893-022-00947-z

Wang, F., Shen, Y., Chen, Q., Chen, J., & Geng, J. (2024). Global Sea Level Change Rate, Acceleration and Its Components from 1993 to 2016. *Marine Geodesy*, *47*(1), 23–40. https://doi.org/10.1080/01490419.2023.2276478

Wöppelmann, G., & Marcos, M. (2012). Coastal sea level rise in southern Europe and the nonclimate contribution of vertical land motion. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *117*(C1), 2011JC007469. https://doi.org/10.1029/2011JC007469

Wöppelmann, G., & Marcos, M. (2016). Vertical land motion as a key to understanding sea level change and variability. *Reviews of Geophysics*, *54*(1), 64–92. https://doi.org/10.1002/2015RG000502

TINJAUAN PARAMETER DAN MODEL PENDEKATAN PADA PENENTUAN JALUR EVAKUASI TSUNAMI BERDASARKAN KARAKTERISTIK WILAYAH

(A Review of Parameters and Approach Models for Determining Tsunami Evacuation Routes Based on Regional Characteristics)

Febrylian Fahmi Chabibi[1], Ratna Yunita[2], Shefi Jannati[3]
[1]Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geomatika, Badan Informasi Geospasial
[2]Dinas Sumber Daya Air Pemerintah Provinsi DKI Jakarta
[3]Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung

Jl. Raya Jakarta Bogor KM 46, Cibinong, Bogor 16911
E-mail: fahmichabibi@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan di daerah rawan gempa dan tsunami perlu memperhitungkan manajemen risiko bencana secara menyeluruh. Salah satu upaya mitigasi dalam manajemen risiko bencana adalah penyusunan jalur evakuasi beserta infrastruktur yang memadai. Penentuan jalur tersebut harus memperhatikan berbagai parameter terkait kondisi aktual suatu wilayah, seperti pemodelan tsunami, topografi, jaringan jalan, dan kepadatan penduduk. Sejak terjadinya bencana tsunami di Aceh pada tahun 2004, banyak pembangunan Tempat Evakuasi Sementara (TES) dan jalur evakuasi dilakukan di sepanjang jalur subduksi barat Sumatera hingga selatan Jawa. Studi ini menguraikan kondisi terkini dan pendekatan yang digunakan dalam menentukan jalur evakuasi serta TES berdasarkan tinjauan literatur terkait. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa analisis jaringan jalan umum digunakan dengan mempertimbangkan pemodelan bahaya tsunami dan analisis risiko tsunami. Pedoman yang dikeluarkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) cukup layak sebagai panduan awal dalam menentukan jalur evakuasi tsunami. Namun demikian, sebagian besar pemodelan didasarkan pada kondisi sebelum bencana tsunami terjadi dan belum mempertimbangkan potensi hambatan yang mungkin terjadi pada tahap tanggap darurat. Selain itu, analisis bahaya yang sama dapat menghasilkan respons yang berbeda ketika diterapkan pada lokasi dengan karakteristik yang berbeda, seperti wilayah perkotaan, pedesaan, atau destinasi wisata. Studi ini merekomendasikan 14 parameter dan tiga pemodelan yang harus dipertimbangkan dalam menentukan jalur evakuasi optimal berdasarkan karakteristik wilayah.

Kata kunci: jalur evakuasi tsunami, tempat evakuasi sementara, karakteristik wilayah

ABSTRACT

Development in earthquake and tsunami-prone areas needs to consider comprehensive disaster risk management. The establishment of evacuation routes along with adequate infrastructure is one form of mitigation in disaster risk management. The determination of routes needs to consider parameters related to the actual conditions of an area, including tsunami modeling, topography, road networks, and population density. Since the 2004 Aceh tsunami disaster, the construction of Temporary Evacuation Sites (TES) and evacuation routes has been widely conducted along the west Sumatra subduction zone to southern Java. This study explains the current conditions and approaches used in determining evacuation routes and TES based on relevant literature studies. The review results show that public road network analysis is used in conjunction with tsunami hazard modeling and tsunami risk analysis. Guidelines issued by the National Disaster Management Agency (BNPB) are sufficient as initial guidance for determining tsunami evacuation routes. However, most of the modeling used is based on pre-tsunami disaster conditions and does not yet consider potential obstacles that may occur during the emergency response phase. Furthermore, the same hazard analysis, when applied to different locations such as urban areas, rural areas, or tourist destinations, will produce unique responses. This study provides recommendations that include 14 parameters and three models that should be considered in determining optimal evacuation routes based on regional characteristics.

***Keywords**: tsunami evacuation route, evacuation shelter, region characteristics*

PENDAHULUAN

Menurut *World Risk Index*, Indonesia merupakan salah satu negara dengan risiko bencana alam yang tinggi, menempati peringkat 40 dari 181 negara di dunia (Behlert *et al.*, 2020). Sebagian besar bencana alam yang terjadi adalah bencana hidrometeorologi. Meskipun bencana hidrometeorologi memiliki dampak kerugian ekonomi yang paling tinggi dengan dampak yang luas, bencana geofisika menyebabkan jumlah kematian terbesar (CRED & UNDRR, 2021). Secara geografis, Indonesia berada di wilayah pertemuan empat lempeng tektonik dunia yaitu Lempeng Samudra Indo-Australia, Lempeng Benua Eurasia, Lempeng Samudra Pasifik, dan Lempeng Laut Filipina. Pertemuan antar lempeng tersebut membentuk zona penunjaman, zona patahan, morfologi pegunungan serta sesar dengan berbagai mekanismenya. Pergerakan lempeng tektonik yang aktif di Indonesia merupakan sumber gempa bumi yang juga berpotensi menimbulkan tsunami apabila memenuhi syarat pembangkit tsunami.

Tabel 125. Kejadian bencana gempa dan tsunami di Indonesia.

Kejadian Gempa dan Tsunami	Mw	Tinggi air maksimum (m)	Korban Tsunami (jiwa)
1994 Banyuwangi	7,2	14	238
2004 Samudra Hindia	9,1	50,9	~230,000
2005 Nias-Simeulue	8,6	4,2	~10
2006 Pangandaran, Jawa Barat	7,7	20,9	~800
2010 Mentawai dan Padang	7,8	16,9	431
2012 Sumatera	8,6	1,08	-

Sumber: NOAA, 2022; USGS (2022)

Indonesia merupakan negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia sekaligus memiliki populasi tertinggi ketiga yang rentan terpapar tsunami, dengan perkiraan 5,5 juta orang berisiko terkena tsunami sekali dalam 500 tahun (Løvholt *et al.*, 2014; UNISDR, 2013). Selama periode tahun 1600 hingga 2021 telah terjadi 246 kali tsunami di Indonesia yang beberapa diantaranya ditampilkan dalam **Tabel 1251**. Pembangunan di wilayah rawan gempa dan tsunami perlu mempertimbangkan manajemen risiko bencana secara komprehensif. Upaya mitigasi sserta meningkatkan kesiapsiagaan merupakan salah satu bagian dari manajemen risiko bencana.

Penentuan jalur evakuasi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas suatu daerah terhadap bencana tsunami. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) telah mencanangkan pedoman perencanaan Tempat Evakuasi Sementara (TES) sebagai salah satu tahapan dalam rangkaian manajemen risiko bencana tsunami. Faktor utama yang dijelaskan dalam pedoman tersebut adalah terkait tingkat bahaya tsunami, tingkat kerentanan, serta kapasitas evakuasi untuk menghadapi potensi bahaya tersebut. Pemahaman terkait faktor bahaya ditentukan berdasarkan pemodelan sumber gempa (Muhammad *et al.*, 2021) serta gelombang tsunami untuk mengetahui tinggi genangan (*run-up*), jarak genangan (inundasi), serta waktu tempuh (Syamsidik *et al.*, 2015). Aspek topografi seperti kemiringan dan elevasi menjadi parameter penting dalam penentuan tempat evakuasi disamping jarak rata-rata dan tutupan lahan (Freire *et al.*, 2013; Qüense *et al.*, 2022).

Faktor yang paling menentukan terhadap keselamatan penduduk adalah perbedaan waktu antara kejadian gempa hingga gelombang pertama mencapai daratan. Seluruh penduduk diharapkan telah mencapai lokasi aman ketika gelombang menghempas daratan. Panduan dari BNPB cukup memadai digunakan sebagai pedoman awal dalam hal penentuan jalur evakuasi tsunami. Namun demikian, segala potensi yang berpeluang menghambat pergerakan manusia dari zona bahaya ke zona aman perlu untuk dipertimbangkan. Penelitian ini mengungkapkan beberapa faktor yang belum dibahas pada pedoman tersebut beserta beberapa pemodelan yang umum digunakan dalam menggambarkan peta rencana jalur evakuasi.

Pendekatan yang umum digunakan adalah pemodelan secara spasial serta pemodelan berbasis agen. Pendekatan tersebut memiliki kelebihan dan keterbatasannya masing-masing. di samping itu, tiap wilayah memiliki karakteristik yang unik walaupun memiliki paparan bahaya yang sama. Oleh karena itu, penentuan parameter-parameter tersebut perlu memperhatikan karakteristik dari tiap wilayah. Penelitian ini memberikan reviu terperinci terkait dengan penentuan

parameter yang mencakup 14 parameter dan tiga bentuk pemodelan yang sebaiknya dipertimbangkan dalam menentukan jalur evakuasi optimal berdasarkan karakteristik wilayah perkotaan, pedesaan, hingga wilayah tujuan wisata.

METODE PENENTUAN JALUR EVAKUASI

Model Pendekatan Analisis Probabilistik Bahaya Tsunami

Berdasarkan Pedoman BNPB, digunakan hasil kajian Analisis Probabilistik Bahaya Tsunami atau *Probabilistic Tsunami Hazard Analysis* (PTHA) sebagai acuan dalam penyusunan Peta Bahaya Rendaman Tsunami (PBRT). Hal ini karena peta bahaya tsunami hasil PTHA ini hanya memberikan informasi tinggi tsunami di garis pantai dan tidak dapat digunakan secara langsung untuk menghitung luasan rendaman, run-up, atau fenomena tsunami lainnya yang ada di darat. Untuk memperkirakan dampak yang akan timbul di darat, maka perlu dilakukan simulasi rendaman tsunami yang lebih detail. PBRT yang dihasilkan, selanjutnya digunakan untuk perencanaan penempatan dan pembangunan TES, Tempat Evakuasi Akhir (TEA), jalur evakuasi dan rambu-rambu peringatan tsunami. Selain itu, informasi kedatangan gelombang tsunami (waktu tiba) juga penting untuk menentukan jalur evakuasi yang terbaik dan tercepat menuju zona aman.

Pendekatan dengan menggunakan parameter yang bersifat statis umum digunakan dalam penentuan jalur evakuasi. Pemodelan gempa dan tsunami menjadi faktor utama yang didukung dengan analisis spasial jarak berbanding waktu berdasarkan informasi elevasi, kemiringan, serta lebar dan jaringan jalan. Asumsi yang digunakan adalah kecepatan berlari dari setiap kelompok umur. Lokasi evakuasi yang ditetapkan dapat berupa area terbuka yang luas sebagai tempat evakuasi horizontal sekaligus TEA. Lokasi TEA ditetapkan di luar zona bahaya namun umumnya berada di lokasi yang jauh sehingga membutuhkan waktu evakuasi yang lama. Tempat evakuasi berupa bangunan bertingkat yang berada di zona bahaya diperlukan sebagai TES yang berbentuk vertikal sebelum menuju TEA. Berikut ini disajikan bentuk pemodelan yang sebaiknya dipertimbangkan dalam menentukan jalur evakuasi yang optimal.

Least Cost Distance

Secara umum, pengembangan rencana evakuasi tsunami berdasarkan metode penyederhanaan sehingga mendapatkan solusi yang makro dengan analisis jarak (*Network Analysis*) berbanding waktu beserta parameter penghambatnya (*Least Cost Distance*) (Fraser *et al.*, 2014). Parameter yang umum digunakan yaitu: titik evakuasi, jaringan jalan, data topografi, *coastal proximity*, dan tutupan lahan. *Coastal proximity* merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui daerah yang rentan terhadap tsunami dihitung dari jarak garis pantai. Jarak-jarak (*multi ring buffer*) yang ditentukan dihitung menggunakan formula *coastline distance* sebagaimana yang dijelaskan dalam **Persamaan .....**.....(1) dengan X_{max} adalah jangkauan maksimal tsunami di daratan serta Y_0 adalah tinggi tsunami di pantai.

$$Log\ X_{max} = \log 1400 + \frac{4}{3}\log\left(\frac{Y_0}{10}\right) \quad \text{.....(1)}$$

Parameter-parameter yang digunakan untuk menilai tingkat efektivitas titik dan jalur evakuasi adalah lebar jalan, kondisi jalan, dan waktu tempuh menuju titik evakuasi. Lebar jalan diasumsikan untuk mengetahui kapasitas jalan dan kemungkinan sarana transportasi yang digunakan. Misalnya, lebar jalan satu meter dapat dilalui dua orang dewasa. Parameter waktu tempuh menggunakan asumsi kecepatan berlari atau berjalan yang dianggap sama, selanjutnya dihitung jarak yang dapat ditempuh berdasarkan waktu tiba tsunami. Sehingga efektivitas TES dapat ditentukan pada rentang jarak tersebut. Hasil analisis ini memberikan gambaran terperinci terkait jumlah penduduk terdampak di dalam zona bahaya dan dapat dihubungkan dengan kapasitas TES. Keterbatasan pada pemodelan ini diantaranya tidak memiliki kapasitas untuk menggambarkan perilaku pengambilan keputusan individu, dan tidak sepenuhnya memasukkan efek interaksi potensial antara pengungsi dan kondisi lingkungan yang kompleks pada saat terjadi tsunami karena model yang umumnya bersifat statis (Mostafizi *et al.*, 2019).

Agent Based Model

Pendekatan berbasis agen (*agent-based*) dapat diterapkan untuk mendapatkan solusi mikro yang lebih detail yaitu melakukan simulasi pergerakan tiap penduduk yang diwakilkan dengan pergerakan titik atau disebut agen (Wang & Jia, 2021). Metode ini memanfaatkan sistem komputasi untuk memahami perilaku agen ketika berinteraksi dengan lingkungan yang telah didefinisikan antara lain lebar jalan, kemiringan, kemacetan, blokade jalan, lokasi penampungan, kecepatan berlari tiap agen berdasarkan kelompok umur, dan lain-lain (Usman *et al.*, 2017). Penerapan skenario yang berbeda membuat pendekatan ini lebih bersifat dinamis melalui aplikasi beberapa skenario dan dapat diaplikasikan sebagai simulasi jalur evakuasi secara numeris. Simulasi dilakukan secara iterasi sehingga mendapatkan bentuk jalur evakuasi yang terbaik berdasarkan statistik.

Dalam penelitiannya, Mas *et al.* (2012) menggunakan *agent-based model* dengan mengintegrasikan model sumber tsunami dan pemodelan evakuasi. Simulasi numerik tsunami menggunakan rumus Manning sebagaimana dijelaskan melalui **Persamaan .....**..... (4) dengan M dan N masing-masing adalah debit aliran pada arah *x* dan *y*, *η* adalah tinggi muka air, dan *h* adalah kedalaman air dari rerata muka air laut (*mean sea level*).

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz \quad \text{.....(2)}$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz \quad \text{..... (3)}$$

$$D = \eta + h \quad \text{..... (4)}$$

Model tersebut mengasumsikan terdapat ribuan agen individu yang masing-masing memiliki karakteristik sendiri dengan pergerakan yang mengikuti aturan sederhana menuju beberapa tujuan yang berbeda, seperti keputusan agen untuk berjalan kaki atau menggunakan kendaraan, waktu keputusan agen untuk melakukan evakuasi, perilaku agen ketika menemukan hambatan (*bottleneck*), dan sebagainya. Semakin banyak parameter yang didefinisikan maka pemodelan berbasis agen membutuhkan kemampuan komputasi yang semakin tinggi (Makinoshima *et al.*, 2018). Selain itu, pemodelan ini umumnya diaplikasikan pada skala lokal karena kedetailan informasi yang dihasilkan.

Several Model

Kombinasi pendekatan *Least Cost Distance* dan *Agent Based Model* menghasilkan gabungan pemodelan tsunami beserta parameter terkait dan simulasi berbasis agen untuk memodelkan pergerakan pengungsi. Metode kombinasi ini efektif karena dinilai lebih realistis dalam mencerminkan kondisi spasial serta perilaku sebenarnya sesuai hasil simulasi. Usman *et al.* (Usman *et al.*, 2017) menjelaskan pendekatan kombinasi melalui analisis jalur menuju beberapa *shelter* secara spasial yang kemudian divalidasi dengan simulasi berbasis agen di Pacitan. Waktu tempuh penduduk ketika evakuasi yang didapat secara teoritis pada metode *Least Cost Distance* dapat divalidasi melalui tahap simulasi numeris.

Parameter Penyusunan Jalur Evakuasi

Pedoman BNPB menjelaskan beberapa parameter kunci yang dapat digunakan sebagai acuan awal dalam penentuan jalur evakuasi tsunami. Penelitian ini mengklasifikasikan parameter yang belum terdapat pada pedoman tersebut berdasarkan reviu beberapa penelitian terkait. dalam panduan evakuasi yang dipublikasikan oleh *Scenarios for Hazard-induced Emergencies Management* (SCHEMA) (Scheer *et al.*, 2011), organisasi riset gabungan di Eropa, beberapa faktor yang turut dipertimbangkan antara lain kepadatan penduduk yang dibedakan berdasarkan

kelompok umur, penggunaan jembatan, kedekatan lokasi dengan alur sungai atau muara, lokasi terhadap zona rawan bahaya sekunder seperti longsor, reruntuhan bangunan, peti kemas yang hanyut, atau ledakan reservoir minyak. Tahapan yang diterapkan dalam SCHEMA adalah:

a. Analisis risiko bencana tsunami,
b. Penentuan jalur evakuasi serta rencana implementasi, dan
c. Implementasi serta pengawasan di lapangan.

Perilaku penduduk ketika terpapar bencana dapat menjadi pertimbangan tersendiri disamping sisi teknis faktor bahaya dan kerentanan. Harnantyari *et al.* (2020) menunjukkan ketika tsunami Aceh 2004, 70% responden mengaku tidak memiliki pengetahuan yang cukup akan potensi bahaya.

Kubisch *et al.* (2020) menyimpulkan berdasarkan gempa di Chili 2010 bahwa walaupun sebagian besar penduduk melakukan evakuasi dalam jangka waktu 5 menit, masih terdapat 10.3% penduduk yang membutuhkan waktu hingga 25 menit untuk evakuasi. Waktu tersebut digunakan antara lain untuk mengambil peralatan bertahan hidup yang dibutuhkan, mencari dan tetap berkomunikasi dengan keluarga, dan hanya 8.1% yang mencari info dari pihak berwenang. Sebanyak 18.4% responden membutuhkan waktu perjalanan menuju lokasi evakuasi lebih dari 25 menit. Penyebab lamanya waktu antara lain dikarenakan adanya blokade di jalan (38.3%) dan karena jarak yang cukup jauh (23%). Lebih dari separuh dari responden menyatakan melakukan evakuasi dengan kendaraan pribadi, baik mobil maupun motor, dikarenakan lebih cepat atau membawa anak-anak dan orang tua. Meskipun demikian, penggunaan kendaraan pribadi perlu diatur mengingat mode transportasi ini rawan menimbulkan kemacetan (Takabatake *et al.*, 2022).

Berdasarkan simulasi dari gempa Tohoku 2011 di kota Shinggu, Jepang, penggunaan mobil menimbulkan kenaikan tingkat jumlah korban hingga 3,5 kali lipat akibat kemacetan (Takabatake *et al.*, 2020). Hasil simulasi menunjukkan bahwa jika pengungsi memilih tempat evakuasi terdekat, angka kematian meningkat seiring dengan meningkatnya rasio penggunaan mobil. Sebaliknya, jika pengungsi memilih untuk hanya menuju ke tempat evakuasi akhir yang memiliki kapasitas jauh lebih banyak, tingkat kematian ditemukan relatif rendah bahkan jika tingkat penggunaan mobil ditetapkan menjadi 50%. Walaupun waktu mulai evakuasi lebih cepat dari 5 menit, pengungsi tetap akan terpapar gelombang tsunami apabila memilih rute evakuasi yang keliru ataupun ketika menemukan lokasi evakuasi terdekat yang telah penuh. Temuan ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan kapasitas tempat evakuasi serta pemilihan rute.

Tingkat kematian meningkat apabila model tsunami memperhitungkan blokade jalur evakuasi. Hal ini didukung oleh beberapa penelitian seperti penelitian Kamakura meningkat 2 kali, Zushi meningkat 2,3 kali, sedangkan Fujisawa meningkat 1,3 kali. Level kenaikan tingkat kematian tersebut berbeda-beda tergantung dengan tipe bangunan di lokasi, koefisien sebaran puing dari bangunan yang runtuh, banyaknya jalan yang sempit (lebar kurang dari 2 m), serta banyaknya jalan yang terhalang. Kamakura dan Zushi memiliki banyak bangunan yang rawan dari sisi usia disertai dengan banyaknya jalanan yang sempit. Tingkat kematian pada kelompok usia 5-74 tahun juga meningkat, yang artinya pada kelompok yang notabene tidak membutuhkan banyak pertolongan untuk evakuasi, ternyata dapat menjadi korban terjangan tsunami apabila jalur evakuasinya terhalang.

Berdasarkan **Tabel 26**, terdapat beberapa kesenjangan yang masih ditemukan baik dilihat dari pedoman BNPB maupun parameter yang diberikan oleh SCHEMA. Meskipun keduanya telah mempertimbangkan kerentanan dalam kondisi aktual berdasarkan faktor potensi bahaya yang mungkin terjadi, namun potensi perubahan dari kerentanan tersebut belum digambarkan dengan baik. Sebagai contoh, faktor perubahan tutupan lahan yang memberikan kontribusi signifikan terhadap kapasitas evakuasi. Fluktuasi jumlah penduduk turut memberikan perubahan terkait kepadatan penduduk yang berpotensi memicu kemacetan terkait dengan daya tampung TES yang terbatas. Perilaku penduduk yang memilih evakuasi dengan mode transportasi mobil maupun motor mungkin dapat mempercepat waktu evakuasi secara sementara namun menimbulkan kemacetan di persimpangan jalan. Demikian pula dengan potensi puing bangunan yang timbul akibat guncangan gempa turut menurunkan kapasitas evakuasi dari sisi penyempitan lebar jalan.

Tabel 26. Parameter yang dipertimbangkan dalam penentuan jalur evakuasi bencana tsunami.

No.	Parameter	Deskripsi	BNPB	SCHEMA
1	Kedalaman genangan	Seberapa jauh gelombang tsunami mencapai daratan.	·	·
2	Tinggi gelombang	Semakin tinggi genangan, semakin rentan bangunan yang ada, semakin besar daya rusak.	·	·
3	Kecepatan gelombang	Kecepatan gelombang yang semakin tinggi mengakibatkan kerusakan fondasi dan badan bangunan yang semakin cepat, jendela waktu pengungsian semakin sempit.	·	·
4	Elevasi dan kemiringan	Berpengaruh langsung terhadap kecepatan pergerakan pengungsi. Semakin tinggi kemiringan tanah, kecepatan pergerakan pengungsi semakin menurun. Lokasi TES horizontal umumnya berada pada zona aman tsunami dengan ketinggian tertentu.	·	-
5	Jarak rata-rata	Berpengaruh langsung terhadap kecepatan pergerakan pengungsi.	·	-
6	Tutupan lahan	Bangunan yang rapat di satu sisi memperlambat kecepatan gelombang, namun dapat memperparah daya rusak akibat material yang hanyut.	-	-
7	Lebar jalan	Jalanan yang lebar memudahkan proses evakuasi.	·	-
8	Bentuk jaringan jalan	Bentuk jalan yang tegak lurus menjauh dari pantai, meningkatkan potensi pengungsi mencapai lokasi TES daripada bentuk jalan yang sejajar pantai.	-	·
9	Penggunaan jembatan pada jalur evakuasi	Akses menuju TES yang terbatas misalnya ketergantungan dengan jembatan meningkatkan potensi kegagalan evakuasi akibat adanya kemungkinan jembatan yang rusak akibat gempa atau tsunami.	-	·
10	Jumlah TES	Jumlah TES yang tersebar merata meningkatkan potensi pengungsi selamat.	-	-
11	Kecepatan pergerakan	Pertimbangan kecepatan disesuaikan dengan kelompok umur maupun orang berkebutuhan khusus.	·	
12	Blokade akibat puing	Studi terkait kekuatan bangunan secara menyeluruh disamping berguna untuk mengetahui bangunan yang layak digunakan sebagai TES vertikal, namun juga dapat digunakan sebagai panduan dalam mengetahui potensi bahaya akibat bangunan runtuh. Puing bangunan berpotensi menghambat laju pergerakan pengungsi terutama pada jalan yang sempit.	-	-
13	Mode transportasi	Penggunaan mobil dan motor secara teori jauh lebih cepat daripada berlari, namun akan menimbulkan kemacetan di persimpangan.	-	-
14	Jumlah penduduk	Populasi sebagai salah satu faktor perhitungan kapasitas maksimal suatu TES, logistik pada fase rehabilitasi, serta potensi jumlah korban.	-	·

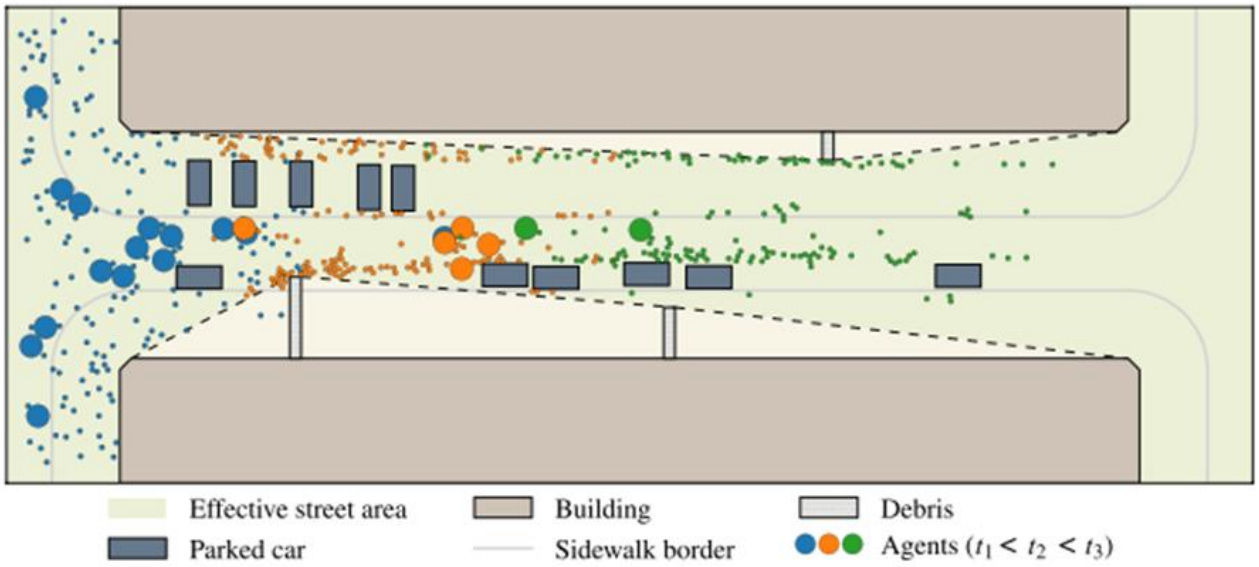
Karakteristik Wilayah

Tingkat paparan bahaya yang sama akan memberikan dampak yang unik pada tiap wilayah. Hal ini dikarenakan setiap daerah memiliki kondisi yang berbeda-beda baik dari sisi topografi, tutupan lahan, maupun bentuk dan jaringan jalan. Pada penelitian ini, karakteristik suatu daerah dibagi menjadi perkotaan (*urban*) serta pedesaan (*rural*) yang merupakan daerah wisata. Selanjutnya, parameter yang digunakan sebagai pertimbangan penyusunan jalur evakuasi mengacu pada kondisi tersebut.

Tutupan lahan yang umum terdapat di daerah perkotaan berupa pemukiman atau lahan terbangun sedangkan di pedesaan bentuk yang umum antara lain berupa lahan terbuka, hutan, pertanian, serta perkebunan. di satu sisi, rumah atau gedung yang terbangun memberikan hambatan pada gelombang yang datang namun di sisi lain puing-puing yang terhempas gelombang menjadi kekuatan yang lebih merusak (Takabatake *et al.*, 2022).

Peningkatan laju urbanisasi dan pembangunan di wilayah pesisir tidak meningkatkan waktu tempuh karena perencanaan kota tidak mempertimbangkan optimalisasi waktu evakuasi ke zona aman (Qüense *et al.*, 2022). Pertumbuhan area perkotaan di Boca Sur, Chili mencapai 83% dalam rentang waktu kejadian gempa besar pada 2002 dan 2018. Berdasarkan hasil studi, evakuasi tidak dapat dilakukan dalam waktu kurang dari 30 menit pada 19% dari total area studi. Adaptasi perlu dilakukan salah satunya dengan menetapkan atau membangun penambahan TES pada area tersebut.

Jalan di perkotaan cenderung lebih lebar untuk menampung lalu lintas pada keadaan normal daripada di pedesaan sehingga memberikan kapasitas evakuasi yang lebih besar. di samping itu, jaringan jalan yang memiliki konektivitas tinggi di daerah perkotaan memberikan beberapa opsi jalur evakuasi. Jalur menuju tempat evakuasi diarahkan secara paralel menjauhi garis pantai. Jumlah tempat evakuasi vertikal yang dapat digunakan secara sementara di perkotaan lebih beragam. Bangunan dengan ketinggian lebih dari dua tingkat di perkotaan seperti masjid, gereja, sekolah, hotel, menara, maupun gedung pemerintahan lebih banyak daripada di pedesaan.



Gambar 128. Gambaran simulasi blokade akibat runtuhan bangunan dan mobil terparkir melalui pemodelan berbasis agen. Jalan menjadi lebih sempit dan menurunkan kapasitas evakuasi pada rute tersebut.

Namun demikian, terdapat beberapa parameter khusus yang terdapat di daerah perkotaan seperti blokade akibat puing atau akibat kemacetan (Takabatake *et al.*, 2022). Kondisi ini banyak ditemui di perkotaan daripada di pedesaan. **Gambar 1281** menunjukkan pengaruh blokade terhadap laju pergerakan. Jalur evakuasi menjadi semakin sempit dan memperlambat laju pergerakan. Oleh karena itu, penentuan jalur evakuasi di daerah perkotaan sebaiknya turut mempertimbangkan hal ini. Beberapa asumsi diterapkan oleh Castro *et al.* (2019) dalam hal menginvestigasi pengaruh dari runtuhan bangunan yang dapat menimbulkan blokade jalan. Perhitungan area halangan berdasarkan pengolahan secara empiris pada platform Hazus yang melakukan prediksi volume runtuhan berdasarkan kerusakan bangunan. Ketepatan hasil validasi bergantung pada data lapangan yang digunakan sebagai data acuan validasi. Selanjutnya, agen diarahkan langsung berpindah menuju rute lain ketika terhalang yang dapat memicu kemacetan di rute tersebut. Pada kenyataannya, pengungsi dapat melompati halangan tersebut apabila cukup rendah. Jumlah penduduk yang terperangkap dalam bangunan juga belum dapat diperkirakan secara pasti.

Parameter yang menjadi perhatian di pedesaan adalah fluktuasi jumlah penduduk. Hal ini dikarenakan daerah pedesaan yang merupakan lokasi tujuan wisata memiliki fluktuasi jumlah penduduk yang tinggi terutama pada musim liburan. Parameter ini berhubungan dengan kapasitas total TES yang dapat ditampung serta kapasitas evakuasi dari sisi lebar jalan maupun jembatan. Penggunaan jembatan pada jalur evakuasi turut menjadi pertimbangan khususnya pada daerah

yang menggunakan jembatan sebagai akses evakuasi utama. Kemacetan yang ditimbulkan akibat penduduk yang berlari secara simultan ke satu arah berpotensi menghambat laju evakuasi.

Wilayah Perkotaan

Pada penelitian ini, karakteristik wilayah perkotaan di sepanjang zona subduksi barat Sumatera hingga selatan Jawa diwakili oleh Banda Aceh yang mengalami kejadian gempa dan tsunami pada tahun 2004 serta Padang pada tahun 2009. Kerentanan kedua kota tersebut tergolong tinggi karena mayoritas penduduk tinggal dan beraktivitas di wilayah pesisir.

Diperkirakan sekitar 50% penduduk tinggal di daerah dataran rendah di kota Padang dengan ketinggian antara 0 sampai 5 meter di atas permukaan laut (Ashar *et al.*, 2014). Penentuan jalur evakuasi menggunakan skenario gempa dengan kekuatan yang berbeda yaitu Mw 8,5, Mw 8,75, dan Mw 9,0. Jumlah sirene yang dibangun oleh Pemerintah Kota Padang berjumlah 23 unit, 8 unit milik BNPB, dan 1 unit milik BMKG. Namun demikian, 4 bangunan diantaranya berada dalam kondisi yang tidak aman dari paparan bahaya tsunami (Muhammad *et al.*, 2017). Peringatan sirene berjalan sesaat sebelum kejadian sebagai peringatan tsunami. Rambu-rambu dipasang di setiap persimpangan kota sebagai penunjuk arah evakuasi. Penggunaan TES berbentuk vertikal merupakan salah satu solusi dengan penempatan di zona bahaya sehingga penduduk memiliki waktu evakuasi yang cukup.



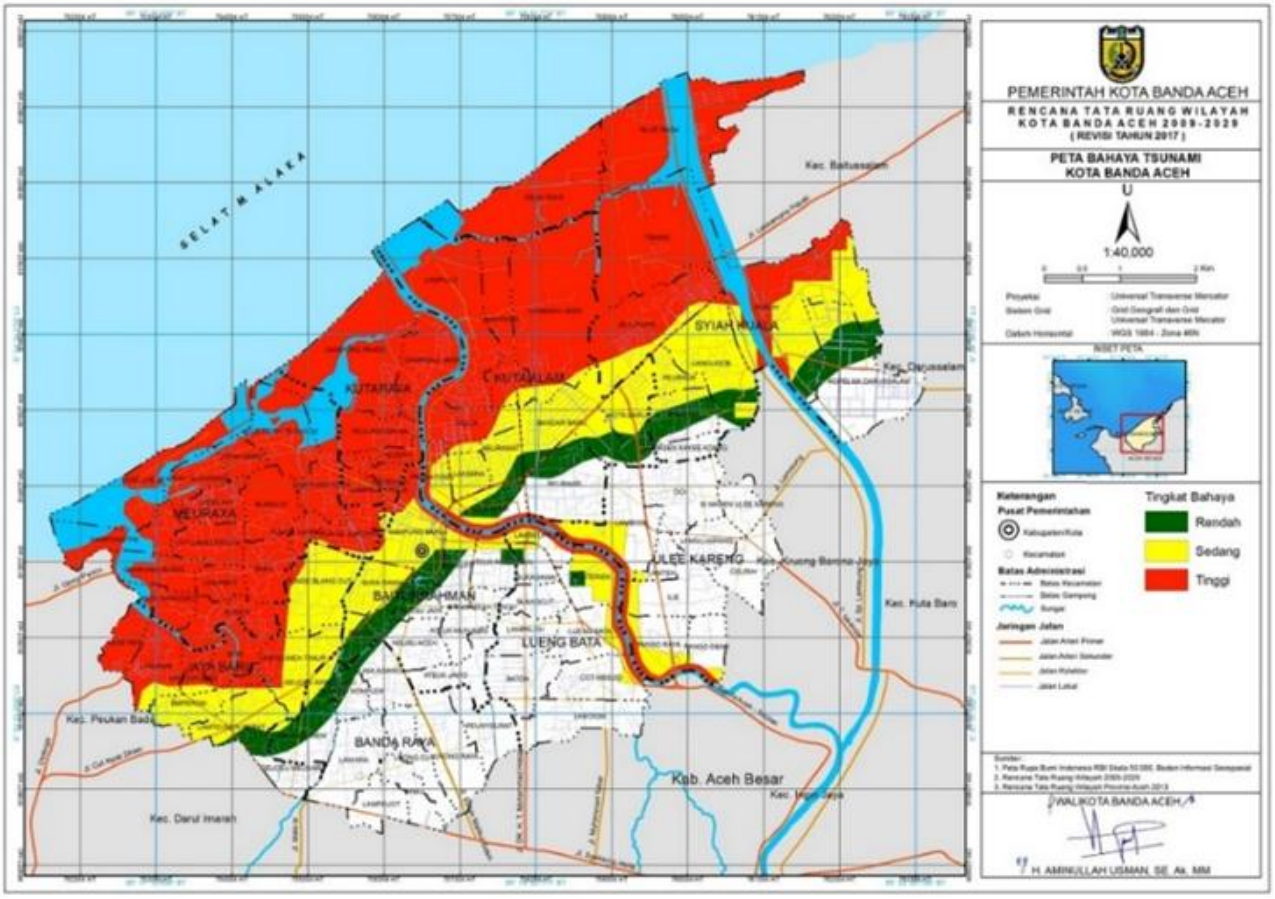
Sumber: Ashar *et al.* (2018).

Gambar 2. Analisis cakupan TES pada 1 TES, 2 TES, dan 3 TES. Penetapan beberapa jumlah TES dapat membagi beban kapasitas evakuasi di kelurahan Pasir Nan Tigo, Padang (Ashar *et al.*, 2018).

Jaringan jalan yang sejajar garis pantai di Padang dapat menurunkan kapasitas evakuasi (Ashar *et al.*, 2018)**.** Sebagai contoh, kelurahan Pasir Nan Tigo, Padang memiliki jalur evakuasi yang menyusuri pantai ke selatan terlebih dahulu dan tidak tegak lurus menjauhi wilayah pesisir. Hal ini mempengaruhi tingkat kerawanan terhadap tsunami secara signifikan. Metode evakuasi menuju TEA secara langsung terkendala pada jarak yang sangat jauh dan membutuhkan waktu hingga lebih dari 45 menit. Kondisi ini diperparah dengan alur sungai yang menutup rute evakuasi, yaitu sejajar garis pantai sebelum mengarah ke laut sehingga penduduk diharuskan melewati 14 jembatan untuk menuju lokasi aman di perbukitan. Tanpa adanya intervensi, 70-80% populasi penduduk tidak mencapai zona aman dalam kurun waktu 30 menit. Penambahan jembatan atau pelebaran jalan tidak berbanding dengan populasi penduduk ketika melakukan evakuasi secara serentak, kecuali bila tersedia waktu evakuasi lebih dari 60 menit (Di Mauro *et al.*, 2013). Alternatif solusi yang direkomendasikan adalah penetapan TES di seluruh kota Padang (**Gambar**). Area utara diarahkan menuju perbukitan sebagai tempat evakuasi akhir sedangkan di area selatan menggunakan tempat evakuasi vertikal, setidaknya berjumlah 90 unit yang masing-masing dapat mencakup hingga 2000 orang.

Pasca kejadian tsunami 2004, Banda Aceh telah berbenah dengan menyiapkan tempat evakuasi di 7 lokasi. Penempatan bangunan ini turut mempertimbangkan peta bahaya tsunami yang telah disusun (**Gambar 29**). Bangunan dengan efektivitas tertinggi dalam menghadapi gempa dan tsunami diantaranya adalah Museum Tsunami, Gampong Lambung, kantor TDRMC Unsyiah, Alue Deah Tengoh, dan Deah Glumpang (Haiqal *et al.*, 2016). di Kecamatan Kuta Alam, kota

Banda Aceh, terdapat 45 bangunan umum yang dapat digunakan sebagai TES dan dapat menampung lebih dari 94% dari jumlah penduduk (Soviana & Rani, 2019). Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah perkotaan memiliki banyak bangunan sebagai opsi lokasi TES.



Gambar 29. Peta Bahaya Tsunami Kota Banda Aceh tahun 2017.

Keseluruhan lokasi TES berada dekat garis pantai mengingat mayoritas penduduk telah bermukim kembali di zona bahaya. McCaughey *et al.* (2017) menganalisis motivasi sosial berdasarkan kasus gempa Mw 8.6 di Kabupaten Simeuleu tahun 2012. Guncangan yang terasa cukup kuat namun tidak menimbulkan tsunami karena merupakan mekanisme sesar geser (*strike-slip fault*). Berdasarkan penelitian tersebut, gempa ini menimbulkan kepanikan dan penduduk secara simultan melakukan evakuasi namun tidak mengarah ke lokasi TES. Sebanyak 74% memilih untuk menuju tempat evakuasi horizontal yang lebih jauh. Rasa tidak percaya terhadap kekuatan bangunan merupakan salah satu motivasi yang berhasil diidentifikasi. Terdapat salah satu bangunan TES di desa Sukon yang tidak terisi penduduk sama sekali. Penduduk desa lebih memilih masjid sebagai tujuan evakuasi. Hal ini memperkuat alasan bahwa faktor kedekatan emosional merupakan motivasi lain yang mendasari pilihan penduduk.

Wilayah Pedesaan-Lokasi Wisata

Studi kasus wilayah pedesaan sekaligus lokasi wisata berada di Pacitan yang mengalami kejadian tsunami pada tahun 1994, Pangandaran pada tahun 2006, serta Sanur, Bali. Sanur belum pernah mengalami kejadian gempa secara langsung, namun turut terkena dampak gempa Banyuwangi 1994. Kerentanan di Sanur cukup tinggi mengingat lokasinya yang berdekatan dengan zona subduksi serta merupakan zona wisata.

Pada tahun 2002, pemerintah daerah Pacitan telah menetapkan 44 lokasi (**Gambar 4**) yang dapat digunakan sebagai TES, namun 12 diantaranya tidak layak untuk digunakan sebagai tempat evakuasi karena kualitas bangunan yang buruk dan kapasitas yang tidak memadai (Usman *et al.*, 2017). di samping itu, lokasi TES tersebut terletak di wilayah perbukitan sehingga berdasarkan simulasi hanya 50% penduduk yang dapat mencapai lokasi tersebut dalam jendela waktu yang tersedia (SutIKNo & Murakami, 2015). Penelitian terkait simulasi rute evakuasi dan kondisi TES di

Pacitan berdasarkan sumber gempa 1994 yang menyatakan bahwa area genangan mencapai setengah dari area pemukiman yang ada. Penentuan rute evakuasi menggunakan model analisis spasial dan jaringan jalan yang memberikan gambaran rinci mengenai jumlah penduduk terdampak serta area cakupan yang dapat diakomodasi oleh TES. Analisis tersebut dihubungkan dengan kapasitas TES. Selanjutnya, Usman *et al.* (2017) juga menginvestigasi pemodelan *agent-based* yang lebih fleksibel sehingga dapat memberikan informasi lebih akurat terkait perilaku penduduk sebagai agen ketika terpapar oleh skenario tertentu, misal blokade jalan, kemacetan, lebar jalan, hingga kecepatan berlari.

Kesadaran akan bahaya tsunami di Pangandaran cukup tinggi mengingat bencana yang belum lama terjadi dan simulasi evakuasi telah beberapa kali dilaksanakan. Meskipun demikian, perilaku evakuasi bukan berdasarkan pengetahuan dan metode yang tepat dan hanya berdasarkan intuisi serta pengalaman. Kurangnya partisipasi dalam latihan tsunami menunjukkan bahwa kesiapsiagaan untuk evakuasi tsunami di Pangandaran masih rendah. Kurangnya kepercayaan terhadap sistem peringatan dini tsunami dengan tindakan mencari informasi tambahan atau mencari keluarga yang terpisah menempatkan pengungsi pada risiko terpapar gelombang yang lebih tinggi (Wargadalam *et al.*, 2021).

Setelah gempa dan tsunami 2006, BPBD telah menetapkan 3 TES dan 1 TEA berupa masjid jami, penampungan (*shelter*), cagar alam yang berada di bukit, serta TEA di gunung Purbahayu. Penampungan ini dibangun setelah tsunami 2006 dan memiliki dimensi 60x50m dengan tinggi 3 lantai (Koswara *et al.*, 2021). Penduduk mengetahui fungsi bangunan tersebut namun kondisi penampungan saat ini agak terbengkalai karena bukan merupakan pusat kegiatan. Keempat tempat evakuasi tersebut dapat mengakomodasi seluruh penduduk di Pangandaran namun belum mencukupi untuk menampung turis ketika musim liburan. Seperempat jumlah rambu evakuasi yang terpasang dalam kondisi tidak terbaca atau rusak. Sebagian besar jalan di Pangandaran memiliki lebar 2,5 m dengan maksimum 8 m di jalan utama. Terdapat 3 sirene yang masih berfungsi dari total 15 sirene terpasang (Koswara *et al.*, 2021).



Gambar 4. Peta Evakuasi Tsunami Kabupaten Pacitan (BNPB).

Bali merupakan salah satu tujuan utama wisata dunia di Indonesia. Sementara itu, Bali juga termasuk dalam wilayah dengan risiko tinggi terhadap bahaya gempa dan tsunami. Namun demikian, sebanyak lebih dari 75% turis asing tidak menyadari potensi risiko tersebut (Hall *et al.*, 2019) sehingga tidak mempelajari tindakan evakuasi yang diperlukan ketika bahaya tsunami

terjadi. Terdapat satu bangunan TES di Serangan di selatan pantai Sanur namun belum mencukupi untuk kebutuhan turis. Sanur telah memiliki peta jalur evakuasi tsunami pada tahun 2010 yang kemudian diperbaharui oleh Pratama (2020) berdasarkan adanya revisi peta bahaya gempa yang dikeluarkan oleh Tim Pusat Studi Gempa Nasional pada 2017. Pemodelan tinggi run-up dan luas genangan telah berhasil dipetakan dengan acuan Mw 9,0. Penentuan rute evakuasi berdasarkan pemodelan tsunami tersebut ditampalkan dengan topografi di wilayah penelitian. Penetapan zona bahaya adalah zona dengan asumsi ketinggian di bawah 3 meter dari permukaan laut (Pratama, 2020).

KESIMPULAN

BNPB telah menetapkan pedoman mengenai penentuan jalur evakuasi tsunami yang turut memperhitungkan faktor paparan bahaya (*hazard*), kerentanan (*vulnerability*), serta kapasitas evakuasi dalam menghadapi potensi bahaya tersebut. Parameter bahaya berdasarkan jarak rendaman dan tinggi gelombang (*run-up*) yang dikonversi menjadi waktu tiba gelombang. Faktor kerentanan diperhitungkan berdasarkan populasi penduduk dan sebaran demografi serta kajian infrastruktur baik dari sisi jaringan jalan maupun bangunan. Pedoman yang diberikan bersifat umum dan dapat digunakan sebagai acuan awal penentuan jalur evakuasi tsunami walaupun belum menjelaskan secara detail spesifikasi tiap parameter tersebut.

Berdasarkan hasil reviu literatur pada penelitian ini, karakteristik tiap wilayah memiliki respons yang berbeda walaupun terpapar oleh tingkat bahaya yang sama. Oleh karena itu, penentuan jalur evakuasi diharapkan dapat menyesuaikan kondisi di masing-masing wilayah pengamatan antara lain pada wilayah perkotaan maupun pedesaan yang merupakan wilayah wisata. Parameter yang paling mencolok adalah dari sisi perubahan tutupan lahan di perkotaan yang kurang mendukung akses mobilisasi ketika fase evakuasi. Penduduk di area seluas 19% dari area studi di kota Boca Sur, Chili tidak dapat menuju zona aman dalam kurun waktu 30 menit pasca gempa sebelum gelombang tiba. di samping itu, potensi runtuhan bangunan dapat mempersempit lebar jalan yang akhirnya mengurangi menghalangi jalur evakuasi. Asumsi yang diterapkan untuk menyimulasikan keadaan ini adalah dengan menghindari jalan yang terhalang untuk menuju ke alternatif rute lain yang dapat mengakibatkan kemacetan pada rute tersebut. Pada kenyataannya, penduduk dapat melewati runtuhan tersebut apabila tidak terlalu tinggi.

Penggunaan jembatan merupakan salah satu faktor yang dapat menghambat laju evakuasi. Kota Padang memiliki beberapa alur sungai yang sejajar garis pantai sebelum menuju ke laut, memisahkan area pesisir dengan area perbukitan. Penduduk bergantung pada akses jembatan tersebut sebelum menuju tempat evakuasi akhir. Tahap evakuasi yang sesak ketika seluruh penduduk berlari secara simultan berpotensi terjebak kemacetan ketika melewati jalur jembatan yang kurang memadai. Pada jendela waktu yang sempit (30 menit), pelebaran jalan maupun jembatan tidak efisien dalam mengakomodasi seluruh penduduk secara simultan. Penentuan TES yang tersebar merata merupakan salah satu opsi dengan mempertimbangkan kapasitas evakuasi tiap bangunan dan kekuatan infrastruktur.

Pada wilayah pedesaan yang merupakan tujuan wisata, fluktuasi jumlah populasi ketika memasuki masa liburan patut diperhitungkan. Penampungan di Pangandaran serta Sanur yang digunakan sebagai TES mampu menampung seluruh penduduk lokal namun diperkirakan tidak mampu menampung turis yang datang dari luar. di samping itu, bangunan yang terbengkalai dan tidak digunakan sebagai pusat kegiatan menimbulkan ketidakpercayaan penduduk untuk menuju ke lokasi tersebut apabila tsunami tiba. Penduduk tidak familier dengan bangunan TES dan memilih jalur lain untuk evakuasi. Aspek sosial turut memberikan dampak yang signifikan terhadap kapasitas evakuasi. Sebanyak lebih dari 75% turis asing di Sanur tidak menyadari potensi risiko bencana tsunami di wilayah tersebut. Mereka tidak mempelajari tindakan evakuasi yang diperlukan apabila bahaya tsunami terjadi sebelum memutuskan untuk mengunjungi lokasi wisata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan dana melalui beasiswa Saintek serta Badan Informasi Geospasial melalui dukungannya sehingga penelitian ini berhasil dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Ashar, F., Amaratunga, D., & Haigh, R. (2014). The Analysis of Tsunami Vertical Shelter in Padang City. *Procedia Economics and Finance*, *18*(September), 916–923. https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)01018-1

Ashar, F., Amaratunga, D., & Haigh, R. (2018). Tsunami Evacuation Routes Using Network Analysis: A case study in Padang. *Procedia Engineering*, *212*(2017), 109–116. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.015

Behlert, B., Diekjobst, R., Felgentreff, D. C., Manandhar, T., Mucke, P., Pries, P. D. L., Radtke, D. K., & Weller, D. (2020). *World Risk Report 2020: Forced Displacement and Migration*.

Castro, S., Poulos, A., Herrera, J. C., & de la Llera, J. C. (2019). Modeling the impact of earthquake-induced debris on tsunami evacuation times of coastal cities. *Earthquake Spectra*, *55*(1), 137–158. https://doi.org/10.1193/101917EQS218M

CRED, & UNDRR. (2021). *2020 The Non-Covid year in disasters: Global trends and perspectives*.

Di Mauro, M., Megawati, K., Cedillos, V., & Tucker, B. (2013). Tsunami risk reduction for densely populated Southeast Asian cities: Analysis of vehicular and pedestrian evacuation for the city of Padang, Indonesia, and assessment of interventions. *Natural Hazards*, *68*(2), 373–404. https://doi.org/10.1007/s11069-013-0632-z

Fraser, S. A., Wood, N. J., Johnston, D. M., Leonard, G. S., Greening, P. D., & Rossetto, T. (2014). Variable population exposure and distributed travel speeds in least-cost tsunami evacuation modelling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *14*(11), 2975–2991. https://doi.org/10.5194/nhess-14-2975-2014

Freire, S., Aubrecht, C., & Wegscheider, S. (2013). Advancing tsunami risk assessment by improving spatio-temporal population exposure and evacuation modeling. *Natural Hazards*, *68*(3), 1311–1324. https://doi.org/10.1007/s11069-013-0603-4

Haiqal, M., Kusumawanto, A., & Saragih, S. (2016). Effectiveness of Tsunami Evacuation Building as a Tsunami Disaster Mitigation Effort in Banda Aceh. *Enhancing the Quality of Science and Engineering through Sustainable Research and Development to Face ASEAN Economic Community Challenges The International Conference of Engineering and Science for Research and Development (ICESReD)*, 2541–4151.

Hall, S., Emmett, C., Cope, A., Harris, R., Setiadi, G. D., Meservy, W., Berrett, B., & Hall, S. (2019). *Tsunami knowledge , information sources , and evacuation intentions among tourists in Bali , Indonesia*.

Harnantyari, A. S., Takabatake, T., Esteban, M., Valenzuela, P., Nishida, Y., Shibayama, T., Achiari, H., Rusli, Marzuki, A. G., Marzuki, M. F. H., Aránguiz, R., & Kyaw, T. O. (2020). Tsunami awareness and evacuation behaviour during the 2018 Sulawesi Earthquake tsunami. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *43*(November 2019). https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101389

Koswara, D. V., Windupranata, W., Meilano, I., Hayatiningsih, I., & Hanifa, N. R. (2021). Characteristics of Potential Tsunami Evacuee and Evacuation Infrastucture in Pangandaran Beach, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *925*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012036

Kubisch, S., Guth, J., Keller, S., Bull, M. T., Keller, L., & Braun, A. C. (2020). The contribution of tsunami evacuation analysis to evacuation planning in Chile: Applying a multi-perspective research design. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *45*, 101462. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101462

Løvholt, F., Glimsdal, S., Harbitz, C. B., Horspool, N., Smebye, H., de Bono, A., & Nadim, F. (2014). Global tsunami hazard and exposure due to large co-seismic slip. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *10*(PB), 406–418. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.04.003

Makinoshima, F., Imamura, F., & Abe, Y. (2018). Enhancing a tsunami evacuation simulation for a multi-scenario analysis using parallel computing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *83*, 36–50. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.12.016

Mas, E., Suppasri, A., Imamura, F., & Koshimura, S. (2012). Agent-based simulation of the 2011 great east Japan earthquake/tsunami evacuation. *Journal of Natural Disaster Science*, *34*(1), 41–57.

McCaughey, J. W., Mundir, I., Daly, P., Mahdi, S., & Patt, A. (2017). Trust and distrust of tsunami vertical evacuation buildings: Extending protection motivation theory to examine choices under social influence. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *24*(April), 462–473.

https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.06.016

Mostafizi, A., Wang, H., Cox, D., & Dong, S. (2019). An agent-based vertical evacuation model for a near-field tsunami: Choice behavior, logical shelter locations, and life safety. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *34*(December 2018), 467–479. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.12.018

Muhammad, A., De Risi, R., De Luca, F., Mori, N., Yasuda, T., & Goda, K. (2021). Are current tsunami evacuation approaches safe enough? *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *35*(4), 759–779. https://doi.org/10.1007/s00477-021-02000-5

Muhammad, A., Goda, K., Alexander, N. A., Kongko, W., & Muhari, A. (2017). Tsunami evacuation plans for future megathrust earthquakes in Padang, Indonesia, considering stochastic earthquake scenarios. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *17*(12), 2245–2270. https://doi.org/10.5194/nhess-17-2245-2017

NOAA. (2022). *National Geophysical Data Center / World Data Service: NCEI/WDS Global Historical Tsunami Database*. NOAA National Centers for Environmental Information. https://doi.org/10.7289/V5PN93H7

Pratama, I. P. D. (2020). Pemodelan dan Pembuatan Peta Evakuasi Tsunami Pesisir Sanur. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, *8*(2), 65. https://doi.org/10.23887/jjpg.v8i2.23167

Qüense, J., Martínez, C., León, J., Aránguiz, R., Inzunza, S., Guerrero, N., Chamorro, A., & Bonet, M. (2022). Land cover and potential for tsunami evacuation in rapidly growing urban areas. The case of Boca Sur (San Pedro de la Paz, Chile). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *69*(November 2021). https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102747

Scheer, S., Gardi, A., Guillande, R., Eftichidis, G., Varela, V., de Vanssay, B., & Colbeau-Justin, L. (2011). Handbook of Tsunami Evacuation Planning. In *Scientific and Technical Research Series*. https://doi.org/10.2788/34292

Soviana, W., & Rani, H. A. (2019). Study of alternative building for tsunami evacuation in Kuta Alam sub-district Banda Aceh. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *674*(1), 0–7. https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012021

SutIKNo, S., & Murakami, K. (2015). Application of Spatial and Network Analysis to Evaluate Shelter Plan for Tsunami Evacuation. *Civil Engineering Dimension*, *17*(2), 88–94. https://doi.org/10.9744/ced.17.2.88-94

Syamsidik, Rasyif, T. M., & Kato, S. (2015). Development of accurate tsunami estimated times of arrival for tsunami-prone cities in Aceh, Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *14*, 403–410. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.006

Takabatake, T., Chenxi, D. H., Esteban, M., & Shibayama, T. (2022). Influence of road blockage on tsunami evacuation: A comparative study of three different coastal cities in Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *68*(September 2021), 102684. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102684

Takabatake, T., Fujisawa, K., Esteban, M., & Shibayama, T. (2020). Simulated effectiveness of a car evacuation from a tsunami. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *47*(February), 101532. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101532

UNISDR. (2013). From Shared Risk to Shared Value –The Business Case for Disaster Risk Reduction. In *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*.

USGS. (2022). *Earthquake Catalog*.

Usman, F., Murakami, K., Dwi Wicaksono, A., & Setiawan, E. (2017). Application of Agent-Based Model Simulation for Tsunami Evacuation in Pacitan, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, *97*. https://doi.org/10.1051/matecconf/20179701064

Wang, Z., & Jia, G. (2021). Simulation-Based and Risk-Informed Assessment of the Effectiveness of Tsunami Evacuation Routes Using Agent-Based Modeling: A Case Study of Seaside, Oregon. *International Journal of Disaster Risk Science*, *13*(1), 66–86. https://doi.org/10.1007/s13753-021-00387-x

Wargadalam, R., Nakanishi, H., Vidyattama, Y., Black, J., & Suenaga, Y. (2021). Tsunami evacuation decisions and behaviour: A case study of Pangandaran, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *630*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/630/1/012023

Halaman ini sengaja dikosongkan.

MITIGASI BENCANA BANJIR DI IBU KOTA NUSANTARA (IKN) BERBASIS WEBGIS

(Flood Disaster Mitigation in Ibu Kota Nusantara (IKN) Base on WebGIS)

Ipung Juniyanti, Rifka Pratiwi, Afif Ari Wibowo
Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah, Indonesia 57162
E-mail: e100221053@student.ums.ac.id

ABSTRAK

Ibu Kota Nusantara (IKN) merupakan salah satu langkah strategis yang diumumkan oleh pemerintah Indonesia sebagai bagian dari proyek nasional. Salah satu faktor penentu dalam memilih lokasi adalah daerah tersebut memiliki tingkat risiko bencana yang rendah. Menurut data dari BPBD Kalimantan Timur, IKN mempunyai potensi banjir yang tinggi, terdapat 631 kali kejadian banjir dari tahun 2018 hingga 2022. Mitigasi bencana banjir dapat dilakukan dengan pemetaan rawan banjir menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG). Penelitian ini memanfaatkan teknologi SIG berbasis web yang masih sedikit diaplikasikan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pemetaan rawan banjir di Ibu Kota Nusantara berbasis WebGIS, yang diharapkan untuk memberikan informasi tentang rawan banjir dan titik kejadian banjir sebagai upaya mitigasi bencana**.** WebGIS dikembangkan memanfaatkan Quantum GIS dengan plugin qgis2web. WebGIS menampilkan peta rawan banjir, titik kecamatan dan kejadian banjir setiap kecamatan di IKN. Penelitian ini menggunakan metode *skoring* dan *overlay*. Parameter yang digunakan dalam menentukan kerawanan banjir yaitu curah hujan, ketinggian lahan, tutupan lahan, jarak dari sungai, kemiringan lereng, dan geologi. Pemetaan kerawanan banjir didominasi oleh tingkat kerawanan rendah dengan luas 129.579 ha, tingkat kerawanan sangat rendah 64.115 ha, tingkat kerawanan sedang 38.307 ha, tingkat kerawanan tinggi 17.953 ha, dan tingkat kerawanan sangat tinggi 7.161 ha. Hasil dari penelitian ini berupa WebGIS kerawanan bencana banjir yang dapat dimanfaatkan sebagai upaya mitigasi non struktural. Pemetaan rawan banjir berbasis WebGIS memberikan kemudahan untuk mengakses informasi rawan banjir dan titik kejadian banjir di IKN serta meminimalisir kerusakan fisik yang disebabkan oleh banjir.

Kata kunci: IKN, Banjir, SIG, WebGIS

ABSTRACT

Ibu Kota Nusantara (IKN) is one of the strategic steps announced by the Indonesian government as part of a national project. One of the determining factors in choosing a location is that the area has a low level of disaster risk. According to data from BPBD East Kalimantan, IKN has a high potential for flooding, there were 631 flood events from 2018 to 2022. Flood disaster mitigation can be done by mapping flood hazards using the Geographic Information System (GIS). This research utilizes web-based GIS technology which has been little applied in previous research. The aim of this research is to carry out WebGIS-based flood hazard mapping in the capital city of the archipelago, which is expected to provide information about flood hazards and flood occurrence points as a disaster mitigation effort. WebGIS was developed using Quantum GIS with the qgis2web plugin. WebGIS displays flood hazard maps, sub-district points and flood events for each sub-district in IKN. This research uses scoring and overlay methods. The parameters used to determine flood vulnerability are rainfall, land height, land cover, distance from rivers, slope and geology. Flood vulnerability mapping is dominated by a low level of vulnerability with an area of 129,579 ha, a very low level of vulnerability of 64,115 ha, a medium level of vulnerability of 38,307 ha, a high level of vulnerability of 17,953 ha, and a very high level of vulnerability of 7,161 ha. The results of this research are in the form of a WebGIS regarding flood disaster vulnerability which can be used as a non-structural mitigation effort. WebGIS-based flood hazard mapping makes it easy to access information on flood hazards and flood occurrence points in IKN and minimizes physical damage caused by flooding.

***Keywords**: IKN, Flood, GIS, WebGIS*

PENDAHULUAN

Ibu Kota Nusantara (IKN) merupakan salah satu langkah strategis yang diumumkan oleh pemerintah Indonesia sebagai bagian dari proyek nasional. IKN terletak di Provinsi Kalimantan Timur yaitu di tengah kepulauan Indonesia. Secara administratif, IKN berada di dua kabupaten, yaitu Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara yang berada di Provinsi Kalimantan Timur. Tujuan utama dari pemindahan IKN ke luar Jawa adalah untuk melakukan pemerataan penduduk dan untuk menghindari kepadatan di Jakarta (FISIP UI, 2020). Walaupun telah mempertimbangkan berbagai faktor untuk dijadikan Ibu Kota Indonesia, termasuk mempertimbangkan tingkat kerawanan terhadap bencana.

Wilayah IKN merupakan wilayah yang mengalami curah hujan yang tinggi setiap tahun karena kedekatannya dengan garis khatulistiwa (As-syakur dkk., 2013). Curah hujan tersebut merupakan faktor yang mempengaruhi kejadian banjir di Indonesia (Breinl dkk., 2021). Pengertian banjir merupakan bagian dari salah satu akibat perubahan iklim karena peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian cuaca yang ekstrim (He dkk., 2022). Menurut data dari BPBD Kalimantan Timur, IKN mempunyai potensi banjir yang tinggi, terdapat 631 kali kejadian banjir dari tahun 2018 hingga 2022. Kejadian banjir dapat menyebabkan kerusakan fisik, menghilangkan harta benda, hingga dapat menimbulkan korban jiwa.

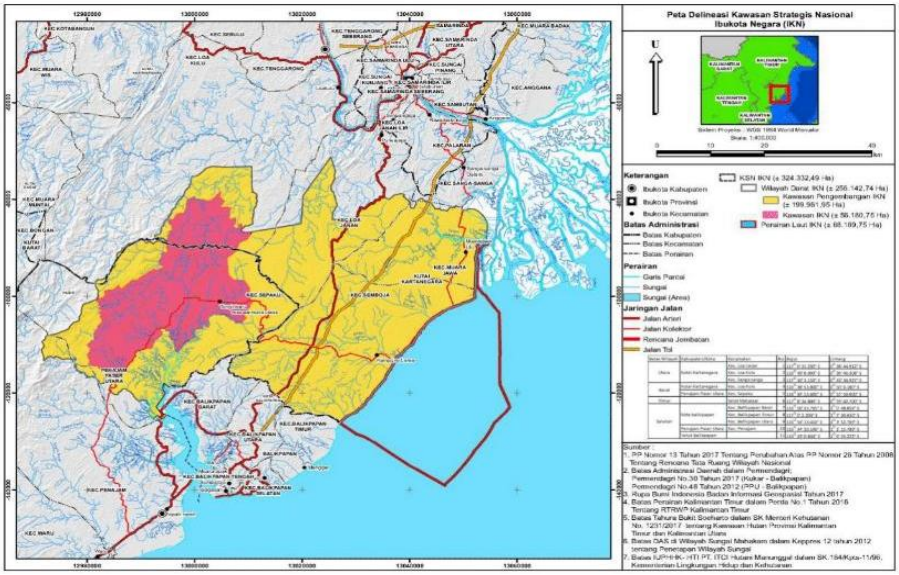
Upaya yang dapat digunakan meminimalisir pada dampak banjir di IKN, salah satunya dengan mitigasi bencana. Perkembangan teknologi di bidang geografi bisa dimanfaatkan untuk mendukung usaha mitigasi bencana yaitu dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Sistem Informasi Geografi merupakan sistem khusus yang mengatur data dengan informasi spasial untuk menyimpan, mengelola, menciptakan, dan menampilkan informasi yang terkait dengan lokasi geografis (Gistut, 1994 dalam Prahasta, 2009:85). SIG dapat digunakan untuk melakukan pemodelan kerawanan banjir. Metode yang digunakan dalam pemodelan kerawanan banjir yaitu skoring dan overlay. Parameter yang digunakan dalam menentukan kerawanan banjir yaitu curah hujan, ketinggian lahan, tutupan lahan, jarak dari sungai, kemiringan lereng, dan geologi.

Dengan kemajuan teknologi, Sistem Informasi Geografis (SIG) menjadi semakin penting dengan kehadirannya. Pemanfaatan website dengan SIG akan menghasilkan platform website, dikenal sebagai WebGIS. WebGIS adalah pemetaan digital pada sistem informasi geografi yang mempunyai fungsi menyajikan informasi dalam bentuk tulisan, mempublikasikan, mengkomunikasikan, mendistribusikan, mengintegrasikan, dan Memberikan data dalam format teks dan melakukan operasi analisis serta kueri yang berkaitan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui internet (Prahasta, 2007). WebGIS dikembangkan memanfaatkan penggabungan teknologi dan SIG. WebGIS yang digunakan merupakan Leaflet. Kelebihan dari penggunaan Leaflet, antara lain mempermudah membuat peta dalam bentuk web dan memiliki kemudahan dalam melakukan *plugin* yang dapat memperluas fungsionalitas (Aini & Cherie, 2021). Perangkat lunak yang digunakan untuk membangun WebGIS adalah Quantum GIS (QGIS). QGIS bersifat *open source,* sehingga tidak berbayar atau berlangganan dalam menggunakan perangkat lunak.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan rawan banjir di Ibu Kota Nusantara berbasis WebGIS, yang diharapkan untuk memberikan informasi tentang seberapa besar tingkat kerawanan banjir yang terjadi di IKN berdasarkan SIG. Pemetaan kerawanan banjir akan memberikan informasi tentang tingkat kerawanan banjir berdasarkan masing-masing kecamatan di Ibu Kota Nusantara. Hasil dari penelitian ini berupa WebGIS kerawanan bencana banjir yang dapat dimanfaatkan sebagai upaya mitigasi. Mitigasi tersebut berfokus kepada mitigasi non struktural. Mitigasi non struktural berhubungan dengan perkembangan teknologi yang bertujuan untuk melakukan mengurangi risiko suatu bencana. Salah satu penerapan dari mitigasi non struktural adalah pemetaan rawan banjir berbasis WebGIS. Tujuan utama dari pemetaan tersebut adalah memberikan kemudahan untuk mengakses informasi rawan banjir serta meminimalisir kerusakan fisik yang disebabkan oleh banjir. Pemetaan kerawanan banjir ini juga penting sebagai upaya pencegahan terjadinya banjir di masa yang akan datang.

METODE

Penelitian ini dilakukan di sebagian Kabupaten Penajam Paser Utara dan sebagian di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis terletak antara 116° 31' 37.728" - 117° 18' 28.084" Bujur Timur dan 0° 38' 44.912" - 1° 15' 25.260" Lintang Selatan seperti disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Delineasi Kawasan Strategis Nasional IKN (UU Nomor 3 Tahun 2022)

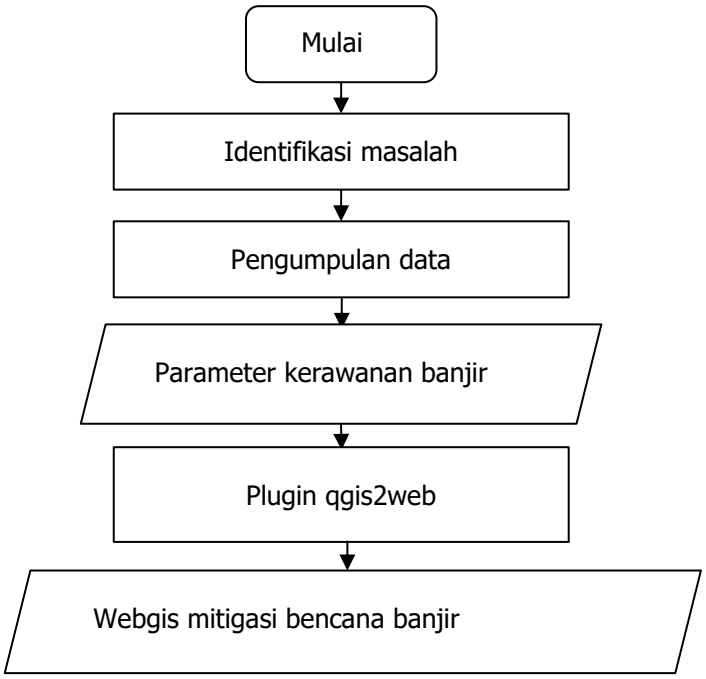
Tabel 1. Variabel Kerawanan Banjir.

Variabel	Kelas	Skor	Bobot
Ketinggian Lahan	0-20 mdpl	5	20
	21-50 mdpl	4	
	51-100 mdpl	3	
	101-300 mdpl	2	
	>300 mdpl	1	
Tutupan Lahan	Badan Air	5	20
	Lahan Terbuka	4	
	Lahan Terbangun	3	
	Lahan Pertanian	2	
	Hutan	1	
Jarak dari Sungai	0-25 m	5	20
	25-50 m	4	
	50-75 m	3	
	75-100 m	2	
	>100 m	1	
Curah Hujan	2500 – 3000 mm/bln	4	20
	> 3000 mm/bln	5	
Geologi	Aluvial	5	10
	Litoral	4	
Kemiringan Lereng	0- 8 %	5	10
	8-15 %	4	
	15-25 %	3	
	25-40 %	2	
	>40 %	1	

Sumber: Allafta & Opp, 2021; Rakuasa dkk., 2022; Rakuasa dkk., 2023

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Microsoft Office 365, ArcGIS 10.8, dan Quantum GIS (QGIS). Variabel untuk kerawanan banjir dalam penelitian ini terdiri dari ketinggian lahan dan kemiringan lereng yang diolah dari data DEMNAS, jarak dari sungai yang diperoleh dari hasil analisis buffer sungai, geologi yang diolah dari Peta Geologi Indonesia, tutupan lahan diperoleh

dari peta RBI dan curah hujan yang diperoleh dari hasil analisis data curah hujan bulanan Provinsi Kalimantan Timur. Berikut merupakan metode skoring dan pembobotan kerawanan banjir dapat dilihat **Tabel 1**. Metodologi dapat dilihat di **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Banjir merupakan kumpulan dari genangan air yang mengalir dengan deras dari ketinggian diatas normal dan dapat menggenangi daratan (Lestari dkk., 2016) Bencana banjir yang dapat membahayakan adalah banjir dengan debit yang sangat cepat dan terjadi secara tiba tiba yang memiliki sifat menghanyutkan. Berdasarkan (Lestari dkk (2016)) menjelaskan beberapa faktor daerah yang dapat memiliki kerawanan banjir, yakni daerah dengan tingkat intensitas curah hujan yang tinggi, daerah dengan kondisi geologi yang memiliki resapan air sungai rendah, daerah disekitar aliran sungai, permukiman dengan sistem drainase yang buruk, dan daerah yang pernah mengalami kejadian banjir.

Pengolahan kerawanan banjir menggunakan metode skoring dan overlay. Parameter yang digunakan dalam menentukan kerawanan banjir yaitu curah hujan, ketinggian lahan, tutupan lahan, jarak dari sungai, kemiringan lereng, dan geologi. Kondisi geologi di IKN memiliki skor paling tinggi oleh endapan aluvium. IKN memiliki daerah dengan kemiringan lereng didominasi oleh kemiringan 0-15%. Curah hujan didominasi dengan curah hujan antara 2.000 - 3.000 mm/tahun. Tutupan lahan yang berada di IKN didominasi olah lahan terbuka. Pengolahan data kerawanan banjir tersebut akan menghasilkan peta kerawanan banjir di Kawasan IKN. Berikut merupakan **Tabel 2** Luas Kerawanan Banjir di IKN.

Tabel 2. Luas Kerawanan Banjir di IKN.

Kelas Kerawanan Banjir	Luas Kerawanan Banjir (Ha)
Rendah	129579
Sangat Rendah	64115
Sedang	38307
Tinggi	17953
Sangat Tinggi	7160
Total	257115

Pemetaan kerawanan banjir didominasi oleh tingkat kerawanan rendah dengan luas 129.579 ha. Tingkat kerawanan banjir kelas sangat rendah dengan luas 64.115 ha. Tingkat kerawanan banjir

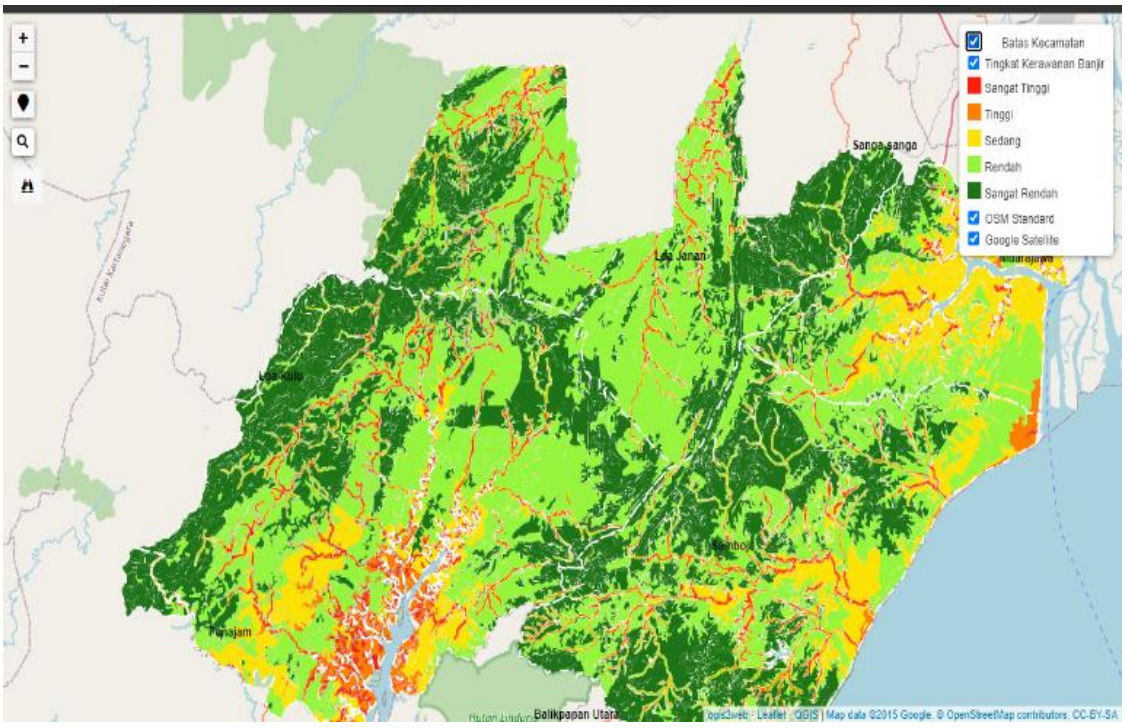
kelas sedang dengan luas 38.307 ha. Tingkat kerawanan banjir kelas tinggi dengan luas 17.953 ha. Selanjutnya, tingkat kerawanan banjir kelas sangat tinggi memiliki luas 7.161 ha.

Peta kerawanan banjir tersebut, kemudian disajikan dengan tampilan WebGIS. Pemetaan kerawanan banjir berbasis WebGIS merupakan upaya digitalisasi data berbasis website dan bentuk mitigasi secara non struktural. WebGIS juga memudahkan dari berbagai bidang untuk mendapatkan informasi pemetaan digital mulai dari bidang kesehatan (Alifian dkk., 2023), bidang pariwisata penelitian yang dilakukan oleh Rasyid dkk, (2023) dan bidang pendidikan penelitian yang dilakukan oleh Zahara dkk (2021).

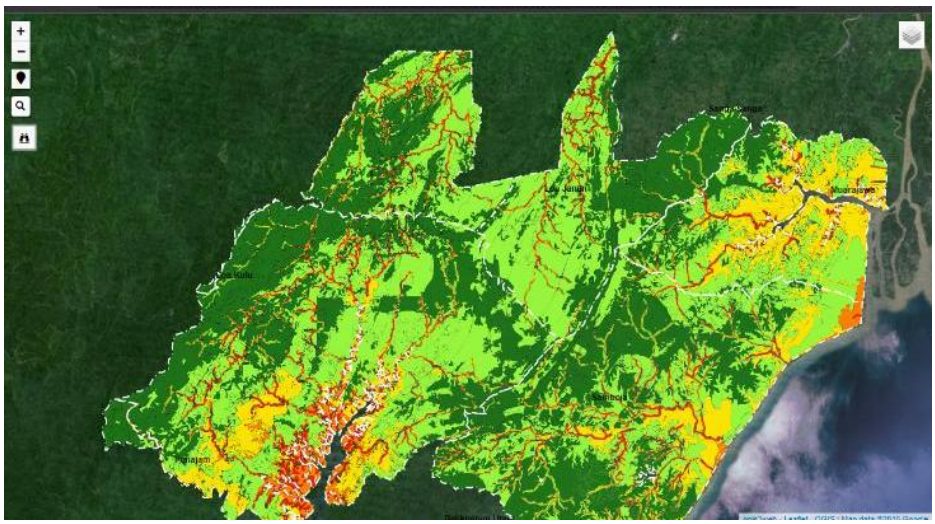
Mitigasi bencana banjir berbasis WebGIS di Kawasan IKN menggunakan Quantum GIS dengan memanfaatkan plugin qgis2web. WebGIS kerawanan banjir disajikan dengan 5 kelas kerawanan banjir, yaitu sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah yang ditampilkan pada legenda **Gambar 3**. Tampilan utama WebGIS Kerawanan Banjir dapat dilihat pada **Gambar 4**, dimana terdapat fitur-fitur yang mendukung dalam pemanfaatan WebGIS. Terdapat dua *basemap* yang ditampilkan pada WebGIS yaitu dengan *basemap* Google Satellite **Gambar 5** dan *basemap* OSM Standard **Gambar 6**.



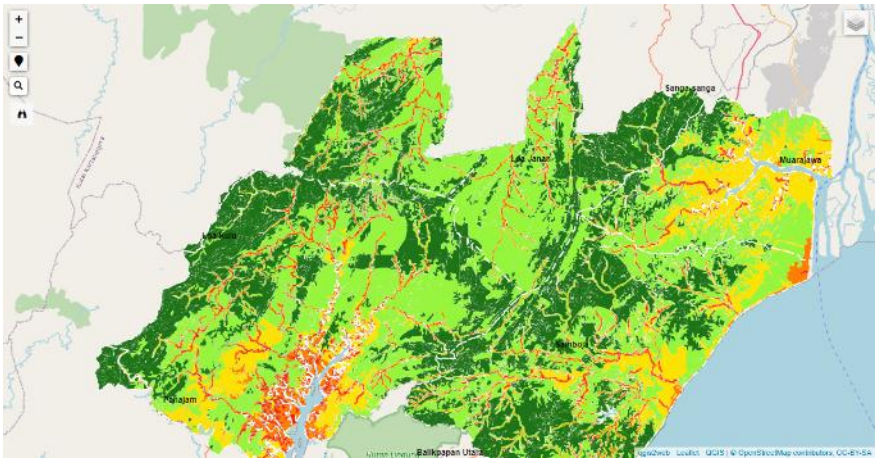
Gambar 3. Legenda pada WebGIS Kerawanan Banjir



Gambar 4. Tampilan WebGIS Kerawanan Bencana Banjir di Kawasan IKN

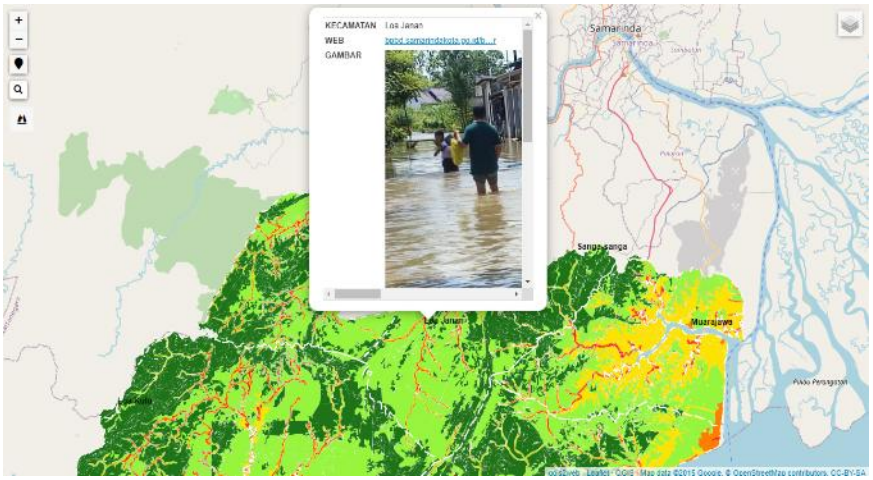


Gambar 5. Tampilan WebGIS Kerawanan Bencana Banjir di Kawasan IKN *Basemap Google Satellite*



Gambar 6. Tampilan WebGIS Kerawanan Bencana Banjir di Kawasan IKN *Basemap OSM Standard*

Tampilan lain dari WebGIS kerawanan bencana banjir di Kawasan IKN dapat menyajikan kejadian banjir pada setiap kecamatan **Gambar 7**. Pada *Pop Up* tersebut menampilkan *link* berita kejadian banjir, gambar kejadian dan tanggal kejadian banjir.



Gambar 7. Tampilan *Pop Up* Kejadian Banjir

WebGIS kerawanan bencana banjir di IKN ini juga dilengkapi dengan beberapa fitur yaitu *Zoom Out, Zoom In*, *Geolocate User*, *Address Search*, dan *Layer Search*. Pada **Gambar 8** merupakan fitur *Zoom Out* dan *Zoom In.* Fungsi dari *Zoom Out* adalah memperkecil tampilan layer pada WebGIS, sedangkan *Zoom In* adalah untuk memperbesar tampilan WebGIS sehingga memperoleh informasi

yang lebih detail. *Geolocate User* pada WebGIS **Gambar 9** digunakan untuk mengetahui lokasi pengguna, dalam pengaksesannya pengguna harus mengaktifkan GPS supaya fitur *Geolocate User* dapat berfungsi. Selain itu, juga dilengkapi dengan fitur *Address Search* **Gambar 10** digunakan untuk mencari lokasi yang lain. *Layer searc*h **Gambar 10** digunakan untuk mencari tampilan layer yang ditampilkan pada WebGIS, sehingga dapat memperoleh informasi berdasarkan kecamatan.



Gambar 8. Fitur *Zoom Out* dan *Zoom In*



Gambar 9. *Geolocate User*



Gambar 10. Fitur *Address Search*



Gambar 11. Layer *Search*

KESIMPULAN

Pemetaan kerawanan banjir di Kawasan IKN dipengaruhi oleh curah hujan, ketinggian lahan, tutupan lahan, jarak dari sungai, kemiringan lereng, dan geologi. Faktor pembobotan dipengaruhi oleh empat variabel, yaitu curah hujan (20%), ketinggian lahan (20%), tutupan lahan (20%), dan jarak dari sungai (20%). Kerawanan banjir dibagi menjadi lima kelas, yaitu sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah. Kawasan IKN didominasi dengan tingkat kerawanan banjir rendah dan sangat rendah. Pemetaan kerawanan banjir didominasi oleh tingkat kerawanan rendah dengan luas 129.579 ha, tingkat kerawanan sangat rendah 64.115 ha, tingkat kerawanan sedang 38.307 ha, tingkat kerawanan tinggi 17.953 ha, dan tingkat kerawanan sangat tinggi 7.161 ha.

Pemetaan kerawanan banjir di Kawasan IKN disajikan dalam bentuk WebGIS. Fitur yang digunakan dalam WebGIS tersebut, yaitu Zoom Out, Zoom In, Legenda, Address Search, dan Layer Search. Pada WebGIS ini menampilkan titik kecamatan, batas kecamatan, tingkat kerawanan banjir, google satellite, dan OSM standard. Pemetaan berbasis WebGIS merupakan upaya mempercepat digitalisasi data berbasis website yang dapat diakses tanpa fitur registrasi dan login.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan dukungan untuk melakukan penelitian ini. Rasa terima kasih untuk pengembang Software Quantum GIS yang telah berkomitmen memberikan kemudahan dalam membangun WebGIS yang *open source.*

DAFTAR PUSTAKA

Aini, N., & Cherie, B. (2021). WebGIS Berbasis Leaflet JS untuk Pemetaan Persebaran Usaha Mikro di Kabupaten Nganjuk. 10. Jurnal Teknik ITS.

Alifian, M., Awaluddin, M., & Sabri, L. M. (2023). Perancangan WebGIS Persebaran Rumah Sakit Kota Semarang. Jurnal Geodesi Undip Juli.

Allafta, H., & Opp, C. (2021). GIS-based multi-criteria analysis for flood prone areas mapping in the trans-boundary Shatt Al-Arab basin, Iraq-Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *12*(1), 2087–2116. https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1955755

As-syakur, Abd. R., Tanaka, T., Osawa, T., & Mahendra, M. S. (2013). Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, *34*(21), 7723–7738. https://doi.org/10.1080/01431161.2013.826837

Breinl, K., Lun, D., Müller-Thomy, H., & Blöschl, G. (2021). Understanding the relationship between rainfall and flood probabilities through combined intensity-duration-frequency analysis. *Journal of Hydrology*, *602*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126759

FISIP UI. (2020). Kajian Aspek Sosial Pemindahan Ibu Kota Negara – Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik – Universitas Indonesia. https://fisip.ui.ac.id/kajian-aspek-sosial-pemindahan-ibu-kota-negara/

He, W., Kim, S., Wasko, C., & Sharma, A. (2022). A global assessment of change in flood volume with surface air temperature. *Advances in Water Resources*, *165*, 104241. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2022.104241

Lestari, R., Kanedi, I., & Arliando, Y. (2016). Sistem Informasi Geografis (SIG) Daerah Rawan Banjir di Kota Bengkulu Menggunakan Arcview. *Jurnal Media Infotama*, *12*(1).

Prahasta, E. (2007). Sistem Informasi Geografis : Membangun Aplikasi Web - Based GIS dengan MapServer. Informatika. https://pustaka.unama.ac.id%2Findex.php%3Fp%3Dshow_detail%26id%3D7167

Prahasta, E. (2009). Sistem informasi geografis: konsep-konsep dasar (perspektif geodesi dan geomatika). Bandung Informatika.

Rasyid, A. Al, Zen, B., Sisfo, M. U.-J. I. M., & 2023, undefined. (2023). WebGIS Pemetaan Objek Wisata di Kabupaten Banyumas Menggunakan Metode Agile. *ejournal.unama.ac.id*, 17(1). https://doi.org/10.33998/mediasisfo.2023.17.1.172

RI (Republik Indonesia). (2022). UU Nomor 3 Tahun 2022 tentang IKN. Sekretariat Negara. Jakarta.

Zahara, L., Rasyid, I., & Akbar, A. (2021). Sistem Informasi Geografis Pemetaan Sekolah Menengah Kejuruan di Kabupaten Labuhanbatu Menggunakan WebGIS. *7. Jurnal STMIK Royal.*

PEMANFAATAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM MENGANALISIS KEMAMPUAN *FOOD ESTATE* DALAM MENGHADAPI POTENSI MULTI BENCANA

Studi Kasus: Provinsi Kalimantan Tengah

(Utilization Of Geographic Information Systems In Analyzing The Feasibility Of Food Estates In Addressing The Potential Of Multi-Hazards)

Izzuddin Muhammad[1], Fajar Wahyushi Fuedsi[2], Mayiswa Fatika Sari[3], Jaka Putra Rahmajati[4], Ida Lestari[5]

[1,2]Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Semarang
[3,4,5]Program Studi Geografi, Universitas Negeri Semarang

Komplek UNNES, Gedung C7, Sekaran, Kec. Gn.Pati, Kota Semarang
E-mail: izzuddinmuhammad53@students.unnes.ac.id

ABSTRAK

Provinsi Kalimantan Tengah merupakan provinsi yang dijadikan sebagai Proyek Strategis Nasional (PSN) Pengembagan *Food Estate* termasuk komoditas pertanian padi. Diperlukan adanya analisis yang menunjukkan kemampuan lahan untuk dijadikan lokasi potensial *food estate*. Oleh karena itu, pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat menjadi alat yang efektif dalam menganalisis kemampuan *food estate* untuk menunjang ketahanan pangan, khususnya dalam menghadapi potensi bencana. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan SIG dalam menganalisis kemampuan *food estate* dalam menghadapi potensi multi bencana di Provinsi Kalimantan Tengah. Penelitian ini menggunakan data curah hujan, drainase, tekstur tanah, lereng, temperatur, pH tanah, dan solum sebagai parameter kesesuaian lahan pertanian komoditas padi sawah. Serta, indeks bahaya banjir dan kekeringan sebagai parameter multi bencana. Hasil analisis kesesuaian lahan pertanian menunjukkan luas lahan S1 sebesar 6287924 ha, lahan S2 2053744 ha, lahan S3 sebesar 6057450 ha, lahan N1 sebesar 990105 ha, dan lahan N2 sebesar 3557 ha. Sedangkan, hasi analisis parameter multi bencana menunjukkan luasan ancaman rendah, 98895,76 km2, kelas ancaman sedang seluas 24170,32 dan kelas ancaman tinggi seluas 31295,3 km2. Hasil analisis overlay lahan pertanian eksisting pada kabupaten yang dijadikan sebagai lokasi proyek *food estate* yakni Kabupaten Pulang Pisau dan Kapuas menunjukkan lahan pertanian yang didominasi kesesuaian S3 yakni lahan yang memerlukan masukan atau aksi untuk meningkatkan produktivitas lahan serta terletak pada daerah yang rawan bencana banjir.

Kata kunci: *food estate*, kekeringan, banjir, sistem informasi geografis

ABSTRACT

Central Kalimantan is a province used as a National Strategic Project (PSN) for Food Estate Development including rice agricultural commodities. An analysis is needed that shows the ability of land to be used as a potential food estate location. Therefore, the use of Geographic Information Systems (GIS) can be an effective tool in analyzing the ability of food estate to support food security, especially in the face of potential disasters. This study aims to evaluate the use of GIS in analyzing the ability of food estates in the face of potential multi-disasters in Central Kalimantan Province. This study uses data on rainfall, drainage, soil texture, slope, temperature, soil pH, and solum as parameters of agricultural land suitability for paddy rice commodities. Also, flood and drought hazard indices as multi-disaster parameters. The results of the analysis of agricultural land suitability show that the area of S1 land is 6287924 ha, S2 land is 2053744 ha, S3 land is 6057450 ha, N1 land is 990105 ha, and N2 land is 3557 ha. Meanwhile, the results of the multi-disaster parameter analysis show a low threat area of 98895.76 km2, a medium threat class of 24170.32 and a high threat class of 31295.3 km2. The results of the overlay analysis of existing agricultural land in the districts that are used as the location of the food estate project, namely Pulang Pisau and Kapuas districts, show that agricultural land is dominated by S3 suitability, namely land that is not suitable for food estate projects.

***Keywords**: food estate, drought, flood, geographic information system*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara agraris dengan sebagian besar masyarakatnya bekerja pada sektor pertanian, tidak menjamin terbebas dari krisis pangan. Lebih jauh lagi, menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia, jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2010 sebesar 237,63 juta jiwa dan pada tahun 2020 menjadi 270,2 juta jiwa, meningkat rata-rata 32,56 juta jiwa per tahun (Fikriansyah & Julia, 2023). Penduduk yang semakin bertambah dari tahun ke tahun tersebut dapat mempengaruhi rantai pasokan pangan. dalam menghadapi potensi krisis pangan, pemerintah Indonesia mengusung strategi program *food estate*. *Food estate* merupakan kebijakan pemerintah nasional untuk mengurangi ketergantungan impor pangan, mengantisipasi dampak perubahan iklim dan pemanasan global, serta memenuhi kebutuhan pangan dalam negeri (Usopp & Octora, 2023). Sejak tahun 1950-an, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan beberapa kebijakan dan lumbung pangan yang dirancang secara besar-besaran untuk menghasilkan pangan yang dibutuhkan masyarakat lokal (Rasman *et al.*, 2023). *Food estate* terdaftar sebagai salah satu Program Strategis Nasional (PSN) dalam PP. Nomor 109 tahun 2020 (Baringbing, 2021). Lokasi *food estate* Indonesia salah satunya berada di Provinsi Kalimantan Tengah, yang menjadi daerah penunjang ketahanan pangan di Ibu Kota Nusantara (IKN).

Dalam pengembangan *food estate* di Kalimantan Tengah, dihadapkan pada potensi multi bencana seperti kekeringan dan banjir. Secara definisi kekeringan merupakan keadaan dimana suatu wilayah, negara, atau masyarakat mengalami kelangkaan air dan tidak mampu memenuhi kebutuhannya. Kekeringan dapat disebabkan oleh berkurangnya atau hilangnya kelembaban dalam tanah akibat tidak adanya hujan atau daerah kering dalam jangka waktu lama, atau curah hujan di bawah normal (Yasa *et al.*, 2023). Kekeringan diakui sebagai ancaman lingkungan oleh para pemerhati lingkungan, ahli ekologi, ahli hidrologi, ahli meteorologi, ahli geologi, dan ahli pertanian. Kekeringan ditandai dengan berkurangnya curah hujan dalam jangka waktu yang lama, seperti musim atau tahun, dan dapat terjadi di hampir semua iklim, termasuk tempat dengan curah hujan tinggi atau rendah (Orimoloye *et al.*, 2022). Wilayah Kalimantan Tengah memiliki riwayat terjadi kekeringan, hasil analisis defisit air 1998-2015 dalam penelitian Mashudi *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa kekeringan terjadi khususnya di wilayah Kalimantan Tengah bagian Selatan. Sedangkan banjir secara definisi adalah keadaan dimana saluran pembuangan tidak dapat menampung air atau aliran air di dalam saluran pembuangan terhambat (Astuti & Sudarsono, 2018). Banjir bisa disebabkan oleh berbagai macam faktor yaitu kondisi topografi, kondisi iklim, maupun faktor manusia (Gai *et al.*, 2018). dalam kurun waktu mendekati 2 dekade terakhir bencana banjir menjadi persentase terbesar dengan jumlah 292 dari 478 kejadian bencana alam di Provinsi Kalimantan Tengah (Daniel, 2023). Analisis lebih mendalam mengenai relevansi potensi bencana kekeringan dan banjir dengan pengembangan *food estate* di Kalimantan Tengah masih belum cukup banyak dilakukan. Untuk memastikan keberlangsungan *food estate*, diperlukan analisis lahan lebih mendalam mengenai potensi bencana dan dampaknya. Analisis tersebut dapat memanfaatkan sistem informasi geografis.

Sejalan dengan perkembangan teknologi, analisis spasial kekeringan juga mengalami kemajuan pesat. Hal ini memudahkan masyarakat mendapatkan informasi. Salah satu penemuan tersebut adalah sistem informasi geografis (GIS). Sistem informasi geografis (GIS) adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, mengeksplorasi, mengintegrasikan, dan menganalisis informasi tentang permukaan bumi (Putra *et al.*, 2023). Sistem informasi geografis atau *geographic information system* (GIS) merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan, memvisualisasikan, dan menganalisis data geografis dalam bentuk peta atau citra satelit. GIS juga digunakan untuk memetakan wilayah dan menampilkan informasi spasial dalam suatu sistem yang terintegrasi (Kalantari *et al.*, 2015). Pemanfaatan sistem informasi geografis sudah banyak digunakan dalam berbagai kajian masalah kekeringan maupun banjir, seperti yang dilakukan oleh Farah (2023) memanfaatkan sistem informasi geografis untuk identifikasi potensi kekeringan di Grobogan. Ardiansyah *et al.*, (2021) yang memanfaatkan sistem informasi geografis daerah rawan bencana kekeringan di Kabupaten Bondowoso Provinsi Jawa Timur. Lasaiba (2023) memanfaatkan sistem informasi geografis (GIS) sebagai alat untuk mengidentifikasi bahaya dan resiko banjir di Kecamatan Sirimau Kota Ambon. Melalui pemanfaatan sistem informasi geografis penulis menganalisis potensi

kekeringan dan banjir di Kalimantan Tengah yang dikaitkan dengan pengembangan *food estate*. Diharapkan penelitian dapat memberikan khasanah keilmuan dan panduan bagi para pemangku kebijakan dan akademisi dalam pengembangan *food estate* di Kalimantan Tengah.

METODE

Lokasi dalam penelitian ini yaitu Provinsi Kalimantan Tengah dengan luas wilayah sebesar 153.564,5 Km2 yang terdiri dari 14 Kabupaten/Kota. Kabupaten Murung Raya memiliki wilayah terluas yaitu 23.575.3 Km2 atau sekitar 15,36 persen dari luas provinsi Kalimantan Selatan. Sedangkan, Kota Palangka Raya memiliki luas daerah terkecil yaitu 2.848,7Km2 atau sekitar 1,86 Persen (BPS, 2023). Provinsi Kalimantan Tengah sendiri direncanakan sebagai lumbung *food estate* pada pertanian padi.

Penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data primer maupun data sekunder yang bersumber dari berbagai instansi. Selain itu, penelitian ini juga didukung dengan berbagai literatur terbaru serta relevan untuk memperkuat dalam menganalisis *food estate* maupun potensi multi bencana. dalam menganalisis kemampuan lahan pertanian padi dalam menunjang *food estate,* diperlukan parameter kesesuaian lahan berdasarkan penelitian Fauzi *et al.*, (2018) sebagai berikut

Tabel 1. Parameter kesesuaian lahan pertanian padi sawah.

No	Parameter Lahan	Kelas Kesesuaian Lahan					Sumber
		S1	S2	S3	N1	N2	
1	Lereng	<3	3-8	>8-15	>15-25	>25	DEM SRTM
2	Suhu (°C)	>24-29	22-24	18-22	Td	<18	DEM SRTM
3	Tekstur Tanah	SCL, SiL, Si, CL	SL, L, SiCL, C, SiC	LS, Str C	Td	Kerikil, pasir	OpendLandMap
4	Drainase Tanah	Terhambat	Agak terhambat	Sedang, baik	Agak cepat, cepat	Sangat cepat	Kementerian ESDM
5	Solum	>50	40-50	25-40	20-25	<20	ISRIC – Depth to Bedrock
6	pH Tanah	5,5-7	>7-8	>8-8,5	-	>8,5	OpendLandMap
7	Curah Hujan (mm/tahun)	>1500	1200-1500	800-1200	Td	<800	CHIRPS

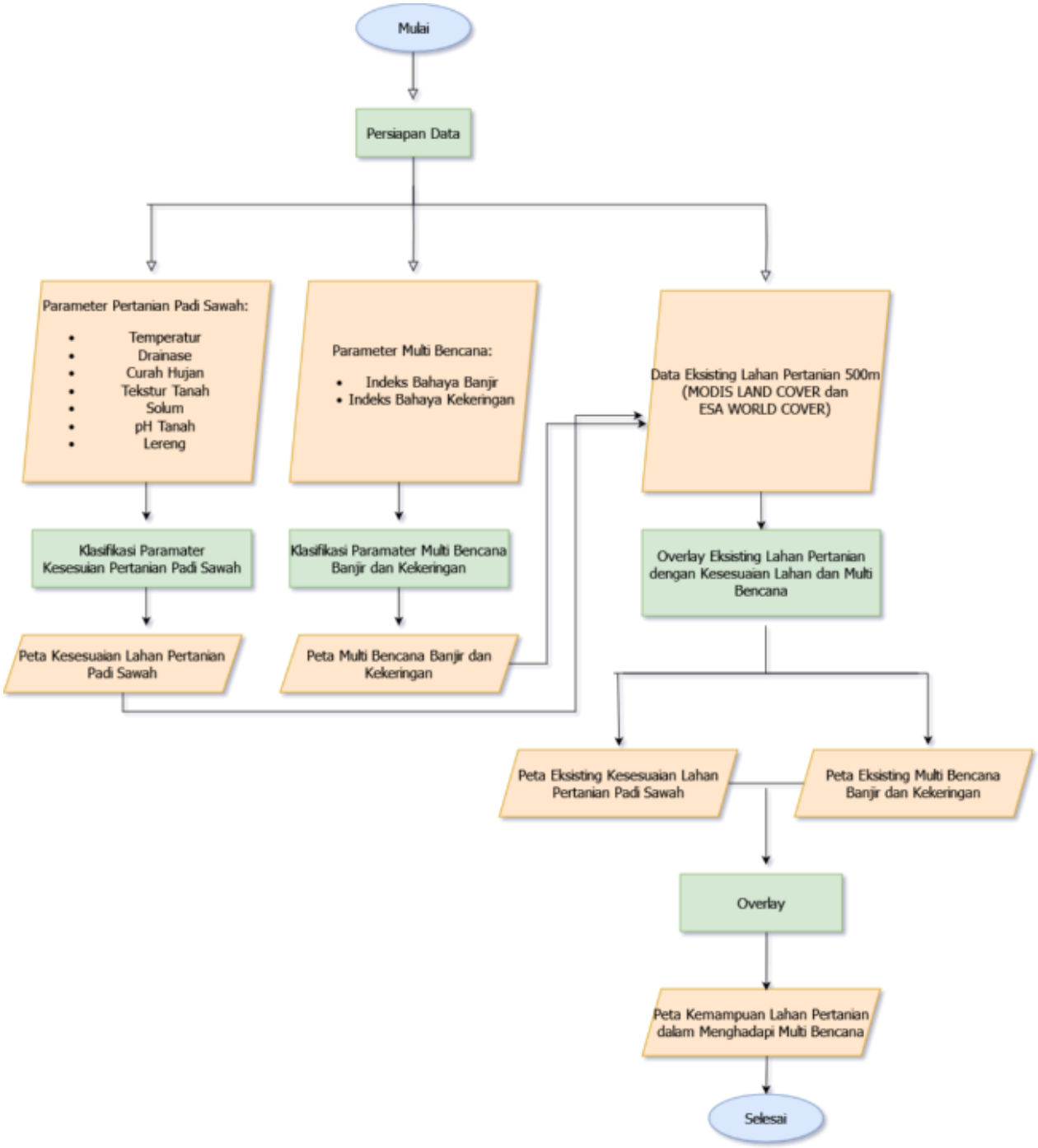
Sumber: Fauzi et al., (2018) dengan modifikasi dari penulis

Sedangkan, unruk mengetahui tingkat kerawanan multi bencana banjir dan kekeringan di Provinsi Kalimantan Tengah membutuhkan parameter sebagai berikut

Tabel 2. Parameter multi bencana banjir dan kekeringan.

No	Parameter	Klasifikasi Multibencana			Sumber
		Rendah	Sedang	Tinggi	
1	Indeks Bahaya Banjir	0-0,3	0,3-0,6	0,6-1	InaRISK BNPB
2	Indeks Bahaya Kekeringan				

Langkah selanjutnya setelah dilakukan pengolahan klasifikasi parameter adalah dengan melakukan overlay hasil kesesuaian lahan pertanian dan multi bencana dengan lahan pertanian eksisting yang diambil dari data MODIS Land Cover 500m dan ESA World Cover tahun 2022. Setelah itu, dilakukan analisis dari hasil pengolahan tadi. Adapun langkah kerja proses penyusunan karya ilmiah ini dapat dilihat pada diagram alur di bawah ini



Gambar 1. Diagram alur penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Klasifikasi Multi Bencana Banjir dan Kekeringan

Pemetaan multi bencana bencana banjir dan kekeringan Provinsi Kalimantan Tengah ini memberikan data informasi luas ancaman multi bencana pada masing-masing kabupaten. Kelas ancaman multi bencana bencana banjir dan kekeringan diklasifikasikan ke dalam 3 kelas yaitu ancaman rendah, sedang, dan tinggi menggunakan kombinasi indeks bencana banjir dan kekeringan.

Kelas ancaman rendah memiliki luas 98895,76 km2 atau 64% dari total luas ancaman total. Kelas ancaman multi bencana rendah tersebar pada topografi dataran rendah, perbukitan, hingga bergunung-gunung yang didominasi wilayah utara dari Provinsi Kalimantan Tengah. Sedangkan, Kelas ancaman sedang memiliki luas 24170,32 km2 atau 16% dari luas total yang tersebar pada topografi dataran rendah mendekati pesisir dengan data ancaman sedang terluas ada pada

Kabupaten Katingan dengan luas 3542,49 km2. Lalu, Kelas ancaman tinggi memiliki luas 31295,3 km2 atau 20% dari luas total. Kelas ancaman multi bencana tinggi tersebar pada topografi dataran rendah dekat daerah pesisir karena di daerah ini tergolong rawan banjir.

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, diketahui bahwasannya sebagian besar wilayah Provinsi Kalimantan Tengah memiliki kelas multi bencana bencana banjir dan kekeringan yang rendah dengan luas 98895,76 km2. Bila ditinjau secara kabupaten/kota, wilayah dengan ancaman multi bencana tinggi terluas berada di Kabupaten Pulau Pisang dengan luas mencapai 4651,6 km2, sementara wilayah dengan ancaman multi bencana rendah terluas berada di Kabupaten Murung Raya dengan luas 22766 km2.

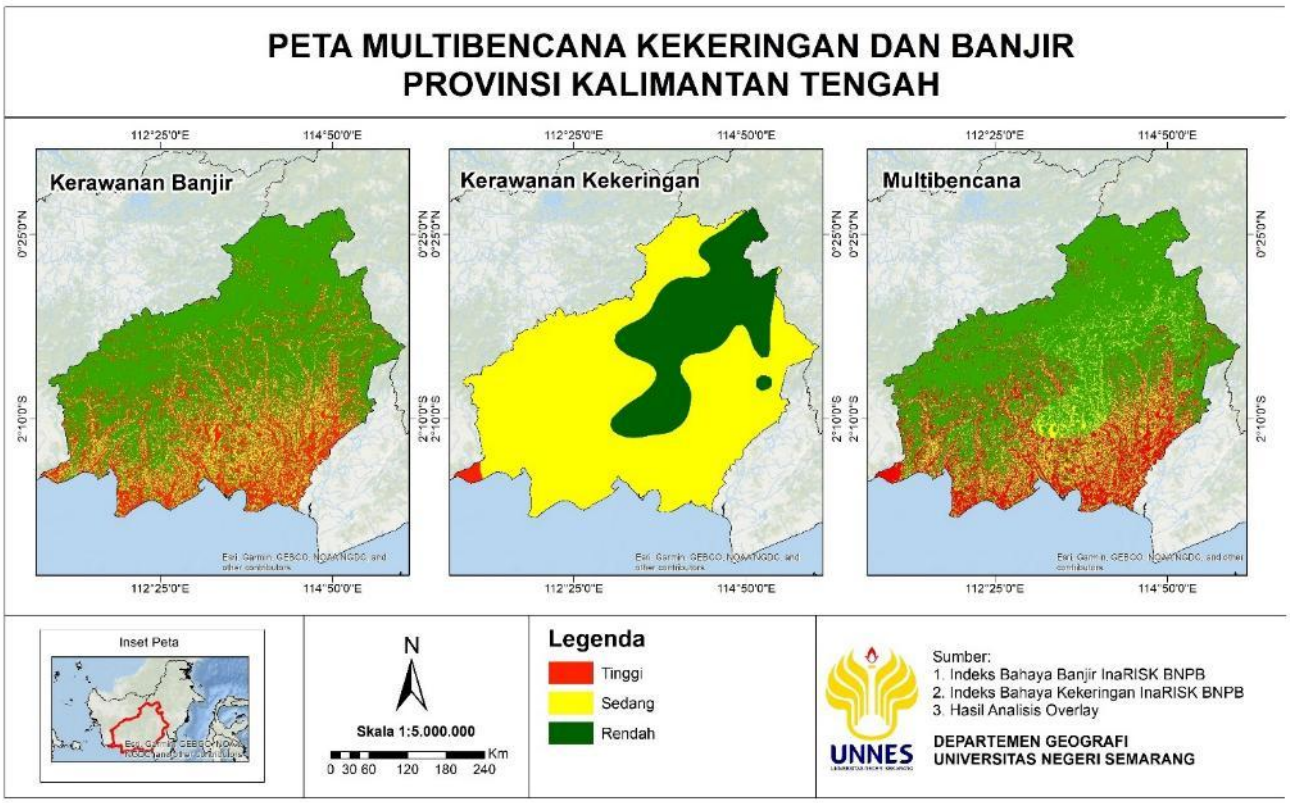
Diketahui bahwasannya daerah pesisir memiliki ancaman multi bencana yang lebih tinggi sesuai dengan Gambar 2 dan Tabel 3 yang menunjukkan luas kelas multi bahaya bencana banjir dan kekeringan pada daerah pesisir mulai dari Kabupaten Pulau Pisang dan Kabupaten Sukamara memiliki ancaman multi bencana yang dominan tinggi, semakin menjauh dari pesisir diketahui luas ancaman dominan menurun, dengan data luas ancaman multi bencana rendah mengelompok di wilayah tengah sampai utara.

Berdasarkan catatan empirik kejadian bencana banjir dan kekeringan yang terjadi di Provinsi Kalimantan Tengah selama kurun waktu 2015 - 2024, tercatat setidaknya telah terjadi 203 kejadian bencana banjir, dimana kejadian banjir terbanyak berada di tahun 2020 dengan total kejadian 64 kejadian bencana, sementara kejadian dengan frekuensi terendah terjadi pada tahun 2022 dengan 3 kejadian bencana. Sementara pada tahun 2024 sendiri tercatat telah terjadi 3 kejadian banjir. Selama kurun waktu tersebut tercatat setidaknya terdapat 229.888 jiwa yang menjadi korban dan 366 diantaranya mesti mengungsi. Sementara bila dilihat dari riwayat bencana kekeringan yang pernah terjadi di Provinsi Kalimantan Tengah, tercatat hanya terjadi satu kali di bulan Oktober 2023 selama kurun waktu 2015 - 2024 (Data Informasi Bencana Indonesia BNPB, 2024).

Data kejadian bencana banjir dan kekeringan pada diagram (1) diketahui kejadian tertinggi pada tahun 2020 tercatat 64 kejadian bencana banjir dan kekeringan, pada tahun berikutnya terus menurun hingga tahun 2024 tercatat 3 kejadian bencana banjir dalam 4 bulan awal tahun, jumlah ini setara dengan sepanjang tahun 2022, tidak menutup kemungkinan penambahan kejadian bencana banjir tahun 2024 karena kondisi iklim bumi yang bersifat dinamis ini.

Tabel 3. Luas wilayah multibencana banjir dan kekeringan menurut kabupaten/kota.

Kabupaten /Kota	Luas Kelas *Multi* Bencana (Km2)		
	Rendah	Sedang	Tinggi
Pulau Pisang	1744,58	3346,21	4651,6
Kapuas	9198,37	3590,75	4524,44
Barito Selatan	2611,85	1422,28	2375,85
Barito Timur	1767,71	455,23	785,66
Barito Utara	8226,66	893,96	800,22
Murung Raya	22766	897,58	244,20
Gunung Mas	8922,05	1002,93	182,75
Palangka Raya	1515,62	818,51	271,41
Katingan	12883,36	3542,49	3511,27
Kotawaringin Timur	8831,82	2884,38	4001,94
Seruyan	9347,3	2693,08	4629,43
Kotawaringin Barat	3938,34	1725,003	2731,27
Lamandau	5803,3	422,88	1111,42
Sukamara	1338,8	475,04	1474,66
Kalimantan Tengah	98895,76	24170,323	31295,3



Gambar 2. Peta multi bencana banjir dan kekeringan Provinsi Kalimantan Tengah.

Analisis Kesesuaian Lahan Pertanian Padi Sawah

Evaluasi lahan untuk menentukan kelas kesesuaian lahan didasarkan pada karakteristik lahan wilayah setempat seperti kondisi tanah, iklim dan topografi. Dengan menggunakan hukum minimum atau faktor pembatas memberikan pengaruh terbesar bagi pertumbuhan tanaman padi sawah.Kesesuaian lahan untuk pertanian dikenal dua macam evaluasi kesesuaian yaitu aktual dan potensial (Talahata *et al.*, 2023). Berdasarkan hasil evaluasi lahan yang telah di lakukan, di dapatkan beberapa kelas kesesuaian untuk tanaman padi sawah di Provinsi Kalimantan Tengah.

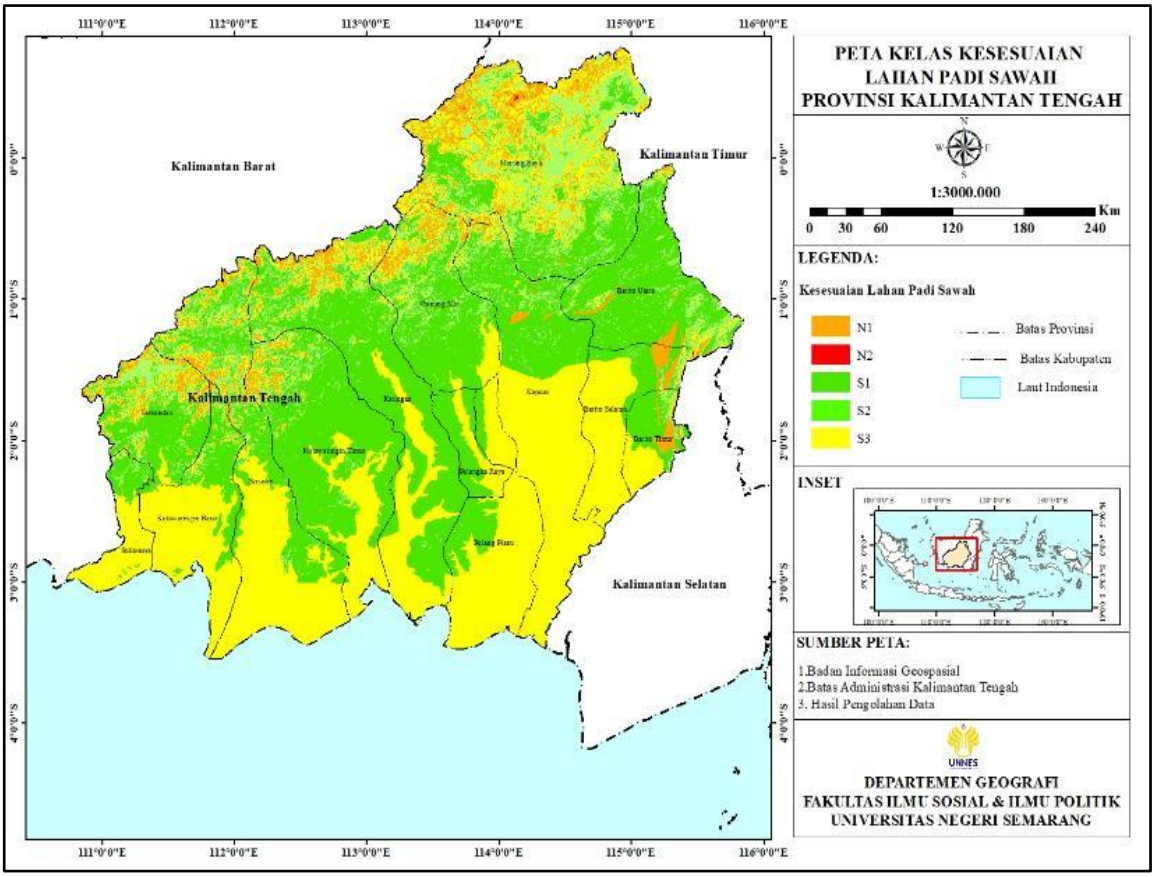
Tabel 4. Kelas klasifikasi padi sawah.

Kabupaten /Kota	Luas (Ha)				
	S1	S2	S3	N1	N2
Pulau Pisang	191492	1718	780859	0	0
Kapuas	546537	120852	1037219	29298	13
Barito Selatan	136673	22915	440572	42673	0
Barito Timur	140915	20796	105182	34947	10
Barito Utara	748867	163774	38803	44677	123
Murung Raya	583005	753432	649062	408898	2404
Gunung Mas	569750	194786	163938	83025	111
Palangka Raya	168223	1225	91187	0	0
Katingan	1080817	199189	552296	110308	298
Kotawaringin Timur	1003724	136433	384363	45482	57
Seruyan	479902	208737	889227	85035	72
Kotawaringin Barat	213098	35536	579769	9725	20
Lamandau	344126	178017	114645	95257	448
Sukamara	80794	16333	230329	780	0
Kalimantan Tengah	6287924	2053744	6057450	990105	3557

Kelas kesesuaian sangat sesuai (S1) untuk tanaman padi sawah sebesar 6287924 Ha dimana lahan ini tidak memiliki batasan yang signifikan untuk penggunaan yang berkelanjutan, atau hanya memiliki batasan yang kecil sehingga tidak berpengaruh secara nyata terhadap produktivitasnya

(BPPP-Litbang, 2011). Daerah dengan luas S1 terbesar yakni Kabupaten Katingan seluas 1080817 Ha atau 17 % dari luas total dan wilayah terkecil yakni Kabupaten Sukamara seluas 80794 Ha. Kelas Kesesuaian cukup sesuai (S2) memiliki luas 2053744 Ha dimana lahan memiliki faktor pembatas yang berpengaruh pada produktivitas. Diperlukan masukan untuk meningkatkan produktivitas lahan ini. Daerah dengan luas lahan S2 terbesar yakni Kabupaten Murung Raya seluas 753432 Ha atau 37% dari luas total dan wilayah terkecil yakni Kabupaten Palangkaraya seluas 1225 Ha. Kelas kesesuaian sesuai marginal (S3) memiliki luasan 6057450 Ha lahan dengan faktor pembatas yang sangat berat sehingga diperlukan masukan yang banyak karena faktor pembatas akan mengurangi produktivitas. Untuk mengatasi faktor pembatas pada lahan ini, diperlukan intervensi dari pemerintah atau swasta dengan modal yang tinggi. Daerah dengan luas lahan S3 paling besar yakni Kabupaten Kapuas 1037219 Ha atau 17 % dari luas total dan wilayah terkecil yakni Kabupaten Barito Utara 38803 Ha. Kelas kesesuaian tidak sesuai saat ini (N1) memiliki luasan 990105 Ha. Lahan ini memiliki pembatas yang sangat ketat, tetapi masih dapat diatasi, hanya saja memerlukan biaya yang tinggi. Lahan N1 hanya terdapat pada 12 wilayah di Kalimantan Tengah dimana dearah dengan luas lahan N1 terbesar yakni Kabupaten Murung Raya seluas 408898 Ha atau 41 % dari luas total dan wilayah terkecil yakni Kabupaten Sukamara seluas 780 Ha. Kelas kesesuaian tidak sesuai untuk selamanya (N2) memiliki luasan 3557 Ha. Lahan ini tidak mungkin digunakan secara berkelanjutan karena pembatasnya yang sangat berat. Lahan N2 hanya terdapat pada 10 wilayah dimana daerah dengan luasan terbesar yakni Kabupaten Murung Raya seluas 2404 Ha atau 68 % dari luas total dan wilayah terkecil yakni Kabupaten Barito Timur seluas 10 Ha.

Konsep pengembangan pertanian yang disebut *food estate* atau agropolitan mencakup pengelolaan lahan secara terintegrasi untuk meningkatkan produksi pangan dan komoditas pertanian lainnya. di Kalimantan Tengah, konsep ini telah diusulkan dan ditetapkan sebagai bagian dari upaya pemerintah untuk meningkatkan produksi pangan secara berkelanjutan. Salah satu lokasi rencana program *food estate* pertanian padi berada pada Kabupaten Pulang Pisau dan Kapuas. Tujuan pembangunan lahan pertanian *food estate* berfokus pada produksi padi, jagung, dan kedelai untuk meningkatkan ketahanan pangan nasional dan mendorong perekonomian lokal.



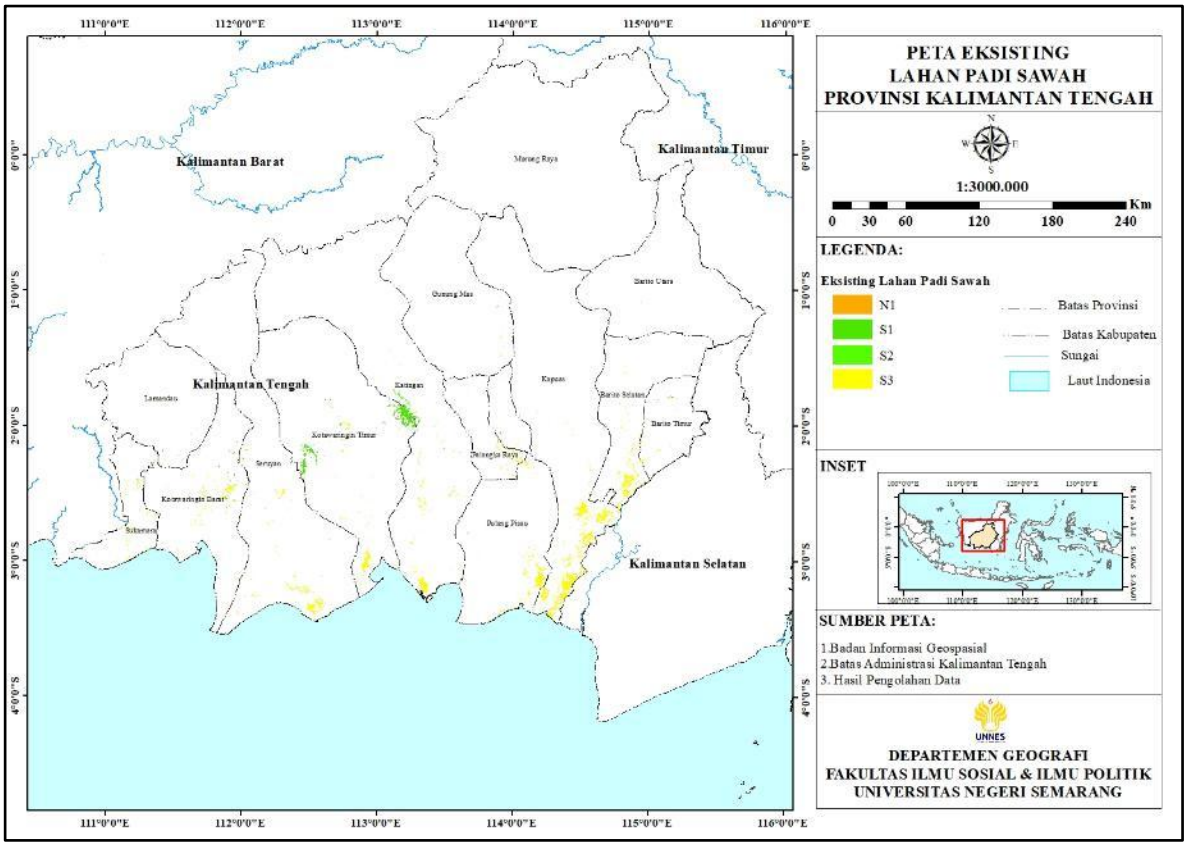
Gambar 3. Peta kelas kesesuaian lahan padi sawah Provinsi Kalimantan Tengah

Analisis *Overlay* Lahan Pertanian Eksisting dengan Kesesuaian Lahan dan Multi Bencana

Hasil analisis *overlay* memperlihatkan bagaimana kondisi lahan pertanian eksisting dalam tingkat kesesuaiannya terhadap lahan padi sawah dan kerawanannya terhadap bencana banjir dan kekeringan. Berdasarkan data MODIS Land Cover dan ESA World Cover tahun 2022, lahan pertanian eksisting di Kalimantan Tengah seluas ha yang tersebar di Kabupaten Sukamara, Kotawaringin Barat, Kotawaringin Timur, Seruyan, Katingan, Pulang Pisau, Palangka Raya, Kapuas, Barito Selatan, dan Barito Timur.

Tabel 5. *Overlay* lahan pertanian eksisting dengan kesesuaian lahan padi sawah.

Kabupaten/Kota	Kesesuaian Lahan Padi Sawah (Hektare)				
	S1	S2	S3	N1	Total
Barito Selatan	1,34	-	13144,78	-	13146,12
Barito Timur	544,76	14,47	1014,59	80,56	1573,82
Kapuas	296,13	7,31	48188,27	-	48491,71
Katingan	7256,84	76,28	10848,07	-	18181,20
Kotawaringin Barat	1177,01	30,04	6875,58	-	8082,63
Kotawaringin Timur	18363,10	616,28	7902,36	-	26881,75
Palangka Raya	225,94	6,61	2907,27	-	3139,82
Pulang Pisau	143,66	-	12266,56	-	12410,22
Seruyan	225,22	38,04	12532,84	-	12796,10
Sukamara	53,59	2,51	3584,85	-	3640,95
Total	28287,59	791,54	119265,17	80,56	



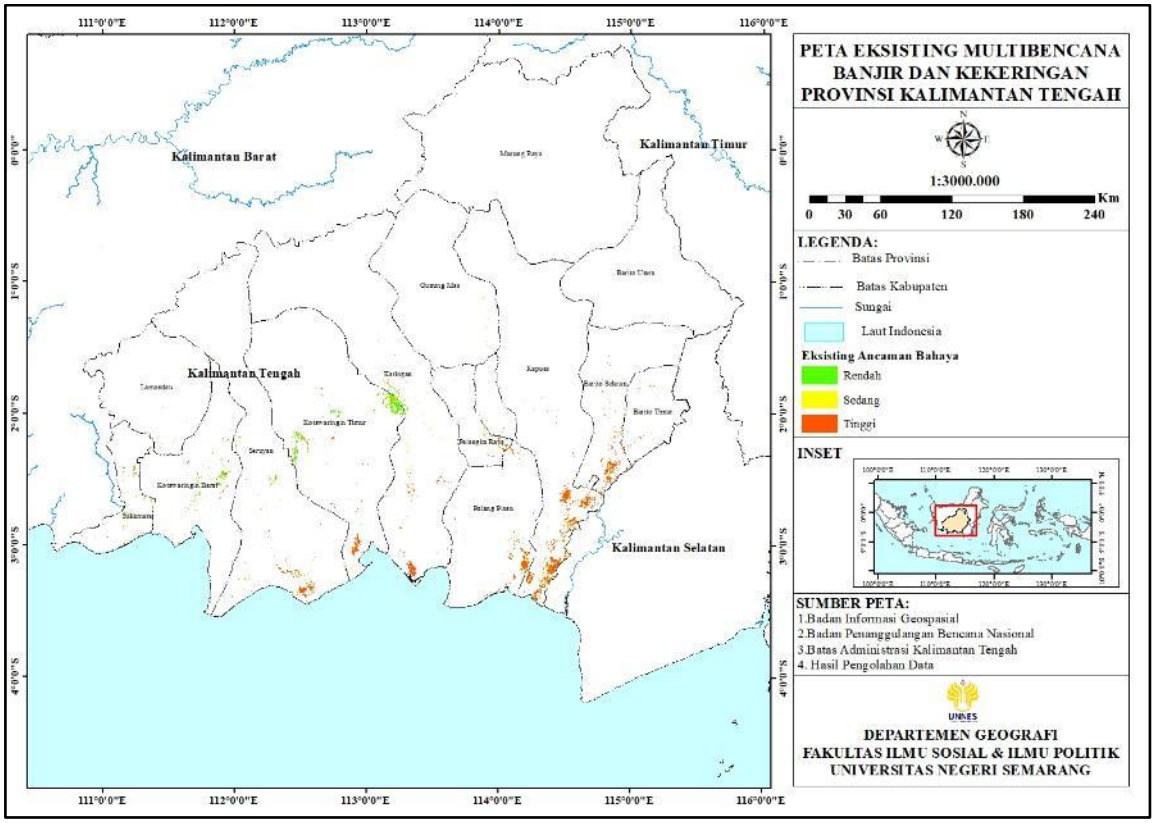
Gambar 4. Peta *overlay* eksisting lahan pertanian terhadap kesesuaian lahan padi sawah Provinsi Kalimantan Tengah.

Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 5, luas kesesuaian lahan pada pertanian eksisting paling banyak pada lahan S3 seluas 28287,99 ha disusul dengan luas lahan S1 dengan luasan 28287,59 ha, luas lahan S2 dengan luasan 791,54 ha, dan luas lahan N1 seluas 80,56 ha. Kabupaten yang memiliki luas lahan S1 terbanyak pada Kotawaringin Timur seluas 18363,10 ha dimana lokasi ini sangat

potensial untuk dikembangkan karena memiliki lahan yang sangat sesuai. Sedangkan, daerah yang direncanakan sebagai *food estate* tanaman padi yakni Kabupaten Pulang Pisau dan Kapuas didominasi oleh lahan S3 masing-masing seluas 12266,56 ha dan 48188,27 ha. Lahan S3 ini masih memiliki potensi untuk dikembangkan tetapi memerlukan aksi yang optimal untuk mengurangi faktor pembatas yang ada pada lahan S3 ini. Meski demikian, Kedua kabupaten tersebut masih terdapat lahan S1 masing-masing seluas 143,66 ha dan 296,13 ha dan lahan S2 pada Kabupaten Kapuas seluas 7,31 ha.

Tabel 6. *Overlay* lahan pertanian eksisting dengan tingkat multi bencana.

Kabupaten/Kota	Tingkat Multi Bencana (Hektare)			
	Rendah	Sedang	Tinggi	Total
Barito Selatan	122,22	1435,63	11500,42	13058,27
Barito Timur	81,27	73,93	1488,11	1643,31
Kapuas	693,12	7875,11	39599,73	48167,96
Katingan	5392,96	3567,43	9099,33	18059,72
Kotawaringin Barat	4787,30	1041,11	2200,22	8028,63
Kotawaringin Timur	14491,27	3986,42	8224,39	26702,08
Palangka Raya	357,59	924,11	1837,14	3118,83
Pulang Pisau	445,56	2198,71	9673,40	12317,67
Seruyan	1457,33	1648,13	9605,24	12710,69
Sukamara	1397,01	518,53	1698,26	3613,80
Total	29225,63	23269,10	94926,23	



Gambar 5. Peta *overlay* lahan pertanian eksisting dengan multi bencana banjir dan kekeringan.

Hasil *overlay* lahan pertanian eksisting dengan multi bencana menunjukkan paling banyak luas lahan pertanian yang berada pada kelas tinggi seluas 94926,23 ha disusul dengan kelas rendah sebesar 29225,63 ha dan kelas rendah sebesar 23269,10 ha. Berdasarkan Gambar 6 dan Tabel 6, daerah yang memiliki luas kelas multi bencana rendah berada pada Kotawaringin Timur seluas 14491,27 ha disusul dengan Kotawaringin Barat dan Katingan masing-masing seluas 4787,30 ha dan 5392,96 ha. Sedangkan, pada Kabupaten Pulang Pisau dan Kapuas masing-masing didominasi oleh

lahan dengan tingkat multi bencana tinggi masing-masing seluas 9673,40 ha dan 39599,73 ha. Hal ini menunjukkan kedua kabupaten ini terletak pada daerah yang rawan bencana banjir. Dilansir laman berita dan Kompas.com (2021), lahan *food estate* pada Kabupaten Pulang Pisau dan Kapuas mengalami banjir sehingga menyebabkan petani mengundur masa tanam padi. Tentu, hal ini berdampak pada hasil panen yang dihasilkan. Apabila bencana banjir yang terjadi pada daerah rencana *food estate* tidak segera ditangani memungkinkan terjadinya gagal panen sehingga memengaruhi ketersediaan stok beras. Dengan demikian, program *food estate* yang diselenggarakan di Provinsi Kalimantan Tengah dapat diikatakan berjalan dengan kurang optimal.

Tabel 7. *Overlay* kesesuaian lahan pertanian dengan tingkat multi bencana

Kelas Multi Bencana	Kesesuaian Lahan Pertanian (Hektare)			
	S1	S2	S3	N1
Rendah	18850,56	594,65	10030,81	3,81
Sedang	5191,07	96,88	18423,51	0,62
Tinggi	4419,65	119,91	90657,37	75,59

Berdasarkan Tabel 7, luas lahan S1 paling banyak berada pada lahan dengan multi bencana rendah seluas 18850,56 ha. Hal ini berdampak baik bagi keberlangsungan program *food estate* komoditas padi sawah karena ditanam pada lahan sangat sesuai dan paling minim resiko bencana banjir dan kekeringan. Sedangkan, luas lahan S2 juga paling banyak pada kelas multi bencana rendah seluas 594,65 ha. Namun, pada lahan S3 paling banyak berada pada kelas multi bencana tinggi seluas 90657,37 ha. Hal ini tentu menjadi perhatian bagi pemerintah dalam menyelenggarakan upaya mitigasi kebencanaan dalam menghadapi bencana banjir. Apalagi kelas multi bencana tinggi berlokasi pada daerah yang direncanakan sebagai program *food estate* yakni Pulang Pisau dan Kapuas. Upaya dan langkah strategis yang tepat sangat diperlukan dalam penanggulangan bencana banjir dan kekeringan terutama yang terjadi pada daerah program *food estate* sehingga dapat mengurangi potensi gagal panen yang ditimbulkan. di samping itu, eksplorasi daerah potensial yang dapat dijadikan program *food estate* juga diperlukan terutama memilih lokasi yang tepat yakni daerah dengan lahan yang sangat sesuai serta potensi multi bencana banjir dan kekeringan yang rendah mungkin dapat menjadi opsi untuk kebijakan program *food estate di* masa depan.

KESIMPULAN

Pemetaan *multi* bahaya bencana banjir dan tanah longsor di Kalimantan Tengah yakni memuat kelas ancaman rendah seluas 98895,76 km2 atau 64% dari luas total, dominan berada pada wilayah utara dari Provinsi Kalimantan Tengah. Kelas ancaman sedang seluas 24170,32 km2 atau 16% dari luas total, dominan berada pada bagian tengah mendekati pesisir. Kelas ancaman tinggi seluas 31295,3 km2 atau 20% dari luas total, dominan berada pada bagian selatan yakni wilayah pesisir. Adapun hasil analisis kesesuaian lahan menunjukkan luas lahan S1 sebesar 6287924 ha, lahan S2 2053744 ha, lahan S3 sebesar 6057450 ha, lahan N1 sebesar 990105 ha, dan lahan N2 sebesar 3557 ha. Daerah yang direncanakan program *food estate* Provinsi Kalimantan Tengah yakni Kabupaten Pulang Pisau dan Kapuas terletak pada lahan yang didominasi kesesuaian S3 yakni lahan yang memerlukan masukan atau aksi untuk meningkatkan produktivitas lahan serta terletak pada daerah yang rawan bencana banjir.

Penelitian ini dapat dikatakan masih jauh dari hasil yang diharapkan. Saran dari kami pada penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan data parameter yang sesuai dengan kondisi aslinya seperti data hasil pengamatan langsung di lapangan serta menggunakan data lahan pertanian eksisting yang benar-benar digunakan sebagai pertanian padi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) yang telah memberikan akses data yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian ini. Kontribusi data yang diberikan menjadi fondasi utama dalam analisis yang dilakukan. Penulis juga menyampaikan penghargaan yang

tulus kepada semua pihak serta tim yang telah turut serta dalam mendukung dan memfasilitasi penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

Ardiansyah, W., Nuarsa, I. W., & Bhayunagiri, I. B. P. (2021). Analisis Daerah Rawan Bencana Kekeringan Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Bondowoso Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika. 10*(4), 417-427. ISSN:2301-6515.

Astuti, A. F., & Sudarsono, H. (2020). Analisis Penanggulangan Banjir Sungai Kanci. *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur*, *7*(3), 163-170. DOI: http://dx.doi.org/10.33603/jki.v7i3.3893

Baringbing, M. S. (2021). Problematika Lingkungan Terhadap Regulasi Food Estate Sebagai Program Strategis Nasional di Desa Gunung Mas & Pulang Pisau Kalimantan Tengah. Proceeding of *Seminar Nasional Hukum*. Vol.1. Universitas Negeri Semarang. Semarang

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024). *Data Informasi Bencana Indonesia.* Jakarta: BNPB

BPPP Litbang. (2011). *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*. Bogor: BPPP Litbang

Daniel, W. (2023). *Strategi Badan Penanggulangan Bencana Daerah dalam Mitigasi Bencana Banjir di Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah*. Disertasi. IPDN. Sumedang. 8 hlm.

Fikriansyah, Z., & Julia, A. (2023). Faktor Penentu Keputusan Masyarakat Menjadi Pekerja Migran Indonesia. *Jurnal Riset Ilmu Ekonomi dan Bisnis*, *3*(1), 25-32. DOI: https://doi.org/10.29313/jrieb.v3i1.1889

Gai, L., Baartman, J. E. M., Mendoza-Carranza, M., Wang, F., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2018). A framework approach for unravelling the impact of multiple factors influencing flooding. *Journal of Flood Risk Management*, *11*(2), 111-126.

Kalantari Oskuei, A., Modiri, M., Alesheikh, A., & Hosnavi, R. (2015). Providing a framework for risk assessment in Geographic Information Systems (GIS) and Corporate Spatial Data Infrastructure (SDI) based on fuzzy logic. *Emergency Management*, *3*, 31-44. DOI: https://doi.org/10.1111/jfr3.12310

Kompas.com. (2021). Petani Kawasan "*Food Estate*" di Kalteng Terkendala Banjir. Retrieved from https://www.kompas.id/baca/nusantara/2021/12/14/petani-kawasan-food-estate-di-kalteng-terkendala-banjir [30 Maret 2024]

Lasaiba, M. (2023). Analisis Multikriteria Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) terhadap Bahaya dan Resiko Banjir di Kecamatan Sirimau Kota Ambon. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, *4*(2), 77-90. DOI: https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.unila.146

Mashudi, I., Anwar, M., & Adji, F. F. (2021). Pemanfaatan Data Satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Untuk Pemetaan Zona Agroklimat Neraca Air Lahan di Kalimantan Tengah. *Journal of Environment and Management*, *2*(1), 11-25. DOI: https://doi.org/10.37304/jem.v2i1.2655

Orimoloye, I. R., Belle, J. A., Orimoloye, Y. M., Olusola, A. O., & Ololade, O. O. (2022). Drought: A common environmental disaster. *Atmosphere*, *13*(1), 111. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos13010111

Putra, I. P., Neneng, N., & Megawaty, D. A. (2023). Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Desa Way Muli Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak*, *4*(1), 67-73. DOI: https://doi.org/10.33365/jatika.v4i1.2467

Rasman, A., Theresia, E. S., & Aginda, M. F. (2023). Analisis implementasi program food estate sebagai solusi ketahanan pangan Indonesia. *Holistic: Journal of Tropical Agriculture Sciences*, *1*(1), 36-68. DOI: https://doi.org/10.61511/hjtas.v1i1.2023.183

Talahata, M. M., Rustiawati, Y., & Djamaluddin, I. (2023). Evaluasi Kesesuaian Lahan Untuk Pengembangan Peternakan Pusat Perbibitan Tandos Desa Bumi Beringin Kecamatan Luwuk Utara. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Pertanian*, *3*(3), 380-388. DOI: https://doi.org/10.52045/jimfp.v3i3.590

Usop, S. R., & Octora, M. (2023). Fleksibilitas Kultural Petani dalam Pengembangan Food Estate Berbasis Korporasi di Kalimantan Tengah. *Prosiding Konferensi Nasional Sosiologi (PKNS)*, *1*(1), 370-374.

Yasa, I. W., Setiawan, A., NEGARA, I. D. G. J., Saidah, H., & Dirgantara, A. H. (2023). Sebaran Kekeringan Hidrologi Berdasarkan Debit Aliran di Kabupaten Bima. *GANEC SWARA*, *17*(1), 72-80. DOI: https://doi.org/10.35327/gara.v17i1.371

Halaman ini sengaja dikosongkan.

SUBTEMA 5:

Pengelolaan Pangan, Air, dan Energi untuk Pembangunan Berkelanjutan

(Food, Water, and Energy Management for Sustainable Development)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

IDENTIFIKASI KESESUAIAN LOKASI EMBUNG UNTUK KEPERLUAN PERTANIAN

Studi Kasus: Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung

(Identification of The Suitability of The Retention Basin Location for Agricultural Purpose Case Study: West Lampung, Lampung Province)

Naila Azhaar Sumarna, Bambang Riadi, Bebas Purnawan
Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan

Jl. Pakuan, Kota Bogor, Jawa Barat, 16143, Indonesia
Email: azhaarnailas@gmail.com

ABSTRAK

Umumnya kekeringan terjadi ketika musim kemarau dengan skala waktu yang sangat lama. Kondisi alam tersebut menyebabkan curah hujan di bawah batas normal di suatu daerah. Kejadian ini disebut kekeringan meteorologis yang merupakan proses awal terjadinya kekeringan. Tahap selanjutnya adalah berkurangnya kondisi air tanah yang menyebabkan stres pada tanaman (terjadi kekeringan pertanian), kemudian kekurangan pasokan air permukaan dan air tanah yang ditandai dengan menurunnya tinggi muka air sungai ataupun danau (terjadinya kekeringan hidrologis). Upaya yang dapat dilakukan untuk memenuhi kekurangan air tersebut salah satunya yaitu dengan pembuatan embung yang berfungsi sebagai penampungan air hujan dan aliran permukaan (*run off*) pada wilayah sekitarnya, dan dapat digunakan sebagai sumber air di musim kemarau. Menurut data Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura (TPH) Kabupaten Lampung Barat, terdapat 497,8 hektar lahan pertanian berisiko mengalami kekeringan pada musim kemarau tahun 2023. Ratusan hektar lahan tersebut tersebar di 8 kecamatan, yakni Kecamatan Suoh 117,8 hektar, Kecamatan Lumbok Seminung 5,5 hektar, Kecamatan Bandarnegeri Suoh 335 hektar, Kecamatan Air Hitam 4,25 hektar, Kecamatan Sumberjaya 2,5 hektar, Kecamatan Batu Brak 9,75 hektar, Kecamatan Pagar Dewa 20 hektar, dan Kecamatan Batu Ketulis 3 hektar. Hasil penelitian ini juga ditampilkan melalui WebGIS dengan menggunakan format data GeoJSON. Tujuan pembuatan peta WebGIS untuk identifikasi kesesuaian lokasi embung menggunakan data GeoJSON dapat dimanfaatkan untuk tindakan mitigasi dini sebagai upaya penanggulangan kekeringan di area pertanian Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung.

Kata Kunci: pertanian, embung, analisis *weighted overlay*, WebGIS, GeoJSON

ABSTRACT

Generally, drought occurs during the dry season on a very long time scale. These natural conditions result in below-average rainfall in the area. This is known as a meteorological drought, the initial stage of drought. The next stage is a reduction in groundwater conditions, causing stress on plants (agricultural drought). Subsequently, a shortage of surface and groundwater supplies, characterized by decreased river or lake water levels leads to a hydrological drought. One of the efforts that can be made to meet the water shortage is by creating a retention basin as a reservoir for rainwater and runoff in the surrounding area, and can be used as a water source in the dry season. According to data from the West Lampung Food Crops and Horticulture Service (TPH), there are 497.8 hectares of agricultural land at risk of experiencing drought in the dry season in 2023. Hundreds of hectares of land are spread across 8 sub-districts, namely Suoh 117.8 hectares, Lumbok Seminung 5.5 hectares, Bandarnegeri Suoh 335 hectares, Air Hitam 4.25 hectares, Sumberjaya 2.5 hectares, Batu Brak 9.75 hectares, Pagar Dewa 20 hectares, and Batu Ketulis 3 hectares. The results of this research are also displayed via WebGIS using the GeoJSON data format. The aim of creating a WebGIS map is to identify the suitability of retention basin locations using GeoJSON data, which can be used for early mitigation measures as an effort to overcome drought in the agricultural area of West Lampung, Lampung Province.

***Keywords**: agriculture, retention basin, weighted overlay analysis, WebGIS, GeoJSON*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya air yang tinggi, namun sumber daya air tersebut tidak merata di seluruh daerah, hal ini menyebabkan beberapa daerah memiliki sumber daya air yang berlimpah dan di daerah lain kekurangan sumber daya air. Terjadinya perubahan iklim karena pemanasan global daerah yang awalnya memiliki sumber daya berlimpah, berpotensi menjadi daerah yang kekurangan sumber daya air dan terjadi kekeringan (Muliawan, 2015).

Kekeringan adalah salah satu fenomena sebagai dampak sirkulasi musiman yang terjadi setiap tahunnya. Selain itu, alih fungsi lahan yang terjadi di hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) juga menjadi faktor penyebab terjadinya kekeringan. Air hujan yang seharusnya meresap ke dalam tanah untuk mengisi cadangan air tanah, langsung melimpas menjadi aliran permukaan dan mengalir ke sungai karena pori-pori tanah telah tertutup oleh bangunan yang ada di atasnya. Hal inilah yang mengakibatkan sering terjadinya kekurangan air pada musim kemarau (Ardiputro *et al.*, 2016).

Pada umumnya kekeringan terjadi ketika musim kemarau datang, curah hujan di bawah batas normal pada suatu daerah kekeringan meteorologis yang merupakan proses awal terjadinya kekeringan. Disusul berkurangnya kondisi air tanah yang menyebabkan stres pada tanaman (terjadi kekeringan pertanian), karena kekurangan pasokan air permukaan dan air tanah yang ditandai menurunnya tinggi muka air sungai ataupun danau (terjadinya kekeringan hidrologis) (Ambarwati, 2016).

Menurut data Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura (TPH) Lampung Barat, terdapat 497,8 hektar lahan pertanian berisiko mengalami kekeringan pada musim kemarau tahun 2023. Ratusan hektar lahan tersebut tersebar di 8 kecamatan, yakni Kecamatan Suoh 117,8 hektar, Kecamatan Lumbok Seminung 5,5 hektar, Kecamatan Bandarnegeri Suoh 335 hektar, Kecamatan Air Hitam 4,25 hektar, Kecamatan Sumber Jaya 2,5 hektar, Kecamatan Batu Brak 9,75 hektar, Kecamatan Pagar Dewa 20 hektar, dan Kecamatan Batu Ketulis 3 hektar (Eliyah, 2023).

Upaya yang dapat dilakukan untuk memenuhi kekurangan air tersebut salah satunya yaitu dengan pembuatan embung yang berfungsi sebagai pengelolaan sumber daya air dan pengembangan sumber air yang berkelanjutan guna memenuhi kebutuhan air irigasi pertanian (BAPPEDA Kabupaten Kebumen, 2021). Embung didefinisikan sebagai bangunan konservasi air berbentuk kolam/cekungan untuk menampung air limpasan serta sumber air lainnya untuk memenuhi berbagai kebutuhan air dengan volume tampungan 500 m^3 sampai 3.000 m^3, dan kedalaman dari dasar hingga puncak tanggul maksimal 3 m (PUPR, 2018).

Tujuan Penelitian di antaranya untuk mengidentifikasi informasi kesesuaian lokasi embung untuk keperluan pertanian di Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung, dan menyusun WebGIS untuk menampilkan informasi kesesuaian lokasi embung hasil identifikasi untuk keperluan pertanian di Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung.

METODE

Alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat Keras *(Hardware)*
   (a) Laptop Asus X543UB,
   (b) Mouse,
   (c) Flashdisk.
2. Perangkat Lunak *(Software)*
   a. *Software* ArcGis 10.3 digunakan untuk pengolahan data proses analisis.
   b. Notepad++ digunakan untuk membangun *script* HTML dan CSS dalam pembuatan *server web*.
   c. *Software* QGIS 3.16.2 digunakan untuk proses penyajian data GeoJSON.
   d. *Software* WAMPServer digunakan untuk menampilkan peta dalam *web*.
   e. Microsoft Word digunakan untuk pembuatan laporan penelitian.

Berikut adalah lokasi penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Data *shapefile* yang digunakan untuk analisis *weighted overlay di* antaranya:

Tabel 27. Jenis dan sumber data penelitian.

Jenis Data	Tahun	Sumber Data
Curah hujan se-Indonesia	2023	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)
Tekstur tanah Provinsi Lampung	2019	Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD)
Kelerengan Kabupaten Lampung Barat	2018	Badan Informasi Geospasial (BIG)
Tutupan lahan Provinsi Lampung	2019	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
Aliran sungai Kabupaten Lampung Barat	2018	Badan Informasi Geospasial (BIG)
Peta Dasar Batas Administrasi	2022	https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/download/perwilayah
Peta Dasar Lahan Pertanian		

Tahap yang dilakukan dalam penelitian ini ialah persiapan, pengumpulan data, penyiapan data, pengolahan data serta hasil penelitian. **Gambar 2 di** bawah ini merupakan diagram alir penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Metode Analisis *Weighted Overlay*

Metode *weighted overlay* merupakan analisis spasial yang menggunakan teknik *overlay* beberapa peta yang berhubungan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi penilaian kerentanan. Salah satu kegunaan dari *weighted overlay* ini adalah untuk memecahkan masalah multi-kriteria seperti pemilihan lokasi yang optimal atau pemodelan kesesuaian. Pada metode *weighted overlay*, semua data vektor dikonversi menjadi data *raster*. Setiap *raster* yang dimasukkan diberi bobot tertimbang berdasarkan kepentingannya ataupun digambarkan melalui persentasenya. Jumlah persentase pengaruh bobot mencapai 100. Apabila mengubah skala evaluasi atau pengaruh persentase dapat mengubah hasil dari analisis *weighted* (Adininggar *et al.*, 2016).

Weighted overlay juga merupakan salah satu alat analisis *overlay* dalam ArcGIS dengan *extension spatial analysis*. Masing-masing kriteria yang dibutuhkan kemudian diberi bobot dan skor sesuai dengan kondisi di lapangan, skor terendah ialah satu (sangat tidak sesuai) dan skor tertinggi ialah lima (sangat sesuai). Pada analisis *weighted overlay*, data yang digunakan format data raster. Sehingga semua peta dikonversi dari format vektor menjadi format *raster* dengan penjumlahan antara bobot dan skor untuk semua kriteria dilakukan pada ArcGIS (Hermawan *et al.*, 2020).

Analisis Data

Pengumpulan Data

Penyiapan data yang diperlukan yaitu data batas administrasi dan pertanian (sawah), peta curah hujan, data tekstur tanah, kelerengan, tutupan lahan, dan data aliran sungai.

Pengelolaan Data

Pengelolaan data dilakukan untuk menyiapkan data yang akan digunakan untuk pengidentifikasian data dan proses analisis *weighted overlay*. Data curah hujan, data tekstur tanah, data tutupan lahan, data jarak dari sungai, dan data kelerengan diberi nilai sesuai klasifikasi Indeks Kesesuaian Iklim (IKL) (**Tabel 2**), Indeks Fisik Permukaan (IFP) (**Tabel 3**, **Tabel 4**, **dan Tabel 6**), dan Indeks Indikator Vegetasi (IVI) (**Tabel 5**).

Tabel 2. Nilai klasifikasi curah hujan.

Curah Hujan (mm/tahun)	*Nilai IKL*	*Kategori*
< 1000	1	Tidak Sesuai
1000 - 2000	2	Sesuai Bersyarat
2000 - 2500	3	Cukup Sesuai
2500 - 3000	4	Sesuai
>3000	5	Sangat Sesuai

Sumber: Santikayasa et al. (2021)

Tabel 3. Nilai klasifikasi tekstur tanah.

Tekstur Tanah	*Nilai IFP*	*Kategori*
Other Class	1	Tidak Sesuai
Sandy Clay Loam dan Sandy Loam	2	Sesuai Bersyarat
Sandy Clay	3	Cukup Sesuai
Silty Clay/Clay Loam	4	Sesuai
Clay	5	Sangat Sesuai

Sumber: Santikayasa et al. (2021)

Tabel 4. Nilai klasifikasi jarak dari sungai.

Jarak dari Sungai	Nilai IFP	Kategori
>500	1	Tidak Sesuai
350 - 500	2	Sesuai Bersyarat
250 – 350	3	Cukup Sesuai
125 – 250	4	Sesuai
<125	5	Sangat Sesuai

Sumber: Santikayasa et al. (2021)

Tabel 5. Nilai klasifikasi tutupan lahan.

Kategori Tutupan Lahan	Nilai IVI	Kategori
Vegetasi Hutan	1	Tidak Sesuai
Pohon Terbuka dengan Semak	2	Sesuai Bersyarat
Semak Terbuka dengan Pohon Menyebar	3	Cukup Sesuai
Semak Belukar	4	Sesuai
Area Pertanian/Terbangun	5	Sangat Sesuai

Sumber: Santikayasa et al. (2021)

Tabel 6. Klasifikasi nilai kelerengan.

Kelerengan (derajat)	Nilai IFP	Kategori
>30	1	Tidak Sesuai
18 - 30	2	Sesuai Bersyarat
10 - 18	3	Cukup Sesuai
5 - 10	4	Sesuai
<5	5	Sangat Sesuai

Sumber: Santikayasa et al. (2021)

Analisis Weigted Overlay

Analisis *weighted overlay* dengan menggunakan *software* ArcGIS. Masing-masing kriteria yang dibutuhkan kemudian diberi nilai sesuai dengan kondisi ekstisting di lapangan, nilai terendah ialah satu (sangat tidak sesuai) dan nilai tertinggi ialah lima (sangat sesuai). Pada analisis *weighted overlay*, data yang digunakan adalah data raster. Data-data yang sudah diubah menjadi raster kemudian akan diproses dengan *tool weighted overlay* (*spatial analyst*). Klasifikasi bobot data (lihat **Tabel 7**).

Tabel 7. Klasifikasi bobot data untuk input %influence.

Raster	% Influence
Data Curah Hujan	15
Data Tekstur tanah	15
Data Kelerengan	30
Data Jarak dari Sungai	15
Data Tutupan Lahan	25
	100

Sumber: Hermawan et al. (2020) dengan modifikasi

Terdapat modifikasi pada nilai bobot data berdasarkan referensi di atas. Hal itu dikarenakan pada referensi, perencanaan embung dibuat di daerah perkotaan sehingga data kedekatan dengan jalan juga dimasukkan ke dalam klasifikasi bobot data. Sedangkan penelitian ini dilakukan untuk keperluan pertanian, sehingga nilai bobot data kedekatan dengan jalan dialihkan pada nilai bobot jarak dari sungai yang sebelumnya bernilai 10% menjadi 15%.

Menurut (PUPR, 2018), untuk meminimalkan kehilangan air dan menghindari kebutuhan jaringan pipa yang terlalu panjang, embung harus dibangun sedekat mungkin dengan sumber air dan lahan pertanian. Air limpasan yang diperlukan untuk embung dipasok oleh jaringan sungai, ketika hubungan aliran adalah anak sungai di hulu dan aliran utama di hilir, tingkat jaringan sungai yang berbeda menunjukkan jumlah air limpasan yang berbeda-beda. Ketinggian sungai (jika dihubungkan dengan data kelerengan), menunjukkan kapasitas pengangkutan air dan merupakan salah satu faktor kunci dalam memilih lokasi embung. di satu sisi, jaringan sungai berfungsi sebagai saluran yang mengalirkan air, yang diperlukan untuk pembangunan embung (Dai, 2016).

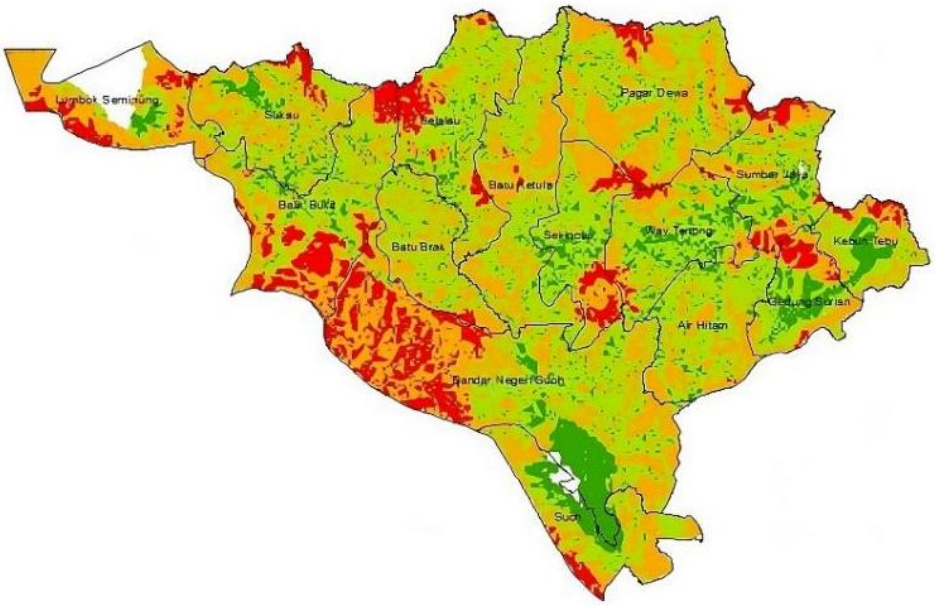
Penyusunan Peta WebGIS

Peta WebGIS dibuat untuk menampilkan peta sawah, peta curah hujan, peta kelerengan, peta tekstur tanah, peta tutupan lahan, dan peta jarak dari sungai ke dalam sebuah *web*. Tahapan pembuatan peta WebGIS: mengubah format data *shapefile* menjadi GeoJSON pada *software* QGIS, membuat *layout* peta menggunakan CSS dan HTML. Data HTML yang telah dibuat

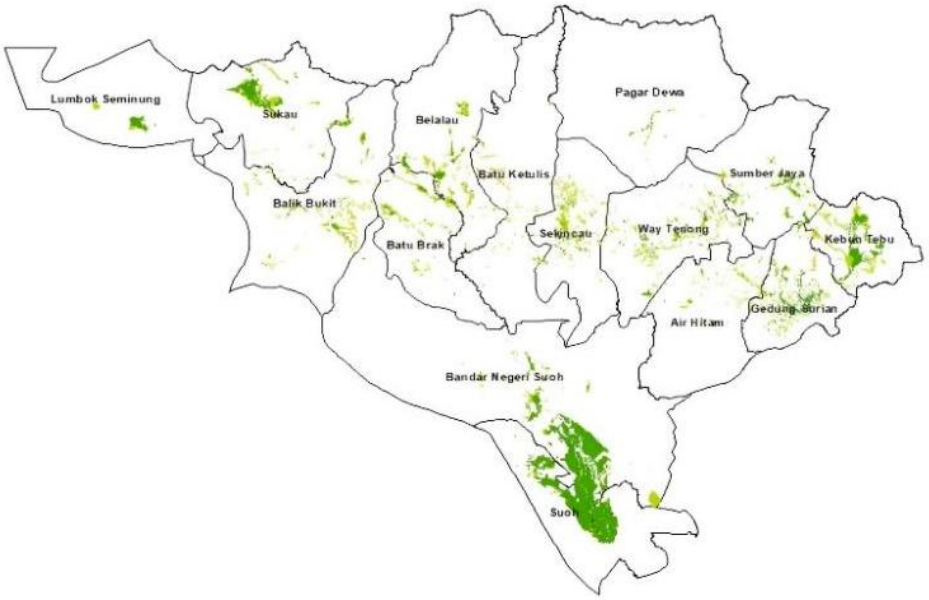
kemudian diunggah ke dalam Netlify dan dapat diakses pada halaman *browser Google Chrome* dengan URL: https://bit.ly/embung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses *clip* dilakukan untuk mengetahui wilayah mana saja yang terdapat lahan pertanian yang sesuai untuk pembuatan embung berdasarkan analisis *weighted overlay* sebelumnya (**Gambar 3**). Analisis terhadap pertanian ini akan dibagi terhadap AGRISAWAH_AR_50K (**Gambar 4**).



Gambar 3. Tampilan hasil analisis *weighted overlay* sebelum di-*clip* berdasarkan lahan pertanian.



Gambar 4. Tampilan hasil analisis weighted overlay setelah di-*clip* berdasarkan lahan pertanian sawah.

Tampilan *layer* tema peta ditampilkan dalam bentuk *web* atau *WebGIS*. *WebGIS* terbentuk dari proses pembuatan HTML dan CSS. Pada tampilan menu *layer* terdiri dari 6 tema, yaitu: peta sawah (**Gambar 5**), peta curah hujan (**Gambar 6**), peta tekstur tanah (**Gambar 7**), peta kelerengan (**Gambar 8**), peta jarak dari sungai (**Gambar 9**), dan peta tutupan lahan (**Gambar 10**). Untuk menu peta ditampilkan per *layer* secara bergantian, sehingga tidak terjadi penumpukan *layer*. Berikut ialah tampilan *layer* peta sesuai dengan tema petanya:



Gambar 5. Tampilan peta sawah beserta legenda.



Gambar 6. Tampilan peta curah hujan beserta legenda.



Gambar 7. Tampilan peta tekstur tanah beserta legenda.



Gambar 8. Tampilan peta kelerengan beserta legenda.



Gambar 9. Tampilan peta jarak dari sungai beserta legenda.



Gambar 10. Tampilan peta tutupan lahan beserta legenda.

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah hasil proses analisis *weighted overlay* terhadap keperluan pertanian (sawah) di Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung dalam format SHP dan dikonversi menjadi GeoJSON untuk ditampilkan pada WebGIS. Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung memiliki luas 106,88 km^2 pada data sawah. Kategori sangat sesuai memiliki luas 62,63 km^2 (58,60% dari total luas sawah), dan kategori sesuai memiliki luas 38,91 km^2 (36,40% dari total luas sawah).

Tabel 8. Luas kesesuaian pada data sawah.

Kecamatan	Kategori	Luas Area (km^2)	Persentase (%)
Air Hitam	Sangat Sesuai	0,31	0,29%
	Sesuai	1,80	1,68%
Balik Bukit	Sangat Sesuai	1,67	1,56%
	Sesuai	3,73	3,49%
Bandar Negeri Suoh	Sangat Sesuai	25,36	23,73%
	Sesuai	2,82	2,64%
Batu Brak	Sangat Sesuai	1,11	1,04%
	Sesuai	2,87	2,68%
Batu Ketulis	Sangat Sesuai	0,24	0,22%
	Sesuai	1,48	1,39%
Belalau	Sangat Sesuai	1,91	1,78%
	Sesuai	3,33	3.12%
Gedung Surian	Sangat Sesuai	3,75	3,51%
	Sesuai	3,07	2,87%
Kebun Tebu	Sangat Sesuai	4,52	4,22%
	Sesuai	4,07	3,81%
Lumbok Seminung	Sangat Sesuai	1,27	1,19%
	Sesuai	0,65	0,61%
Pagar Dewa	Sangat Sesuai	0,38	0,35%
	Sesuai	0,45	0,42%
Sekincau	Sangat Sesuai	1,32	1,23%
	Sesuai	4,47	4,18%
Sukau	Sangat Sesuai	4,73	4,42%
	Sesuai	3,00	2,80%
Sumber Jaya	Sangat Sesuai	2,04	1,91%
	Sesuai	1,87	1,75%
Suoh	Sangat Sesuai	11,55	10,81%
	Sesuai	1,08	1,01%
Way Tenong	Sangat Sesuai	2,48	2,32%
	Sesuai	4,23	3,95%

Masing-masing peta memiliki *size* yang berbeda, tetapi hanya 1 peta yang memiliki *size* data peta yang besar dengan format data GeoJSON yaitu peta kelerengan. Peta kelerengan memiliki 859.305 poligon dengan *size* data 678.717 KB (678MB), maka dari itu perlu dilakukan proses *eliminate* untuk dapat mempercepat waktu untuk menampilkan petanya. Proses *eliminate* dilakukan untuk menyatukan poligon yang luasnya kurang dari 800 m^2 ke poligon yang luasnya lebih besar dari 800 m^2. Setelah dilakukan proses *eliminate*, total poligon menjadi 145.876 poligon dengan *size* data 238.585 KB (238MB) dan waktu untuk menampilkannya hanya menjadi 20 detik.

Peta sawah yang ditampilkan di WebGIS terdapat tampilan titik potensi lokasi embung kecil pada setiap kecamatan yang berisiko mengalami kekeringan pada musim kemarau tahun 2023.

Wilayah tersebut terdiri atas 8 kecamatan, yaitu: Kecamatan Lumbok Seminung, Kecamatan Suoh, Kecamatan Bandarnegeri Suoh, Kecamatan Air Hitam, Kecamatan Sumberjaya, Kecamatan Batu Ketulis, Kecamatan Batu Brak, dan Kecamatan Pagar Dewa. Berikut ialah titik potensi lokasi embung kecil beserta koordinatnya yang ditampilkan pada peta kebun dan peta sawah, dimana terdapat 1 titik potensi lokasi pada setiap 8 kecamatan tersebut (**Tabel 9**).

Tabel 9. Titik potensi lokasi embung pada peta sawah.

Titik Potensi	Kecamatan	X	Y
1	Lumbok Seminung	103,940546	-4,957468
2	Suoh	104,302244	-5,283686
3	Bandar Negeri Suoh	104,311283	-5,221798
4	Air Hitam	104,442265	-5,08908
5	Sumber Jaya	104,491904	-5,035577
6	Batu Ketulis	104,217975	-4,97306
7	Batu Brak	104,140903	-5,03111
8	Pagar Dewa	104,361155	-4,952852

KESIMPULAN

Data hasil analisis *weighted overlay* terhadap keperluan pertanian di Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung menghasilkan data analisis kesesuaian lokasi embung kecil berdasarkan sawah. Diperoleh kesesuaian lokasi yang sesuai dan sangat sesuai pada 15 kecamatan. Pada kecamatan yang berisiko mengalami kekeringan, terdapat 8 titik potensi embung di sawah. Serta membuat tampilan peta *web* untuk menampilkan informasi kesesuaian lokasi embung untuk keperluan pertanian di Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung disajikan dalam *WebGIS* yang dapat diakses pada URL: https://bit.ly/embung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) atas data batas administrasi, data penggunaan lahan, data sungai, dan data DEMNAS untuk data kelerengan. Terima kasih kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) atas data curah hujan. Terima kasih juga kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) atas data tutupan lahan, dan Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) atas data tekstur tanah, sehingga penulis dapat menggunakan data-data tersebut untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adininggar, F. W., Suprayogi, A., & Wijaya, A. P. (2016). Pembuatan Peta Potensi Lahan Berdasarkan Kondisi Fisik Lahan Menggunakan Metode Weighted Overlay. *Jurnal Geodesi UNDIP Volume 5 Nomor 2*, 136-146.

Ambarwati, B. A. (2016). *Analisa Sebaran Kekeringan Dengan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) Pada Sub DAS Ngasinan Hilir.* Malang: Repository Universitas Brawijaya.

Ardiputro, R., Hadiani, R., & Setiono. (2016). Prediksi Kekeringan dengan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) pada Daerah Aliran Sungai Wuryantoro Kabupaten Wonogiri. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 482-491.

BAPPEDA Kabupaten Kebumen. (2021). *RENCANA PEMBANGUNAN JANGKA MENENGAH DAERAH KABUPATEN KEBUMEN TAHUN 2021-2026.* Kebumen: PEMDA Kabupaten Kebumen.

Dai, X. (2016). Dam site selection using an integrated method of AHP and GIS for decision making support in Bortala, Northwest China. *Lund University GEM thesis series nr 14*, 25-26.

Eliyah. (2023). *Lahan Pertanian Seluas 497 Hektar di Lampung Barat Beresiko Kekeringan*. Diambil kembali dari lampost.co: https://www.lampost.co/berita-lahan-pertanian-seluas-497-hektar-di-lampung-barat-beresiko-kekeringan.html

Hermawan, A., Purwanto, M. J., & Pandjaitan, N. H. (2020). Analisis Kesesuaian Lokasi Bendung Kecil dan Daerah Pemanenan Air Hujan (PAH) Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) di Wilayah Perkotaan. *Tata Loka - Volume 22 Nomor 2, Biro Penerbit Planologi Universitas Diponegoro*, 188-200.

Muliawan, H. (2015). *Analisa Indeks Kekeringan dengan Metode Standardized Precipitation Index (SPI) dan Sebaran Kekeringan dengan Geographic Information System (GIS) pada Das Ngrowo.* Malang: Repository Universitas Brawijaya.

PUPR. (2018). *Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 07/SE/M/2018 Tahun 2018 tentang Pedoman Pembangunan Embung Kecil dan Bangunan Penampung Air Lainnya di Desa.* Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Santikayasa, I. P., Syarifah, M., & Taufik, M. (2021). Identifikasi Lokasi Potensial Panen Air Hujan Menggunakan Indeks Kesesuaian Embung dan Sistem Informasi Geografi di Provinsi Jawa Timur Indonesia. *JURNAL TEKNIK SIPIL dan LINGKUNGAN IPB*, 187-200.

DAMPAK PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP DAYA DUKUNG AIR DI KAWASAN PERKOTAAN CEKUNGAN BANDUNG

(The Impact of Land Cover Changes on Water Carrying Capacity in The Urban Area of The Bandung Basin)

Alvian Aji Purboyo[1], Andri Kurniawan[2], Luthfi Muta'ali[2]
[1]Program Studi Magister Geografi, Universitas Gadjah Mada
[2]Departemen Pembangunan Wilayah, Universitas Gadjah Mada

Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur Sinduadi Sleman, Sendowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: alvianajipurboyo@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Selama periode 2013-2023, terjadi perubahan signifikan dalam tutupan lahan di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung (KPCB), terutama dari lahan non-terbangun menjadi lahan terbangun. Perubahan ini mempengaruhi status Daya Dukung Air (DDA) di wilayah tersebut, mengakibatkan penurunan ketersediaan air namun peningkatan kebutuhan air. Penyebab perubahan status DDA menjadi terlampaui atau buruk adalah perubahan tutupan lahan serta peningkatan jumlah penduduk. Penelitian ini bertujuan untuk: 1) menganalisis perubahan tutupan lahan tahun 2013 dan 2023, 2) menganalisis perubahan DDA tahun 2013 dan 2023, dan 3) menganalisis dampak perubahan tutupan lahan terhadap DDA tahun 2013 dan 2023. Metode yang digunakan melibatkan pengolahan data penginderaan jauh dengan analisis tren. Objek penelitian adalah dampak perubahan tutupan lahan di KPCB terhadap DDA. Dampak dari perubahan tutupan lahan ini terlihat secara spasial. Rekomendasi dampak perubahan tutupan lahan terhadap DDA terbagi menjadi tiga. Untuk kelas DDA terlampaui, diperlukan pengendalian pemanfaatan air dan upaya peningkatan status DDA seperti di Kabupaten Bandung Barat dan Kota Cimahi. Kelas DDA aman bersyarat memerlukan sistem peringatan dini terkait konsumsi air yang berlebihan, di antaranya Kota Cimahi dan Kota Bandung yang mengalami kondisi tersebut. Sedangkan pada kelas DDA aman, penggunaan air masih diperbolehkan sesuai dengan batas ambang yang diperbolehkan.

Kata kunci: tutupan lahan, daya dukung air, Cekungan Bandung

ABSTRACT

During the 2013-2023 period, significant changes occurred in land cover in the Central Bandung City Area (KPCB), particularly from non-built-up land to built-up land. These changes affect the Daya Dukung Air (DDA) status in the region, resulting in a decrease in water availability but an increase in water demand. The causes of DDA status changing to exceed or poor are land cover changes and population growth. This research aims to: 1) Analyze land cover changes in 2013 and 2023, 2) Analyze DDA changes in 2013 and 2023, and 3) Analyze the impact of land cover changes on DDA in 2013 and 2023. The method used involves remote sensing data processing with tren analysis. The research object is the impact of land cover changes in KPCB on DDA. The impact of these land cover changes is spatially visible. Recommendations for the impact of land cover changes on DDA are divided into three categories. For the exceeded DDA class, water usage control and efforts to improve DDA status are needed, as in West Bandung Regency and Cimahi City. The conditional safe DDA class requires an early warning system related to excessive water consumption, such as in Cimahi City and Bandung City, which experience these conditions. Meanwhile, for the safe DDA class, water usage is still allowed within the permissible limits.

***Keywords**: land cover, water carrying capabilities, Bandung Basin*

PENDAHULUAN

Perubahan tutupan lahan menjadi isu strategis di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung (KPCB) yang krusial untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. KPCB, sebagai satu-satunya kawasan metropolitan di Indonesia yang dikelilingi oleh gunung dan pegunungan, memerlukan informasi yang akurat mengenai tutupan lahan dalam konteks perkotaan. Data mengenai tutupan lahan menjadi kunci penting untuk memahami perubahan gejala fenomena di permukaan bumi.

dalam konteks pembangunan wilayah, informasi tutupan lahan sangat berarti dalam mendukung pengembangan wilayah dan pengambilan keputusan yang berkelanjutan (Kustiwan & Ladimananda, 2016; Muta'Ali, 2019).

Salah satu jasa lingkungan yang berdampak berupa sumber daya air. Isu sektor sumber daya air menjadi fokus utama, dengan permasalahan utama yang mendesak adalah ketersediaan air bersih. Saat ini, cakupan pelayanan air bersih di Cekungan Bandung yang mencakup lebih dari 9 juta penduduk, masih belum merata jangkauannya. Jika perubahan lahan tidak diatur dengan baik, maka dapat muncul masalah baru terkait jasa lingkungan dan ekologi, khususnya terkait sumber daya air. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan daya dukung secara optimal melalui alokasi penggunaan dan tutupan lahan yang efisien (Badan Pengelola Cekungan Bandung, 2021; Firman, 2009; Kusrini *et al.*, 2011; Kustiwan & Ladimananda, 2016; Muta'Ali, 2019; Sugandi *et al.*, 2016; Sugito *et al.*, 2023).

Perubahan fungsi lahan dapat mengurangi kapasitas penyerapan air oleh tanah. Peningkatan tekanan penduduk dan aktivitas ekonomi telah menyebabkan perubahan dalam tutupan lahan. Dampak dari perubahan tersebut dapat diamati melalui penurunan debit aliran minimum dan peningkatan nilai koefisien limpasan air permukaan. Gejala lainnya adalah penurunan ketersediaan air tanah, terlihat dari penurunan level air tanah yang menunjukkan ketidakseimbangan dalam keseluruhan sistem sumber daya air di KPCB yang mengalami defisit. Salah satu konsekuensi defisit air ini terjadi di wilayah hulu Citarum (bagian Kabupaten Bandung, Kota Bandung, dan Kota Cimahi) dengan indeks kemiskinan air mencapai 38-42% (dalam skala 100%). Ini mengindikasikan bahwa wilayah tersebut termasuk dalam kategori tidak aman dalam hal ketersediaan air (Nurliana & Widodo, 2009; Santoso *et al.*, 2018; Wangsaatmaja *et al.*, 2006).

Perubahan dalam tutupan lahan dan penggunaan air adalah hal yang perlu diperhatikan secara serius untuk memastikan keberlanjutan lingkungan. Jika tidak diatur dengan baik, perubahan yang terlalu besar dalam kedua hal tersebut dapat menimbulkan berbagai masalah di masa depan. Oleh karena itu, penting untuk mengadopsi pendekatan khusus dalam mengelola pola ruang di kawasan-kawasan lindung dan zona resapan air guna mengurangi intervensi terhadap tutupan lahan dan penggunaan air (Kartika, 2011). Salah satu pendekatan khusus tersebut berupa pendekatan geografi, yaitu pendekatan keruangan. Pendekatan keruangan menitikberatkan pada pemetaan, pemodelan, dan interpretasi data geografis untuk memahami struktur data spasial serta hubungan antar-ruang. Analisis keruangan umumnya berupa pola spasial, perubahan sepanjang waktu, dan dampak dari interaksi manusia dengan lingkungan menjadi fokus utama dalam menjelaskan fenomena geografis. dalam penelitian ini berfokus pada perubahan tutupan lahan dan kondisi Daya Dukung Air (DDA) dengan data geografis (Yunus, 2010)

Pendekatan keruangan dapat mengetahui dampak perubahan tutupan lahan terhadap DDA. Pendekatan keruangan atau berbasis spasial sering kali memanfaatkan teknologi informasi geospasial, di antaranya berupa data penginderaan jauh. Dengan bantuan aplikasi sistem informasi geografis (SIG) dapat mengolah data penginderaan jauh dan menghasilkan informasi spasial yang dapat dianalisis secara keruangan. Salah satu analisis keruangan dalam interpretasi data penginderaan jauh berupa *spatial tendency* atau analisis multiwaktu. *Spatial tendency* merupakan analisis yang mengungkapkan kecenderungan perubahan suatu gejala. Hal dasar dari *spatial tendency* berupa *space based analysis, time based analysis* ataupun gabungan dari keduanya (Yunus, 2010). Oleh karena itu, melalui pendekatan keruangan untuk mengetahui dampak perubahan tutupan lahan dan DDA dirumuskan dari tujuan penelitian ini berupa 1) menganalisis perubahan tutupan lahan tahun 2013 dan 2023, 2) menganalisis perubahan DDA tahun 2013 dan 2023, dan 3) menganalisis dampak perubahan tutupan lahan terhadap DDA tahun 2013 dan 2023.

METODE

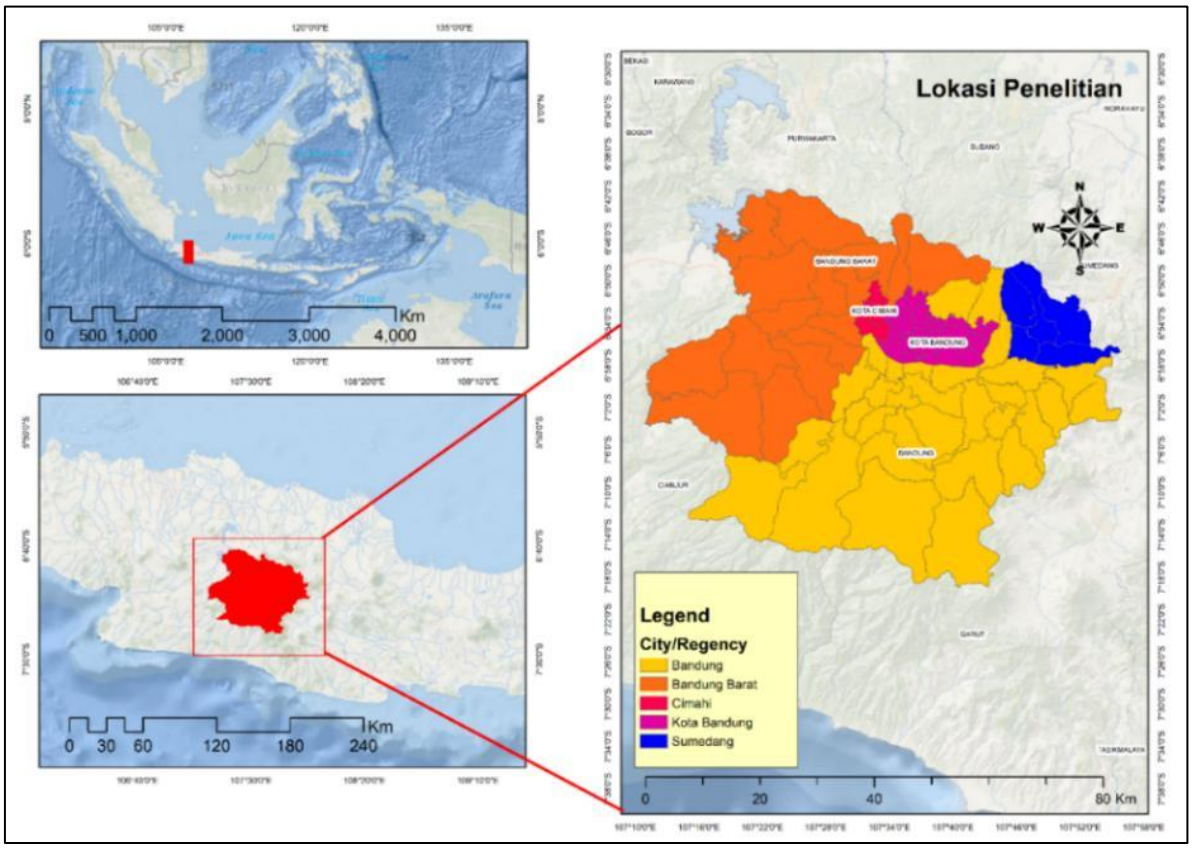
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berupa metode penginderaan jauh kuantiatif dengan pendekatan *spatial tendency*. Pengolahan data citra penginderaan jauh dan data sekunder berupa perhitungan DDA menjadi bahan utama penelitian ini. Untuk mencapai tujuan pertama, analisis dilakukan terhadap perubahan dalam tutupan lahan berdasarkan tren pada tahun

2013 dan 2023. Tujuan kedua melibatkan analisis tren perubahan dalam DDA dari tahun 2013 dan 2023. Sedangkan tujuan ketiga mencakup analisis data perubahan tutupan lahan dengan DDA.

Informasi tutupan lahan diperoleh dari ekstraksi data citra penginderaan jauh berupa Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI). Citra Landsat 8 OLI yang digunakan diunduh dari situs https://earthexplorer.usgs.gov/ dengan syarat *cloud cover* <30% di tiap tahunnya. Untuk membatasi wilayah penelitian, digunakan data spasial batas administrasi Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui situs https://tanahair.indonesia.go.id/. Sedangkan perhitungan DDA memerlukan data statistik berupa jumlah penduduk di KPCB tahun 2013 dan tahun 2023, kemudian curah hujan rata-rata di KPCB, infrastruktur jalan, dan tutupan lahan. Data tutupan lahan diperoleh dari hasil pengolahan Citra Landsat 8 OLI, sedangkan infrastruktur jalan diperoleh dari BIG. Data kependudukan di KPCB diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat, untuk curah hujan rata-rata diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Citarum (BBWS Citarum). Terdapat 18 pos pengamatan curah hujan yang terdapat di lokasi penelitian. Seluruh proses pengolahan data spasial dilakukan menggunakan aplikasi ArcMap 10.4.

Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian terfokus pada Kawasan Strategis Nasional Cekungan Perkotaan Bandung. Cekungan Bandung mencakup Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung Barat, dan lima kecamatan di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, Indonesia. Total seluruh kecamatan yang berada di KPCB sebanyak 85 kecamatan. **Gambar 1** merupakan lokasi penelitian KPCB.



Sumber: Hasil Analisis (2024)

Gambar 1. Lokasi penelitian.

Klasifikasi Tutupan Lahan

Terdapat enam jenis tutupan lahan yang akan diklasifikasikan, yaitu a) badan air, b) hutan sekunder dan kebun campuran, c) lahan pertanian basah, d) lahan pertanian kering, e) perkebunan, dan f) lahan terbangun, serta g) hutan primer. Ketujuh tutupan lahan tersebut kemudian dikategorikan menjadi dua, yaitu lahan terbangun dan non-lahan terbangun. Setiap jenis

tutupan lahan tersebut akan diwakilkan dengan membuat *Region Of Interest* (ROI). ROI ini akan digunakan sebagai dasar untuk algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dalam proses klasifikasi tutupan lahan. Setelah mendapatkan hasil klasifikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan uji akurasi menggunakan *confusion matrix* dan indeks kappa. Menurut Lillesand and Kiefer (1979), *confusion matrix* adalah tabel persegi yang digunakan untuk membandingkan hasil klasifikasi dengan data lapangan yang diamati, dengan tujuan untuk menentukan tingkat akurasi klasifikasi yang dihasilkan. Danoedoro (2015) menyatakan bahwa klasifikasi tutupan lahan dianggap baik jika *overall accuracy* atau indeks kappa lebih dari 85%. Jika klasifikasi memiliki nilai di bawah 85% atau indeks kappa yang rendah, perlu dilakukan reklasifikasi ulang dengan target *overall accuracy* yang lebih tinggi dan indeks kappa yang baik. Hal ini penting agar informasi yang dihasilkan tentang tutupan lahan sesuai dengan kondisi sebenarnya dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. **Persamaan 1-3** merupakan perhitungan dalam uji akurasi dan perubahan tutupan lahan. Sedangkan **Tabel 1** merupakan interpretasi hasil indeks kappa dalam penilaian uji akurasi tutupan lahan.

$$Overall\ Accuracy = \frac{\text{Jumlah data sesuai}}{\text{Jumlah total sampel}} \text{x} 100\% \quad \text{.....(1)}$$

$$Kappa = \frac{N\ X[\sum_i^k Nilai\ data\ benar\ \text{X} \sum_i^k (Baris\ x\ Kolom)]}{N^2 - \sum_i^k (Baris\ x\ Kolom)} \quad \text{.....(2)}$$

$$\text{Tnt/thn} = \frac{\text{L Tnt (T1)} - \text{L Tnt (T2)}}{d} \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan:
Overall Accuracy: Akurasi Keseluruhan
Kappa : Akurasi Konsistensi
Tnt/thn : Perubahan Jenis Tutupan Lahan
Tnt : Jenis Tutupan Lahan
L : Luasan
T1 : Waktu pengukuran awal
T2 : Waktu pengukuran akhir
d : Durasi (selisih waktu antara T2-T1)

Tabel 1. Intepretasi Indeks Kappa.

Nilai indeks	Interpretasi
<20	Sangat Rendah
20,1 – 40	Rendah
40,1 – 60	Sedang
60,1 – 80	Tinggi
80,1 – 100	Sangat Tinggi

Sumber: Jaya (2002)

Perhitungan Daya Dukung Air

Perhitungan DDA dilakukan dengan membandingkan potensi sumber daya air dengan kebutuhan air. Ketersediaan air ditentukan berdasarkan metode koefisien limpasan air dengan tutupan lahan dan curah hujan tahunan. Sementara itu kebutuhan air dihitung dari konversi terhadap kebutuhan hidup manusia yang layak (Muta'ali, 2015, 2019). Berikut merupakan persamaan dari DDA berdasarkan pedoman penentuan daya dukung lingkungan hidup dalam penataan ruang wilayah Muta'ali, (2015). **Persamaan 4-9** merupakan perhitungan DDA.

$$\text{DDA} = \frac{PSA}{KA} \quad \text{.....(4)}$$

$$\text{PSA} = 10\ \text{X C x R x A} \quad \text{.....(5)}$$

$$\text{C} = \frac{\sum(ci\ x\ Ai)}{\sum(Ai)} \quad \text{.....(6)}$$

$$\mathrm{R} = \frac{\sum(Ri)}{\mathrm{m}} \quad \text{.....(7)}$$

$$KA = \mathrm{N\ X\ KHLA} \quad \text{.....(8)}$$

$$\mathrm{KHLA} = 365\ \mathrm{hari\ X}\ \left(\frac{q}{1000}\ \mathrm{x\ P}\right) \quad \text{.....(9)}$$

Keterangan:
DDA : Daya dukung sumber daya air
PSA : Potensi sumber daya air
KA : Kebutuhan air
PSA : Ketersediaan air (m^3/tahun)
C : Koefisien limpasan tertimbang
Ci : Koefisien limpasan tutupan lahan i
Ai : Luas tutupan lahan i (ha)
R : Rata-rata aljabar curah hujan tahunan wilayah (mm/tahunan)
M : Jumlah pengamatan curah hujan
Ri : Jumlah stasiun pengamatan curah hujan
A : Luas wilayah (ha)
10 : Faktor konversi dari mm.ha menjadi m^3
KA : Total kebutuhan air (m^3/tahun)
N : Jumlah penduduk (jiwa)
KHLA : Kebutuhan air untuk hidup layak
q : Kebutuhan air berdasarkan konsumsi air kategori kota (liter/kapita/hari)
P : Jumlah penduduk

Perhitungan ketersediaan air dilakukan dengan menggunakan metode koefisien limpasan yang dimodifikasi dari metode rasional, dengan fokus pada ketersediaan air permukaan. Nilai koefisien disesuaikan dengan tutupan lahan yang diklasifikasikan, **Tabel 2** menunjukkan nilai koefisien limpasan air permukaan. Potensi ketersediaan air hanya dipertimbangkan dari sumber daya air permukaan saja, sedangkan potensi air tanah, mata air, dan debit aliran tidak dimasukkan dalam perhitungan (Muta'ali, 2015). Kebutuhan air dihitung berdasarkan jumlah penduduk dan kebutuhan air untuk memenuhi standar hidup layak. Nilai kebutuhan air domestik yang digunakan mengacu pada Pedoman Penentuan Kebutuhan Air Baku Rumah Tangga, Perkotaan, Industri yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, pada tahun 2003. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kebutuhan air berdasarkan tingkat penduduk kota. **Tabel 3** menunjukkan standar kebutuhan air domestik tipe perkotaan yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah memperoleh nilai DDA, kemudian diklasifikasikan sesuai dengan **Tabel 4** status DDA.

Tabel 2. Koefisien limpasan air permukaan.

No	Tutupan Lahan	Deskripsi	Nilai koefisien limpasan air permukaan
1	Lahan Terbangun	Terdiri dari kawasan pemukiman, komersial, industri, perkampungan, pemukiman, prasarana transportasi, dll.	0,6
2	Hutan primer	Terdiri dari hutan alam yang belum diganggu oleh eksploitasi manusia.	0,01
3	Hutan sekunder dan kebun campuran	Terdiri dari hutan tanaman industri dan beberapa tanaman pekarangan, kelapa, buah-buahan dan lain-lain.	0,03
4	Perkebunan	Terdiri dari lahan konservasi, perkebunan teh dan lain-lain.	0,4
5	Lahan pertanian basah	Terdiri dari banyak lahan yang memerlukan air untuk pola tanam, sawah beririgasi, sawah terasering dan lain-lain.	0,15
6	Pertanian lahan kering	Terdiri dari lahan yang memerlukan sedikit air untuk bercocok tanam, ladang, tegalan dan lain-lain.	0,1
7	Badan Air	Terdiri dari semua sumber air, sungai, waduk, kolam dan lain-lain	0,5

Sumber: Yulianto et al. (2022)

Tabel 328. Standar kebutuhan air domestik tipe perkotaan.

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Kapita)	Kebutuhan Air (L/K/H)
1	Metropolitan	>1.000.000	150-210
2	Besar	500.000-1.000.000	120-150
3	Sedang	100.000-500.000	100-120
4	Kecil	20.000-100.000	90-120
5	Semi Urban	3.000-20.000	60-90

Sumber: Pedoman Penentuan Kebutuhan Air Baku Rumah Tangga, Perkotaan, Industri (Ditjen SDA Dep. Kumpraswil, 2003)

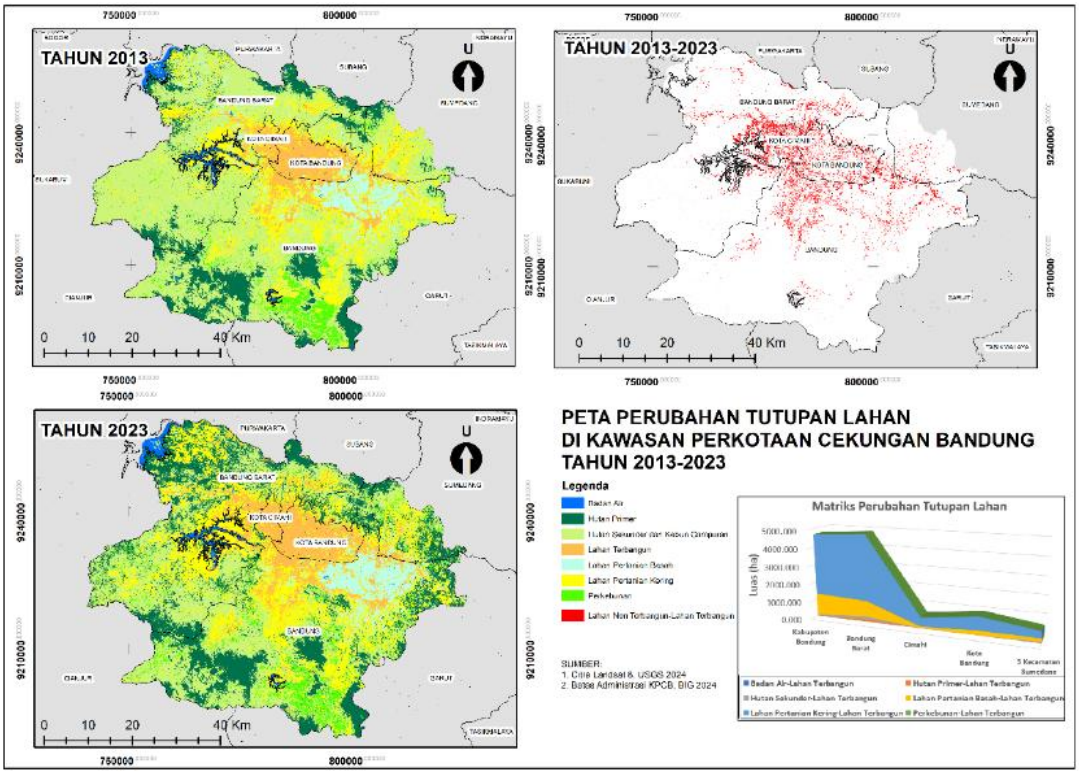
Tabel 429. Klasifikasi status DDA.

Kelas	Keterangan
DDA<1	DDA terlampaui/buruk (rendah)
DDA>1-3	Daya dukung aman bersyarat (sedang)
DDA >3	DDA aman/baik (tinggi)

Sumber: Muta'ali (2015)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi tutupan lahan menggunakan algoritma SVM diperoleh hasil tutupan lahan yang tinggi. SVM adalah algoritma *supervised* yang berupa klasifikasi dengan cara membagi data menjadi dua kelas menggunakan garis vektor yang disebut *hyperplane*. Hasil klasifikasi tutupan lahan kemudian dilakukan uji akurasi dengan membandingkan hasil observasi lapangan dengan hasil klasifikasi tutupan lahan di tiap tahunnya. Observasi dilakukan sebanyak 70 sampel untuk mewakili tiap jenis tutupan lahan. Klasifikasi tutupan lahan tahun 2013 diperoleh *overall accuracy* 0,91 dan kappa 0,78 (tinggi), sedangkan tahun 2023 diperoleh *overall accuracy* 0,92 dan kappa 0,79 (tinggi). Berdasarkan uji *confusion matrix dan* kappa, klasifikasi tutupan lahan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut (Danoedoro, 2015). Tutupan lahan tahun 2013-2023 mengalami perubahan kelas non-lahan terbangun menjadi lahan terbangun. Secara spasial perubahan tutupan lahan dapat dilihat pada **Gambar 2**. Konversi tutupan lahan badan air lahan terbangun di Kabupaten Bandung sebesar 2,75 hektare, Kabupaten Bandung Barat 2,5 hektare, Kota Cimahi 0,45 hektare, dan Kota Bandung 0,05 hektare.

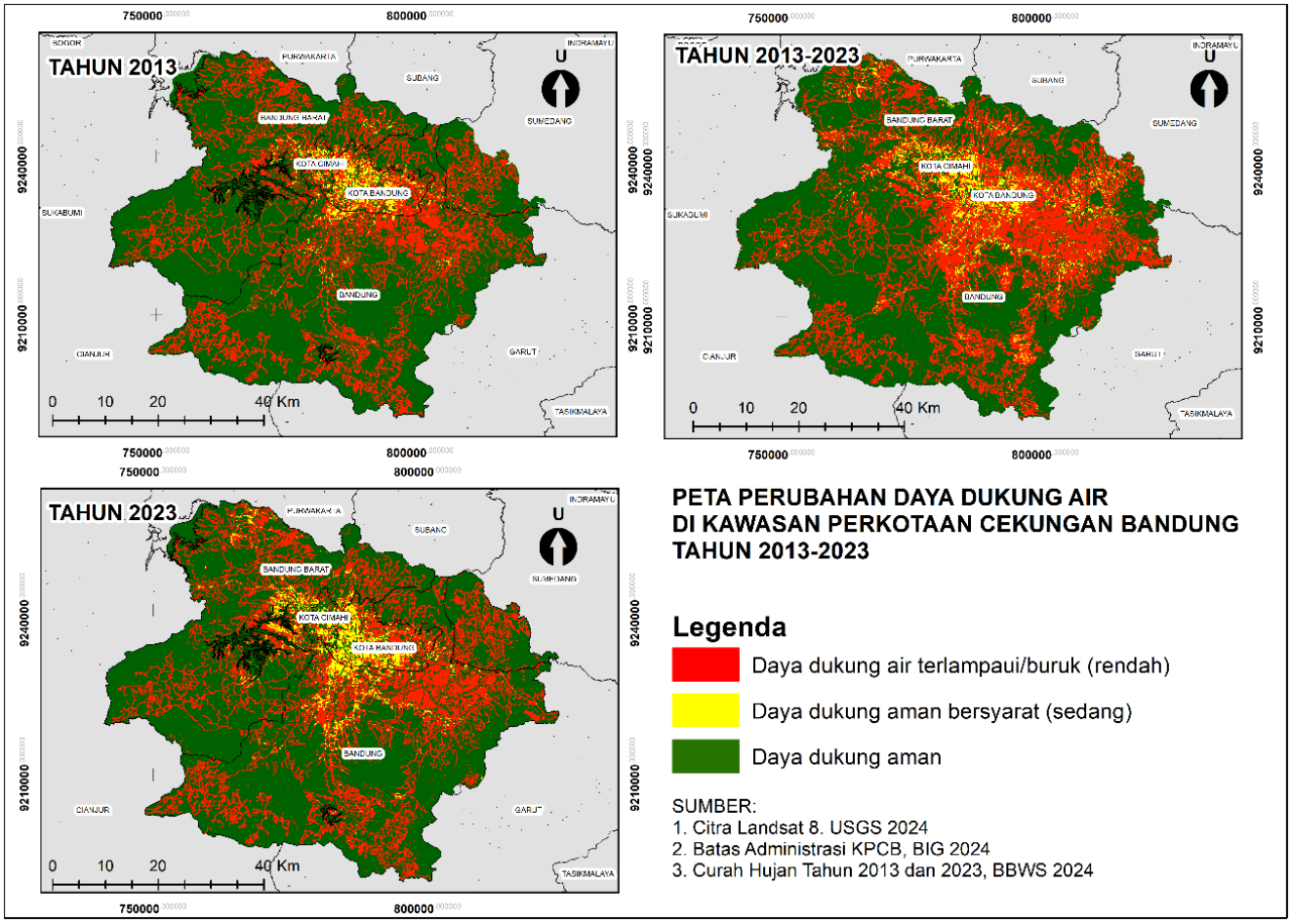


Sumber: Hasil Analisis (2024)

Gambar 2. Perubahan tutupan lahan di kawasan perkotaan Cekungan Bandung tahun 2013-2023

Adapun hutan primer menjadi lahan terbangun Kabupaten Bandung 2,67 hektare, Kabupaten Bandung 131.856 hektare, Kota Bandung 0,04 hektare, dan 5 kecamatan Kabupaten Sumedang 5,46 hektare. Sedangkan hutan sekunder menjadi lahan terbangun Kabupaten Bandung 81,88 hektare, Kabupaten Bandung Barat 159,97 hektare, Kota Cimahi 7,63 hektare, Kota Bandung 5,98 hektare, dan 5 Kecamatan Kabupaten Sumedang sebesar 75,96 hektare. Kemudian untuk lahan pertanian basah menjadi lahan terbangun Kabupaten Bandung 122,97 hektare, Kabupaten Bandung Barat 886.632 hektare, Kota Cimahi 81,67 hektare, Kota Bandung 260,88 hektare, dan 5 Kecamatan Kabupaten Sumedang sebesar 172,58 hektare.

Adapun konversi lahan yang terakhir berupa lahan pertanian kering menjadi lahan terbangun. Untuk Kabupaten Bandung mengalami konversi lahan sebesar 3.379,85 hektare, Kabupaten Bandung Barat 3.715,48 hektare, Kota Cimahi 516,97 hektare, Kota Bandung 758,73 hektare, dan 5 Kecamatan Kabupaten Sumedang sebesar 371.906 hektare. Perubahan tutupan lahan ini disebabkan karena KPCB merupakan kawasan yang berfokus kepada kegiatan ekonomi Bandung Raya (Firman, 2009), permintaan terhadap tempat tinggal dan tempat usaha membuat faktor penarik terhadap penduduk untuk tinggal di KPCB (Fuadina *et al.*, 2021). Dampak perubahan tutupan lahan lainnya salah satunya berupa DDA, perhitungan DDA mempertimbangkan faktor tutupan lahan. Faktor tutupan lahan yang digunakan untuk koefisien limpasan air dan pembobot dalam *grid* penduduk (Muta'Ali, 2019; Yulianto *et al.*, 2022). Sehingga perubahan tutupan lahan sangatlah berpengaruh terhadap DDA.



Sumber: Hasil Analisis (2024)

Gambar 3. Perubahan DDA di kawasan perkotaan cekungan Bandung tahun 2013-2023.

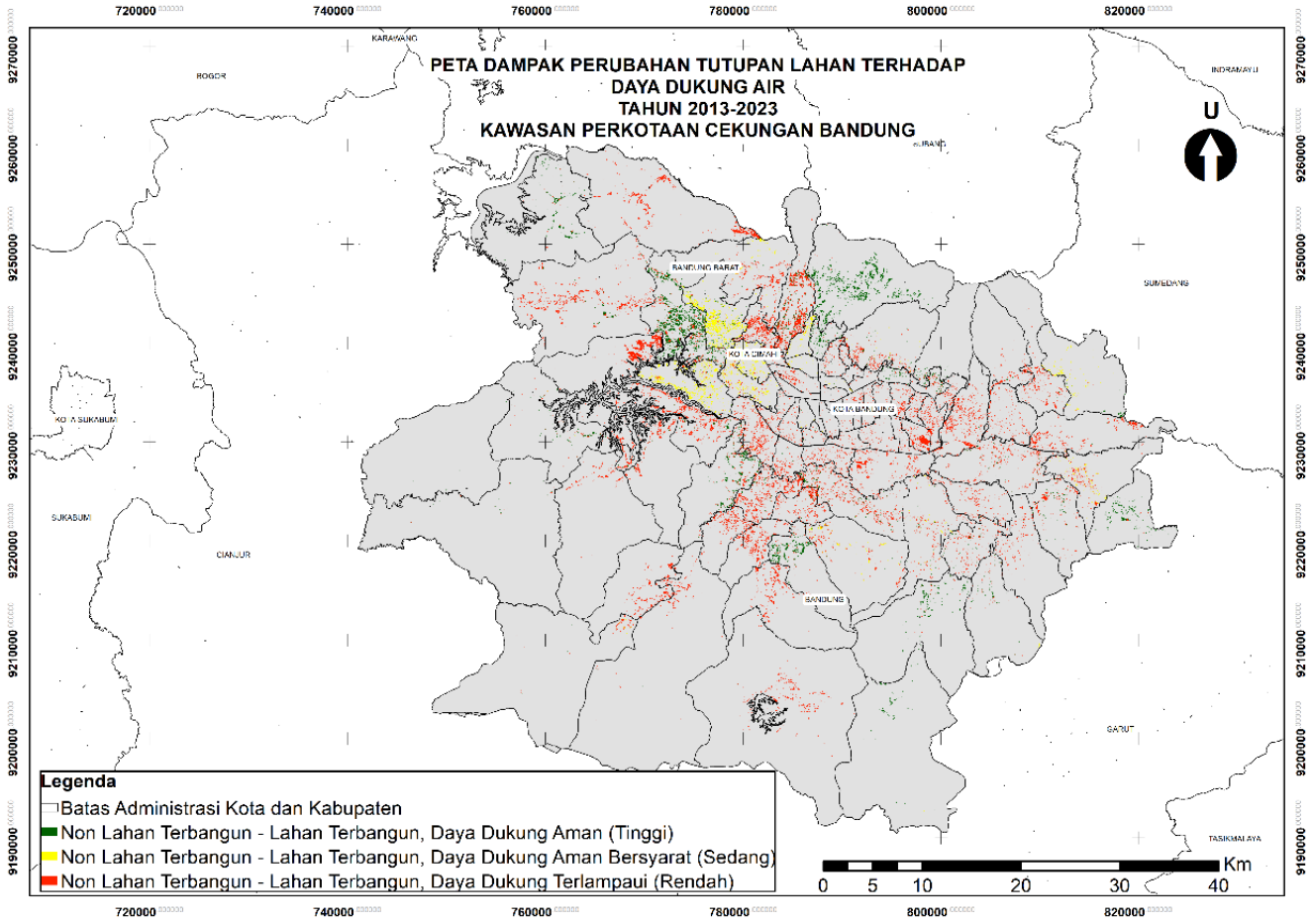
Hasil perhitungan DDA terdapat perubahan status DDA di KPCB. Perhitungan DDA dilakukan dengan membandingkan ketersediaan air dan kebutuhan air. Berdasarkan perhitungan melalui GIS, diperoleh DDA di KPCB. **Gambar 3** merupakan peta perubahan DDA. **Tabel 5** merupakan perhitungan DDA. Terlihat bahwa tren daya dukung air mengalami penurunan atau menuju terlampaui. Tahun 2013 Kabupaten Bandung menjadi kondisi DDA terlampaui (rendah), yaitu

dengan nilai DDA sebesar 0,66. KPCB di tahun 2013 mengalami kondisi DDA terlampaui atau diperoleh hasil perhitungan DDA sebesar 0,89. Tren di tahun 2023 mengalami penurunan dalam kondisi DDA, kondisi DDA di tahun 2023 diperoleh sebesar 0,85. Kondisi DDA terendah sama halnya di tahun 2013, kondisi DDA tahun 2023 masih termasuk terlampaui (rendah). Hal yang menyebabkan terjadinya tren penurunan menuju terlampaui salah satunya berupa kebutuhan air yang meningkat, perubahan tutupan lahan, dan ketersediaan air yang berkurang. Semua kota dan kabupaten di tahun 2023 mengalami kondisi terlampaui. Penelitian terkait DDA di Pulau Jawa sudah mengalami krisis air dan kondisi terlampaui (Hidayat *et al.*, 2019). Kondisi penduduk, tutupan lahan, dan musim kemarau berpengaruh terhadap ketersediaan air.

Tabel 5. DDA tahun 2013 dan 2023.

Kota/Kabupaten	Tahun 2013			Tahun 2023		
	Kebutuhan (m^3/tahun)	Ketersediaan (m^3/tahun)	DDA	Kebutuhan (m^3/tahun)	Ketersediaan (m^3/tahun)	DDA
Kabupaten Bandung	244.088.491	161.564.296	0,66	254.686.325	138.069.111	0,54
Kabupaten Bandung Barat	81.785.778	133.817.929	1,64	53.089.996	90.839.081	1,71
Kota Cimahi	15.552.939	32.941.121	2,12	12.723.652	10.247.439	0,81
Kota Bandung	121.880.288	112.320.490	0,92	131.596.519	109.687.761	0,83
5 kecamatan Kabupaten Sumedang	10.340.875	15.409.542	1,49	10.198.980	9.492.129	0,93
Total	4.842.46.205	429.925.465	0,89	451.697.638	384.463.435	0,85

Sumber: Hasil Analisis (2024)



Sumber: Hasil Analisis (2024)

Gambar 4. *Overlay* perubahan tutupan lahan dan DDA tahun 2013-2023.

Tabel 6. *Overlay* perubahan tutupan lahan dan DDA tahun 2013-2023.

Kabupaten/Kota	Lahan Terbangun (hektare)			Total
	Daya Dukung Aman (Tinggi)	Daya Dukung Aman Bersyarat (Sedang)	Daya Dukung Terlampaui (Rendah)	
Kabupaten Bandung Barat	766	142,62	3.405,34	4.314,53
Kota Cimahi	1.516	750,55	2.258,73	4.525,83
Kota Bandung	4,63	228,45	309,69	542,76
5 kecamatan Kabupaten Sumedang	122	73,65	837,10	1.033,00
Kabupaten Bandung Barat	25	57,10	439,92	522,10
Total	2.435,09	1.252,36	7.250,78	10.938,23

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Dampak perubahan tutupan lahan terhadap DDA memberikan pengaruh terhadap DDA. **Tabel 6** merupakan hasil dari *overlay* tutupan perubahan tutupan lahan dan perubahan DDA. Hal ini disebabkan karena perhitungan DDA terdapat data tutupan lahan sebagai estimasi perhitungan ketersediaan air melalui pendekatan koefisien limpasan. Lahan terbangun di kondisi DDA terlampaui (rendah) terluas terdapat di Kabupaten Bandung Barat sebesar 3.405,34 hektare dan diikuti oleh Kota Cimahi sebesar 2.258,73 hektare. Sedangkan untuk DDA aman bersyarat (sedang) di Kota Cimahi sebesar 750,45 hektare dan diikuti oleh Kota Bandung sebesar 228,45 hektare. Kemudian untuk kelas DDA aman (tinggi) terdapat di Kota Cimahi sebesar 1.516 hektare dan diikuti oleh Kabupaten Bandung Barat sebesar 766 hektare. Khusus untuk DDA terlampaui di lahan terbangun, perlu adanya pengendalian pemanfaatan air dan peningkatan status DDA di kelas terlampaui. Sedangkan untuk kelas DDA aman bersyarat (sedang) perlu adanya sistem peringatan dini terkait pemakaian air, sehingga pengendalian penggunaan air dapat dipantau secara berkala. Sedangkan untuk kelas DDA aman (tinggi) masih boleh dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan dan tidak melebihi batas konsumsi air yang telah ditetapkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan selama periode 2013-2023 terjadi perubahan signifikan dalam tutupan lahan di KPCB. Hal yang utama dalam konversi dari lahan non-terbangun menjadi lahan terbangun. Perubahan ini berdampak pada perubahan status DDA di wilayah tersebut, yang mana terjadi penurunan ketersediaan air namun juga peningkatan kebutuhan air. Penyebab status DDA berubah menjadi terlampaui atau buruk berupa perubahan tutupan lahan dan peningkatan jumlah penduduk. Dampak dari perubahan tutupan lahan terhadap DDA terlihat secara spasial. Rekomendasi dampak perubahan tutupan lahan terhadap DDA terbagi menjadi tiga. Kelas DDA terlampaui perlu pengendalian pemanfaatan air dan upaya peningkatan status DDA seperti di Kabupaten Bandung Barat dan Kota Cimahi. Kelas DDA aman bersyarat perlu adanya sistem peringatan dini terkait konsumsi air yang berlebihan, di antaranya Kota Cimahi dan Kota Bandung yang mengalami kondisi tersebut. Sedangkan pada kondisi kelas DDA aman masih dalam penggunaan diperbolehkan pemanfaatan air sesuai dengan batas ambang yang diperbolehkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan tim pembimbing dalam penyelesaian penelitian ini. Kemudian terima kasih kepada BBWS Citarum, Badan Informasi Geospasial, dan Badan Pengelola Cekungan Bandung yang telah menyediakan data, sehingga telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengelola Cekungan Bandung. (2021). *Laporan Tahunan Badan Pengelola Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung-Tahun 2021* [Laporan]. https://cekunganbandung.jabarprov.go.id/wp-content/uploads/2023/09/Laporan-Tahunan-BP-Cekban-2021.pdf

Danoedoro, P. (2015). Pengaruh jumlah dan metode pengambilan titik sampel penguji terhadap tingkat akurasi klasifikasi citra digital penginderaan jauh. *Prosiding. Simposium Sains Geoinformasi Ke-4*, 27–28.

Ditjen SDA Dept Kumpraswil. (2003). *Pedoman Penentuan Kebutuhan Air Baku Rumah Tangga, Perkotaan, Industri.*

Firman, T. (2009). The continuity and change in mega-urbanization in Indonesia: A survey of Jakarta–Bandung Region (JBR) development. *Habitat International*, *33*(4), 327–339.

Fuadina, L. N., Rustiadi, E., & Pravitasari, A. E. (2021). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi urban sprawl di kawasan cekungan Bandung. *TATALOKA*, *23*(1), 105–114.

Hidayat, A. M., Mulyo, A. P., Azani, A. A., Aofany, D., Nadiansyah, R., & Rejeki, H. A. (2019). Evaluasi ketersediaan sumber daya air berbasis metode neraca air thornthwaite mather untuk pendugaan surplus dan defisit air di Pulau Jawa. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*, *3*, 35–46. https://jurnal.uns.ac.id/prosidingsnfa/article/view/28506

Jaya, I. (2002). *Penginderaan Jauh Satelit Untuk Kehutanan Jurusan Manajemen Hutan*. Fakultas Kehutanan IPB.

Kartika, I. M. (2011). Pengendalian pemanfaatan ruang. *GaneC*, *5*(2), 123–130.

Kusrini, K., Surhayadi, S., & Hardoyo, S. R. (2011). Perubahan penggunaan lahan dan faktor yang mempengaruhinya di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Majalah Geografi Indonesia*, *25*(1), 25–40. https://doi.org/10.22146/mgi.13358

Kustiwan, I., & Ladimananda, A. (2016). Pemodelan Dinamika Perkembangan Perkotaan dan Daya Dukung Lahan di Kawasan Cekungan Bandung. *TATALOKA*, *14*(2), 98–112. https://doi.org/10.14710/tataloka.14.2.98-112

Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1979). Remote sensing and image interpretation(Book). *New York, John Wiley and Sons, Inc., 1979. 624 p*.

Muta'Ali, L. (2015). *Teknik analisis regional untuk perencanaan wilayah, tata ruang dan lingkungan* (1st ed.). Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG), Universitas Gadjah Mada.

Muta'Ali, L. (2019). *Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Hidup Berbasis Jasa Ekosistem Untuk Perencanaan Lingkungan Hidup* (1st ed.). Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG), Universitas Gadjah Mada.

Nurliana, L., & Widodo, L. E. (2009). Potensi Imbuhan dan Imbuhan Airtanah Cekungan Airtanah Bandung. *JTM*, *16*, 261–268.

Santoso, H., Rusydi, A. F., Pratawijaya, D., & Nur, W. H. (2018). *Analisis Spasial Kemiskinan Air di Cekungan Bandung*. PROSIDING GEOTEKNOLOGI LIPI.

Sugandi, D., Setiawan, I., & Sugito, N. T. (2016). Application Remote Sensing To Analysis Bandung Basin Landuse. *PONTE International Scientific Researchs Journal*, *72*(8). https://doi.org/10.21506/j.ponte.2016.8.38

Sugito, N. T., Gumilar, I., Hendriatiningsih, S., & Leksono, B. E. (2023). Integration of Market Price Comparison Approach and Income Capitalization Approach in Urban Land Valuation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1127*(1), 012036. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012036

Wangsaatmaja, S., Sabar, A., & Prasetiati, M. A. (2006). Permasalahan dan Strategi Pembangunan Lingkungan Berkelanjutan Studi Kasus: Cekungan Bandung. *Indonesian Journal on Geoscience*, *1*(3), 163–171.

Yulianto, F., Khomarudin, M. R., Hermawan, E., Nugroho, N. P., Chulafak, G. A., Nugroho, G., Nugroho, U. C., Suwarsono, S., Fitriana, H. L., & Priyanto, E. (2022). Spatial and temporal distribution of estimated surface runoff caused by land use/land cover changes in the upstream Citarum watershed, West Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, *9*(2), 3293–3305.

Yunus, H. S. (2010). *Metodologi Penelitian Wilayah Kontemporer*. Pustaka Belajar.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMETAAN PETAK LAHAN SAWAH MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PARTISIPATIF (SIGP) BERBASIS *WEB* DENGAN AKSES LAYANAN *API GOOGLE MAPS*

Studi Kasus di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

(*Paddy Field Plots Mapping using Web-Based Participatory Geographic Information System (PGIS) with Google Maps API Service Access*)

Sumadi, Andreas Ari Putro Dwinanto, Dwi Atmi Rohmatilah
Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, Kementerian Pertanian

Kanpus Kementerian Pertanian Gd. D Lt. 8, Jl. Harsono RM No.3, Jakarta Selatan 12550
E-mail: sumadineverdie@gmail.com

ABSTRAK

Kebijakan pertanian yang akurat dan tepat sasaran membutuhkan basis data lahan pertanian dengan level informasi terkecil hingga petak lahan dan petani yang mengelola. Untuk membangun basis data tersebut diperlukan metode dan teknologi yang dapat diterapkan dalam satu wilayah administrasi yang luas. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemetaan partisipatif yang didukung dengan sistem informasi geografis (SIG). Makalah ini membahas implementasi Sistem Informasi Geografis Parsitipatif (SIGP) berbasis *web* dengan menggunakan layanan *API Google Maps* untuk memetakan petak lahan sawah petani di Kabupaten Sleman. Organisasi kerja pemetaan terdiri dari penyuluh pertanian lapangan (PPL), penyelia pemetaan, operator SIG dan perwakilan kelompok tani sebagai informan kunci. Hasil pemetaan menunjukkan 346.963 petak lahan sawah seluas 17.024 hektare, dikelola oleh 61.911 petani yang tergabung dalam 1.043 kelompok tani. Data ini dikumpulkan dari 3.144 informan kunci dan diuji keakuratannya dengan tingkat kepercayaan 95%. Implementasi SIGP ini menghasilkan basis data yang akurat mengenai lokasi, luas, dan karakteristik lahan sawah, memungkinkan penyusunan kebijakan pertanian yang lebih akurat dan tepat sasaran.

Kata kunci: basis data lahan pertanian, pemetaan partisipatif, SIGP, *API Google Maps*

ABSTRACT

Accurate and targeted agricultural policies require a farmland database with the smallest level of information down to the land plot and the farmer who manages it. Building such a database requires methods and technologies that can be applied in a large administrative area. One approach is to conduct participatory mapping supported by a geographic information system (GIS). This paper discusses the implementation of a web-based Participatory Geographic Information System (PGIS) for mapping farmer's rice field plots in Sleman Regency using Google Maps API services. The mapping work organization consists of field agricultural extension workers (PPLs), mapping supervisors, GIS operators and farmer group representatives as key informants. The mapping results show 346,963 paddy field plots covering 17,024 hectares, managed by 61,911 farmers who are members of 1,043 farmer groups. This data was collected from 3,144 key informants and tested for accuracy with a 95% confidence level. The implementation of PGIS resulted in an accurate database on the location, size, and characteristics of paddy fields, enabling more accurate and targeted agricultural policy development.

***Keywords**: farmland database, participatory mapping, PGIS, Google Maps API*

PENDAHULUAN

Ketersediaan informasi geospasial lahan baku sawah nasional tahun 2019 (LBS 2019) seluas 7.463.948 hektare masih menjadi tumpuan utama dalam penyusunan kebijakan pertanian, terutama dalam penyaluran pupuk bersubsidi dan bantuan pemerintah sektor pertanian. Penggunaan metode interpretasi citra satelit resolusi sangat tinggi (CSRST) dilakukan untuk mengekstraksi informasi tematik dalam penyusunan LBS 2019 (BPN, 2019). di sisi lain, penyaluran pupuk bersubsidi dan bantuan pemerintah sektor pertanian lainnya masih disusun berdasarkan usulan calon petani dan calon lokasi (CPCL) yang belum mengacu ke LBS 2019 (Kementerian

Pertanian, 2023). Hal tersebut disebabkan karena cakupan LBS 2019 belum menjangkau informasi hingga petak lahan dan petani yang mengelola. Sementara untuk menyalurkan bantuan hingga ke level petani, diperlukan informasi detail tersebut untuk memastikan kebijakan pemerintah tepat sasaran dan lebih efisien dalam penyalurannya.

Dalam konteks penyediaan informasi dasar kebijakan ini, diperlukan dua informasi penting, yaitu informasi mengenai lahan sawah dan mengenai petani pemilik atau penggarap lahan. Untuk mendapatkan informasi petak lahan sawah dapat dilakukan dengan delineasi batas lahan yang dipandu dengan peta dasar berbasis CSRST. Sedangkan untuk mendapatkan informasi petani pengelolanya dapat dilakukan melalui pendekatan Pemetaan Partisipatif (PP). Pemetaan Partisipatif adalah suatu perangkat visual untuk membantu komunitas lokal dalam memahami lingkungan fisik mereka dengan fitur-fitur penting di dalamnya berdasarkan ide, konsep dan norma lokal, dengan memperhatikan prinsip-prinsip kartografi (IFAD, 2010; Plantin, 2014; Reichel & Frömming, 2014).

Perkembangan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) telah membawa dampak signifikan dalam proses identifikasi dan ekstraksi informasi geospasial dengan melibatkan partisipasi masyarakat. Berbagai penelitian terkait PP yang menggunakan teknologi SIG menjanjikan peluang-peluang baru dalam menyelesaikan masalah kemasyarakatan yang berkaitan dengan ruang dan tempat (Mustofa *et al.*, 2014).

Penggabungan antara PP, teknologi SIG, dan internet telah melahirkan pendekatan baru dalam pemetaan, dikenal sebagai SIG Partisipatif (SIGP) berbasis web (Kusmiarto, 2019). Hal ini mengindikasikan sebuah transformasi penting dalam cara kita memahami dan mengelola data spasial, di mana partisipasi publik menjadi unsur kunci dalam menyusun informasi geografis yang lebih akurat dan relevan dengan kebutuhan masyarakat.

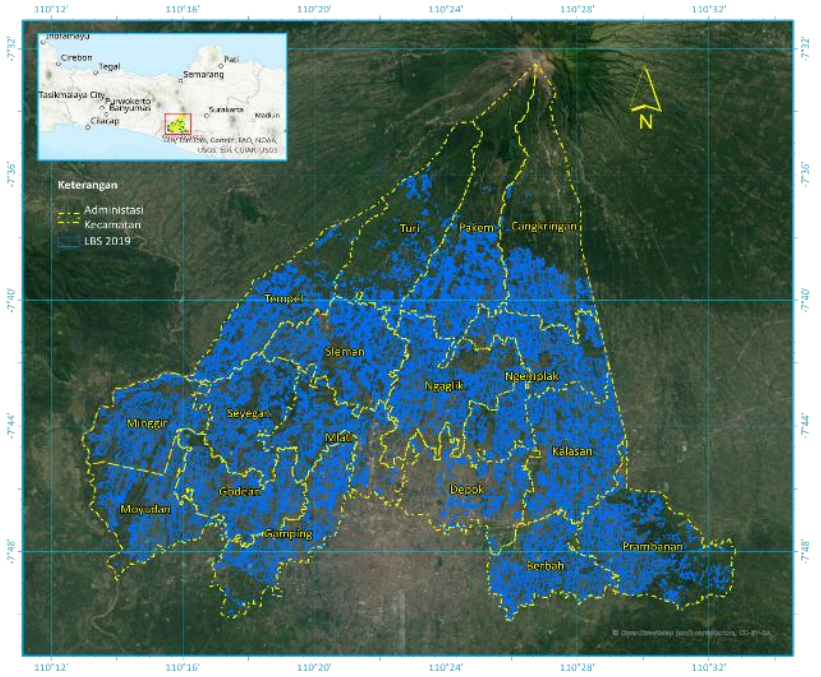
Dalam konteks ini, layanan peta dasar *Google Maps API* yang didasarkan pada resolusi spasial yang relatif mutakhir, serta disertai dengan anotasi geografis yang berbasis partisipatif, menawarkan potensi besar dalam meningkatkan kualitas dan ketepatan informasi yang dihasilkan dari pendekatan PP (McQuiere, 2019). Dengan demikian, teknologi ini dapat menjadi alat yang sangat berguna dalam mendukung upaya pemetaan partisipatif di berbagai tingkat. Makalah ini bertujuan untuk memberikan alternatif penyediaan basis data geospasial petak lahan sawah petani melalui PP dengan perangkat visual *Web GIS* yang menggunakan *Google Maps API.*

Penerapan SIGP berbasis *web* dengan menggunakan *Google Maps API* memungkinkan penyediaan informasi geospasial mengenai lahan sawah secara lebih terperinci, baik dari segi lokasi maupun pengelolaannya, hingga pada tingkat per-petak dan per-pengelola. Ini menandai langkah maju dalam memastikan bahwa informasi yang dibutuhkan untuk mengambil keputusan dalam pengelolaan lahan sawah dapat diakses secara lebih mudah dan lebih tepat sasaran oleh semua pihak yang terlibat.

METODE

Lokasi Kajian dan Data Dasar

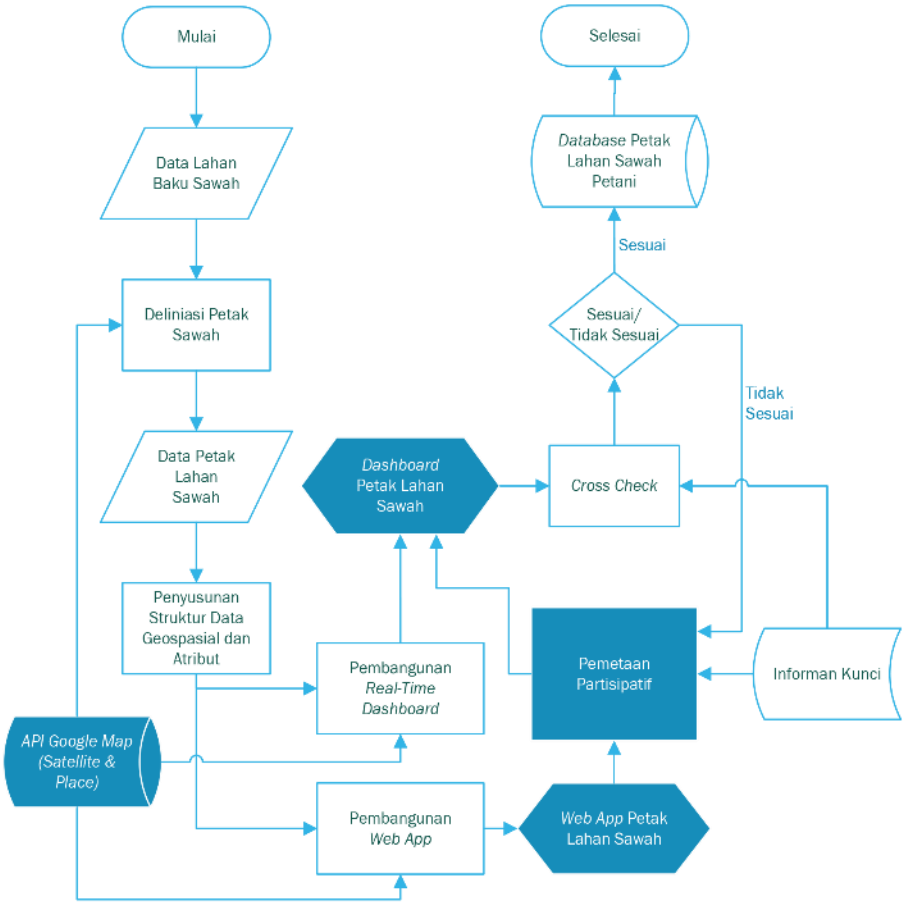
Kajian ini menggunakan data dasar LBS 2019 yang berada di wilayah administrasi Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). LBS 2019 ini tersebar di 17 Kecamatan dan 86 desa, dengan total luasan 18.295 hektare (BPN, 2019). Kabupaten Sleman merupakan daerah lumbung pangan (daerah surplus beras) bagi Provinsi DIY dengan letak geografis antara 07º34’51” sampai dengan 07º47’30” Lintang Selatan dan 110º00’40” sampai dengan 110º00’70” Bujur Timur dengan jumlah penduduk sebesar 1.075.575 jiwa (Martanto, 2021). Sebaran LBS 2019 di masing-masing wilayah administrasi kecamatan dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Lokasi Kajian dan Data Dasar

Tahapan Pekerjaan

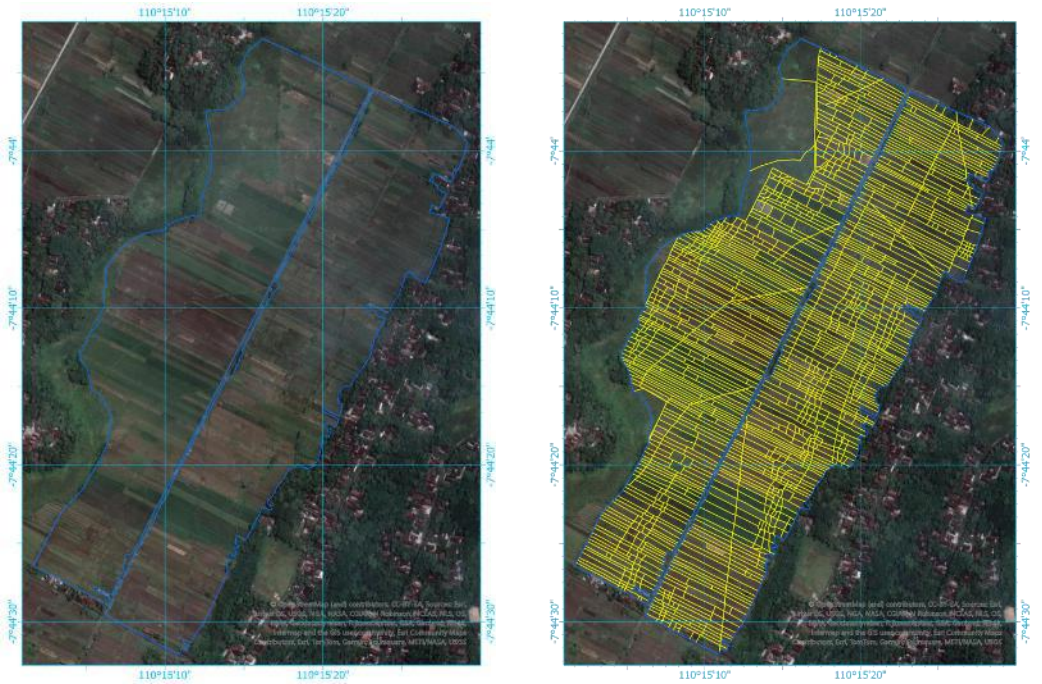
Pekerjaan pemetaan ini dimulai dengan membangun basis data petak lahan sawah, menyusun struktur data geospasial dan atribut, membangun perangkat visual berupa *web app* dan *dashboard,* melaksanakan pemetaan partisipatif, dan diakhiri dengan penyimpanan dan penyajian basis data hasil pemetaan. Alur pekerjaan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir pekerjaan.

Membangun Basis Data Petak Lahan Sawah

Basis data petak lahan sawah dilakukan melalui pekerjaan delineasi batas petak lahan sawah. Penarikan batas lahan dilakukan menggunakan perangkat lunak *ArcGIS Pro* dengan panduan visual (kenampakan) dari layanan *API* peta dasar berbasis CSRST, yaitu *Google Maps.* Luasan masing-masing petak dihitung secara otomatis melalui perangkat *Geoprocessing* di dalam perangkat lunak *ArcGIS Pro.* Data geospasial petak lahan yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 3**.



LBS 2019 sebelum delineasi LBS 2019 sesudah delineasi

Gambar 3. Delineasi batas petak lahan sawah.

Menyusun Struktur Data Geospasial dan Atribut

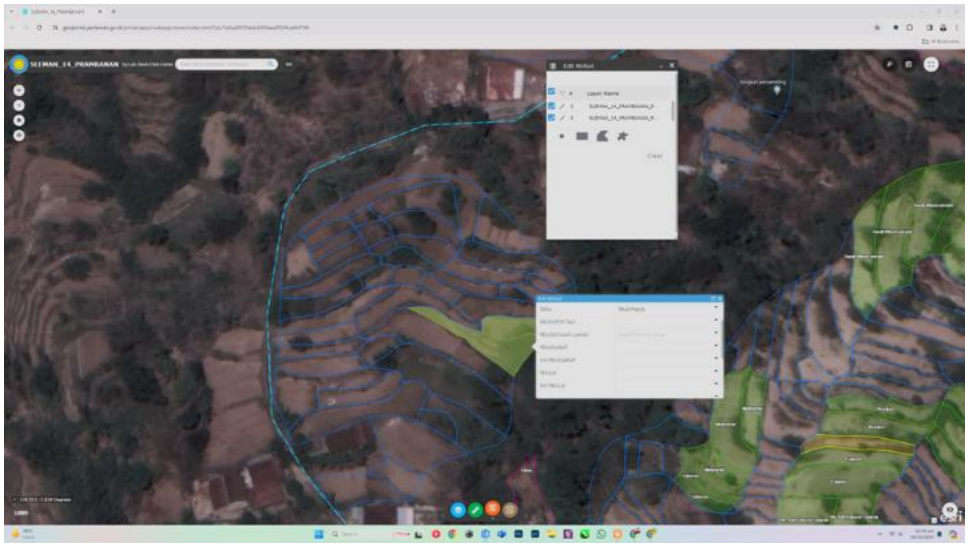
Struktur data geospasial dan atribut dirancang berdasarkan kebutuhan penyaluran pupuk bersubsidi dan bantuan pemerintah sektor pertanian. Data geospasial petak lahan sawah dicacah sampai dengan level administrasi tingkat desa/kelurahan, berdasarkan data geospasial wilayah administrasi Kementerian dalam Negeri. Data atribut dirancang untuk mengetahui petani yang mengelola tiap petak lahan sawah berikut Nomor Induk Kependudukan (NIK)-nya dan nama kelompok tani tempat petani itu bergabung. Kolom data atribut inilah yang akan diisikan oleh informan kunci dalam pemetaan partisipatif, seperti terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Struktur data geospasial dan atribut

No.	Nama Kolom	Alias	Tipe Data	Keterangan
1	Provinsi	Provinsi	Text	diisi otomatis oleh sistem
2	Kabupaten	Kabupaten	Text	diisi otomatis oleh sistem
3	Kecamatan	Kecamatan	Text	diisi otomatis oleh sistem
4	Desa	Desa	Text	diisi otomatis oleh sistem
5	Kelompok_Tani	Kelompok Tani	Text	diisi oleh informan kunci
6	Penggunaan_Lahan	Penggunaan Lahan	Text	diisi oleh informan kunci
7	Luas_CEA	Luas CEA (Ha)	Numeric	diisi otomatis oleh sistem
8	Status	Status	Text	diisi oleh informan kunci
9	Penggarap	Penggarap	Text	diisi oleh informan kunci
10	NIK_Penggarap	NIK Penggarap	Text	diisi oleh informan kunci
11	Pemilik	Pemilik	Text	diisi oleh informan kunci
12	NIK_Pemilik	NIK Pemilik	Text	diisi oleh informan kunci

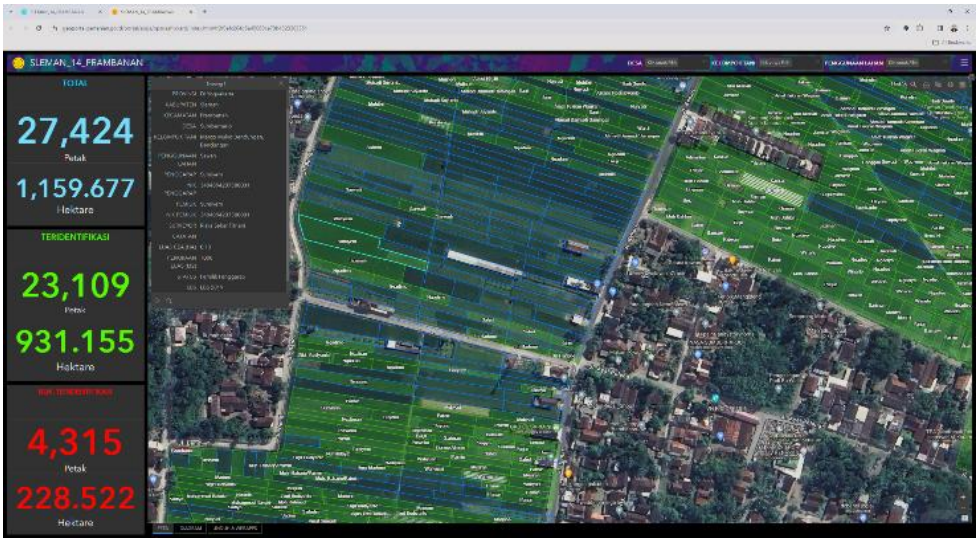
Membangun Perangkat Visual berupa Web App dan Dashboard

Web App berbasis SIG dibangun menggunakan data geospasial petak lahan sawah dengan rancangan struktur dan atribut yang telah ditentukan sebelumnya. *Web App* ini dibangun melalui *platform ESRI ArcGIS Online* yang diintegrasikan dengan layanan *API Google Maps* terutama pada layanan peta dasar CSRST dan nama lokasi (*tag* geografis hasil partisipasi pengguna *platform google),* sehingga memberikan kemampuan lebih sebagai perangkat visual pada pelaksanaan PP. Selain sebagai perangkat pengumpulan informasi atribut, *web app* ini mampu melakukan *editing* geometri (*add, merge,* dan *split* poligon) petak lahan sawah, sehingga mampu mengakomodasi informasi yang diberikan informan kunci terkait dengan keadaan lapangan yang dipahaminya. Pascapelaksanaan PP, *web app* ini dapat digunakan kembali untuk pemutakhiran data. Tampilan *web app* dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. *Web App* pemetaan petak lahan sawah.

Proses *input data* yang dilakukan melalui *web app* langsung ditampilkan secara *real-time online* melalui *ArcGIS Dashboard. Dashboard* merupakan tampilan visual beberapa informasi untuk mendapatkan informasi turunannya (Few, 2015). *Dashboard* ini dibangun dengan menggunakan basis data yang sama dengan *Web App*, sehingga keduanya merupakan satu kesatuan sistem yang terintegrasi dalam *platform ESRI ArcGIS Online.* Pada pelaksanaan PP, *dashboard* ini digunakan untuk proses pengecekan kembali setelah informan kunci memberikan informasinya. Pascapelaksanaan PP, *dashboard* dapat digunakan sebagai perangkat visual untuk menyajikan hasil pemetaan. Tampilan *dashboard* dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. *Dashboard* pemetaan petak lahan sawah.

Melaksanakan Pemetaan Partisipatif (PP)

Organisasi PP terdiri dari 71 orang Penyuluh Pertanian Lapangan (PPL), 7 orang Penyelia Pemetaan, 50 orang Operator SIG, dan 3.144 orang perwakilan dari 1.043 kelompok tani sebagai informan kunci. Total personil dalam pelaksanaan PP adalah 3.272 orang. PP dibagi menjadi 8 sub-organisasi di 8 lokasi, dan dilakukan secara paralel.

PPL bertugas menyampaikan sosialisasi, memilih perwakilan sebagai informan kunci, serta memandu para informan kunci untuk menyiapkan data-data nama dan NIK petani yang menjadi anggotanya dan sketsa lahan sederhana. Penyelia Pemetaan bertanggung jawab dalam supervisi dan kendala input data. Penggalian informasi terhadap informan kunci dilakukan oleh Operator SIG yang kemudian diinput melalui *web app*. Sedangkan informan kunci berperan sebagai narasumber untuk informasi yang akan diinput sesuai dengan rancangan data geospasial dan atribut dalam pekerjaan pemetaan ini.

Jika informan kunci sudah memberikan semua informasinya dan sudah diinput dalam sistem *web app*, selanjutnya dilakukan *cross check* data, terutama dengan informan kunci lain yang berbeda kelompok tani, tetapi lokasi lahannya bersebelahan. Hal ini untuk meminimalkan kesalahan input karena perbedaan pemahaman terhadap peta dalam perangkat visual *web app*. Dokumentasi pelaksanaan PP dapat dilihat pada **Gambar 6**.



(a) (b)

(c) (d)

Gambar 6. (a) Sosialisasi pelaksanaan PP, (b) penggalian informasi oleh surveyor kepada informan kunci, (c) Input data melalui *web apps*, (d) Cross Check data melalui *web apps* dan *dashboard*

Penyimpanan dan Penyajian Basis Data Hasil Pemetaan

Hasil pemetaan petak lahan sawah disimpan dalam basis data geospasial berformat *.gdb, yang dapat dikonversi ke format basis data geospasial lain sesuai dengan kebutuhan. Sebagai contoh, format *.gdb dapat dikonversi ke format *.shp untuk kebutuhan pengelolaan dan visualisasi secara *offline*, ataupun ke format *.geoJSON untuk kebutuhan pengelolaan dan visualisasi secara *online.* Hasil pemetaan petak lahan sawah disajikan secara interaktif dalam bentuk *online dashboard.* Sedangkan *web app* yang digunakan dalam pelaksanaan PP dapat digunakan untuk pemutakhiran data selanjutnya.

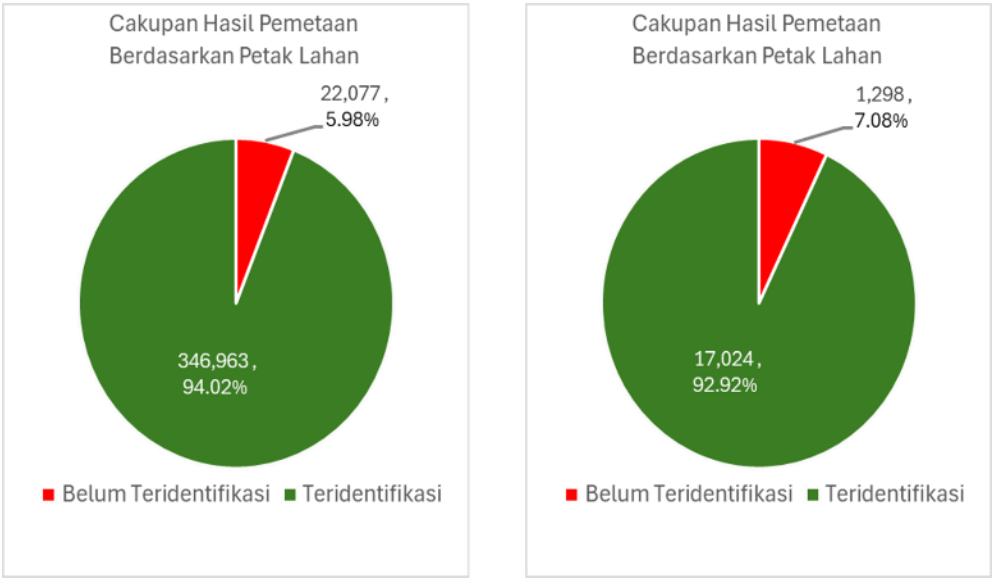
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan perangkat visual berbasis citra resolusi tinggi yang dihasilkan melalui wahana *UAV/drone* terbukti efektif dalam mendukung PP untuk mendapatkan informasi tematik yang cukup lengkap dan akurat (Baharuddin, *et al.*, 2020; Handoko, *et al.*, 2021). Melalui penggunaan *API Google Map*, sebagai pengganti perangkat visual berbasis citra *drone,* yang diintegrasikan ke dalam SIG berbasis *web,* memberikan kemudahan dan kecepatan dalam pelaksanaan pemetaan petak lahan sawah dengan metode PP.

Perangkat visual yang digunakan dalam skema kerja ini memiliki akurasi yang baik dan jauh lebih cepat dalam proses pembuatannya dibandingkan dengan perangkat visual berbasis peta cetak maupun penggunaan wahana *drone*. Skema kerja ini juga memberikan kecepatan dalam pengumpulan, pengolahan, dan koreksi hasil PP jika dibandingkan dengan penggunaan SIG *offline.* Penggunaan *API Google Map,* yang juga kaya akan *tag* geografis, menambah ketajaman informasi dan sangat membantu informan kunci dalam mengidentifikasi petak lahan sawah secara spasial.

Hasil pemetaan menunjukkan petak lahan sawah yang teridentifikasi sebanyak 346.963 petak (94,02%) dari total petak sejumlah 369.040. Luasan petak teridentifikasi adalah 17.024 hektare (92,92%) dari total luas 18.322 hektare. Dengan demikian masih ada 22.077 petak (5,98%) dari total petak) seluas 1.298 hektare (7,08% dari total luas) yang belum teridentifikasi, dapat dilihat dalam **Gambar 7.**

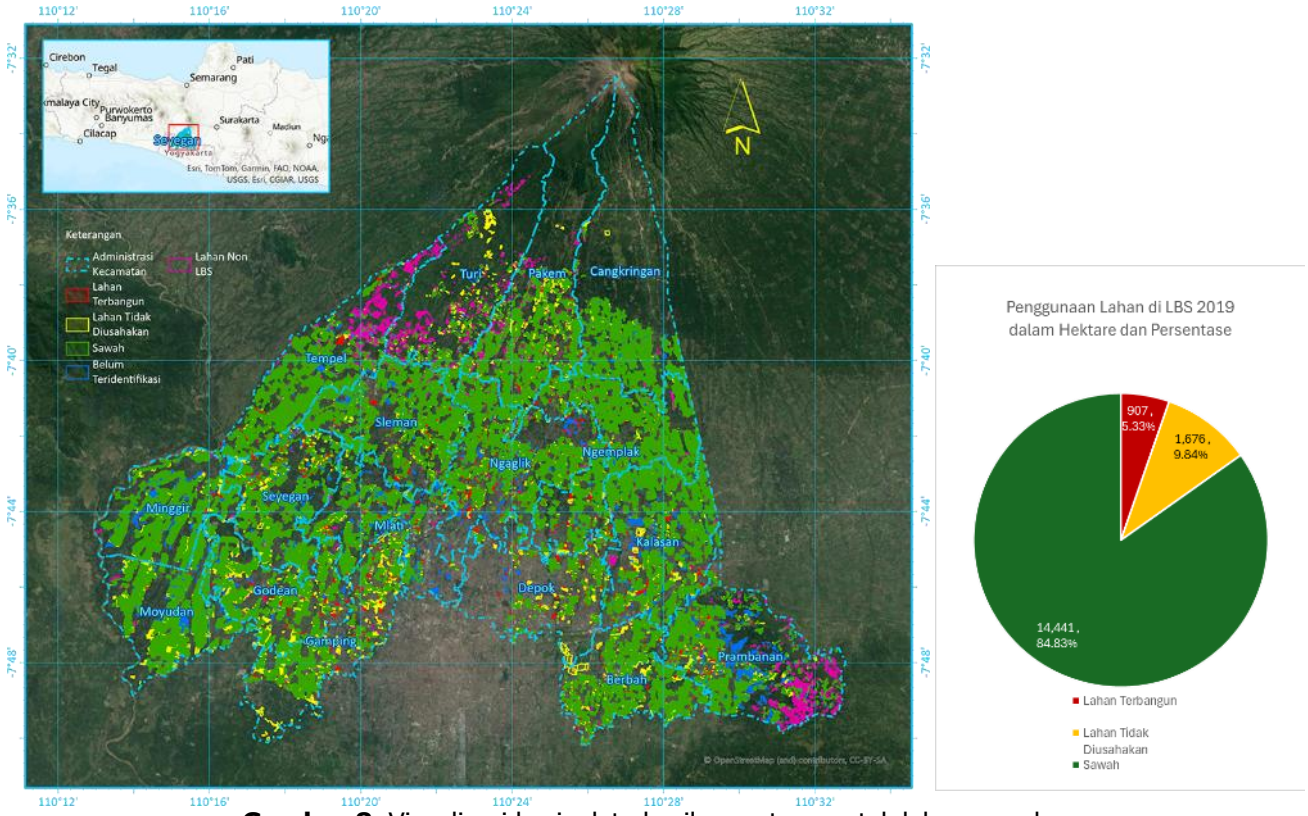
Belum teridentifikasinya petak lahan sawah ini disebabkan karena informan kunci yang bersangkutan tidak memiliki informasi terkait pengelola lahan tersebut. Berdasarkan penggalian informasi lebih lanjut, penyebab yang paling banyak ditemui adalah pemilik atau pengelola lahan berada di luar wilayah dan tidak berinteraksi secara sosial dengan kelompok tani.



Gambar 7. Cakupan identifikasi petak lahan sawah.

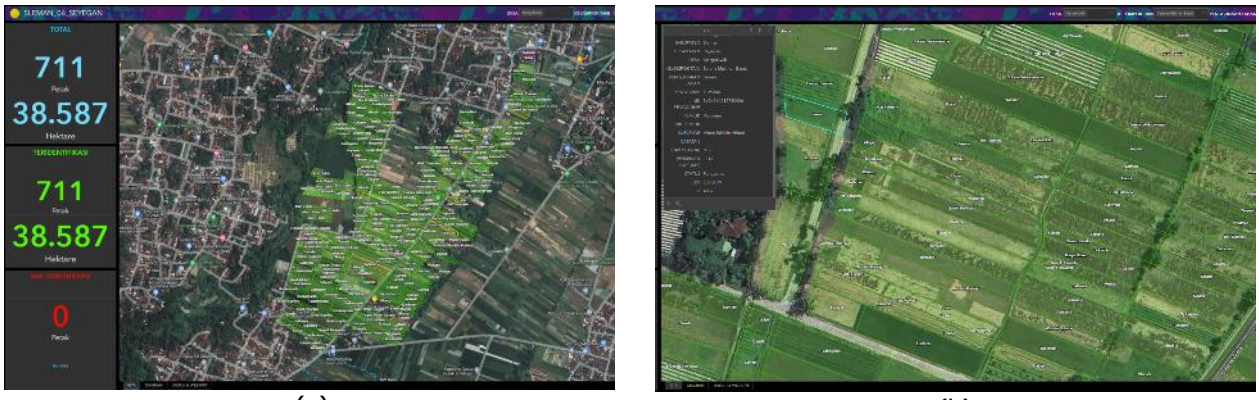
Selain itu, pemetaan ini juga menghasilkan informasi lahan sawah yang tidak termasuk dalam lahan baku sawah nasional 2019 sebanyak 15.365 petak seluas 1.280 hektare. Lahan ini akan diusulkan kepada BPN untuk dilakukan verifikasi lapangan untuk selanjutnya diintegrasikan dalam data lahan baku sawah nasional.

Dari 17.024 hektare petak lahan sawah yang teridentifikasi, terdapat 907 hektare (5,33%) menjadi lahan terbangun, 1.676 hektare (9,84%) tidak diusahakan untuk tanam padi, dan 14.441 hektare (84,83%) merupakan sawah aktif. Dari data tersebut dapat disimpulkan telah terjadi alih fungsi lahan dari sawah ke nonsawah seluas 2.583 hektare (15,17%), dapat dilihat dalam **Gambar 8**.



Gambar 8. Visualisasi basis data hasil pemetaan petak lahan sawah.

Basis data geospasial yang dihasilkan dari pemetaan ini mampu menampilkan data di level kelompok tani, seperti terhadap jumlah petak sawah aktif, nama dan jumlah anggota, serta indikasi luasan baik per-petak maupun total luas lahan kelompok tani. Sebagai contoh, melalui *dashboard* Kecamatan Seyegan dapat dilakukan *query* untuk menampilkan data kelompok tani sarana makmur, di Desa Margoluwih. Dari *query* tersebut dapat diketahui karakteristik sebaran lahan sawah, petak lahan sawah sejumlah 711 dan indikasi total luas sebesar 38,5 hektare. Masing-masing petak lahan sawah dapat dilihat detail informasinya yaitu penggarap (pengelola), pemilik, kelompok tani, dan indikasi luas, seperti terlihat pada **Gambar 9**.



(a) (b)

Gambar 9. (a) Kumpulan lahan petani dalam satu kelompok tani, (b) Informasi detail salah satu petak lahan sawah

Informasi pengelola lahan di kelompok tani tersebut berjumlah 189 orang, yang dapat dirinci sampai dengan jumlah petak dan indikasi luasannya, seperti terlihat di **Gambar 10**.

No.	Nama Penggarap	Jumlah Petak	Total Indikasi Luas (Ha)
1	Adi Pranoto	10	0.22
2	Adi Suprapto	3	0.27
3	Adi Wiyanto	4	0.13
4	Adi Wiyatno	1	0.09
5	Ahmad Hasan	3	0.09
185	Widodo	8	0.85
186	Wiji Lestari	1	0.05
187	Yanis Parto Taruno	5	0.20
188	Yanis Wato Taruno	6	0.15
189	Yunanto	2	0.17

Gambar 10. Rincian pengelola lahan di Kelompok Tani Sarana Makmur.

Uji akurasi lapangan dilakukan di salah satu kelompok tani, untuk menguji keakuratan informasi yang disampaikan informan kunci. Hasil uji akurasi menunjukkan tingkat kepercayaan sebesar 95%.

KESIMPULAN

Pemetaan Partisipatif Petak Lahan Sawah dengan menggunakan SIG berbasis *web* yang menggunakan *API Google Map* terbukti mampu menghasilkan basis data geospasial petak lahan sawah petani. Cakupan data yang dihasilkan dalam pemetaan ini juga mampu menjangkau level administrasi kabupaten. Dari pengamatan di lapangan, pemahaman petani sebagai informan kunci terhadap peta digital sangat baik, sehingga mampu memberikan informasi yang akurat. Pembuatan sketsa lahan sederhana oleh kelompok tani sangat membantu dalam mempercepat proses penggalian informasi dan input data ke dalam sistem. Dengan tersedianya basis data geospasial petak lahan sawah ini diharapkan dimanfaatkan pemerintah untuk mempertajam rancangan dan implementasi kebijakan di bidang pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi D.I. Yogyakarta, Dinas Pertanian Pangan dan Perikanan Kabupaten Sleman, Program Studi Penyuluhan dan Komunikasi Pertanian Universitas Gadjah Mada, dan Politeknik Pembangunan Pertanian Yogyakarta Magelang atas dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Handoko, E. Y., Yuwono, & Tucunan, K. P. (2021). Pemetaan Desa Menggunakan Metode Partisipatif untuk Pembangunan Desa dan Kawasan (Desa Ngepung, Kecamatan Lengkong, Kabupaten Nganjuk, Propinsi Jawa Timur). SEWAGATI: Jurnal Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat, 5(1), 30-35. e-ISSN 2613-9960

Baharuddin, Refki, A., & Fuady, A. (2020). Pemetaan Partisipatif untuk Percepatan Pembangunan Desa dan Kawasan di Desa Tambak Sarinah, Kecamatan Kurau, Kabupaten Tanah Laut. Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Lambung Mangkurat, 1(2), 52–60

BPN. (2019). Luas Lahan Baku Sawah Nasional Tahun 2019. Keputusan Menteri ATR/Kepala BPN No. 686/SK-PG.03.03/XII/2019. Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional. Jakarta.

Few, S. (2015). Information dashboard design: the effective visual communication of data. Second Edition. Analytic Press. Burlingame California. USA

IFAD. (2010). The IFAD adaptive approach to participatory mapping-design and delivery of participatory mapping projects. Retrieved from http://www.iapad.org/wp-content/uploads/2015/07/ifad_adaptive_approach.pdf

Kusmiarto, K., Yulfa, A., & Mustofa, F. C. (2019). Model-Model Pendekatan Partisipatif dalam Sistem Informasi Geografi. BHUMI: Jurnal Agraria dan Pertanahan, 4(2), 208–223. https://doi.org/10.31292/jb.v4i2.279

McQuire, S. (2019). One map to rule them all? Google Maps as digital technical object. Communication and the Public, 4(2), 150-165. https://doi.org/10.1177/2057047319850192

Mustofa, F. C., Aditya, T., & Sutanta, H. (2014). Sistem Informasi Geografis Partisipatif (SIG-P) untuk menuntaskan pemetaan bidang tanah: peluang dan tantangan. In H. Sutanta (Ed.), Menuju Pengelolaan Informasi Secara Spasial: Fondasi, Evaluasi dan Implementasi (hal. 151–164). Yogyakarta, Indonesia: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. https://doi.org/10.5281/zenodo.1323188

Martanto, R, & Andriani, V. (2021). Arahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Sleman, Indonesia. Prosiding Forum Ilmiah Tahunan (FIT)- Ikatan Surveyor Indonesia (ISI), [S.I.], v. 1, p. 187 - 193, dec. 2021. ISSN 2809-1833.

Plantin, J. (2014). Participatory Mapping: New Data, New Cartography. Wiley-ISTE. ISBN: 978-1-118-96694-5

Reichel, C., Frömming, U, U. (2014). Participatory Mapping of Local Disaster Risk Reduction Knowledge: An Example from Switzerland. Int J Disaster Risk Sci 5, 41–54 (2014). https://doi.org/10.1007/s13753-014-0013-6

OPTIMASI PENGELOLAAN AIR: ANALISIS POLA SPASIAL POTENSI AIR TANAH TERHADAP KETERSEDIAAN LAHAN DI DAERAH IBU KOTA NUSANTARA (IKN)

(Water Management Optimization: Spatial Pattern Analysis of Groundwater Potential on Land Availability in The Ibu Kota Nusantara)

Dwi Rahmayana[1], Bimo Rangga Alfaroby Mosyafwa[2], Raihan Ramadhan[3]
[1]Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar
[2]Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh November
[3]Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

Jl. Mallengkeri Raya, Kampus UNM Parangtambung, Makassar 90224
E-mail: rahmayanadwi@gmail.com

ABSTRAK

Air tanah ditinjau dari aspek kualitas maupun kuantitasnya merupakan salah satu sumber yang potensial untuk dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan akan sumber daya air. Pemindahan ibu kota yang disebut sebagai Ibu Kota Nusantara (IKN) menjadi tantangan besar dalam memastikan bahwa air sebagai sumberdaya alam utama pendukung kehidupan dapat menyuplai semua aktivitas di daerah IKN. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola persebaran potensi air tanah terhadap ketersediaan lahan di daerah IKN sebagai langkah lanjut pengelolaan air. Metode yang digunakan melalui pendekatan sistem informasi geografis & *Enhanced Built-Up and Bareness Index* (EBBI) tahun 2023, dan indeks Moran's melalui perangkat lunak Geoda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari lima kelas potensi air tanah digunakan, wilayah yang memiliki potensi air tanah tinggi hingga sangat tinggi pada lahan kosong. Potensi air tanah kelas rendah memiliki luas 0,52 hektare untuk lahan kosong dan 1,25 hektare lahan terbangun. Kelas sedang seluas 34,94 hektare sungai/badan air, 1.244,91 hektare lahan kosong, 273,17 hektare lahan terbangun. Kelas tinggi seluas 209,42 hektare sungai/badan air, 35.256,17 hektare lahan kosong, 2.395,09 hektare lahan terbangun. Kelas sangat tinggi seluas 13,50 hektare sungai/badan air, 15.229,20 hektare lahan kosong, 975,60 hektare lahan terbangun. Analisis autokorelasi spasial menunjukkan uji signifikansi bersifat positif, dengan nilai indeks Moran's 0,605. Sebaran potensi air tanah memiliki pola sebaran klaster dimana klaster kuadran I (*High-High*) pada kelas potensi air tanah tinggi – sangat tinggi, kuadran III (*Low-Low*) kelas potensi air tanah sedang – tinggi, kuadran II (*Low-High*) kelas tinggi, kuadran IV (*High-Low*) kelas sangat tinggi, dan di seluruh klasifikasi potensi air tanah terdapat klaster tidak signifikan.

Kata kunci: air tanah, ketersediaan lahan, IKN

ABSTRACT

Groundwater in terms of quality and quantity is one of the potential sources to be utilized in meeting the need for water resources. The relocation of the capital city called the Capital City of the Archipelago (IKN) is a big challenge in ensuring that water as the main natural resource supporting life can supply all activities in the IKN area. This study aims to determine the distribution pattern of groundwater potential against land availability in the IKN area as a further step in water management. The method used is through a geographic information system approach & Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) in 2022, and Moran's index through Geoda software. The results showed that of the five classes of groundwater potential used, areas that have high to very high groundwater potential on vacant land. The low-grade groundwater potential has an area of 0.52 hectare for vacant land and 1.25 hectare for built-up land. Medium class an area of 34.94 hectare of rivers/water bodies, 1,244.91 hectare of vacant land, 273.17 hectare of built-up land. High grade area of 209.42 hectare river/water body, 35,256.17 hectare vacant land, 2,395.09 hectare built-up land. Very high class area of 13.50 hectare river/water body, 15,229.20 hectare vacant land, 975.60 hectare built-up land. Spatial autocorrelation analysis showed the significance test was positive, with a Moran's index value of 0.605. The distribution of groundwater potential has a cluster distribution pattern where quadrant I (High-High) clusters in the high – very high groundwater potential class, quadrant III (Low-Low) medium – high groundwater potential class, high class II (Low-High) quadrants, very high class IV (High-Low) quadrants, and in all groundwater potential classifications there are insignificant clusters.

Keywords: *groundwater, land availability, IKN*

PENDAHULUAN

Air tanah merupakan salah satu sumber daya yang potensial untuk dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan akan sumber daya air, baik dari aspek kualitas maupun kuantitasnya (Ashari & Widodo, 2019). Air tanah memiliki fungsi yang sangat penting bagi kehidupan seluruh makhluk hidup, termasuk manusia. Hal ini berlaku juga di Negara Indonesia, dimana air tanah memegang peran penting sebagai sumber air utama dalam memenuhi kebutuhan pokok hidup banyak orang (*common goods*), dan menjadi komoditas ekonomis bahkan sudah menjadi komoditas strategis di beberapa tempat. Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Pertambangan menjelaskan bahwa diperkirakan 70% kebutuhan air bersih penduduk dan 90% kebutuhan industri berasal dari air tanah.

Ibu Kota Nusantara (IKN) adalah ibu kota baru yang secara administratif wilayahnya berada di Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Pembangunan dan pengembangan wilayah sedang gencar dilakukan. Pembangunan IKN diketahui menggunakan konsep kota hutan yang berkelanjutan (*forest city*). Rencana pemindahan ibu kota negara di Provinsi Kalimantan Timur memiliki tantangan besar pada aspek lingkungan terutama cara memastikan pembangunan dapat tetap mempertahankan fungsi lahan hutan sebagai salah satu penyedia sumber daya air. Sebagaimana kebutuhan akan air tanah akan terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan laju pembangunan (Nurfaika, 2021). Laju pembangunan sejalan dengan ketersediaan lahan yang ada. Sehingga keterkaitan antara potensi air tanah dan ketersediaan lahan tidak dapat diabaikan. Ketersediaan air tanah dapat mempengaruhi pembangunan perkotaan, pertanian, dan pelestarian lingkungan (Mustafa, 2024). Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) juga menyebutkan tujuan pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals (SDGs)* memperhatikan potensi air yang mengarah pada tujuan keenam yakni penyediaan air bersih dan sanitasi layak atau *clean water and sanitation*.

Hubungan antara ketersediaan lahan dan keberadaan air tanah telah banyak disinggung dalam konsep perencanaan kota terutama kaitannya dengan lahan hutan (Mutaqin, 2021) hal ini juga berlaku di kawasan IKN. Potensi wilayah yang memiliki pasokan air yang tinggi mampu menjadi daya tarik terhadap pelaksanaan pembangunan. Namun terlepas dari hal itu, untuk meminimalkan risiko atau dampak yang timbul dari pengambilan air tanah secara tinggi dan risiko bencana yang akan terjadi, dibutuhkan suatu pengelolaan secara tepat guna dan sasaran. Oleh karena itu, informasi dan pemahaman tentang zona potensi air tanah menjadi penting dalam perencanaan tata ruang, pembangunan dan pengembangan wilayah. Zona potensi air tanah adalah pendefinisian suatu area berdasarkan kemungkinan adanya sumber air tanah. Penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) membentuk seperangkat alat canggih yang digunakan untuk pengumpulan, penyimpanan, dan pengelolaan data spasial secara sederhana (Remoum & Bouzenoune, 2019). dalam hal ini, termasuk sebagai salah satu metode untuk eksplorasi air tanah. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meninjau pola spasial potensi air tanah terhadap ketersediaan lahan di daerah Ibu Kota Nusantara sebagai langkah awal pengelolaan air secara berkelanjutan.

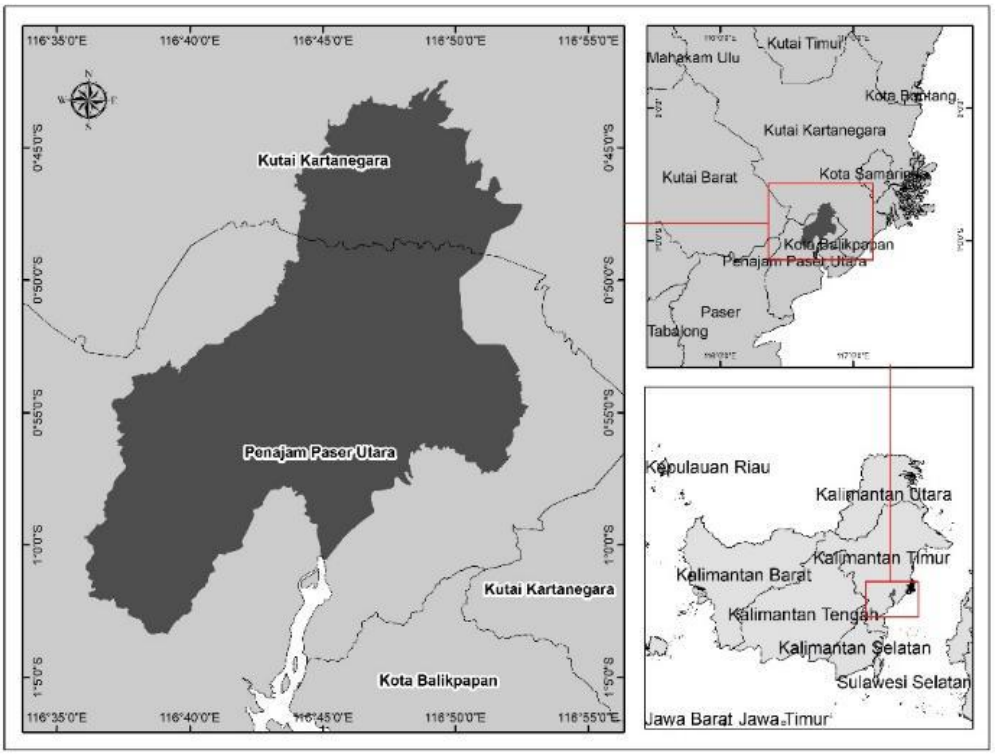
METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Ibu Kota Nusantara yang secara astronomis pada 116°31'37,728" - 117°18'28,084" Bujur Timur dan 0°38'44,912"-1°15' 25,260" Lintang Selatan. Ibu Kota Nusantara memiliki luas 256,142 hektare, terletak di sebagian Kabupaten Penajam Paser Utara dan sebagian di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Adapun batas-batas wilayahnya meliputi:

- Bagian selatan berbatasan dengan Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara, Teluk Balikpapan; Kecamatan Balikpapan Barat; Kecamatan Balikpapan Utara; dan Kecamatan Balikpapan Timur, Kota Balikpapan.
- Bagian barat berbatasan dengan Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara; dan Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara.

- Bagian utara berbatasan dengan Kecamatan Loa Kulu, Kecamatan Loa Janan, dan Kecamatan Sanga-Sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara; serta
- Bagian timur berbatasan dengan Selat Makassar.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data diawali dengan studi literatur dari penelitian yang telah ada kemudian pengambilan data sesuai petunjuk-petunjuk ataupun standar dari tahap studi literatur. dalam penelitian ini data yang digunakan merupakan data sekunder untuk menganalisis potensi air tanah dan ketersediaan lahan di lokasi kajian. Menurut Mandal (2016) dalam Pratama (2018), identifikasi potensi air tanah dapat menggunakan tujuh parameter yaitu curah hujan, kemiringan lereng, kerapatan vegetasi, jenis tanah, tutupan lahan, densitas drainase, dan geologi. Identifikasi kerapatan vegetasi dan kawasan terbangun menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2023.

Tabel 1. Sumber data penelitian.

No	Data	Fungsi	Sumber
1	*Shapefile* administrasi Ibu Kota Nusantara	Peta batas lokasi kajian	Badan Informasi Geospasial
2	*Digital elevation model* (DEM) resolusi 8m	Peta kemiringan lereng	Badan Informasi Geospasial
3	*Digital elevation model* (DEM) resolusi 8m	Peta densitas drainase	Badan Informasi Geospasial
4	Curah hujan 10 tahun terakhir	Peta curah hujan	*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS)
5	Citra landsat 8 OLI/TIRS Ibu Kota Nusantara tahun 2023	Peta kerapatan vegetasi	*United States Geological Survey* (USGS)
6	Citra landsat 8 OLI/TIRS Ibu Kota Nusantara tahun 2023	Peta kawasan terbangun	*United States Geological Survey* (USGS)
7	Tanah	Peta jenis tanah	*Food and Agriculture Organization* (FAO)
8	Litologi	Peta geologi	Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
9	Tutupan lahan	Peta tutupan lahan	Badan Informasi Geospasial

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* ArcGIS, Google Earth Engine, Geoda, dan Microsoft Office. Analisis data potensi air tanah secara spasial dengan menggunakan *software* ArcGIS, teknik *overlay* yang diberikan skor tiap klasifikasi yang ada. Setelah penjumlahan skor, dilakukan pembagian kelas tingkat potensi air tanah menggunakan **Persamaan 1** sebagai berikut:

$$I = \frac{Nmaks - Nmin}{n_k} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
I : interval kelas
Nmaks : jumlah skor tertinggi
Nmin : jumlah skor terendeh
n_k : jumlah kelas yang diinterval

Tabel 2. Skor parameter.

No	Parameter	Sub-parameter	Skor
1	Curah hujan (mm)	>2500	5
		2000 - 2500	4
		1500 – 2000	3
		1000 – 1500	2
		<1000	1
2	Tanah	Pasir	3
		Liat-berpasir	2
		Liat	1
3	Kerapatan vegetasi	Sangat rapat (0,45<NDVI<1)	5
		Rapat (0,35<NDVI<0,45)	4
		Sedang (0,25<NDVI<0,35)	3
		Jarang (0,15<NDVI<0,25)	2
		Sangat jarang (-1<NDVI<0,15)	1
4	Densitas drainase (m/m^2)	0 – 101 (renggang)	5
		101 – 203 (cukup renggang)	4
		203 – 304 (sedang)	3
		304 – 406 (cukup rapat)	2
		406 – 508 (rapat)	1
5	Litologi	Batu Gamping	4
		Endapan Alluvium	3
		Batu Pasir	2
		Batuan Vulkanik	1
6	Tutupan lahan	Agrikultur	6
		Hutan	5
		Badan Air	4
		Daerah Berpasir	3
		Tanah Basah	2
		Permukiman	1
7	Kemiringan lereng (%)	0 – 8 (datar)	5
		8 -15 (landai)	4
		15 -25 (agak curam)	3
		25 – 40 (curam)	2
		>40 (sangat curam)	1

Sumber: Andini et al. (2018) dan Mandal et al. (2016) dalam Pratama et al. (2018)

Berdasarkan formula di atas, masing-masing potensi air tanah di setiap satuan parameter adalah dengan lima interval. Tingkat potensi air tanah dibagi atas lima kelas, sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Klasifikasi potensi air tanah.

No	Kelas Interval	Tingkat Potensi
1	7 – 12	Sangat Rendah
2	>12 – 17	Rendah
3	>17 – 22	Sedang
4	>22 – 27	Tinggi
5	>27	Sangat Tinggi

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Identifikasi kerapatan vegetasi dilakukan analisis menggunakan data Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2023 dengan metode NDVI *(Normalized Difference Vegetation Index)*. NDVI atau indeks kerapatan vegetasi merupakan metode yang sering digunakan untuk mengukur tingkat kehijauan vegetasi dengan cara membandingkan spektral antara gelombang NIR dengan gelombang *RED*. Algoritma NDVI pada **Persamaan 2** berikut.

$$\text{NDVI} = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan:
NIR : *band* inframerah dekat (*band* 5)
R : *band* merah/*red* (*band* 4)

EBBI (Enchanced Built-Up and Bareness Index)

Identifikasi kawasan dimaksud adalah membedakan antara kawasan non-terbangun dan kawasan terbangun. Iidentifikasi dilakukan menggunakan data Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2023 dengan metode EBBI *(Enchanced Built-Up and Bareness Index)*. EBBI dapat menghasilkan pemetaan yang lebih spesifik mengenai kawasan terbangun dan lahan kosong melalui gelombang yang digunakan yakni NIR, SWIR, dan TIRS (Prakoso & Sasmito, 2018). Algoritma EBBI pada **Persamaan 3** berikut.

$$\text{EBBI} = \frac{SWIR-NIR}{10\sqrt{SWIR+TIRS}} \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan:
NIR : nilai spektral saluran *Near Infrared* (*band* 5)
SWIR-1 : nilai spektral saluran *Short Wave Infrared* 1 (*band* 6)
TIRS-2 : nilai spektral saluran *Thermal Infrared Sensor* 2 (*band* 11)

Dari hasil **Persamaan 3** akan dilakukan tahap klasifikasi dengan menggolongkan kawasan terbangun rentang nilai >0,35 dan lahan kosong dengan nilai -0,0 – 0,35.

Tabel 4. Spesifikasi *band* landsat 8 sensor OLI/TIRS.

Band	*Wavelength* (µm)	Resolusi (meter)
Band 1 Coastal/Aerosol	0,435-0,451	30
Band 2 Blue	0,452-0,512	30
Band 3 Green	0,533-0,590	30
Band 4 Red	0,636-0,673	30
Band 5 Near-Infrared (NIR)	0,851-0,879	30
Band 6 SWIR-1	1,566-1,651	30
Band 7 SWIR-2	2,107-2,294	30
Band Pankromatik	0,503-0,676	15
Band Cirrus	1,363-1,384	30
Band 10 Thermal infrared (TIRS) 1	10,60-11,19	100
Band 11 Thermal infrared (TIRS) 2	11,50-12,51	100

Sumber: Katalog Inderaja, Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh (2018)

Processing Software Geoda

Analisis autokorelasi spasial dilakukan dengan bantuan *software* Geoda melalui pendekatan metode indeks Moran. Metode Indeks Moran merupakan metode yang sering digunakan untuk

pengukuran autokorelasi spasial global. Indeks Moran dapat diaplikasikan untuk mendeteksi *feature* spasial acak yang mengindikasikan bentuk pola spasial yang berkelompok (*cluster*), menyebar ataupun acak (Hernawati, 2019). Nilai Moran's I yang dihasilkan dari perhitungan autokorelasi spasial secara otomatis dapat mengindikasikan pola sebaran/*feature* yang terbentuk. Adapun untuk pola *feature* yang terbentuk berdasarkan nilai Moran's I dapat dilihat pada **Tabel 5**. Sedangkan formula indeks Moran's I dapat dilihat pada **Persamaan 4** berikut.

$$I = \frac{N}{wij \sum i \sum j} \frac{\sum i \sum j \, wij(Xi-\bar{X})(Xj-\bar{X})}{\sum i (Xi-\bar{X})^2} \quad \text{.....(4)}$$

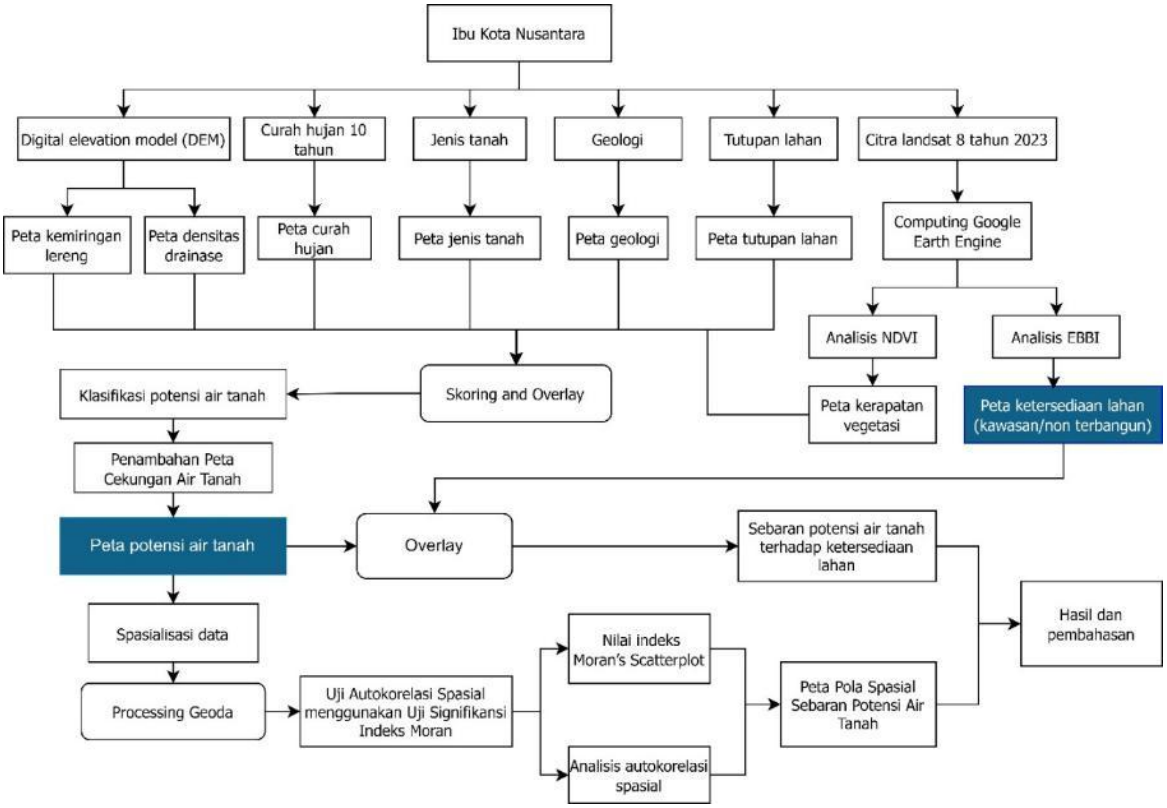
Keterangan:
I : nilai Moran's I
N : banyaknya lokasi kejadian
Xi : nilai pada lokasi i
Xj : nilai pada lokasi j
$\bar{X}$: rata-rata jumlah variabel
wij : elemen pada pembobotan antara daerah i dan j

Tabel 5. Pola *feature* yang terbentuk dari nilai Moran's I.

Morans'I	Keterangan
I > 0	Kluster (terdapat banyak kemiripan nilai pada *feature*)
I < 0	Acak (pola *feature* tidak jelas)
I = 0	Menyebar (nilai *feature* yang tinggi dan rendah menyebar dalam *dataset*)

Sumber: Hernawati (2019)

Terdapat dua jenis autokorelasi yakni secara global dapat menggunakan Moran's Index dan secara lokal dapat menggunakan Local Moran's Index. Pada penelitian ini menggunakan global autokorelasi yang dilihat dari Moran's indeks.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Untuk mengidentifikasi autokorelasi yang terjadi, baik termasuk autokorelasi positif ataupun negatif, *software* Geoda menyajikan Moran's Scatterplot yang mana merupakan alat untuk melihat hubungan nilai pengamatan dengan nilai rata-rata moran indeks hasil pemrosesan dari Geoda. Nilai Moran's I yang mendekati 1 mengindikasikan adanya autokorelasi spatial positif yang kuat dan jika nilai mendekati -1 maka mengindikasikan adanya autokorelasi spasial negatif yang kuat.

Sedangkan jika mendekati nol mengindikasikan tidak adanya autokorelasi spasial atau pola data bersifat random (Jaya *et al.*, 2018).

Moran's Scatterplot terbagi atas 4 kuadran. Kuadran I (terletak di kanan atas) disebut *High-High* (HH), menunjukkan daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi. Kuadran II (terletak di kiri atas) disebut *Low-High* (LH), menunjukkan daerah dengan pengamatan rendah tapi dikelilingi oleh daerah dengan nilai pengamatan tinggi. Kuadran III (terletak di kiri bawah) disebut *Low-Low* (LL), menunjukkan daerah dengan nilai pengamatan rendah dan dikelilingi oleh daerah dengan nilai pengamatan rendah. Kuadran IV (terletak di kanan bawah) disebut *High-Low* (HL), menunjukkan daerah dengan nilai pengamatan tinggi yang dikelilingi oleh daerah dengan nilai pengamatan rendah (Hernawati, 2019). Moran's Scatterplot yang banyak menempatkan pengamatan di kuadran HH dan kuadran LL akan cenderung mempunyai nilai autokorelasi spasial yang positif. Sedangkan Moran's Scatterplot yang banyak menempatkan pengamatan di kuadran HL dan LH akan cenderung mempunyai nilai autokorelasi spasial yang negatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Air Tanah

Curah Hujan

Curah hujan memiliki hubungan yang kuat terhadap potensi air tanah di suatu daerah. Hujan yang merupakan sumber air utama dalam siklus hidrologi. Peta curah hujan dibuat dari data curah hujan bulanan yang diakumulasi selama 10 tahun terakhir. Pada kawasan IKN curah hujan tahunan berkisar 2.000-3.000 mm/tahun yang berdasarkan klasifikasi skor tertinggi diberikan ke daerah yang memiliki curah hujan tinggi yakni berkisar 2.500-3.000 mm/tahun. Hal ini berhubungan dengan intensitas dan durasi curah hujan yang berperan penting dalam infiltrasi. Dimana, Intensitas tinggi dan hujan berdurasi pendek memiliki lebih sedikit infiltrasi dan lebih banyak limpasan permukaan. Intensitas rendah dan hujan berdurasi panjang memiliki infiltrasi tinggi daripada limpasan (Pratama *et al.*, 2018).

Tanah

Tanah memiliki hubungan langsung dengan potensi air tanah. Tanah yang memiliki permeabilitas tinggi, mengacu pada kondisi tekstur tanah. Dimana tekstur tanah dengan nilai permeabilitas besar dan porositas kecil maka memiliki potensi air tanah yang lebih besar dibandingkan sebaliknya yang memiliki permeabilitas kecil dan porositas besar (Pratama *et al.*, 2018). Pada kawasan IKN terdapat empat jenis tanah yang berdasarkan sumber FAO yakni *Ferric Acrisols* seluas 17.189,67 hektare*; Orthic Acrisols* seluas 788,82 hektare*; Dystric Fluvisols* seluas 13.128,70 hektare; dan *Cambic Arenosols* seluas 25.060,07 hektare. Selain itu berdasarkan pengklasifikasi tekstur tanah, terdapat dua tipe tanah yaitu liat-berpasir (*Ferric Acrisols, Orthic Acrisols, Cambic Arenosols*) dan berpasir (*Dystric Fluvisols*) (Ismunandar *et al.*, 2022). dalam penentuan skor tertinggi potensi air tanah, tanah berpasir merupakan skor tertinggi. Hal ini dikarenakan tekstur tanah berpasir memiliki permeabilitas tinggi, dimana pergerakan air dan zat-zat tertentu bergerak dengan cepat (Kalembiro *et al.*, 2018).

Kerapatan Vegetasi

Kerapatan vegetasi diidentifikasi menggunakan algoritma NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), yang berguna untuk mengetahui evaporasi dan transpirasi serta serapan air oleh vegetasi. Besarnya nilai NDVI menunjukkan semakin tinggi kerapatan vegetasinya (Irawan & Sirait, 2018). Selain itu juga, kawasan dengan kerapatan vegetasi tinggi/badan air memiliki kemungkinan potensi air tanah yang tinggi. Begitupula sebaliknya, kawasan dengan kerapatan vegetasi yang rendah memiliki kemungkinan potensi air tanah yang kecil (Pratama *et al.*, 2018). Pada kawasan IKN, daerah yang memiliki kerapatan vegetasi sangat jarang seluas 188,88 hektare; jarang seluas 657,88 hektare; sedang 4.866,75 hektare; rapat, 14.711,95 hektare; kerapatan vegetasi sangat jarang seluas 35.730,2 hektare.

Densitas Drainase

Densitas drainase atau biasa disebut kerapatan drainase digunakan sebagai sebagai parameter dalam penentuan potensi air tanah karena dapat menunjukkan karakteristik zona resapan di suatu tempat tanah (Pramukti, 2021). Pada kawasan IKN, terdapat lima klasifikasi densitas drainase yaitu renggang seluas 37.606,61ha; cukup renggang 6.514,82 hektare; sedang 8.075,07 hektare; cukup rapat 2.520,03 hektare; dan densitas drainase yang rapat seluas 1.427,72 hektare. Tingginya densitas drainase ini mengindikasikan bahwa sebagian besar air hujan akan menjadi limpasan ke dalam air tanah sehingga daerah dengan densitas drainase tinggi akan memiliki potensi air tanah yang rendah (Putra, 2018).

Litologi

Litologi atau jenis batuan adalah salah satu faktor untuk melakukan identifikasi potensi air tanah di suatu daerah. Ada empat jenis pengklasifikasian litologi dalam menginditifikasi potensi air tanah menurut **Tabel 2** yaitu batu gamping, endapan alluvium, batupasir, dan batu vulkanik. Pada kawasan IKN, daerah yang merupakan endapan aluvium seluas 2.274,56 hektare; batu gamping seluas 9,85 hektare; dan batu pasir seluas 53.882,84 hektare. Batu gamping memiliki potensi air besar dimana merupakan jenis batuan yang memiliki porositas yang tinggi, yang dapat meyimpan dan mengalirkan air tanah secara cukup (Waitina *et al.*, 2023).

Tutupan Lahan

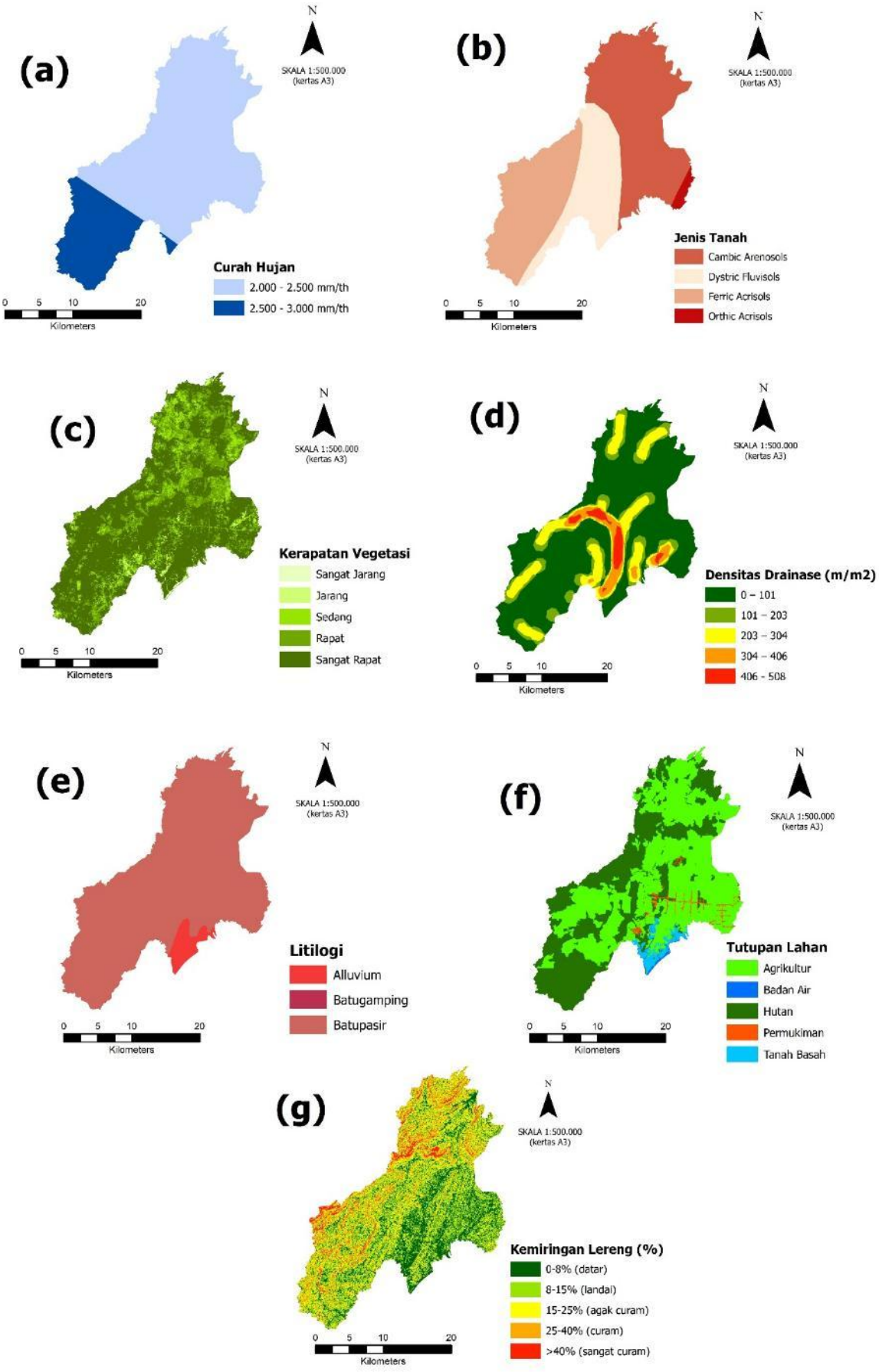
Tutupan lahan memiliki peran penting dalam identifikasi potensi air tanah dimana tutupan lahan dapat mempengaruhi tingkat infiltrasi air dan mengubah laju perkolasi curah hujan (Pramukti, 2021). Identifikasi tutupan lahan pada kawasan IKN terdapat daerah agrikultur seluas 31.774,88 hektare; badan air 308,75 hektare; hutan 21.882,11 hektare; permukiman 792,93 hektare; dan daerah tanah basah seluas 1.408,58 hektare. Daerah permukiman dinilai memiliki potensi air tanah yang rendah karena kurangnya daya resapan air akibat berdirinya bangunan. Berbeda halnya dengan daerah hutan ataupun daerah agrikultur memiliki potensi air tanah besar karena permukaannya yang dapat menahan air dan mempengaruhi pengisian ulang air tanah dengan meningkatnya limpasan seiring dengan jumlah curah hujan yang terjadi (Pramukti, 2021).

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi infiltrasi dari air hujan yang kemudian akan berhubungan dengan potensi air tanah. Pada kawasan IKN, daerah yang memiliki klasifikasi kemiringan lereng datar seluas 14.617,31 hektare; landai seluas 16.017,01 hektare; agak curam 14.653,64 hektare; curam 8.235,67 hektare; dan sangat curam seluas 2.181,36 hektare. Daerah dengan kondisi kelerengan curam akan meningkatkan limpasan permukaan sehingga tingkat infiltrasi air permukaan berkurang. Sebaliknya daerah yang datar memiliki infiltrasi air tanah yang besar karena air hujan yang turun akan tertahan di daerah datar yang kemudian meningkatkan serapan air pada daerah tersebut (Pramukti, 2021).

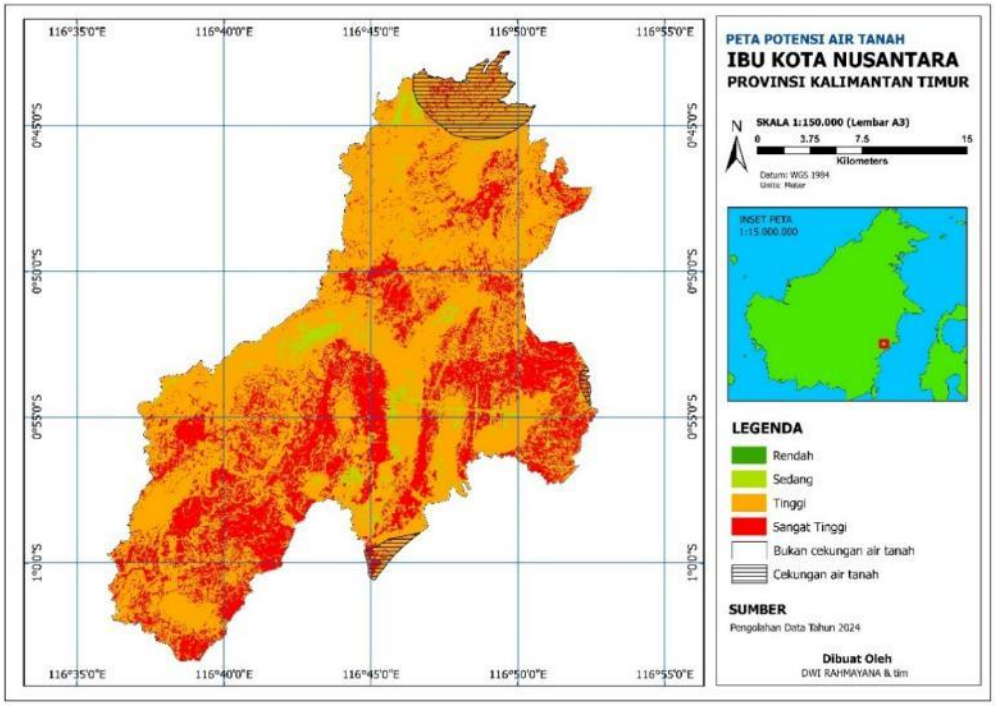
Potensi Air Tanah

Peta potensi air tanah merupakan hasil penggabungan dari parameter potensi air tanah (**Gambar 3**) yang telah dilakukan analisis. Terdapat lima kelas potensi air tanah yang diklasifikasi. Pada kawasan IKN, daerah yang berada pada potensi air tanah sangat rendah seluas 0 hektare; rendah seluas 1,76 hektare; sedang 1.553,02 hektare; tinggi seluas 37.860,69 hektare; dan potensi air tanah sangat tinggi seluas 16.218,3 hektare. Selain tujuh parameter yang digunakan, dalam rangka mengerucutkan hasil penggabungan dengan metode sistem informasi geografis (SIG) yakni dimasukkan sebaran yang merupakan daerah cekungan air tanah dan bukan cekungan air tanah. Hal ini bertujuan lebih lanjut untuk mengidentifikasi atau meninjau kualitas baik dan buruk air tanah sesuai syarat baku mutu kualitas air sebagaimana menurut Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).



Gambar 3. Peta parameter potensi air tanah di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN).

Indonesia mempunyai 421 Cekungan Air Tanah (CAT) yang diharapkan dapat menjadi acuan terhadap kegiatan pengambilan air tanah dalam pemenuhan kebutuhan (Pribadi, 2019). Visualisasi daerah cekungan air tanah ini dalam bentuk peta hidrogeologi yang berisikan informasi mengenai produktivitas akuifer (Pratama *et al.*, 2018). Pada **Gambar 4** dapat dilihat pula terdapat perbedaan hasil persebaran potensi air tanah menggunakan tujuh paramater seperti yang telah dijelaskan dibanding peta persebaran cekungan air tanah yang menggunakan tiga parameter yaitu topografi, geologi, dan investigasi lapangan. Dimana terdapat daerah yang berpotensi air tanah tinggi namun tidak berada di daerah cekungan air tanah. Selain itu juga, peta hidrogeologi cekungan air tanah Indonesia yang menjadi perbandingan menggunakan peta geologi dengan skala 1:250.000, sedangkan peta zona potensi air tanah pada penelitian ini menggunakan peta geologi bersumber dari Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 1995 diperbesar menjadi skala 1:50.000. Perbedaan skala inilah dapat menjadi penyebab perbedaan dari keduanya.



Gambar 4. Peta potensi air tanah di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN).

Data investigasi lapangan dari pembuatan peta hidrogeologi cekungan air tanah Indonesia memberikan informasi mengenai ketinggian muka air tanah dan debit sumur. Parameter ini memiliki signifikasi yang cukup besar apabila digunakan dalam pembuatan peta potensi air tanah (Pratama *et al.*, 2018). Tidak adanya data investigasi lapangan dalam penelitian ini dapat menjadi faktor utama dari tingkat kesesuaian antara potensi air tanah yang dimodelkan dibanding sebaran cekungan air tanah yang merupakan langkah selanjutnya dalam peninjauan pengambilan air.

Ketersediaan Lahan

IKN adalah model alih fungsi lahan menjadi sebuah perkotaan yang menerapkan konsep *forest city*. dalam sebuah rencana pengelolaan perubahan tutupan lahan di suatu kawasan yang akan dilaksanakan, membutuhkan peta wilayah menggunakan teknik penginderaan jauh (Abidin *et al.*, 2023). Peta inilah yang diupayakan mampu memvisualisasikan atau memberikan informasi terhadap kaitannya dengan suatu potensi yang ada di kawasan itu. Hasil pengolahan data menggunakan algoritma *Enhanced Built-Up and Bareness Index* (EBBI). Algoritma dari EBBI menggunakan *landsat 8 sensor OLI/TIRS* dengan *band* 5, *band* 6, dan *band* 11 (**Tabel 4**). Hasil menunjukkan bahwa di kawasan IKN tahun 2023 menunjukkan badan air/sungai seluas 308,75 hektare; lahan kosong 52.172,6 hektare; dan yang terdeteksi sebagai lahan terbangun seluas 3.686,08 hektare. Sementara persebaran potensi air tanah terhadap ketersediaan lahan dari hasil pengolahan data algoritma EBBI dapat dilihat pada **Tabel 6** berikut.

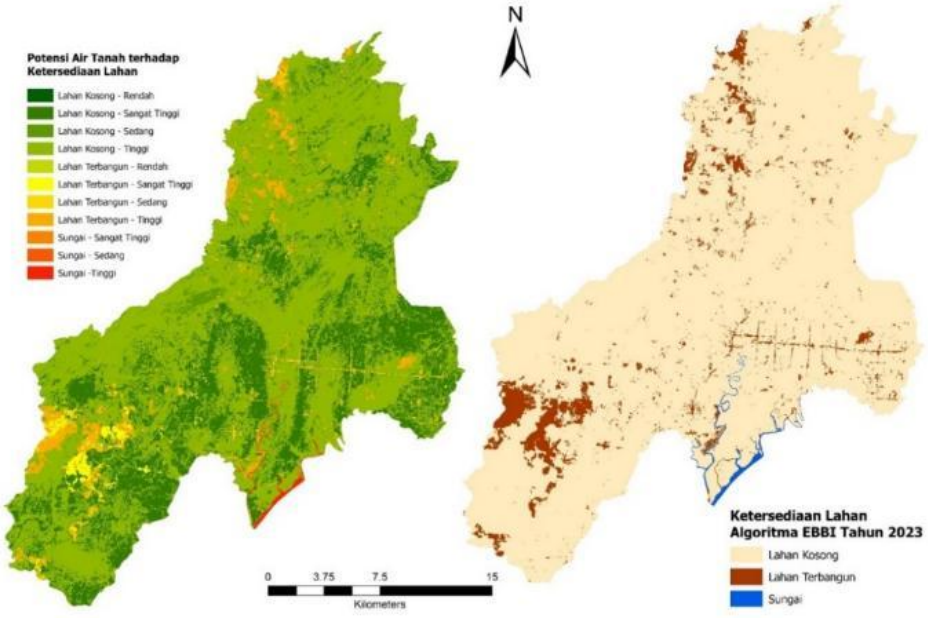
Tabel 6. Luas ketersediaan lahan terhadap potensi air tanah di kawasan Ibu Kota Nusantara.

Keterangan (Lahan – Potensi Air Tanah)	Luas (hektare)
Lahan Kosong - Rendah	0,52
Lahan Terbangun - Rendah	1,25
Sungai - Sangat Tinggi	13,50
Lahan Kosong - Sangat Tinggi	15.229,20
Lahan Terbangun - Sangat Tinggi	975,60
Sungai - Sedang	34,94
Lahan Kosong - Sedang	1.244,91
Lahan Terbangun - Sedang	273,17
Sungai - Tinggi	209,42
Lahan Kosong - Tinggi	35.256,17
Lahan Terbangun - Tinggi	2.395,09

Sumber: Hasil pengolahan data, 2024

Berdasarkan **Tabel 6** di atas, dapat dilihat bahwa sebagian besar kawasan IKN memiliki potensi air tanah tinggi hingga sangat tinggi pada lahan kosong. Potensi air tanah kelas rendah memiliki luas 0,52 hektare untuk lahan kosong dan 1,25 hektare lahan terbangun. Kelas sedang seluas 34,94 hektare sungai/badan air, 1.244,91 hektare lahan kosong, 273,17 hektare lahan terbangun. Kelas tinggi seluas 209,42 hektare sungai/badan air, 35.256,17 hektare lahan kosong, 2.395,09 hektare lahan terbangun. Kelas sangat tinggi seluas 13,50 hektare sungai/badan air, 15.229,20 hektare lahan kosong, 975,60 hektare lahan terbangun. Adapun untuk gambar peta sebaran potensi air tanah terhadap ketersediaan lahan dan peta ketersediaan lahan menggunakan indeks kawasan terbangun atau algoritma EBBI dapat dilihat pada **Gambar 5**.

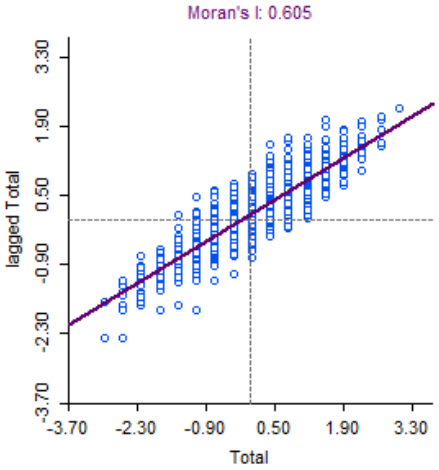
Lahan kosong yang memiliki potensi air tanah tinggi merupakan peluang besar dalam proses sebuah pembangunan. Sebagaimana diharapkan bahwa melalui identifikasi potensi air tanah dapat menunjang kebutuhan sehingga dapat disesuaikan sebagai bahan pertimbangan sebuah pembangunan. Sebab potensi suatu daerah dapat memberikan pengaruh terhadap perubahan kondisi daerah atau pembangunan di daerah itu sendiri (Sani & Asyiawati, 2022). Pertimbangan inilah menjadi dasar bahwa pembangunan suatu daerah perlu mempertimbangkan hubungan antara ketersediaan lahan terhadap potensi air tanah.



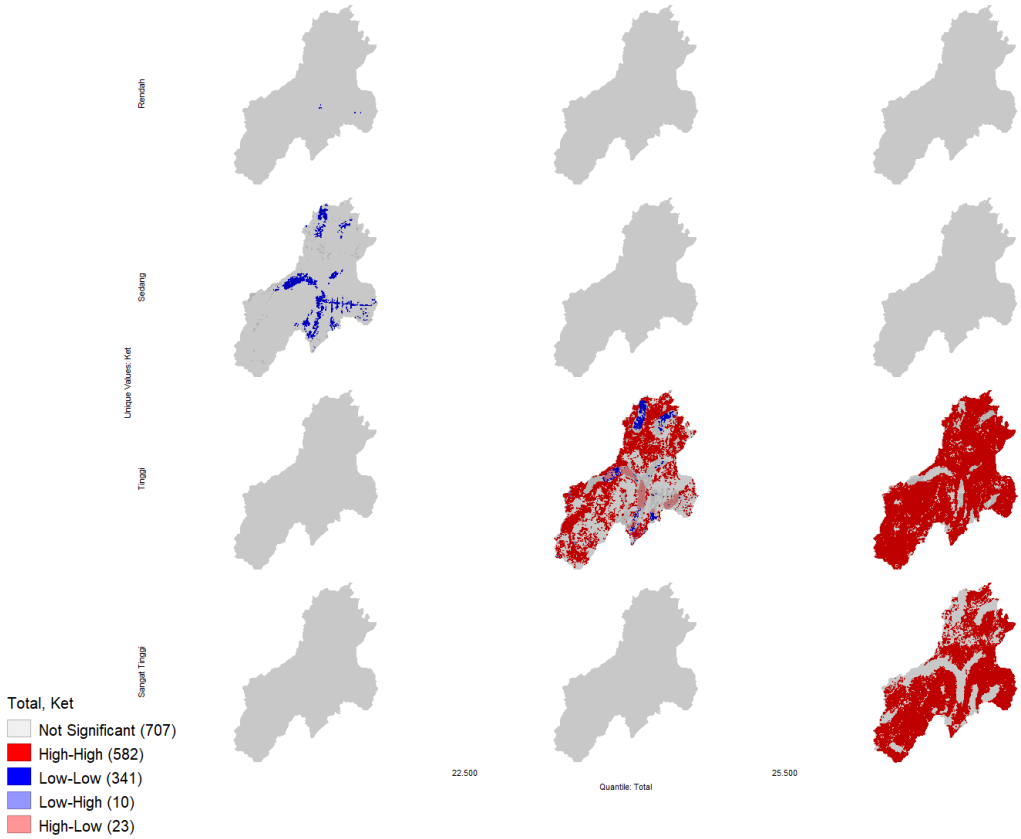
Gambar 5. Peta potensi air tanah terhadap ketersediaan lahan dan ketersediaan lahan menggunakan algoritma EBBI tahun 2023.

Indeks Moran's I

Hasil penelitian yang diperoleh menggunakan indeks Moran's I merupakan informasi berupa potensi air tanah di kawasan IKN yang memiliki pengklasifikasian saling berkorelasi antara klasifikasi potensi air tanah satu dengan lainnya. Data yang diinput dalam bentuk *shapefile* dengan 1663 jumlah *polygon* atau *observations* (pengamatan). Proses autokorelasi menggunakan *software* Geoda untuk mengetahui pola sebaran potensi air tanah. Dari hasil analisis autokorelasi diperoleh nilai *z-score* 1,26; *p-value* 0,05; dan indeks Moran sebesar 0,605. Hal ini dapat mengindikasikan potensi air tanah yang telah dianalisis adalah autokorelasi positif dimana pengamatan lebih banyak menempati kuadran *High-High* (HH) dan *Low-Low* (LL) serta pola sebaran yang terbentuk merupakan klaster. Hasil penelitian yang menunjukkan autokorelasi positif menandakan bahwa *polygon* pengamatan yang berdekatan memiliki nilai yang mirip (Rahmadani & Nasriyah, 2022). Adapun untuk Moran's Scatterplot dari hasil uji statistik pada program Geoda dapat dilihat pada **Gambar 6** berikut.



Gambar 6. Moran's Scatterplot identifikasi potensi air tanah kawasan IKN.



Gambar 7. Hasil autokorelasi spasial potensi air tanah di kawasan IKN menggunakan *sofware Geoda*.

Dari hasil Moran's *scatterplot* (**Gambar 6**), juga diperoleh hasil sebaran nilai-nilai pengamatan berdasarkan empat kuadran Moran's I (**Gambar 7**). Dimana terdapat lima jenis warna yang divisualisasikan otomatis melalui *software Geoda*. Pada bagian vertikal merupakan kelas potensi air tanah dimulai sangat tinggi (bagian barisan bawah) hingga rendah (bagian barisan atas). Sementara untuk bagian horizontal merupakan kuartil total dari skor hasil *overlay* peta. Warna merah menunjukkan untuk kuadran I, biru pudar untuk kuadran II, biru terang untuk kuadran III, dan merah pudar untuk kuadran IV, serta yang tidak berwarna/abu-abu untuk tidak signifikan. Sebaran potensi air tanah memiliki pola sebaran klaster dimana klaster kuadran I (*High-High*) sebanyak 582 pengamatan pada kelas potensi air tanah tinggi & sangat tinggi, kuadran III (*Low-Low*) sebanyak 341 pengamatan kelas potensi air tanah sedang & tinggi, kuadran II (*Low-High*) sebanyak 10 pengamatan kelas tinggi, kuadran IV (*High-Low*) sebanyak 23 pengamatan kelas sangat tinggi, dan di seluruh klasifikasi potensi air tanah terdapat klaster tidak signifikan sebanyak 707 pengamatan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan informasi terkait potensi air tanah, potensi air tanah terhadap ketersediaan lahan yang dibagi atas lahan terbangun, lahan kosong, dan badang air, serta pola spasial potensi air tanah menggunakan *software* Geoda. Berdasarkan hasil penelitian, terdapat lima kelas potensi air tanah yang diklasifikasi. Pada kawasan IKN, daerah yang berada pada potensi air tanah sangat rendah seluas 0 hektare; rendah seluas 1,76 hektare; sedang 1.553,02 hektare; tinggi seluas 37.860,69 hektare; dan potensi air tanah sangat tinggi seluas 16.218,3 hektare. Adanya potensi air tanah kemudian diidentifikasi sebarannya terhadap ketersediaan lahan di kawasan IKN yang menggunakan algoritma *Enhanced Built-Up and Bareness Index* (EBBI) tahun 2023 dimana menunjukkan badan air/sungai seluas 308,75 hektare; lahan kosong 52.172,6 hektare; dan yang terdeteksi sebagai lahan terbangun seluas 3.686,08 hektare. Lahan kosong memiliki potensi air tanah yang paling besar. Sebaran potensi air tanah memiliki pola sebaran klaster dimana klaster kuadran I (*High-High*) pada kelas potensi air tanah tinggi – sangat tinggi, kuadran III (*Low-Low*) kelas potensi air tanah sedang-tinggi, kuadran II (*Low-High*) kelas tinggi, kuadran IV (*High-Low*) kelas sangat tinggi, dan di seluruh klasifikasi potensi air tanah terdapat klaster tidak signifikan. Mengingat dalam pelaksanaan penelitian ini tidak dilakukan observasi lapangan akan tingkat akurasi data yang dihasilkan, sehingga penelitian ini bisa jadi tidak selalu mempresentasikan keadaan sebenarnya di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN). Namun, melalui hasil analisis spasial yang dilakukan ini dapat digunakan sebagai pertimbangan awal dalam penelitian selanjutnya, dan pengelolaan air secara bijak dan berkelanjutan sesuai kadar kebutuhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Jurusan Geografi Universitas Negeri Makassar, Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh November dan Jurusan Matematika Universitas Sriwijaya. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada sumber informasi penulis dalam menyediakan data yang dibutuhkan. Tidak lupa penulis sampaikan terima kasih kepada panitia pelaksana Seminar Nasional Geomatika 2024 telah memberikan kesempatan untuk menuangkan pemikiran melalui tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, M. R., Yanti, J., & Liani, A. M. (2023). *Identifikasi perubahan kawasan terbangun perkotaan menggunakan citra Landsat series*. *17*, 335–340.

Andini, S., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2018). Analisis Sebaran Vegetasi dengan Citra Satelit Sentinel menggunakan Metode NDVI dan Segmentasi (Studi Kasus: Kabupaten Demak). *Jurnal Geodesi Undip*, *7*(1), 14–24. https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/19295

Ashari, A., & Widodo, E. (2019). Hidrogeomorfologi dan Potensi Mataair Lereng Baratdaya Gunung Merbabu. *Majalah Geografi Indonesia*, *33*(1), 48. https://doi.org/10.22146/mgi.35570

Hernawati, R. (2019). *Analisis Pola Spasial Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kota Bandung Menggunakan Indeks Moran*. *December*. https://doi.org/10.26760/jrh.v1i3.1774

Irawan, S., & Sirait, J. (2018). Perubahan Kerapatan Vegetasi Menggunakan Citra Landsat 8 di Kota Batam Berbasis Web. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, *10*(2), 174. https://doi.org/10.21107/jk.v10i2.2685

Ismunandar, W., Alam, F., & Luthfi, A. F. (2022). Penentuan Area Bahaya Tanah Longsor Menggunakan Pendekatan SIG (Sistem Informasi Geografis) Dengan Metode Weighted Overlay di Kawasan IKN. *Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*, 113–120.

Jaya, I. G. N. M., Tantular, B., & Zulhanif. (2018). Pemodelan dan pemetaan penyakit dapat diadopsi dalam mengembangkan. *Journal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNPAD*, *1*(2), 83–92.

Kalembiro, M., Rajamuddin, U. A., Zaenuddin, R., Program, M., Agroteknologi, S., Pertanian, F., & Tadulako, U. (2018). *Karakteristik Fisik Tanah Pada Berbagai Kelerengan*. *6*(6), 748–756.

Mustafa, A. F. (2024). Penataan ruang kota Jakarta pusat berbasis kualitas air tanah untuk perkotaan berkelanjutan. *Journal of Placemaking and Streetscape Design*, *1*(2), 117–136. https://doi.org/10.61511/jpstd.v1i2.2024.579

Mutaqin, D. J. (2021). *Analisis Konsep Forest City dalam Rencana Pembangunan Ibu Kota Negara*. *March*. https://doi.org/10.47266/bwp.v4i1.87

Nurfaika, N. (2021). Pemetaan Potensi Air Tanah Dangkal Berbasis Sistem Informasi Geografi di Kecamatan Limboto Provinsi Gorontalo. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, *5*(2), 236–246. https://doi.org/10.29408/geodika.v5i2.4020

Prakoso, D. T., & Bandi Sasmito, H. (2018). Pemanfaatan Enhanced Built-Up and Bareness Index (Ebbi) Untuk Pemetaan Kawasan Terbangun dan Lahan Kosong di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, *7*(4), 325–333.

Pramukti, B. (2021). *Zonasi Potensi Imbuhan Airtanah Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi di Kabupaten Bantul*. Universitas Muhamadiyah Surakarta.

Pratama, I. A., Sukmono, A., & Firdaus, H. S. (2018). Identifikasi Potensi Air Tanah Berbasis Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Kendal). *Geodesi Undip*, *7*, 55–65.

Pribadi, A. (2019). *Peta Cekungan Air Tanah Menjadi Acuan Pembuatan Tata Ruang*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia. https://www.esdm.go.id/id/media-center/news-archives/peta-cekungan-air-tanah-menjadi-acuan-pembuatan-tata-ruang. Diakses pada 31 Mei 2024.

Putra, A. R. (2018). *Analis Potensi Air Tanah Pada Cekungan*. Insitut Teknologi Sepuluh November.

Rahmadani, P., & Nasriyah, S. F. (2022). Analisis Autokorelasi Spasial Global dan Lokal Kasus Penumonia di Kota Depok Tahun 2020. *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, *5*(12), 1590–1598. https://doi.org/10.56338/mppki.v5i12.2789

Remoum, K., & Bouzenoune, A. (2019). Combination of simple additive weighting (SAW) and hierarchical analysis process (HAP) methods for the determination of construction suitability zones in the eastern part of the Jijel region (North east Algeria). In *Advances in Science, Technology and Innovation*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01440-7_14

Sani, F. F., & Asyiawati, Y. (2022). Kajian Alih Fungsi Lahan Sawah menjadi Kawasan Terbangun. *Bandung Conference Series: Urban & Regional Planning*, *2*, 424–428.

Waitina, F. A., Kotta, H. Z., & Banunaek, N. (2023). Pola Aliran Air Tanah serta Penentuan Daerah Recharge dan Discharge pada Cekungan Air Tanah Batutua Kabupaten Rote. *Teknologi*, *17*(2), 42–51.

THE POTENTIAL OF USING DIFFERENT POLARIZATION COMBINATIONS OF SENTINEL-1 FOR DETECTING MANGROVES

Case Study of Balikpapan Bay

(*Potensi Penggunaan Kombinasi Polarisasi yang Berbeda dari Sentinel-1 untuk Mendeteksi Bakau: Studi Kasus Teluk Balikpapan*)

Pingkan Mayestika Afgatiani[1,2] dan Anisa Rarasati[1,3]

[1]National Research and Innovation Agency (BRIN), Jakarta, Indonesia

[2]Department Earth Science, Faculty of Science, Graduate School of Engineering and Science, The University of Ryukyus, Okinawa, Japan

[3]School of Computer Science and Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia

Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat 10340

E-mail: pingkan.mayestika.afgatiani@brin.go.id

ABSTRACT

Mangrove forest ecosystems play a significant role in human life, directly and indirectly. Mangroves can diminish carbon, making them a valuable component of the blue carbon system. Typically, the identification of mangroves involves the utilization of optical imagery and a combination of false colour bands. The Balikpapan Bay experiences extensive cloud cover, which promotes exploring different methods in mapping mangroves. Sentinel-1 is an operational satellite that is capable of penetrating clouds. However, the resulting data is presented in grayscale, making it challenging to discern the specific target of an object. Hence, this study aims to investigate the utilization of sentinel-1 polarization for mangrove detection. The input for the processing consists of Sentinel-1 Ground Range Detected (GRD) data, which undergoes several phases to derive Coherence Vertical-Vertical (VV) and Vertical-Horizontal (VH) findings. The data processing involves five steps: calibration, noise reduction, speckle filtering, terrain correction, and the creation of robust combinations. The polarization in the Sentinel-1 was computed to ascertain artificial bands for the accurate combination, specifically M (VV/VH)/2 as band 1, D (VV/VH) as band 2, S (VV-VH) as band 3, A (VV+VH) as band 4, Mu (VVxVH) as band 5. In addition, the selection of the band utilized in the polarization composite display relies on the intensity value. Consequently, distinguishing between mangroves and other things remains challenging. However, band combinations 1-3-5 and 1-4-5 can predict the presence of the mangrove areas.

Keywords: Mangrove, Sentinel-1, band ratio, polarization combination

ABSTRAK

Ekosistem hutan mangrove mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Mangrove mempunyai kemampuan untuk mengurangi karbon, sehingga menjadikannya sebagai komponen berharga dalam sistem karbon biru. Umumnya, identifikasi mangrove melibatkan pemanfaatan citra optik dan kombinasi pita warna palsu. Kondisi Teluk Balikpapan yang mengalami tutupan awan yang luas, mendorong eksplorasi berbagai metode dalam proses pemetaan hutan bakau. Sentinel-1 merupakan radar yang mampu menembus awan, namun data yang dihasilkan berwarna hitam dan putih, sehingga menyulitkan untuk membedakan target spesifik suatu objek. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pemanfaatan polarisasi sentinel-1 untuk mendeteksi mangrove. Data Sentinel-1 Ground Range Detected (GRD) digunakan dalam studi ini. Data ini melalui beberapa tahap untuk memperoleh kanal Coherence Vertical-Vertical (VV) dan Vertical-Horizontal (VH) yang siap untuk dikombinasikan. Pemrosesan data melibatkan lima langkah: kalibrasi, pengurangan gangguan, penyaringan bintik, koreksi lahan, dan penyusunan kombinasi kanal. Polarisasi di Sentinel-1 dihitung untuk memastikan kanal buatan untuk kombinasi yang akurat. Beberapa kanal yang kami buat yakni Divide (VV/VH) sebagai kanal 1, Mean ((VV+VH)/2) sebagai kanal 2, Multiple (VVxVH) sebagai kanal 3 , Add (VV+VH) sebagai kanal 4, dan Substract (VV-VH) sebagai kanal 5. Selain itu, pemilihan pita yang digunakan dalam tampilan komposit polarisasi bergantung pada nilai intensitas. Kombinasi 1-3-5 menunjukkan visual area mangrove yang lebih baik daripada kombinasi lain, meskipun masih terdapat tantangan untuk membedakan area mangrove dan bukan mangrove.

***Keywords**: mangrove, Sentinel-1, band ratio, kombinasi polarisasi*

INTRODUCTION

Mangrove ecosystems, prevalent along tropical and subtropical coastlines, provide a plethora of ecological services. These vital forests act as natural barriers against coastal erosion, promote biodiversity, and maintain water quality (Jia *et al.*, 2019). The intricate interplay between mangrove vegetation, hydrodynamic processes, and water quality fluxes is crucial for coastal protection, restoration initiatives, sustainable forestry practices, conservation efforts, and mitigating water pollution (Hydrodynamic and Water Quality Processes in Mangrove Regions, n.d.). However, anthropogenic activities are leading to a worrisome decline in the quantity and quality of mangrove cover (Schaffelke *et al.*, 2005). Effective policy interventions require robust monitoring strategies.

Remote sensing, offering a cost-effective and extensive spatial coverage, has become a prominent tool for mangrove monitoring. Traditionally, this has been dominated by optical satellite imagery, utilizing spectral indices such as NDVI, MVI, mNDWI, NDMI, EVI, and NDBI alongside reflectance bands (Band 2-8A, 11, 12) (Zhang *et al.*, 2022). Extensive research has demonstrated the distinct spectral signatures of mangroves in remotely sensed data, particularly in the visible red, near-infrared, and shortwave infrared regions (Giri, 2021). However, a significant challenge arises from the frequent cloud cover in tropical and subtropical regions (Asner, 2001), where mangrove forests are predominantly found. This cloud cover significantly reduces the amount of usable data for optical satellite imagery analysis. This limitation is particularly relevant for regions like Indonesia, which experiences high, medium, or low cloud cover throughout the year in many areas (Stubenrauch *et al.*, 2006).

To overcome this challenge, this study proposes a novel approach utilizing radar remote sensing, a technology that is impervious to cloud cover. The primary objective is to investigate the optimal combination of radar bands for accurate mangrove identification, offering an alternative solution in regions with persistent cloud impediments.

METHOD

Study Area

This research focuses on the river region extending from the Nusantara National Capital (IKN) to Balikpapan Bay in Indonesia (**Figure 1**). This area is a well-known tourist destination, particularly recognised for its thriving and ecologically diverse mangrove ecosystem. The mangroves in this area not only provide a visually captivating landscape but also serve as crucial habitats for diverse flora and fauna species (Willard *et al.*, 2022). Understanding and preserving this unique ecosystem is paramount for sustaining both its ecological integrity and its appeal as a tourist destination.

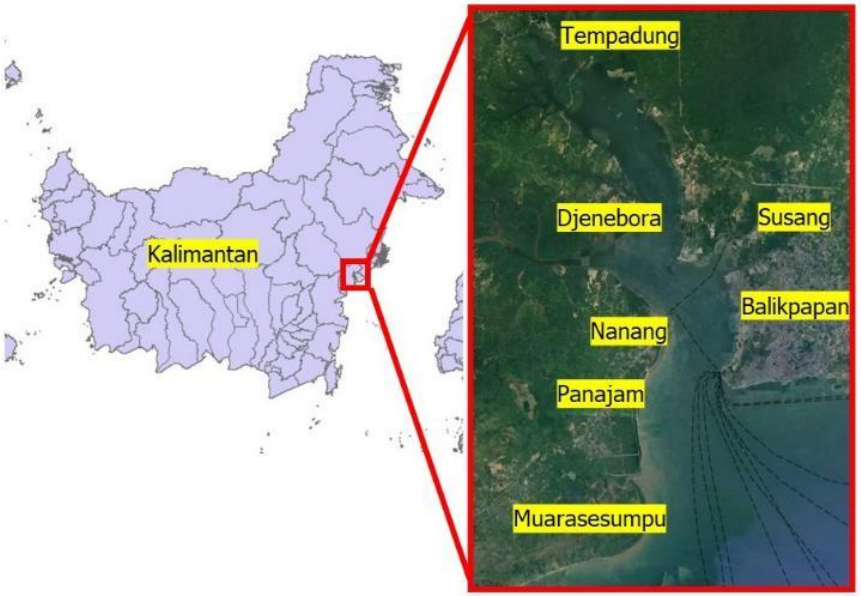


Figure 1. Study area.

Satellite Data

Sentinel-1 Level-1 Ground Range Detected (GRD) was used in this study. The products that are delivered comprise of SAR data that has been processed through detection, multi-looking, and projection to ground range using an Earth ellipsoid model. The ellipsoid projection of the GRD products is adjusted by using the terrain height indicated in the product general annotation. The elevation of the terrain varies depending on the direction but remains consistent at a fixed distance (Sentinel Hub, n.d.)We acquired data on January 5th, 2024. Furthermore, the acquisition of Sentinel-2 Level 2 data in 2021 serves as the display reference. Sentinel-2's spatial resolution is comparable to that of Sentinel-1, both being 10 meters. It is typical to map mangrove areas with Sentinel-2 because of the widespread use of false band combinations in studies. Furthermore, the Global Mangrove Watch map was essential in validating the accuracy of the mangrove mapping.

Data Processing

The data preprocessing consisted of steps: Thermal Noise Removal, Apply Orbit File, GRD Border Noise Removal, Calibration, Coregistration, Speckle Filter, and Terrain Correction. Data processing started with Thermal Noise Removal (TNR). Correcting or eliminating thermal noise standardizes the backscatter signal over the whole SAR image, which is crucial for both qualitative and quantitative analysis of SAR data.

The Sentinel-2 used in this study is Level-2 Surface Reflectance which is available in the Earth Engine Data Catalogue. We used S2_SR_HARMONIZED data and applied cloud masking. Combination Vegetation Red Edge, Short Wave InfraRed (SWIR), and Red band are the most recommended for detecting mangrove areas in Sentinel-2 (Purwanto & Asriningrum, 2019). There are multiple artificial band tests conducted by altering both polarizations in the following manner (Afgatiani *et al.*, 2022):

M = (y +z)/2 as band 1 .....(1)
D= y / z as band 2 .....(2)
S = y − z as band 3 .....(3)
A = y + z as band 4 .....(4)
Mu = y x z as band 5 .....(5)

The symbol "y" represents the variable "VV" and the symbol "z" represents the variable "VH". The five polarizations are designated as follows: band 1 is labeled "M," band 2 is labeled "D," band 3 is labeled "S," band 4 is labeled "A," and band 5 is labeled "Mu". Moreover, the calculation of the number of combinations employs the principle of permutations, as outlined below.

$${}_tC_s = \frac{t!}{s!(t-s)!} \quad \text{.....(6)}$$

"t" represents the overall quantity of objects, while "s" denotes the quantity of objects that have been chosen. The mangrove detection displays for each compilation kind are presented based on this set of combinations.

RESULT AND DISCUSSION

Result

Typically, there are two outcomes: a compilation of items and a comprehensive display. The combination band list is shown in **Table 1**. There are 10 recommendation band combinations.

A display showcasing each combination is then generated from this table (**Figure 2**). Each display exhibits multiple combinations that indicate the presence of mangroves surrounding the river. Similar to other places that are not mangrove environments, the 1-2-3 combination can offer a different colour, specifically green. The combination of 1-2-5 results in a turquoise colour, whereas the combination of 1-2-4 produces a light green colour. On the other hand, the

combinations of 1-3-5 and 1-4-5 yield a dark blue colour. Conversely, certain combinations limit the visibility of the mangrove area.

Table 1. Combination band list.

Band Combination	Description
1-2-3	M-D-S
1-2-4	M-D-A
1-2-5	M-D-Mu
2-3-4	D-S-A
2-3-5	D-S-Mu
3-4-5	S-A-Mu
1-3-4	M-S-A
1-3-5	M-S-Mu
1-4-5	M-A-Mu
2-4-5	D-A-Mu

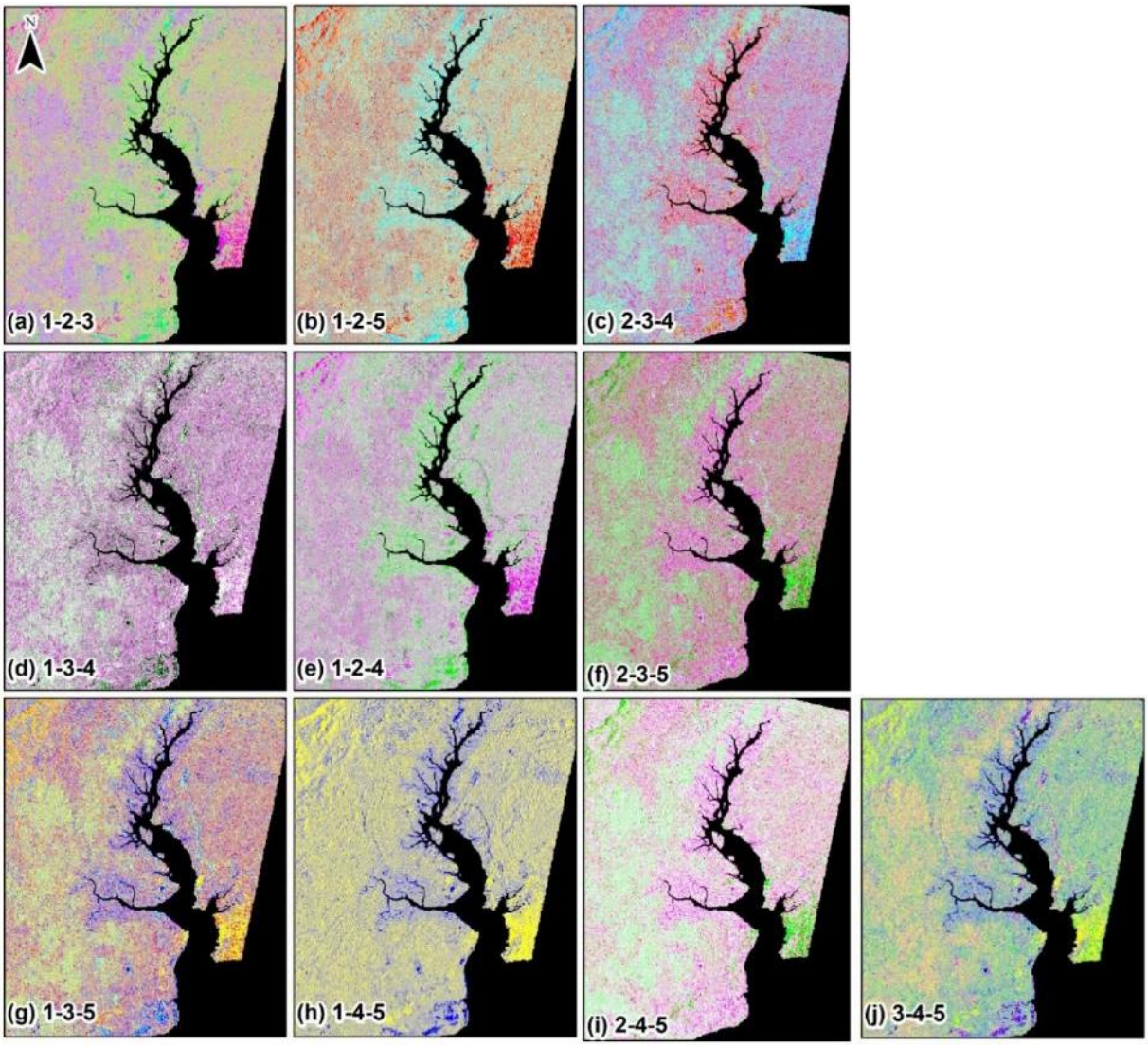


Figure 2. Band combination using artificial band.

Out of all the combinations, the combinations 1-3-5 and 1-4-5 stand out in terms of their visual impact on mangrove regions. The mangrove area appears noticeably brown when observed with the NIR-SWIR-Red combo of the Sentinel-2 satellite. This area corresponds to the dark blue colour represented by the combinations 1-3-5. Meanwhile, the mangrove area in the Global Mangrove Watch is displayed in green. Compared to the Global Mangrove Watch map, the mangrove coverage is almost the same as that of the artificial band combination 1-3-5 (**Figure 3**).

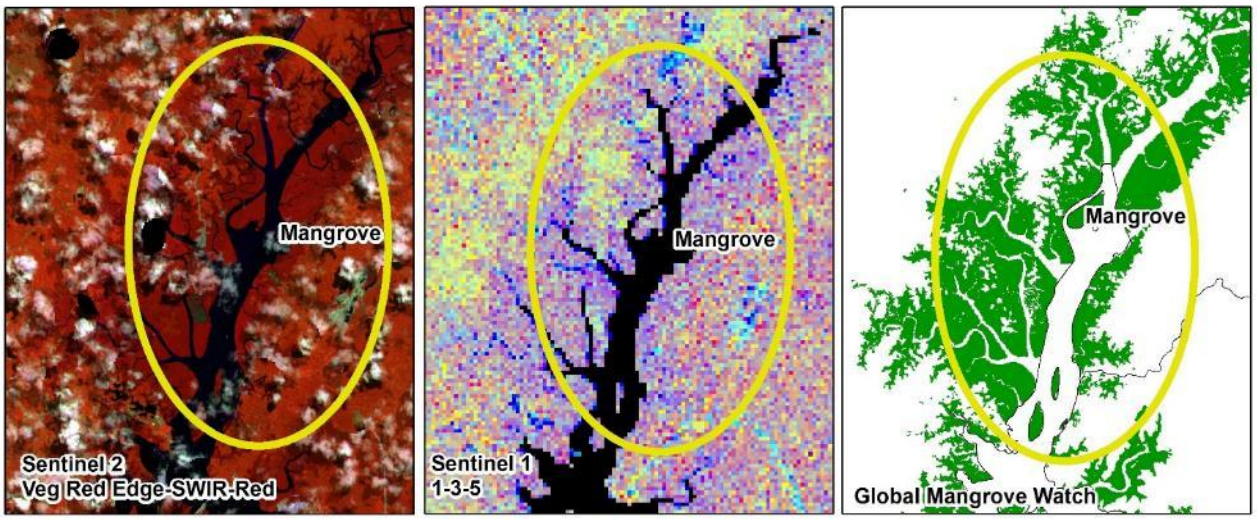


Figure 3. Comparison mangrove detection using Sentinel-2, artificial band, and Global Mangrove Watch map. The green area in Global Mangrove Watch map means mangrove coverage.

Discussion

Research has investigated the utilisation of Sentinel-1 interferometric coherence as a vegetation index, especially in agriculture (Villarroya-Carpio *et al.*, 2022). According to (Sharifi *et al.*, 2022)Sentinel-1's precision was relatively high, reaching 0.8, while Sentinel-2 achieved a precision of up to 0.9. Sentinel-1 utilizes the band ratio for mangrove detection.

The study utilized multiplicative polarization, simple polarization ratio, polarization division, and polarization averaging techniques to analyse the data. These methods yielded varying outcomes on the display. The combination of the 1-3-5 results in unique colours inside the mangrove region. Despite apparent distinctions, more examination is required to obtain more specific information. More than merely visual observation of bands is required for determining factors such as density and area.

CONCLUSION

The primary method for mapping mangroves is through the use of optical satellites. However, a major obstacle encountered with optical satellites is the presence of cloud cover, which prevents the clear observation of objects on the Earth's surface. Radar possesses the capability to pierce cloud cover, which aids in the process of mapping mangroves in areas with cloudy conditions. Nevertheless, radar data is exclusively presented in grayscale. The creation of artificial bands is necessary to delineate the mangrove area. However, further effort is required to distinguish between the mangrove and non-mangrove areas accurately. When comparing Sentinel-2 with Global Mangrove Watch, the combination of bands 1, 3, and 5 from Sentinel-1 is the most effective in predicting the presence of mangrove regions.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors express their gratitude to the National Research and Innovation Agency (BRIN), ESA, Global Mangrove Watch, JAXA, and GEE for granting open access to the data used in this study.

REFERENCES

Afgatiani, P. M., Suhadha, A. G., & Ibrahim, A. (2022). The capability of Sentinel-1 polarization combinations for oil spill detection (study case: Karawang, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1109*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012078

Asner, G. P. (2001). Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, *22*(18), 3855–3862. https://doi.org/10.1080/01431160010006926

Giri, C. (2021). Recent advancement in mangrove forests mapping and monitoring of the world using earth observation satellite data. In *Remote Sensing* (Vol. 13, Issue 4, pp. 1–6). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/rs13040563

Hydrodynamic and Water Quality Processes in Mangrove Regions. (n.d.). https://www.jstor.org/stable/25736164

Jia, M., Wang, Z., Wang, C., Mao, D., & Zhang, Y. (2019). A new vegetation index to detect periodically submerged mangrove forest using single-tide Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, *11*(17). https://doi.org/10.3390/rs11172043

Purwanto, A. D., & Asriningrum, W. (2019). Identification of Mangrove Forests Using Multispectral Satellite Imageries. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, *16*(1), 63. https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2019.v16.a3097

Schaffelke, B., Mellors, J., & Duke, N. C. (2005). Water quality in the Great Barrier Reef region: Responses of mangrove, seagrass and macroalgal communities. *Marine Pollution Bulletin*, *51*(1–4), 279–296. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.025

Sentinel Hub. (n.d.). *Sentinel-1 GRD*. https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-1-grd

Sharifi, A., Felegari, S., & Tariq, A. (2022). Mangrove forests mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images. *Arabian Journal of Geosciences*, *15*(20). https://doi.org/10.1007/s12517-022-10867-z

Stubenrauch, C. J., Chédin, A., Rädel, G., Scott, N. A., & Serrar, S. (2006). Cloud properties and their seasonal diurnal variability from TOVS Path-B. *Journal of Climate*, *19*(21), 5531–5533. https://doi.org/10.1175/JCLI3929.1

Villarroya-Carpio, A., Lopez-Sanchez, J. M., & Engdahl, M. E. (2022). Sentinel-1 interferometric coherence as a vegetation index for agriculture. *Remote Sensing of Environment*, *280*(April), 113208. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113208

Willard, Karnila & Aipassa, Marlon & Sardjono, Mustofa & Rujehan, & Ruslim, Yosep & Kristiningrum, Rochadi. (2022). Locating the unique biodiversity of Balikpapan Bay as an ecotourism attraction in East Kalimantan, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 23. 2343-2357. 10.13057/biodiv/d230512.

Zhang, R., Jia, M., Wang, Z., Zhou, Y., Mao, D., Ren, C., Zhao, C., & Liu, X. (2022). Tracking annual dynamics of mangrove forests in mangrove National Nature Reserves of China based on time series Sentinel-2 imagery during 2016–2020. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *112*. https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102918

ANALISIS KESESUAIAN LOKASI PENEMPATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) UNTUK MENDUKUNG PENGEMBANGAN IBU KOTA NUSANTARA YANG BERKELANJUTAN

(Analysis of The Suitability of Micro Hydro Power Plant (MHP) Placement Location to Support Sustainable Development of The Archipelago's Capital City)

Alfarizy Fajril Maulad, Fathan Musyaffa Abdul Jabbar, Rafi Adyatma, dan Raafi Awaludin

Program Studi Sains Informasi Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia
Gedung FPIPS UPI, Jl. Dr. Setiabudi No. 229 Kota Bandung
E-mail: alfarizyfm@gmail.com

ABSTRAK

Pasokan listrik dengan skala besar merupakan salah satu kebutuhan krusial untuk Pengembangan Ibu Kota Nusantara (IKN) di wilayah Kalimantan Timur. Wilayah ini didukung morfologi yang potensial untuk penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Perencanaan untuk penempatan PLTMH merupakan tugas perencanaan yang paling penting untuk pengembangan IKN yang berkelanjutan yang dilakukan dengan analisis spasial multi-kriteria. SIG dan analisis multi-kriteria memiliki peran penting dalam menganalisis lokasi yang cocok untuk pengembangan PLTMH dan terdiri dari investigasi detail kondisi dan kesesuaian tempat untuk perencanaan lebih spesifik. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum tentang analisis spasial multi-kriteria SIG untuk kesesuaian lokasi PLTMH berdasarkan kondisi fisiografi dan kebutuhan listrik pengembangan IKN. Data dan kriteria yang paling penting untuk menentukan kesesuaian lokasi terbaik di antaranya data sungai, tutupan lahan, kemiringan, kerentanan longsor, dan ketinggian. Semua data tersebut dibuat dalam format data raster. Pemodelan kuantitatif dengan metode analisis multi-kriteria dan skor terbobot ditentukan dengan mempertimbangkan perbandingan setiap kriteria. Kriteria dikalkulasikan dengan *software* QGIS untuk membuat peta kesesuaian lokasi. Studi lapangan memverifikasi peta yang dihasilkan, dan terdapat kecocokan antara lokasi yang dipilih dan survei lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesesuaian lokasi berdasarkan bobot yang telah dibuat terbagi menjadi 3: sesuai, kurang sesuai, dan sangat sesuai. Wilayah yang sangat sesuai untuk lokasi PLTMH berada di Kawasan Pengembangan (KP) bagian timur sedangkan wilayah yang kurang sesuai berada di KP bagian tengah dan selatan. Wilayah yang sangat sesuai mengartikan bahwa wilayah tersebut memiliki tingkat kemiringan lereng dan arus sungai yang tinggi dan kerentanan longsor yang rendah yang paling sesuai untuk pembangunan PLTMH.

Kata kunci: Ibu Kota Nusantara, kesesuaian lokasi, pembangkit listrik tenaga mikrohidro, multi-kriteria analisis, pembangunan berkelanjutan

ABSTRACT

Large-scale electricity supply is one of the crucial needs for the Nusantara Capital Development (IKN) in the East Kalimantan region. This region is supported by potential morphology for the placement of Micro Hydro Power Plant (MHP) which has not been maximally utilized. Planning for the placement of MHP is the most important planning task for the sustainable development of IKN which is carried out by multi-criteria spatial analysis. GIS and multi-criteria analysis have an important role in analyzing suitable sites for MHP development and consist of detailed investigation of site conditions and suitability for more specific planning. This study aims to provide an overview of GIS multi-criteria spatial analysis for the suitability of MHP sites based on physiographic conditions and electricity needs for the development of IKN. Slope with high river flow and low landslide susceptibility is most suitable for MHP development. The most important data and criteria for determining the best site suitability include river data, land use, slope, landslide susceptibility, and elevation. All of this data were created in raster data format. Quantitative modeling using multi-criteria analysis method, and weighted scores were determined by considering the comparison of each criterion. The criteria were calculated with QGIS software to create a site suitability map. Field studies verified the resulting maps, and there was a match between the selected locations and the field survey. The results showed that the suitability of the location based on the weighting that has been done is divided into 3 namely suitable, less suitable, and very suitable. Areas that are very suitable for MHP locations are in the eastern part of the

Development Area (KP) while less suitable areas are in the central and southern KP. A highly suitable area means that the area has a high level of slope and river flow as well as low landslide vulnerability which is most suitable for MHP development.

Keywords: *Ibu Kota Nusantara, location suitability, micro hydro power plant, multi-criteria analysis, sustainable development*

PENDAHULUAN

Data baru-baru ini menunjukkan telah terjadinya peningkatan secara bertahap pada PLTA di seluruh penjuru dunia pada tahun 2021. Namun, peningkatan ini masih jauh dari yang dibutuhkan untuk menghasilkan nol emisi gas sebagaimana yang didefinisikan oleh Asosiasi Pembangkit Listrik Tenaga Air Internasional. Pada akhir 2021 kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala global telah meningkat sebanyak 1,9% dengan daya hasil listrik sebesar 1.360 GW. Hingga saat ini tercatat hanya sekitar 25% saja dari potensi PLTA yang telah dimanfaatkan (Muteba, 2023).

PLTA bukanlah sesuatu yang baru di Indonesia, terlihat dari penggunaannya di banyak tempat. Semenjak masa kolonialisme Belanda, teknologi PLTA telah dikembangkan di Indonesia yang pada saat itu disebut Hindia Belanda. Pembangunan PLTA ini merujuk pada kepentingan industri besar pada zaman kolonial tersebut. Pada 1906, salah satu PLTA pertama di Indonesia dibangun di Jawa Barat yang diberi nama 'Waterkrachtwerkaan de Tjikapoendoengnabij Dago Pakar'. Sedangkan di luar Pulau Jawa juga terdapat PLTA yang terletak di Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara yang bernama PLTA Tonsea Lama. Pembangkit listrik ini dibangun pada tahun 1912 oleh pemerintah kolonial Belanda dengan bantuan buruh pribumi. Pengembangan PLTA ini terus hingga selesainya masa penjajahan Belanda dan Jepang, baik itu pengembangan fasilitas mikro atau makro (Kurniawan, 2024).

Hingga saat ini PLTA merupakan teknologi energi terbarukan yang paling disukai di Indonesia karena reputasinya sebagai energi yang hemat biaya dan dapat diandalkan (Erinofiardi, 2017). Pada tahun 2020, energi terbarukan yang bersumber dari bahan bakar non-fosil seperti energi air, angin, dan matahari hanya menyumbang sekitar 11,5% saja terhadap total produksi listrik, dengan PLTA yang di dalamnya ada pembangkit listrik mikrohidro dengan kontribusi sebesar 8% (ESDM, 2020). Indonesia sendiri memiliki keuntungan untuk mengembangkan teknologi mikrohidro ini yang didasarkan pada letak geografisnya. Indonesia sebagai negara agraris yang terletak pada lintang 0 garis equator menciptakan banyaknya sungai dan tingginya curah hujan sepanjang tahun. dalam rangka mewujudkan pasokan energi berkelanjutan untuk daerah-daerah terpencil, teknologi mikrohidro seringkali dimanfaatkan dalam mewujudkan hal tersebut oleh pihak terkait ataupun oleh masyarakat setempat. Dari sudut pandang lingkungan, sistem jaringan desa bertenaga mikrohidro telah terbukti mempunyai biaya pengurangan yang negatif dan berpotensi mengurangi emisi (Erinofiardi, 2017).

PLTA semakin strategis sebagai salah satu sumber daya energi terbarukan, mengingat potensi sumber energi dari fosil dan batu bara akan semakin berkurang. Beberapa jenis pembangkit listrik berdasarkan kapasitasnya adalah sebagai berikut.

a. PLTA mikro <100 kW
b. PLTA mini 100-999 kW
c. PLTA kecil 1000-10.000 kW
d. PLTA besar >10.000 kW

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), merupakan pembangkit listrik skala kecil dengan daya kurang dari 100 KW yang memanfaatkan tenaga air sebagai sumber penghasil energinya (Patty, 1995). PLTMH termasuk sumber energi yang terbarukan dan layak disebut sebagai *clean energy* karena ramah lingkungan (Titis Haryani, 2015).

PLTMH ini memiliki banyak keunggulan salah satunya merupakan teknologi dengan konstruksi yang sederhana, mudah dioperasikan, serta murah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Dari segi aspek ekonomi, biaya operasi dan perawatan PLTMH cenderung relatif murah dan biaya investasinya bisa dikatakan cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainya. Kemudian secara sosial, PLTMH ini mudah diterima oleh masyarakat secara luas mengingat tingkat efektivitas dan biaya yang relatif murah (Titis Haryani, 2015).

Negara Indonesia pada saat ini sedang melakukan pembangunan ibu kota negara baru yang dinamai sebagai Ibu Kota Nusantara (IKN). Pembangunan IKN dilakukan dengan menimbang beberapa hal yakni karena adanya pemusatan penduduk yang berlebihan di Pulau Jawa mencapai 151,59 juta jiwa atau sekitar 56,10% dari total penduduk Indonesia (BPS, 2020); terkait distribusi dan kontribusi ekonomi dalam produk domestik bruto (PDB) dimana Pulau Jawa yang berkontribusi hingga 57,89% dari PDB nasional pada tahun 2021; terkait ketersediaan air bersih di Pulau Jawa yang saat ini sedang mengalami krisis air berdasarkan data tahun 2016 dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; berkaitan dengan pemodelan dari Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) yang dilakukan Bappenas menunjukkan Pulau Jawa telah mengalami perubahan fungsi lahan yang berarti terdapat proporsi yang tidak imbang. Tutupan lahan untuk kebutuhan konsumsi di Pulau Jawa lima kali lipat lebih besar dibandingkan Pulau Kalimantan (Chotib, 2022). Terlebih dengan isu-isu global mengenai perubahan iklim yang mengancam, maka dari itulah pemindahan ibu kota dari Pulau Jawa menuju ke Pulau Kalimantan ini dilakukan.

Pulau Kalimantan sendiri jika dilihat dari kemampuan airnya lebih baik dari Jawa dalam hal kualitas air (Imaningsih, 2020). Indeks pencemaran kualitas air oleh bakteri *Coliform di* Pulau Jawa pada air minum isi ulang dan air Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) sebesar 38,63% dan 66,66% dengan persentase cemaran *E. coli* pada air minum isi ulang sebesar 40,42%. Sedangkan persentase cemaran *Coliform* pada air minum isi ulang dan air PDAM di Pulau Kalimantan secara berturut-turut yaitu 31,08% dan 33,33%, dengan persentase cemaran *E. coli* pada air minum isi ulang sebesar 4,65% (Imaningsih, 2020).

Selain itu, Pulau Kalimantan juga merupakan tempat yang dilintasi oleh garis khatulistiwa, kawasan strategis yang dikelilingi laut, penguapan tinggi, dan curah hujan yang tinggi. Topografi Kalimantan yang berada pada zona strategis geografi menciptakan banyak sungai-sungai dalam rangka pemenuhan kebutuhan manusia yang bisa diperluas lagi menjadi sistem irigasi terpadu maupun PLTMH (Erinofiardi, 2017).

Penggunaan SIG dengan pendekatan multi-kriteria memungkinkan pengoptimalan dalam analisis kesesuaian lokasi yang cocok untuk pengembangan PLTMH berdasarkan fisiografi dan kebutuhan listrik dalam pengembangan IKN. Analisis lokasi ini berdasarkan data-data sungai, tutupan lahan, kemiringan, kerentanan longsor, dan ketinggian dengan pemodelan kuantitatif dengan metode analisis multi-kriteria, serta skor terbobot ditentukan dengan mempertimbangkan perbandingan setiap kriteria pada *software* QGIS untuk membuat *output* berupa peta kesesuaian lokasi.

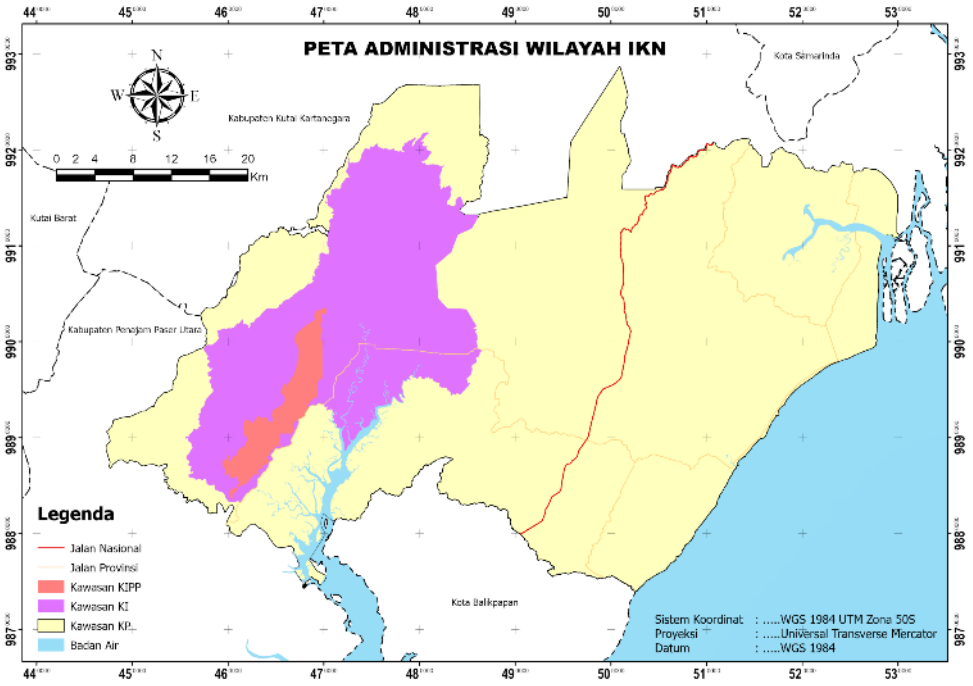
METODE PENELITIAN

Area Studi

Secara geografis, area IKN berada di Pulau Kalimantan yang terletak pada 4°24' LU - 4°10' LS dan 108°30' BT - 119°00' BT. IKN terletak di wilayah Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Berikut adalah batas-batas wilayah IKN secara geografis.

- Bagian utara: 117°0’31,292” BT dan 0°38’44,912” LS
- Bagian timur: 117°18’28,084” BT dan 1°6’42,398” LS
- Bagian selatan: 117°11’51,093” BT dan 1°15’25,260” LS
- Bagian barat: 116°31’37,728” BT dan 0°59’22,510” LS

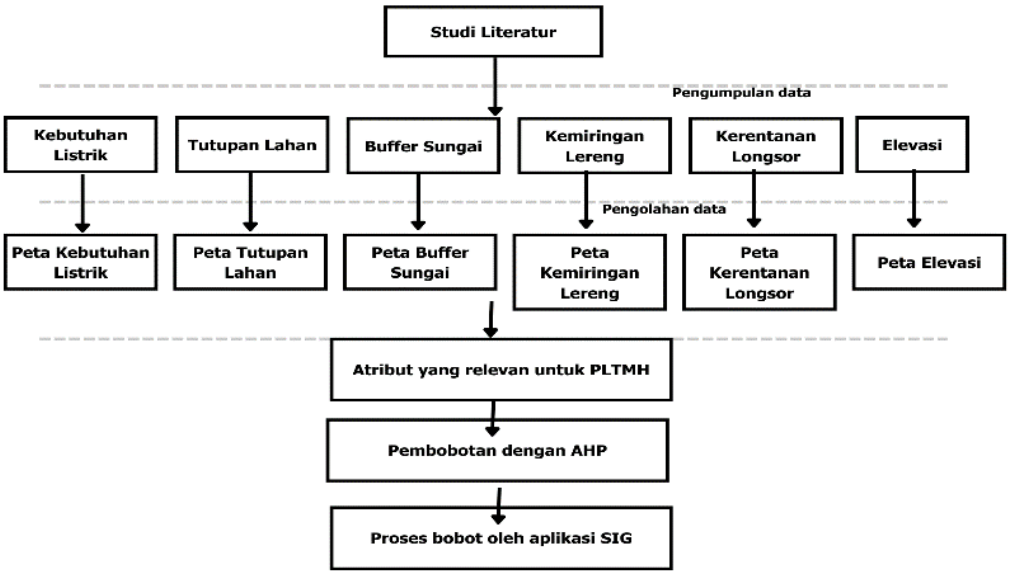
Ilustrasi pembagian wilayah administrasi IKN dapat dilihat pada **Gambar 1.** Secara total, IKN memiliki luas area 256.142 hektare yang terdiri dari Kawasan Inti Pusat Pemerintahan/KIPP (56.180 hektare), Kawasan Ibu Kota Negara/KIKN (56.180 hektare), dan Kawasan Perluasan Ibu Kota Negara/KPIKN (143.882 hektare).



Gambar 1. Batas administrasi wilayah IKN.

Metode Penelitian

Langkah pertama penelitian ini yakni studi literatur/mencari literatur-literatur yang sesuai untuk menganalisis kesesuaian pembangunan PLTMH di IKN, dari penelitian ahli terdahulu. Langkah kedua yakni pengumpulan data. Data kebutuhan listrik didapat dari BPS Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Data tutupan lahan didapat dari Kementerian LHK tahun 2019, sedangkan Peta RBI, termasuk data administrasi batas kecamatan, sungai, dan jalan didapat dari website inageoportal Badan Informasi Geospasial. Data dasar untuk pengolahan kemiringan lereng dan elevasi didapat dari DEM ALOS PALSAR. Data pelengkap seperti curah hujan sebagai parameter dari kerawanan longsor, bersumber dari CHIRPS. Setelah semua data terkumpul maka proses dilanjutkan dengan pengolahan data-data tersebut. Hasil skor atau bobot dari proses *Analytical Hierarchy Process* (AHP) akan digunakan dalam proses pembobotan dalam aplikasi SIG, yang pada akhirnya akan menghasilkan peta-peta pelengkap untuk menjadi parameter analisis kesesuaian lahan pembangunan PLTMH.



Gambar 2. Metode penelitian.

Ilustrasi klasifikasi dan pembobotan dapat dilihat pada **Gambar 2.** Klasifikasi dan pembobotan bersumber dari *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Menurut Azhar (2019), peralatan utama AHP adalah dari persepsi manusia itu sendiri. AHP memiliki banyak keunggulan dalam menjelaskan proses pengambilan keputusan. Untuk melakukan pembobotan setiap atribut maka dilakukan perbandingan berpasangan terlebih dahulu, dengan tahapan di dalamnya yakni membuat matriks setiap atribut, kemudian membuat pembobotan dan memvalidasi pembobotan. Setelah dibobot maka bobot yang telah sesuai dengan atribut diolah dalam aplikasi SIG dengan serangkaian metode sehingga memunculkan hasil analisis dari kesesuaian lahan PLTMH.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Langkah dalam metode yang mempertimbangkan setiap kriteria dapat dilihat pada **Persamaan 1** dengan mendefinisikan masalah dan menentukan solusi dan menyusun hierarkinya. kemudian menentukan prioritas elemen. Pertimbangan berpasangan disintesis untuk memperoleh prioritas. Kemudian mengukur konsistensi. Adapun skala penilaian hierarki dapat dilihat pada **Tabel 1.**

$$Wi = \frac{Xi}{\Sigma X n} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
Wi : Bobot setiap kriteria
Xi : Jumlah skor untuk setiap kriteria dalam matriks invers
Σ X n: Jumlah semua skor yang diperoleh untuk setiap kriteria.

Tabel 1. Skala penilaian hierarki.

Pentingnya Intensitas	Deskripsi	Kelas Kesesuaian
1	sama pentingnya	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama
3	sedikit lebih penting	Kategori sedang dibandingkan dengan kepentingan lainnya
5	lebih penting	Kategori lebih dibandingkan dengan kepentingan lainnya
7	sangat penting	Kategori amat kuat dibandingkan dengan kepentingan lainnya
9	mutlak lebih penting	Kepentingan satu secara ekstrem lebih kuat dari kepentingan lainnya

Klasifikasi Kriteria berdasarkan AHP

Klasifikasi ini merujuk kepada penelitian terdahulu oleh Hendriawan (2021), dalam penelitiannya terhadap wilayah Ogan Komering Ulu. Metode perbandingan berpasangan digunakan untuk mengklasifikasikan enam parameter, yakni kebutuhan listrik, sungai, tutupan lahan, kemiringan lereng, kerawanan longsor, dan elevasi. **Tabel 2** menunjukkan nilai bobot setiap kriteria.

Tabel 2. Pemberian bobot pada setiap kriteria.

Kriteria	Perbandingan Berpasangan						Berat
	I	II	III	IV	V	VI	
I	1,00	2,00	3,00	4,00	3,00	4,00	0,35
II	0,50	1,00	2,00	3,00	3,00	4,00	0,24
III	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00	4,00	0,16
IV	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	0,11
V	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	3,00	0,09
VI	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	1,00	0,05

Keterangan: I Kebutuhan listrik, II aliran sungai, III Tutupan lahan, IV Kemiringan lereng, V Kerentanan Longsor dan VI Elevasi.

Setiap kriteria diklasifikasikan menjadi tiga yakni rendah, sedang, dan tinggi. Setiap nilai ini menunjukkan pengaruhnya terhadap analisis kesesuaian lokasi. Dengan langkah yang sama,

metode perbandingan berpasangan digunakan untuk pembobotan subkriteria ini yang berperan untuk kesesuaian lokasi sebagaimana tertuang dalam **Tabel 3.**

Tabel 3. Pemberian bobot pada setiap subkriteria.

Kriteria	Bobot subkriteria		
	I	II	III
I	0,11	0,26	0,63
II	0,09	0,24	0,67
III	0,13	0,28	0,58
IV	0,11	0,26	0,63
V	0,12	0,32	0,56
VI	0,10	0,31	0,59

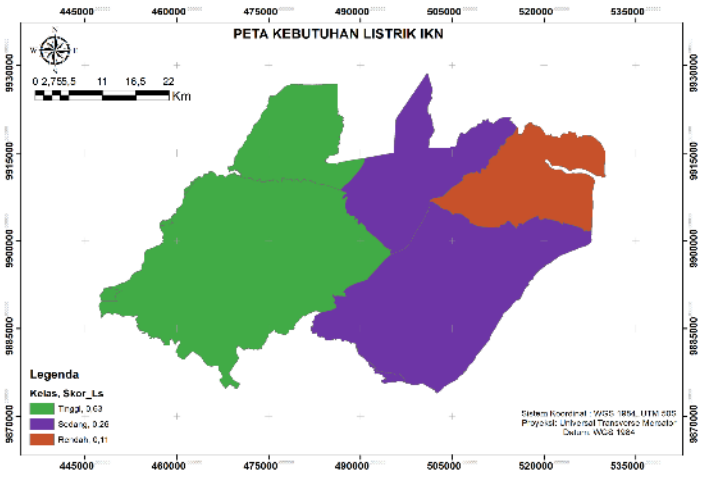
Keterangan: I Kebutuhan listrik, II aliran sungai, III Tutupan lahan, IV Kemiringan lereng, V Kerentanan Longsor dan VI Elevasi.

Karena nilai CR (Consistency Ratio) yang didapat semua mendapat kurang dari 10% maka pembobotan yang diberikan valid. Selanjutnya kriteria dan bobot dimasukkan dalam proses raster maupun vektor untuk perhitungan dalam aplikasi SIG lebih lanjut, untuk kemudian dijadikan peta kesesuaian lokasi PLTMH.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Listrik

Listrik merupakan kebutuhan utama dan menjadi parameter paling pertama untuk membangun PLTMH sebab kebutuhan listrik yang kurang, atau sebelumnya pasokan listrik dari energi bukan terbarukan, hal ini akan menjadi pilihan yang tepat sebab akan memakai energi terbarukan untuk mengamankan pasokan listrik IKN.



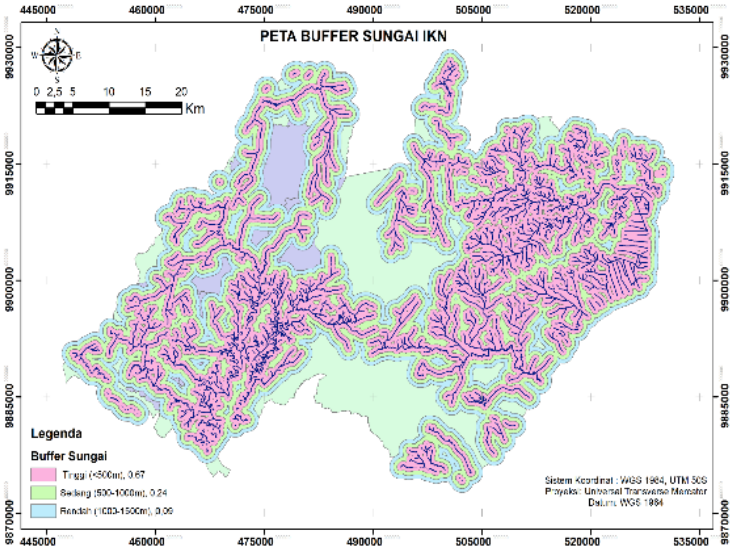
Gambar 3. Peta bobot yang memerlukan kebutuhan listrik di IKN.

Data kebutuhan listrik didapat dari wilayah terdekat inti IKN dan dengan data pendukung dari BPS yakni Kabupaten Kutai Kartanegara dalam Angka, dan Kabupaten Penajam Paser Utara dalam Angka. Lokasi kecamatan terdekat dari pusat inti kegiatan maka skor yang didapatkan akan tinggi, dapat dipastikan kebutuhan listrik akan lebih banyak di kawasan inti. Sebaran bobot kebutuhan listrik di IKN dapat dilihat pada **Gambar 3.** Oleh karena itu dari perhitungan AHP didapatkan skor 0,63 untuk klasifikasi kebutuhan tinggi, kemudian skor 0,28 untuk klasifikasi kebutuhan sedang, dan 0,11 untuk klasifikasi kebutuhan rendah.

Jarak dari Sungai Utama

Sungai adalah aliran alami badan air yang mengalir dari hulu di pegunungan ke hilir. Aliran air dari sungai merupakan kriteria utama untuk PLTA. Hampir semua sungai permanen tersebut memiliki potensi untuk PLTA, dengan sungai yang beragam mulai dari dekat hulu sampai dengan

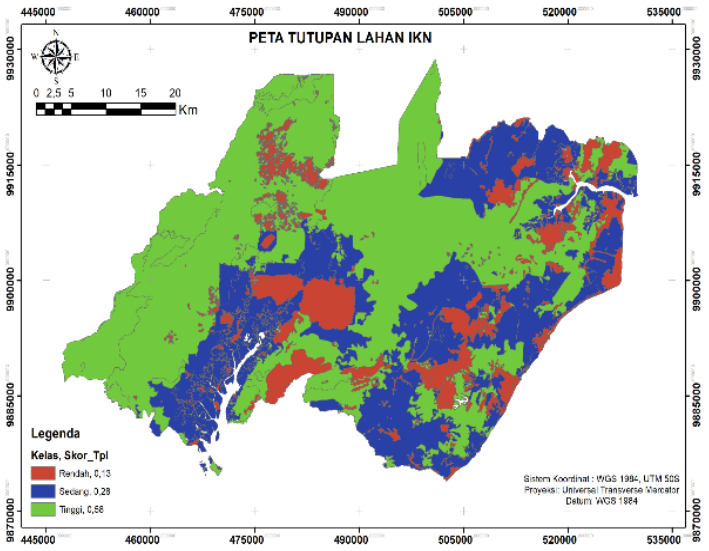
dekat ke hilir sehingga sungai melebar karena sudah dekat dengan muara. Sungai di sebelah barat area IKN atau dekat dengan pusat kegiatan IKN mengalir ke hilir dengan hilir Teluk Balikpapan. Kriteria jarak dari sungai utama dibagi menjadi tiga kelas, yaitu 'rendah' menunjukkan jarak lebih dari 1.500 m dari sungai utama, 'sedang' menunjukkan jarak lebih dari 1.000 m dari sungai utama, dan 'tinggi' berarti kurang dari 500 m dari sungai utama. Ilustrasi dapat dilihat pada **Gambar 4.** Kelas-kelas ini telah dibobotkan menggunakan AHP, dengan skor untuk klasifikasi tertinggi adalah 0,67, kemudian skor untuk klasifikasi sedang adalah 0,24, dan untuk klasifikasi rendah adalah 0,09.



Gambar 4. Peta jarak sungai yang berat di IKN.

Tutupan Lahan

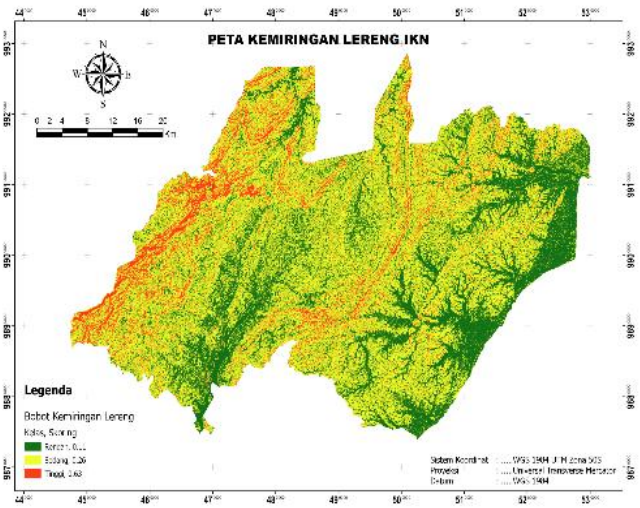
Tutupan lahan adalah tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat diamati dan merupakan suatu hasil dari pengaturan, aktivitas, dan perlakuan manusia (SNI 7645:2014). Pembangunan PLTA di setiap sungai atau aliran air akan secara langsung berdampak pada pola tutupan lahan. Tutupan lahan dibagi menjadi tiga kelas, yaitu rendah: badan air, danau, sawah, pemukiman, lapangan terbuka, rawa, dan belukar rawa; sedang: perkebunan, pertanian lahan kering, pertanian, sabana, mangrove primer dan sekunder; tinggi: hutan primer, hutan sekunder, dan semak belukar. Ilustrasi dapat dilihat pada **Gambar 5.** Kelas-kelas ini telah diberi bobot menggunakan AHP, untuk skor tinggi diberikan nilai 0,58, skor sedang diberikan nilai 0,28, dan untuk skor rendah diberikan nilai 0,13.



Gambar 5. Bobot peta tutupan lahan di IKN.

Kemiringan Lereng

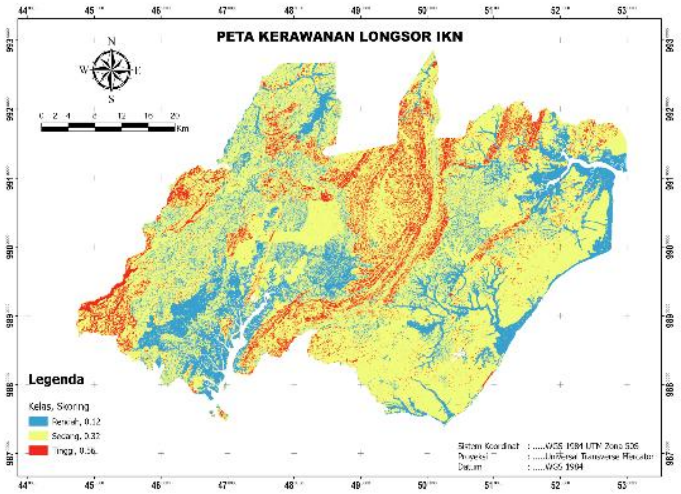
Dalam konteks analisis multi-kriteria untuk pengembangan PLTMH, kemiringan lereng perlu mendapat perhatian lebih. Topografi IKN berada dalam sistem bergelombang, yang membentang di barat dan tengah, yang ditunjukkan oleh kontur ketinggan yang cenderung longgar pada peta topografi. Batuan lempung dan serpih mendominasi di Kawasan Inti Pusat Pemerintah (KIPP) dan Kawasan Ibu Kota (KI). Kemiringan Lereng di IKN bervariatif, berkisar antara 0° hingga 30°. Lereng-lereng yang terarah terbentuk oleh batuan lempung dan serpih, sebagian besar agak curam. Peta kemiringan lereng dibuat dari data ALOS PALSAR 12,5 meter dan diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu rendah untuk 0 sampai 8%, sedang untuk 8% sampai 25%, dan tinggi untuk lebih dari 25%. Bobot untuk kelas kemiringan lereng dapat dilihat pada **Tabel 3** dan direpresentasikan dalam peta kemiringan lereng pada **Gambar 6.**



Gambar 6. Bobot kemiringan lereng di IKN.

Kerawanan Longsor

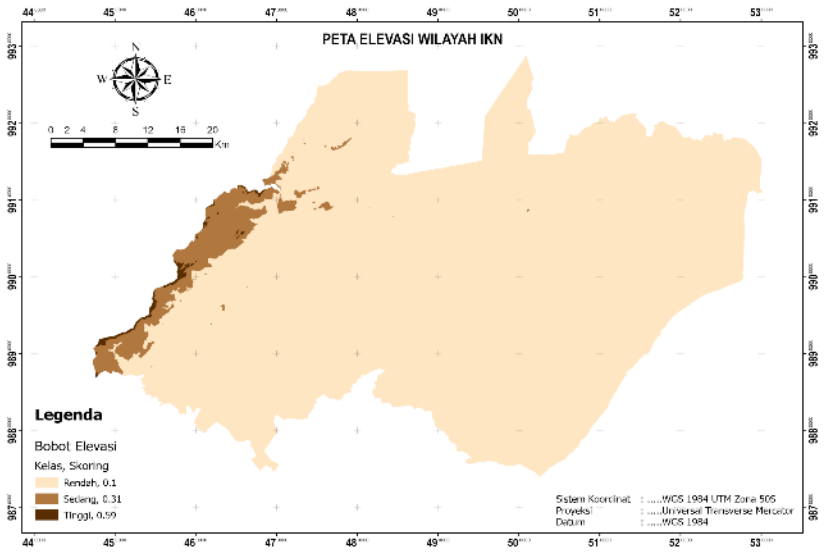
Dalam pengembangan PLTMH, faktor kebencanaan harus benar-benar diperhatikan karena keberlanjutan proyek ini sangat erat kaitannya dengan bencana. Peta kerentanan tanah longsor menunjukkan tingkat kerawanan tanah longsor pada suatu daerah tertentu. Pada daerah yang memiliki indeks kerentanan tinggi, maka prioritas pembangunan PLTMH akan lebih rendah. Kriteria ini dibagi menjadi tiga kelas, yaitu rendah untuk indeks longsor rendah, sedang untuk indeks longsor sedang, dan tinggi untuk indeks longsor tinggi. Bobot untuk kelas kerentanan longsor ditampilkan pada **Tabel 3** dan direpresentasikan dalam bobot peta longsor pada **Gambar 7.**



Gambar 7. Peta bobot kerawanan longsor di IKN.

Ketinggian atau Elevasi

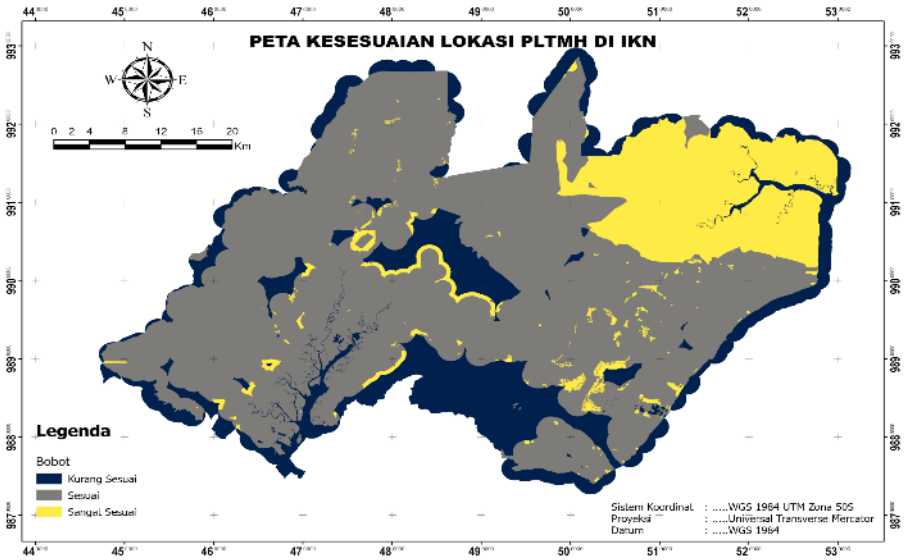
Ketinggian juga diperhitungkan dalam analisis spasial untuk pengembangan PLTMH. Daerah yang berada di dataran tinggi lebih potensial untuk pengembangan PLTMH. Elevasi mengandung informasi ketinggian dalam meter, berdasarkan peta ini dapat dihitung dan diperkirakan besarnya sudut kemiringan lereng, gradien sungai, kerapatan sungai, perbedaan kemiringan, dan landasan suatu daerah, yang berperan penting dalam memperkirakan ketersediaan air permukaan serta besarnya kecepatan aliran di sungai. dalam penelitian ini, peta elevasi dibuat dari data ALOS PALSAR 12,5 m. Elevasi ini dibagi menjadi tiga kelas, yaitu rendah untuk kurang dari 250 m, sedang untuk 250-500 m, tinggi untuk lebih dari 500 m. Dengan menggunakan metode kuantitatif AHP, dihasilkan kelas-kelas elevasi bobot pada **Tabel 3** dan direpresentasikan dalam peta elevasi bobot pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Peta elevasi di IKN

Berdasarkan kajian, Wilayah IKN terbagi menjadi 3 kelas kesesuaian berdasarkan bobot yang telah dibuat, antara lain:

- Kelas yang mendominasi di Kawasan Inti (KI) adalah **bobot sesuai**,
- Kawasan Pengembangan (KP) didominasi oleh bobot **sesuai**,
- Bobot **kurang sesuai** ada pada bagian tengah dan selatan,
- Bobot **sangat sesuai** ditunjukkan pada Kawasan Pengembangan (KP) bagian timur.



Gambar 9. Peta kesesuaian lokasi PLTMH di IKN.

Ilustrasi kelas kesesuaian pada **Gambar 9** menunjukkan bobot pada sebagian besar muara sungai memiliki nilai kesesuaian rendah. Dibutuhkan arus air dan morfologi yang tepat untuk pembangunan PLTMH ini.

KESIMPULAN

Analisis SIG untuk mengembangan PLTMH di IKN memperhatikan banyak parameter, yakni kebutuhan listrik di sekitar IKN, sungai-sungai sebagai pasokan utama PLTMH, tutupan lahan, kemiringan lereng, ketahanan terhadap bencana terutama longsor, dan elevasi wilayah IKN yang berkaitan dengan kecepatan air untuk proses pengolahan pada PLTMH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah yang sangat sesuai untuk lokasi PLTMH berada di Kawasan Pengembangan (KP) bagian timur sedangkan wilayah yang kurang sesuai berada di KP bagian tengah dan selatan. Wilayah yang sangat sesuai mengartikan bahwa wilayah tersebut memiliki tingkat kemiringan lereng dan arus sungai yang tinggi dan kerentanan longsor yang rendah yang paling sesuai untuk pembangunan PLTMH.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada rekan-rekan penulis yang telah membantu dalam menyelesaikan paper ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan mohon maaf atas kekurangan dalam memimpin tim penulisan ini. Semoga penulisan ini dapat menjadi pengalaman bagi rekan-rekan di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

Mbika C. & Muteba, S. N. (2023). Micro-hydropower systems for smallholder farmers in rural communities of. *Energy Nexus Volume 11, September 2023, 100228*, 1-2.

Vindi Andi Kurniawan, P. Y. (2024). The failure of micro-hydro technology: A case study of the Banyubiru. Renewable and Sustainable Energy Transition 5 (2024) 100081, 1.

Erinofiardi, P. G. (2017). Tinjauan tentang pembangkit listrik tenaga mikrohidro di Indonesia. *Energy Procedia 110*, 316-321.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Outlook Energi Indonesia 2019.* Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral.

Titis Haryani, W. W. (2015). PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO. *JURNAL HIDROTEKNIK Nomor I Vol. II Tahun 2015*, 75-76.

Chotib, S., J (2022) ANALISIS KEBIJAKAN PUBLIK PEMINDAHAN IBU KOTA NEGARA. *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik, 13(2), 2022, 155 - 168*, 153-154.

Imaningsih, R. Y. (2020). PERBANDINGAN KUALITAS AIR di PULAU JAWA. *Journal of Pharmacy Vol.9 No.1: 36 - 50*, 37-39

Developer IKN. (n.d.). About: Ibu Kota Nusantara (IKN). Retrieved from IKN Go Web Site: https://www.IKN.go.id/

Nur, W. H., Yuliana, Y., Susilowati, Y., Kumoro, Y., & Yunarto, Y. (2021). Overview about GIS multi-criteria spatial analysis for micro hydropower plant site suitability in South Ogan Komering Ulu District, South Sumatera, Indonesia. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, *10*(2), 1024-1034.

Choirunnisa, I & Harjanti, IM. (2021). Penggunaan Sistem Informasi Geografis dalam Penentuan Kesesuaian Lokasi Sarana Pendidikan Menengah di Kecamatan Mijen. Jurnal Riptek. Vol. 15 (2): 46-59.

Badan Standarisasi Nasional. (2014). SNI No 7645: 2014. Klasifikasi Penutup Lahan.

PEMETAAN KECAMATAN POTENSIAL KOMODITAS JAHE DI KABUPATEN BANDUNG MENGGUNAKAN *PENDEKATAN LOCATION QUOTIENT* DAN *SHIFT SHARE ANALYSIS*

(*Mapping The Potential Districts of Ginger Commodity in Bandung Regency Using Location Quotient and Shift Share Analysis Approaches*)

Hadian Resky Aisyah[1], Luthfi Muta'ali[2], dan Andri Kurniawan[2]
[1]Program Studi Magister Geografi, Universitas Gadjah Mada
[2]Departemen Pembangunan Wilayah, Universitas Gadjah Mada

Bulaksumur, Caturtunggal, Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
E-mail: hadianreskyaisyah501790@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Sektor pertanian menjadi salah satu sektor unggulan yang diprioritaskan dalam perencanaan pembangunan wilayah Kabupaten Bandung, salah satunya melalui strategi pengembangan klaster ekonomi unggulan di lokasi potensial. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kecamatan potensial komoditas jahe di Kabupaten Bandung yang akan diarahkan menjadi daerah prioritas untuk pengembangan sektor pertanian wilayah. Data yang digunakan adalah data sekunder berupa data produksi komoditas jahe pada masing-masing kecamatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa analisis deskriptif, *Location Quotient*, *Shift Share Analysis dan* proses *overlay*. Analisis *Location Quotient* digunakan untuk menentukan kecamatan yang memiliki basis komoditas jahe apabila nilai LQ>1 sedangkan *Shift Share Analysis* (SSA) digunakan untuk menentukan kecamatan yang memiliki keunggulan kompetitif apabila nilai DS-SSA positif. Kedua analisis kemudian di-*overlay* untuk memetakan kecamatan potensial jahe di wilayah Kabupaten Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari total 31 kecamatan di Kabupaten Bandung hanya satu kecamatan yang merupakan kecamatan potensial jahe karena memperoleh perhitungan LQ >1, sebesar 4,41 dan nilai *Differensial Shift-Shift Share Analysis* positif sebesar 43,19. Dapat diinterpretasikan bahwa Kecamatan Soreang memiliki keunggulan komparatif dan kompetitif dalam produksi jahe di wilayah Kabupaten Bandung, sehingga menjadikannya sebagai wilayah potensial untuk pengembangan lebih lanjut dalam bagian kawasan strategis nasional perkotaan cekungan Bandung.

Kata kunci: kecamatan potensial, Kabupaten Bandung, *location quotient*, *shift share*

ABSTRACT

The agricultural sector is one of the leading sectors that is prioritized in regional development planning for Bandung Regency, one of which is through a strategy for developing superior economic clusters in potential locations. This research aims to identify potential sub-districts for ginger commodities in Bandung Regency which will be directed to become priority areas for developing the regional agricultural sector. The data used is secondary data in the form of ginger commodity production data in each sub-district. The methods used in this research are descriptive analysis, Location Quotient, Shift Share Analysis and overlay process. Location Quotient Analysis is used to determine sub-districts that have a ginger commodity base if LQ>1, while Shift Share Analysis (SSA) is used to determine sub-districts that have a competitive advantage if the DS-SSA value is positive. The two analyzes were then overlaid to map potential ginger sub-districts the Bandung Regency region. The research results show that of the total of 31 sub-districts in Bandung Regency, only one sub-district is a potential ginger sub-district because it obtained an LQ calculation of >1, amounting to 4.41 and a positive Differential Shift-Shift Share Analysis value of 43,19. It can be interpreted that Soreang District has a comparative and competitive advantage in ginger production in the Bandung Regency area, making it a potential area for further development in the urban national strategic area of the Bandung basin.

***Keywords**: potential location, Bandung Regency, location quotient, shift share*

PENDAHULUAN

Pengembangan wilayah saat ini menjadi tantangan yang sangat berat di dunia, tidak hanya menyangkut persoalan fisik dan sosial saja tetapi juga mencakup isu perubahan iklim, epidemi

penyakit, dan arus globalisasi ekonomi yang bergerak cepat namun tidak selalu memberikan dampak positif (Deng *et al.*, 2023). Sejak pandemi virus Covid-19, tanaman biofarmaka juga semakin masif dipilih sebagai pilihan medis herbal dalam kalangan masyarakat Indonesia karena salah satu manfaatnya mampu meningkatkan daya tahan tubuh untuk mengurangi potensi kemungkinan penyebaran virus dan penyakit (Sumiasih & Mun'im, 2022). Hal ini didukung oleh ketersediaan lahan produksi dan pergeseran masyarakat menuju gaya hidup yang sehat dan alami sebab produk kesehatan atau kosmetik herbal dianggap memiliki banyak khasiat dan tidak memiliki efek samping berbahaya oleh sebagian masyarakat Indonesia (Kanaya & Firdaus, 2014). di antara beberapa jenis komoditas pertanian yang masuk dalam subtanaman biofarmaka, jahe adalah salah satu komoditas yang cukup populer.

Kabupaten Bandung merupakan salah satu daerah yang juga memiliki potensi jahe di Indonesia yang cukup bagus, baik pada aspek pengembangan, distribusi pemasaran, dan spasial. dalam dokumen Masterplan Perekonomian Kabupaten Bandung periode 2021-2026 yang diterbitkan oleh Bidang Perencanaan Sumber Daya Alam dan Investasi, Bappeda Kabupaten Bandung, sektor pertanian menjadi salah satu sektor unggulan yang diprioritaskan dalam perencanaan pembangunan wilayah. Strategi utama dalam pelaksanaan *masterplan* perekonomian tersebut meliputi pengembangan klaster ekonomi unggulan di lokasi potensial, termasuk dalam sektor pertanian. Meskipun kontribusi sektor pertanian terhadap PDRB Kabupaten Bandung pada tahun 2022 relatif kecil (6,25% dari total PDRB), dibanding dengan sektor unggulan lainnya, sektor pertanian merupakan salah satu sektor yang memiliki pertumbuhan positif (0,19%) sejak tahun 2020.

Potensi pengembangan wilayah Kabupaten Bandung tidak hanya strategis di level internal Kabupaten Bandung, tetapi juga dianggap strategis oleh pemerintah nasional dan Provinsi Jawa Barat. Disebutkan dalam Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 9 tahun 2022 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Jawa Barat tahun 2022-2042 bahwa dalam level nasional, Kabupaten Bandung merupakan salah satu kawasan potensial dari sisi kepentingan ekonomi yang oleh pemerintah pusat telah ditetapkan sebagai bagian dari Kawasan Strategis Nasional (KSN) Perkotaan Cekungan Bandung.

Merujuk pada data produksi jahe per kecamatan di Kabupaten Bandung dalam lima tahun terakhir (2018–2022), terlihat bahwa Kecamatan Cangkuang memproduksi jahe paling tinggi, dengan total produksi mencapai 334.200 kg jahe, dan Kecamatan Cikancung dengan jumlah produksi mencapai 331.510 kg jahe. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan potensi ekonomi petani dan perekonomian lokal yang penting dalam rencana pengembangan ekonomi wilayah Kabupaten Bandung, diperlukan penyelidikan awal mengenai pemetaan kecamatan potensial komoditas jahe. Identifikasi kecamatan potensial komoditas jahe di Kabupaten Bandung menjadi penting karena jahe merupakan komoditas dengan nilai ekonomi yang tinggi dan permintaan pasar yang cukup stabil. Kristedy & Hukom (2024) menjelaskan bahwa dalam proses pemetaan potensi ekonomi wilayah melalui sektor pertanian juga dapat mempertimbangkan aspek keberlanjutan (*sustainability*) dalam pemanfaatan sumber daya ekonomi. Harapannya, temuan dalam penelitian ini sedikit banyak dapat menjadi salah satu sumber referensi dalam pengembangan wilayah di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) dalam upaya mewujudkan pembangunan IKN berbasis potensi sumber daya pangan lokal.

Pengembangan Wilayah

Kajian mengenai pengembangan wilayah merupakan bidang yang tergolong kompleks dalam sebuah keilmuan multidisiplin sebab mencakup bidang ilmu fisik, sosial, ekonomi, hingga manajemen guna mengetahui dan menganalisis permasalahan serta potensi yang dimiliki suatu wilayah dan antarwilayah (Rustiadi, 2018). Pengembangan wilayah merupakan upaya untuk mengintegrasikan secara harmonis sumber daya alam, manusia, dan teknologi dengan memperhitungkan daya tampung suatu lingkungan yang mana pengembangan wilayah bertujuan untuk meminimalisir kesenjangan pertumbuhan dan ketimpangan kesejahteraan antarwilayah dengan berbagai jenis pendekatan yang diterapkan dalam pengembangan wilayah di Indonesia yang dipengaruhi oleh perkembangan teori dan model pengembangan wilayah tatanan sosial-ekonomi, sistem pemerintahan, dan administrasi pembangunan (Mahi, 2016).

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif. Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Bandung dengan pertimbangan bahwa Kabupaten Bandung memiliki potensi jahe dan potensi pengembangan wilayah sebagai bagian dari kawasan strategis nasional kawasan cekungan perkotaan Bandung. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa data *time series* produksi komoditas jahe tahun 2018-2022. Data tersebut diperoleh dari website Badan Pusat Statistik Kabupaten Bandung. Kecamatan yang dianalisis terdiri atas 31 kecamatan dengan produksi panen tertinggi adalah Kecamatan Cangkuang dengan total produksi mencapai 334.200 kg. Kecamatan potensial adalah kecamatan yang memenuhi kriteria apabila memperoleh nilai *location quotient* >1 sehingga menjadi kecamatan basis jahe dan nilai *differential shift share analysis* positif yaitu kecamatan yang memiliki keunggulan kompetitif dalam perkembangan komoditas jahe di Kabupaten Bandung.

Analisis *Location Quotient*

Dasar pemikiran metode dan dasar teori *location quotient* (LQ) adalah teori basis ekonomi dimana analisis ini relatif sederhana (Muta'ali, 2015). Analisis ini digunakan untuk mengetahui kecamatan dengan basis komoditas jahe di Kabupaten Bandung. Menurut Hendayana (2003), *location quotient* merupakan salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam model ekonomi basis sebagai langkah awal untuk memahami sektor kegiatan yang menjadi pemacu pertumbuhan. LQ mengukur konsentrasi relatif atau derajat spesialisasi kegiatan ekonomi melalui pendekatan perbandingan.

Secara spesifik, formula *location quotient* (LQ) menurut Pranadi *et al.* (2022) dalam perhitungan kecamatan basis dapat dilihat pada **Persamaan 1** di bawah ini.

$$LQ = \frac{pi/pt}{Pi/Pt} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
pi : produksi komoditas i di suatu kecamatan
pt : produksi semua komoditas subsektor biofarmaka di suatu kecamatan
Pi : produksi komoditas i pada tingkat kabupaten
Pt : produksi komoditas subsektor biofarmaka total pada tingkat kabupaten

Shift Share Analysis

Analisis *shift share* digunakan untuk menganalisis perubahan berbagai indikator kegiatan ekonomi seperti produksi dan kesempatan kerja pada dua titik waktu di suatu wilayah. komponen shift share yang digunakan dalam analisis ini adalah komponen *differential-SSA.* Bawamenewi (2020) menyatakan bahwa komponen pergeseran diferensial (*differential shift*) menjelaskan bagaimana tingkat kompetisi (*competitiveness*) suatu sektor/*output* tertentu dibandingkan dengan pertumbuhan total sektor/*output* tersebut dalam wilayah. Komponen inilah yang digunakan sebagai model analisis untuk kemudian oleh Pranadi *et al.* (2022) digambarkan dalam **Persamaan 2** berikut.

$$Dsij = \frac{Xij\ (t1)}{Xij\ (to)} - \frac{Xi\ (t1)}{Xi\ (to)} \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan:
Xij : nilai produksi komoditas tertentu (i) di suatu kecamatan (j)
Xi : nilai produksi komoditas tertentu (i) di Kabupaten Bandung
t1 : titik tahun akhir
t0 : titik tahun awal

Analisis Kecamatan Potensial

Untuk menentukan kecamatan potensial jahe, dilakukan proses tumpang tindih atau *overlay* antara nilai LQ dengan DS-SSA dimana kecamatan potensial yang dipilih adalah yang memiliki nilai LQ>1 dan DS-SSA positif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis *Location Quotient*

Analisis LQ digunakan untuk menentukan kecamatan basis dan nonbasis komoditas jahe. semakin tinggi nilai LQ suatu wilayah maka semakin tinggi pula *comparative advantage* daerah yang bersangkutan dalam mengembangkan atau melayani kebutuhan pasar dalam dan luar daerah (Muta'ali, 2015). Hasil analisis LQ komoditas jahe per kecamatan di Kabupaten Bandung disajikan lihat **Tabel 1**.

Tabel 1. Analisis LQ komoditas jahe di Kabupaten Bandung.

Kecamatan	Nilai LQ
Ciwidey	3,80
Rancabali	2,08
Pasirjambu	3,97
Cimaung	1,28
Pangalengan	-
Kertasari	2,08
Pacet	0,93
Ibun	1,33
Paseh	1,91
Cikancung	3,36
Cicalengka	2,64
Nagreg	3,26
Rancaekek	-
Majalaya	2,26
Solokanjeruk	1,95
Ciparay	0,92
Baleendah	4,82
Arjasari	1,72
Banjaran	3,67
Cangkuang	3,88
Pameungpeuk	-
Katapang	4,82
Soreang	4,41
Kutawaringin	1,19
Margaasih	-
Margahayu	1,14
Dayeuhkolot	1,42
Bojongsoang	4,82
Cileunyi	3,18
Cilengkrang	2,37
Cimenyan	3,05

Sumber: Pengolahan Data Sekunder (2024)

Dari 31 kecamatan di Kabupaten Bandung, 29 memenuhi kriteria basis jahe dengan nilai LQ >1 dimana Kecamatan Baleendah, Katapang, dan Bojongsoang memiliki nilai LQ tertinggi (4,82). Sementara itu, dua kecamatan lainnya tidak memenuhi kriteria ini, karena hanya memperoleh nilai LQ sebesar 0,93 untuk Kecamatan Pacet dan 0,92 untuk Kecamatan Ciparay.

Shift Share Analysis

Oleh karena analisis LQ masih cukup sederhana karena merupakan *one shot analysis* dan hanya menggambarkan keunggulan komparatif dari kecamatan yang termasuk basis dan nonbasis saja sehingga dilakukan tahap analisis yang mampu melengkapi analisis LQ yaitu analisis *shift share* untuk mengetahui keunggulan kompetitif pada suatu wilayah. Muta'ali (2015) menyatakan bahwa komponen DS digunakan untuk melihat perubahan pertumbuhan dari suatu kegiatan di wilayah studi terhadap kegiatan tersebut di wilayah referensi. Hasil perhitungan DS-SSA dapat dilihat **Tabel 2**.

Tabel 2. Analisis DS-SSA komoditas jahe di Kabupaten Bandung.

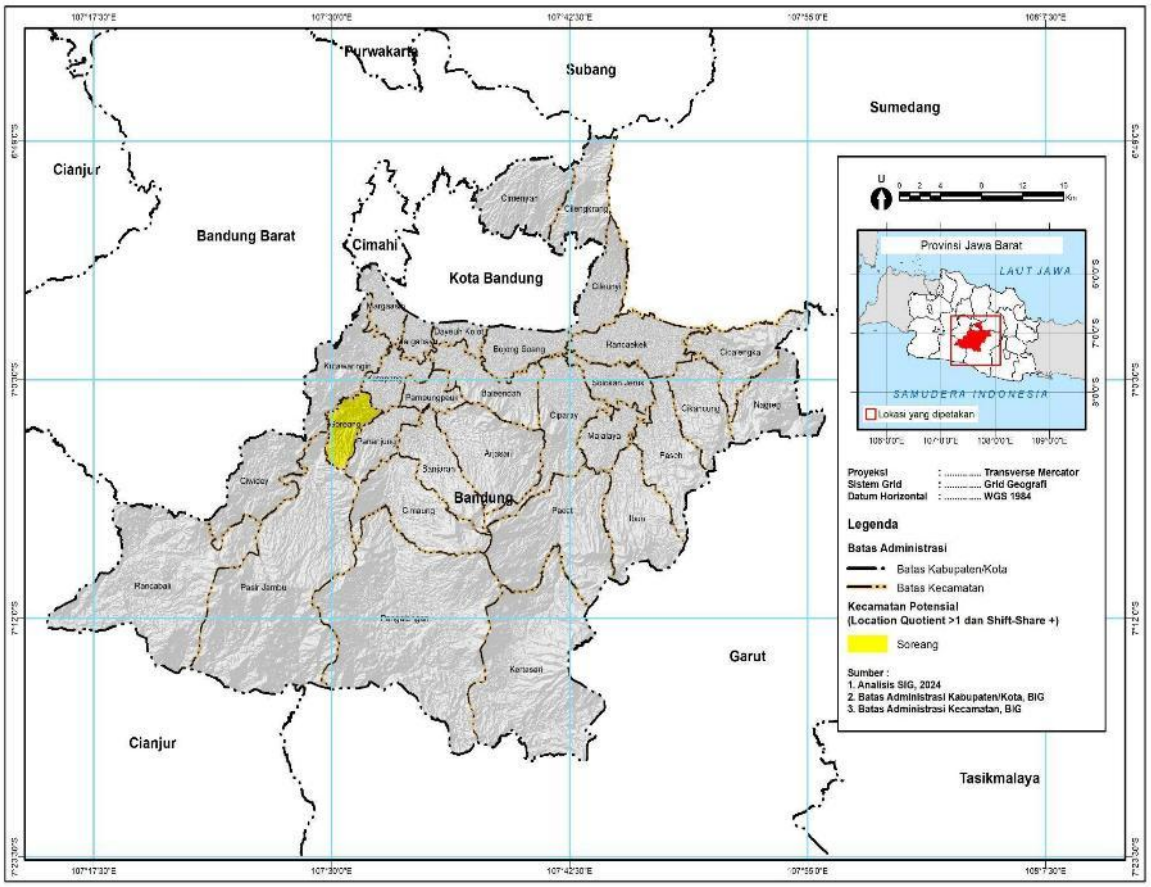
Kecamatan	Nilai DS-SSA
Ciwidey	-
Rancabali	-1,65
Pasirjambu	-
Cimaung	-
Pangalengan	-
Kertasari	-
Pacet	-
Ibun	-0,12
Paseh	-
Cikancung	-
Cicalengka	-
Nagreg	-
Rancaekek	-
Majalaya	-
Solokanjeruk	-
Ciparay	-
Baleendah	-
Arjasari	-
Banjaran	-
Cangkuang	-
Pameungpeuk	-
Katapang	-
Soreang	43,19
Kutawaringin	-
Margaasih	-
Margahayu	-
Dayeuhkolot	-
Bojongsoang	-
Cileunyi	-2,21
Cilengkrang	-
Cimenyan	-

Sumber: Pengolahan Data Sekunder (2024)

Oleh karena dalam perhitungan DS-SSA menggunakan data produksi jahe pada tahun awal dan tahun akhir, dimana ada sebagian kecamatan yang pada hitungan tahun awal dan tahun akhirnya tidak memiliki catatan data produksi menyebabkan hasil perhitungan DS-SSA tidak memperoleh angka yang seharusnya. Berdasarkan **Tabel 2** di atas, satu-satunya kecamatan yang memperoleh nilai DS-SSA positif hanya Kecamatan Soreang saja, dengan perolehan DS-SSA positif sebesar 43,19.

Proses *Overlay* atau Tumpang Susun

Untuk menentukan kecamatan yang menjadi basis jahe di Kabupaten Bandung dan memiliki keunggulan kompetitif maupun komparatif, maka dilakukan proses *overlay* antara nilai LQ dengan DS-SSA. Kecamatan potensial yang dipilih adalah yang memiliki nilai LQ>1 dan DS-SSA positif. Merujuk pada hitungan LQ dan DS-SSA yang telah dianalisis sebelumnya diperoleh bahwa kecamatan potensial komoditas jahe di Kabupaten Bandung adalah Kecamatan Soreang. Pemetaan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1** di bawah ini.



Sumber: Pengolahan Data Sekunder (2024)

Gambar 1. Lokasi kecamatan potensial komoditas jahe Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat.

KESIMPULAN

Pemilihan lokasi kecamatan potensial dilakukan guna mendorong terwujudnya pelaksanaan *masterplan* perekonomian Kabupaten Bandung berkaitan dengan pengembangan klaster ekonomi unggulan di lokasi potensial, termasuk dalam sektor pertanian. Mayoritas kecamatan yang ada di Kabupaten Bandung merupakan kecamatan basis jahe dalam artian memiliki keunggulan komparatif dalam memenuhi kebutuhan dan permintaan jahe di pasar lokal dan domestik akan tetapi tidak semua kecamatan memenuhi kriteria yang memiliki keunggulan kompetitif. Kecamatan yang dianggap memiliki kriteria sebagai kecamatan potensial dalam kajian penelitian ini adalah Kecamatan Soreang, dengan nilai LQ sebesar 4,41 dan nilai DS-SSA positif sebesar 43,19. Oleh karena itu, dapat diinterpretasikan bahwa Kecamatan Soreang memiliki keunggulan komparatif dan kompetitif dalam produksi jahe di wilayah Kabupaten Bandung, sehingga menjadikannya sebagai wilayah potensial untuk pengembangan lebih lanjut dalam bagian kawasan strategis nasional perkotaan cekungan Bandung. Harapan penulis, temuan dalam penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan wilayah di kawasan Ibu Kota Nusantara dalam upaya mewujudkan pembangunan IKN berbasis potensi sumber daya pangan lokal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Orang Tua, Abang, dan Adik, yang selalu menjadi *support system* selama ini, dosen pembimbing tesis, Bapak Dr. Luthfi Muta'ali S.Si., M.T. dan Bapak Dr. Andri Kurniawan S.Si., M.Si. atas segala arahan dan bimbingannya kepada penulis. Tidak lupa juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan tesis satu pembimbingan, Alvian Aji Purboyo, Muhammad Fai'q, Zakiyatul Afiyah, dan sahabat-sahabat lainnya, Bella Wita, Indri Islamiati, Nur Milati, Anita Liliana, Anisa Zuhrita, yang turut serta memberi dukungan, semangat dan menjadi teman diskusi bagi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Bawamenewi, M. O. (2020). *Arahan Rencana dan Strategi Pengembangan Komoditas Unggulan di Kota Terpadu* Mandiri *(KTM) Cahaya Baru, Kalimantan Selatan* (Dissertation). Institut Pertanian Bogor.

Deng, X., Wang, Y., & Song, M. (2023). Development Geography for exploring solutions to promote regional development. *Geography and Sustainability*, *4*(1), 49–57. https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.12.003

Hendayana, R. (2003). Aplikasi Metode Location Quotient (LQ) dalam Penentuan Komoditas Unggulan Nasional. Informatika *Pertanian*, *12*(1), 658–675. https://www.semanticscholar.org/

Kanaya, I. A., & Firdaus, M. (2014). Daya Saing dan Permintaan Ekspor Produk Biofarmaka Indonesia di Negara Tujuan Utama Periode 2003-2012. *Manajemen & Agribisnis (JMA)*, *11*(3). https://doi.org/10.17358/jma.11.3.183-198

Kristedy, H., & Hukom, A. (2024). Pemetaan Potensi Ekonomi Wilayah di Kalimantan Tengah Menggunakan Integrasi Analisis Klaster Hirarki, Shift-Share, dan Location Quotient Dinamis. *Jurnal Ekonomi dan* Pembangunan *Indonesia* , *2*(2), 104–128. https://doi.org/10.61132/jepi.v2i2.524

Mahi, Prof. Dr. Ir. A. K. (2016). *Pengembangan Wilayah: Teori & Aplikasi*. Kencana.

Masterplan Perekonomian Kabupaten Bandung 2021-2026. (2021). Bappeda Kabupaten Bandung. Retrieved from https://ppid.bandungkab.go.id/index

Muta'ali, Luthfi. (2015). *Teknik Analisis Regional Untuk Perencanaan Wilayah, Tata Ruang, dan Lingkungan*. Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPFG).

Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 9 tahun 2022 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Jawa Barat tahun 2022-2042. (2022). Pemerintah Daerah Provinsi Jawa Barat. Retrieved from https://peraturan.bpk.go.id/Details/255691/perda-prov-jawa-barat-no-9-tahun-2022

Pranadi, B., Darsono, & Ferichani, M. (2022). Pendekatan Location Quotient dan Shift Share Analysis dalam Penentuan Komoditas Sayuran Unggulan di Kabupaten Wonogiri. *Jurnal Unigal*,*6*(1). https://*jurnal*.unigal.ac.id/index.php/prosiding/article/view/7385

Rustiadi, Ernan. (2018). *Perencanaan dan Pengembangan Wilayah*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.

Suliasih, B. A., & Mun'im, A. (2022). [Review of *Potensi dan Masalah dalam Pengembangan Kemandirian Bahan Baku Obat Tradisional di Indonesia*]. *1*(1). Retrieved from https://www.piscience.org/index.php/cma/article/view/22

Halaman ini sengaja dikosongkan

GEOSTATISTIK HIDROLOGI: ANALISIS SKALA SUB-DAS DEBIT BANJIR RENCANA BERBASIS DATA METEOROLOGI DAN GEOSPASIAL

Studi Kasus: Sub-DAS di Wilayah Ibu Kota Nusantara

(*Geostatistical Hydrology: Sub-Watershed Scale Analysis of Plan Flood Discharge Based On Meteorological and Geospatial Data*)

Adithya Kresna Sumaamijaya, Firly Alfariji, dan Sandra Tiana
Program Studi Sains Informasi Geografi Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Kel. Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40154
E-mail: sumaamijaya31@upi.edu

ABSTRAK

Data-data hidrologi baik berupa data statistik maupun data spasial menjadi salah satu bagian penting dalam perencanaan arah pembangunan suatu daerah. Penelitian ini akan membahas bagaimana perolehan data-data karakteristik hidrologi di IKN yang kemudian diolah menjadi data debit banjir rencana. Perolehan data spasial hidrologi akan diolah menggunakan data mentah berupa data DEM (*Digital Elevation Model*). Sedangkan perolehan dan pengolahan data statistik hidrologi dilakukan menggunakan perekaman data curah hujan harian pada Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan dan Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto selama 10 tahun. Metode SIG digunakan dalam aplikasi ArcGIS sehingga menghasilkan data spasial hidrologi. Sedangkan data statistik diperoleh dengan menghitung debit banjir rencana pada setiap Sub-DAS (Daerah Aliran Sungai) di Ibu Kota Nusantara (IKN) beserta dengan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Perhitungan debit banjir rencana dilakukan dengan metode Haspers karena metode tersebut dapat digunakan tanpa mempertimbangkan luas wilayah DAS. Didapatkan hasil dari penelitian ini bahwa wilayah IKN meliputi 2 DAS utama yaitu DAS Mahakam dan DAS Samboja Kuala, kedua DAS utama tersebut dilebur menjadi sub-DAS sehingga menghasilkan 15 sub-DAS. Berdasarkan perhitungan, diperoleh debit banjir terendah terjadi pada Sub-DAS Mahakam 6 dengan periode ulang 2 tahun pada angka 128,1096 m^3/det, sedangkan debit banjir tertinggi terjadi pada Sub-DAS Mahakam 4 dengan periode ulang 100 tahun pada angka 554,0203 m^3/det. Keseluruhan data yang dihasilkan dapat menjadi pertimbangan untuk pengelolaan air berkelanjutan dan penentuan arah pembangunan IKN.

Kata kunci: sub-DAS, sungai, debit banjir, data spasial

ABSTRACT

Hydrological data in the form of both statistical and spatial data is an important part of planning the direction of development of an area. This research will discuss how to obtain data on hydrological characteristics in IKN which is then processed into plan flood discharge data. The acquisition of hydrological spatial data will be processed using raw data in the form of DEM (Digital Elevation Model) data. The acquisition and processing of hydrological statistical data is carried out using daily rainfall data recording at Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan Meteorological Station and Aji Pangeran Tumenggung Pranoto Meteorological Station for 10 years. The GIS method is used in the ArcGIS application to produce hydrological spatial data. Statistical data is obtained by calculating the planned flood discharge in each sub-watershed in IKN along with a return period of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years. The calculation of the planned flood discharge is done using the Haspers method because the method can be used without considering the area of the watershed. The results of this study show that the IKN area includes 2 main watersheds, namely the Mahakam watershed and the Samboja Kuala watershed, the two main watersheds are merged into sub-watersheds resulting in 15 sub-watersheds. Based on the calculation, the lowest flood discharge occurs in Mahakam Sub-watershed 6 with a return period of 2 years at 128.1096 m^3/sec, while the highest flood discharge occurs in Mahakam Sub-watershed 4 with a return period of 100 years at 554.0203 m^3/sec. The overall data generated can be a consideration for sustainable water management and determining the direction of IKN development.

***Keywords**: sub-watershed, stream, flood discharge, spatial data*

PENDAHULUAN

Pada 15 Februari 2022, Rancangan Undang-Undang tentang Ibu Kota Negara Nomor 3 Tahun 2022 telah disahkan. Dengan begitu, Ibu Kota Negara secara resmi akan dipindahkan dari Provinsi DKI Jakarta ke Provinsi Kalimantan Timur. Wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) ini mencakup dua kabupaten, yaitu Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara. Seiring dengan perpindahan IKN, diperlukan informasi geospasial untuk perencanaan dan monitoring pembangunan agar suatu pembangunan berjalan sesuai dengan yang direncanakan. Pada era digital seperti sekarang ini data dan informasi geospasial sangat mendukung percepatan pembangunan dalam beberapa bidang seperti infrastruktur (Urbac *et al.*, 2023). Informasi Geospasial (IG) dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perumusan kebijakan, pengambil keputusan, dan/atau pelaksanaan kegiatan yang berhubungan dengan ruang kebumian (Abidin, 2017). Pembuatan data dan IG sangat berkaitan dengan sistem informasi geografis (SIG). SIG adalah sebuah sistem yang didesain untuk menangkap, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, mengatur, dan menampilkan seluruh jenis data geografis (Irwansyah, 2013). Oleh karena itu, sebagai calon wilayah strategis di Kalimantan Timur, IKN memerlukan persediaan data dan informasi geospasial yang mumpuni agar dapat membantu dalam perumusan kebijakan pembangunan.

Salah satu data informasi geospasial yang berperan dalam penentuan arah pembangunan IKN adalah informasi karakteristik hidrologi di IKN. Kajian kondisi bentang geografis dan informasi geospasial sangat membantu mengungkapkan masalah konservasi air, tanah, ataupun vegetasi termasuk hutan, serta terhindar dari proses gurunisasi (Sunarto, 2015). Informasi karakteristik Hidrologi dikaji dalam satuan wilayah tertentu yang disebut dengan daerah aliran sungai (DAS). DAS merupakan suatu ekosistem daratan yang dibatasi oleh pemisah alami secara topografi berupa punggung-punggung gunung berfungsi menampung, menyimpan air hujan dan mengalirkannya ke laut melalui sungai utama. Ekosistem tersebut terdiri atas tanah, air, vegetasi dan manusia (Asdak, 2023). Pengelolaan DAS menjadi komponen dalam upaya pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goal's*). Salah satu faktor yang harus dihadapi untuk mencapai pembangunan wilayah yang berkelanjutan adalah bagaimana memperbaiki kehancuran lingkungan tanpa mengorbankan kebutuhan pembangunan ekonomi dan keadilan sosial di wilayah tersebut (Damayanti, 2010). dalam hal ini, maka diperlukan informasi informasi yang mendukung dalam analisis kebijakan pembangunan wilayah yang berkelanjutan.

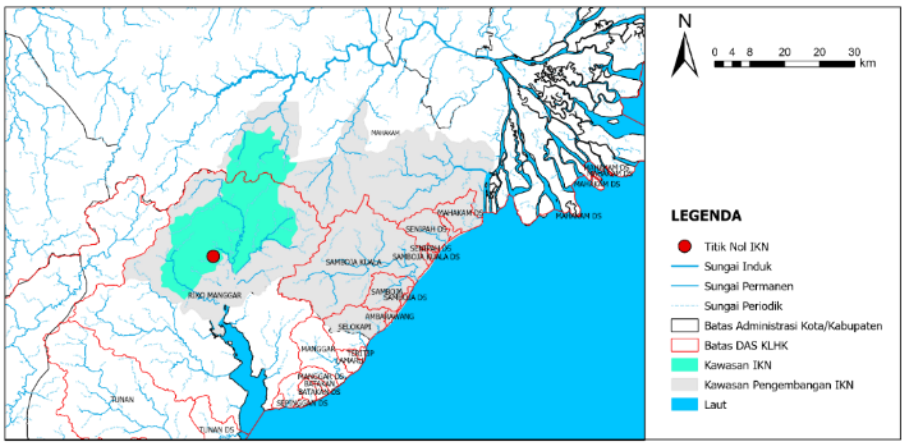
Salah satu tujuan dari pengelolaan DAS adalah sebagai upaya mitigasi bencana hidrologi seperti banjir. Banjir dapat dipengaruhi dari berbagai faktor baik faktor alamiah maupun non-alamiah. Menurut Tabari (2020), banjir dapat terjadi akibat curah hujan ekstrem. Selain itu, banjir juga dapat terjadi akibat perubahan tata guna lahan seperti perubahan lahan hutan menjadi pertanian (Rahayu *et al.*, 2023), serta urbanisasi (Harmadianto *et al.*, 2020). di Kalimantan Timur, kejadian banjir terakhir terjadi pada Mei 2022 yang diakibatkan karena intensitas hujan tinggi yang melanda Kalimantan Timur. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan untuk pengelolaan DAS yang baik di IKN sebagai upaya mitigasi bencana bencana di IKN.

Penelitian ini membahas tentang sebaran subDAS di wilayah IKN beserta informasi profil subDAS serta perhitungan debit banjir pada setiap subDAS-nya. Adapun rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah ketersediaan informasi geospasial tentang hidrologi di IKN yang masih belum banyak tersedia. Data data hasil penelitian akan disajikan dalam bentuk statistik dan data geospasial. Tujuan dari penelitian ini adalah perolehan data baik data geospasial berupa peta maupun data statistik hidrologi di IKN. Adapun hasil dari penelitian ini bermanfaat sebagai alat bantu dalam perumusan kebijakan, pengambil keputusan, dan/atau pelaksanaan kegiatan.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berfokus pada kajian di wilayah IKN. **Gambar 1** menginformasikan peta lokasi penelitian yang dikaji.



Sumber: Kementerian PUPR, Kementerian LHK, & Hasil Pengolahan (2024)
Gambar 1. Peta sederhana lokasi penelitian dan rencana wilayah IKN.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:
1. Laptop/*PC* terinstall ArcMap
2. Laptop/*PC* terinstall Microsoft Excel

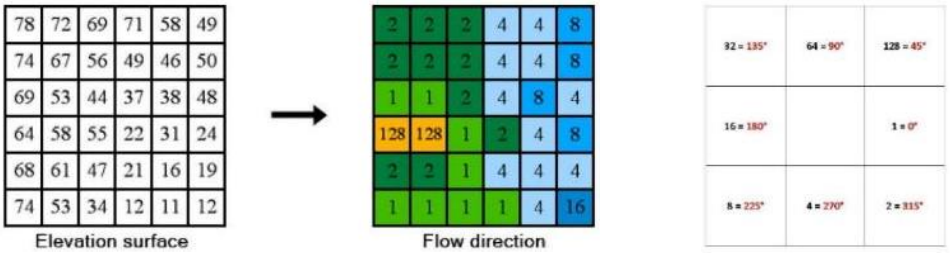
Alat alat tersebut berguna sebagai penunjang pengolahan data, baik data spasial maupun data statistik. Disisi lain, bahan yang diperlukan dalam penelitian ini akan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 30. Bahan yang digunakan dalam penelitian

Bahan	Sumber
Data DEM	BIG
Data Delineasi Wilayah IKN	Kementerian PUPR
Data Curah Hujan Harian	BMKG
Citra Landsat 8	USGS
Data Tekstur Tanah	FAO

Integrasi SIG dalam Analisis Hidrologi

Penggunaan SIG untuk analisis hidrologi dapat dilakukan menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*). dalam hal ini, data DEM dapat diproses sehingga menghasilkan data aliran sungai. Kemampuan SIG dapat membaca aliran air potensial serta arah aliran sungai berdasarkan data DEM yang digunakan sebagai *input*. dalam prosesnya, data DEM yang merupakan data raster akan membaca arah permukaan menuju daerah terendah menggunakan algoritma arah aritmatik.



Sumber: ArcGIS Tool Reference
Gambar 2. Algoritma arah aliran aritmatik dalam pengolahan data raster.

Selain menentukan aliran air sungai, integrasi SIG dalam analisis hidrologi juga dapat digunakan untuk menentukan daerah tangkapan air (*catchment area*). DAS digunakan sebagai pembatas geomorfologis yang membagi sepenuhnya suatu wilayah, yang berarti setiap wilayah pasti memiliki DAS. Percabangan atau muara sungai digunakan sebagai titik keluar dari batas DAS. Oleh karena itu, proses delineasi batas DAS lebih berfokus pada tujuan pengelolaan. Pada

penelitian ini, penentuan DAS dilakukan pada skala subDAS sehingga outlet dari DAS itu sendiri dapat menuju sungai induknya ataupun menuju laut. Sama halnya dengan proses penentuan aliran sungai, penentuan daerah tangkapan juga menggunakan data DEM sebagai *input*-nya.

DAS di IKN

Secara umum, wilayah IKN mencakup dari beberapa DAS di Kalimantan Timur. Wilayah utara IKN termasuk ke dalam DAS Mahakam, sedangkan wilayah selatan IKN termasuk DAS Riko Manggar. Selain itu, terdapat beberapa DAS kecil yang bermuara langsung ke laut timur Kalimantan, seperti DAS Samboja Kuala, DAS Senipah DS, DAS Mahakam DS, DAS Samboja, DAS Selokapi, serta DAS lainnya. Visualisasi DAS serta pola aliran sungai di IKN telah disajikan pada **Gambar 1**.

Dalam penelitian ini, dilakukan delineasi DAS besar menjadi satuan DAS kecil yang disebut subDAS. Hal ini dilakukan dengan tujuan menganalisis satuan DAS yang lebih detail. Wilayah IKN sendiri terbagi menjadi satuan aliran sungai yang memiliki *outlet* berbeda antara aliran satu dengan lainnya. Sehingga pemilihan analisis skala subDAS sangat bermanfaat bagi akurasi data. Teknik delineasi yang dilakukan dalam penelitian ini dengan cara digitasi berdasarkan punggungan yang didapatkan informasinya melalui garis kontur data DEM.

Curah Hujan Lokal IKN

Diperlukan data curah hujan harian dari stasiun hujan terdekat selama beberapa tahun terakhir untuk menentukan tingkat curah hujan maksimum di wilayah IKN. dalam penelitian ini, digunakan data curah hujan yang bersumber dari BMKG. Data curah hujan yang digunakan merupakan perekaman hujan dari tahun 2014 – 2023 yang dilakukan di Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan dan Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto. Kedua stasiun tersebut terletak di Kota Balikpapan dan Kota Samarinda yang berfungsi untuk mewakili subDAS bagian utara IKN dan bagian selatan IKN. Data curah hujan harian kemudian diolah sehingga menghasilkan data curah hujan maksimum harian. **Tabel 2** dan **Tabel 3** menunjukkan data curah hujan maksimum pada kedua stasiun.

Tabel 2. Data curah hujan maksimum Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan.

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
2014	56,5	75,5	86	33,8	66	44,5	34	-	30	-	-	76,4
2015	-	37,2	28,2	67,1	34,2	29,1	-	-	-	36,5	16	-
2016	86,3	44,3	53,3	-	44,1	38,5	-	-	42,5	48,8	73,7	-
2017	-	31,3	18	54	55,7	68,7	51,5	102,3	31,2	53,1	-	-
2018	60,6	-	-	73,7	233	-	40,8	28,6	74,5	29,1	37,7	19,8
2019	54	39,4	32	38,5	52,7	133,9	165,8	60,5	69,4	80	16,5	32
2020	64	154,5	69	82	86,8	120,8	116,5	44	68,9	76,1	57,3	68,7
2021	34,1	24,7	27,7	69	50,5	50,9	22,8	90,1	69,9	67,5	48,8	42,8
2022	49,4	43,1	130,5	32,7	30,5	63,4	68,5	190,5	97,7	61,8	44,1	52,8
2023	38,5	75	100,7	63,3	58	53,5	33,5	56,2	88,5	64	17,5	55,5

Sumber: Data Online BMKG dan Hasil Pengolahan (2024)

Tabel 3. Curah hujan maksimum Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto.

Tahun	Bulan											
	Jan	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mei**	**Jun**	**Jul**	**Agt**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Des**
2014	38	21,4	102,5	45,8	23,6	71,2	95,5	40,4	12,2	95,3	44,1	98
2015	51,1	76,5	34,7	64,5	49,1	108,1	49,7	44,4		20,9	25,2	85,4
2016	21,3	47,4	72,6	25,3	41,5	16,6	61,4	13,8	32,3	39	65,7	75,6
2017	42,5	22,8	128,1	47,5	90,2	198	99,4	90	56,9	65	95,5	46,7

Tahun	Bulan											
	Jan	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mei**	**Jun**	**Jul**	**Agt**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Des**
2018	55	50,9	90	24,2	73	76,2	161,4	51,4	9,9	76,2	30,8	132,8
2019	27,4	6,2	52,6	33	99,7	60,7	33,8	23	37,5	31,4	48	92,7
2020	71,5	38	94,1	49,5	45,4	44,5	34,7	81,8	66	43,5	35	15,8
2021	74,9	35,1	71	54,7	29,5	43	82,6	87,2	44,3	73,4	34	49,2
2022	17,3	26	61	41,5	51	38,2	61,8	36	102,5	72,4	42,8	38,1
2023	26,3	49,1	35	92,7	37	57	26,5	16,5	69,2	24,5	68,8	50

Sumber: Data Online BMKG dan Hasil Pengolahan (2024)

Periode Ulang

Besaran intensitas hujan ditentukan dari sejumlah data curah hujan. Besarnya intensitas hujan untuk periode ulang kejadian hujan (Ti) ditentukan berdasarkan persamaan Gringorten (1963) dalam Subakah (1980). Nilai T yang dihitung adalah untuk periode waktu 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. **Persamaan 1** dan **2** ini, digunakan karena sifat distribusi hujan jangka pendek bersifat eksponensial (Soekarno & Rohmat, 2005).

$$T = \frac{N+0,12}{d-0,44} \quad \text{.....(1)}$$

atau:

$$d = \frac{(N+0,12)+0,44T}{T} \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan:
d : nomor urut data setelah data diurut dari yang terbesar ke terkecil
N : banyaknya data kejadian hujan
T : periode ulang (tahun)

Analisi Debit Banjir

Analisis debit banjir dilakukan untuk menghitung jumlah air yang akan mengalir selama periode ulang yang ditentukan. Perhitungan debit banjir akan diturunkan dari rumus empiris yang digunakan sebagai dasar. Penggunaan metode perhitungan debit banjir dilakukan berdasarkan pedoman teknis bahan konstruksi bangunan sipil, kementerian pekerjaan umum, tahun 2006 (Kementerian PUPR, 2006). Pada penelitian ini, digunakan metode Haspers karena luas subDAS yang ada di wilayah IKN cenderung memiliki nilai yang heterogen. Metode Haspers dapat digunakan untuk perhitungan debit banjir tanpa mempertimbangkan luas wilayah DAS (Kementerian PUPR, 2017). Metode Haspers yang digunakan untuk menghitung debit maksimum dirumuskan dalam **Persamaan 3** berikut.

$$Qmax = \alpha \; x \; \beta \; x \; I \; x \; A \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan:
Qmax : debit maksimum (m^3/dt)
α : koefisien pengaliran
β : koefisien reduksi
I : intensitas hujan ($m^3/dt/km^2$)
A : luas DAS (km^2)

Koefisien pengaliran (α) ditentukan dengan **Persamaan 4**:

$$\alpha = \frac{1+0,012 \; x \; A^{0,7}}{1+0,075 \; x \; A^{0,7}} \quad \text{.....(4)}$$

Koefisien reduksi (β) ditentukan dengan **Persamaan 5**:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t+(3,7 \; x \; 10^{-0,4 \; x \; t})}{t^2+15} \; x \; \frac{A^{3/4}}{12} \quad \text{.....(5)}$$

Waktu konsentrasi (t_c) dihitung dengan **Persamaan 6**:

$$tc = 0{,}1\ x\ L^{0{,}8}\ x\ S^{-0{,}3} \quad \text{.....(6)}$$

Keterangan:
L : panjang sungai utama (km)
S : kemiringan sungai

Besarnya curah hujan r (mm) untuk lama hujan tertentu t=tc (jam) dan hujan harian maksimum R24 (mm) dirumuskan untuk t < 2 jam, menggunakan **Persamaan 7**:

$$r = \frac{t\ x\ R_{24}}{t+1-0{,}0008\ x\ (260-R_{24})\ x\ (2-t)^2} \quad \text{.....(7)}$$

Untuk 2 jam < t < 19 jam, menggunakan **Persamaan 8**:

$$r = \frac{t\ x\ R_{24}}{t+1} \quad \text{.....(8)}$$

Besarnya intensitas hujan (I), ditentukan berdasarkan hubungan r (mm) dan t (jam) dengan **Persamaan 9**:

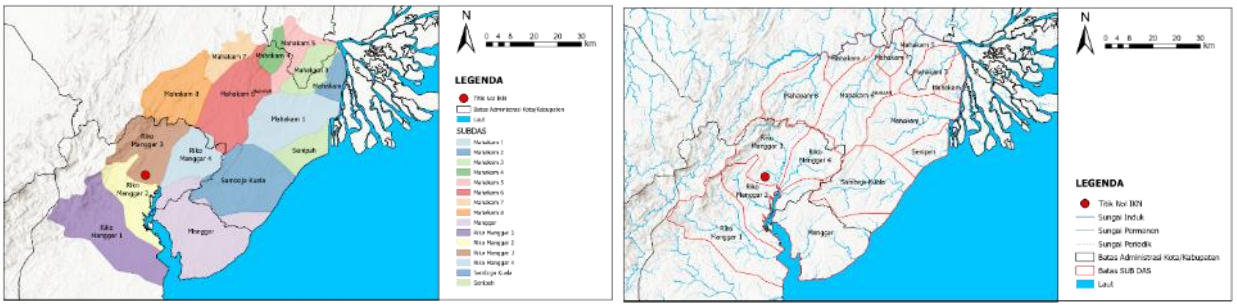
$$I = \frac{r}{3{,}6\ x\ t} \quad \text{.....(9)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

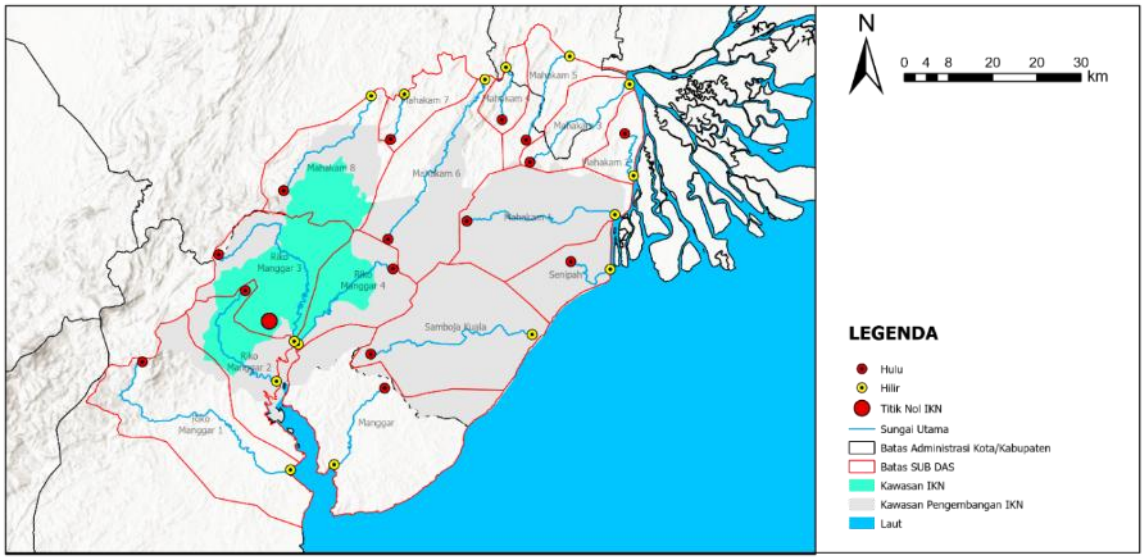
Wilayah Aliran Sungai di IKN

Berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat bahwa wilayah aliran sungai IKN dapat dibagi menjadi 15 wilayah dengan skala sub-DAS. Adapun sub-DAS yang didelineasi pada penelitian ini terdiri dari anak Sungai Mahakam dan sungai dengan wilayah aliran kecil yang bermuara langsung ke laut timur Kalimantan. Lebih jelasnya, terkait informasi delineasi sub-DAS akan disajikan pada **Tabel 4**. **Gambar 3** merupakan visualisasi peta hasil delineasi wilayah aliran sungai di IKN.

[1] [2]



[3]



Gambar 3. Peta delineasi sub-DAS [1]; Peta jaringan sungai IKN [2]; Peta sungai utama dari setiap sub-DAS di IKN [3].

Pengolahan data spasial yang telah dilakukan di atas selain berfungsi sebagai informasi spasial, data tersebut juga digunakan untuk menemukan variabel *time concentrate* (tc). Variabel tersebut digunakan sebagai salah satu parameter dalam perhitungan debit banjir rencana (lihat **Persamaan 6**). di bawah ini akan disajikan informasi perhitungan *time concentrate* (tc) pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Informasi sungai utama pada setiap sub-DAS di IKN.

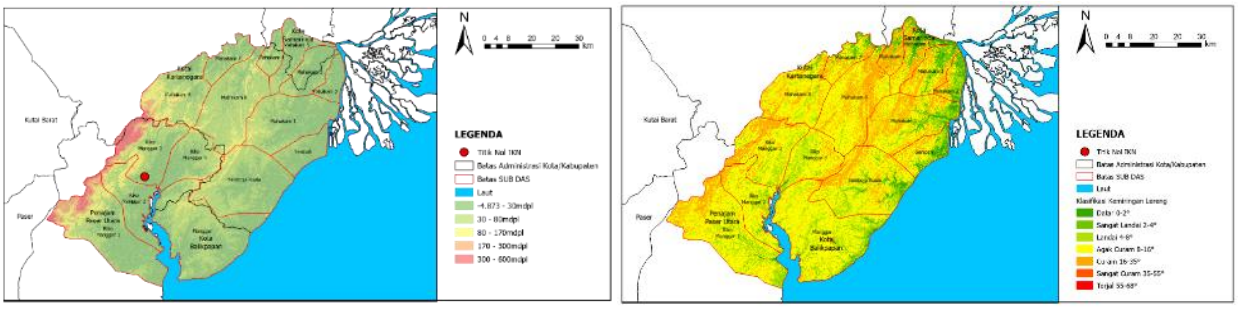
SubDAS	Elevasi Hilir	Elevasi Hulu	Panjang (Km)	Kemiringan Sungai	tc (jam)	A (Km²)	α	β
Mahakam 1	0,00	49,44	34,07	0,10	1,504	417,67	0,297	0,114
Mahakam 2	0,00	1,03	13,62	0,44	1,752	92,08	0,462	0,355
Mahakam 3	0,00	44,59	29,24	0,11	1,312	180,48	0,378	0,213
Mahakam 4	0,10	36,00	13,03	0,15	0,575	83,68	0,475	0,368
Mahakam 5	0,00	18,90	20,94	0,16	1,175	167,51	0,387	0,224
Mahakam 6	0,10	47,32	45,68	0,10	2,106	461,50	0,289	0,106
Mahakam 7	3,19	18,81	9,94	0,21	0,549	130,78	0,417	0,263
Mahakam 8	7,70	144,74	30,09	0,08	0,966	353,97	0,311	0,127
Manggar	0,00	34,99	21,79	0,13	1,021	670,17	0,263	0,079
Riko Manggar 1	0,00	217,17	57,64	0,06	1,721	583,09	0,272	0,089
Riko Manggar 2	2,72	90,57	32,63	0,09	1,208	256,34	0,341	0,163
Riko Manggar 3	-0,02	403,32	54,19	0,05	1,335	358,75	0,310	0,127
Riko Manggar 4	0,02	40,42	31,36	0,11	1,459	242,77	0,346	0,171
Samboja Kuala	0,82	65,53	39,00	0,09	1,610	506,35	0,282	0,099
Senipah	-0,30	6,80	14,24	0,24	1,032	152,12	0,398	0,240

Sumber: Hasil Pengolahan (2024)

Morfologi IKN

Hubungan morfologi dengan karakteristik hidrologi di suatu daerah sangat erat kaitannya (Wulandari, 2018). Kalimantan Timur memiliki beberapa sungai besar yang melintasinya, termasuk Sungai Mahakam yang merupakan salah satu sungai terpanjang di Indonesia. Sungai-sungai ini memiliki peran penting dalam sistem transportasi dan ekosistem lokal.

[1] [2]



Gambar 4. Peta topografi wilayah kajian sub-DAS di IKN [1]; Peta kemiringan lereng wilayah kajian sub-DAS di IKN [2].

Gambar 4 bagian [1], menginformasikan topografi pada wilayah kajian. Kondisi topografi di wilayah kajian dominan berupa dataran pada kisaran <30 mdpl. Adapun wilayah perbukitan yang disimbolkan dengan warna kemerahan, area tersebut berada di bagian barat wilayah kajian. di area tengah wilayah kajian terdapat punggungan yang memiliki interval tidak terlalu tinggi dengan daratan lainnya ditandakan dengan warna kuning. Hal tersebut juga yang menjadi referensi delineasi sub-DAS di wilayah IKN. Pada **Gambar 4** bagian [2], menginformasikan kemiringan lereng. Berdasarkan visualisasi peta di atas, kondisi lereng di wilayah IKN berada di kisaran 0-35°. Adapun kelas lereng dominan di wilayah kajian adalah pada kelas lereng landai. Kondisi lereng sangat penting bagi perencanaan pembangunan (Aulia *et al.*, 2019).

Debit Banjir IKN

Perhitungan debit banjir rencana diawali dengan menghitung periode ulang pada kejadian hujan maksimum di wilayah IKN. Perhitungan ini menggunakan data curah hujan harian yang bersumber dari data BMKG. Perhitungan periode ulang dilakukan menggunakan **Persamaan 2**. Didapatkan hasil pengolahan seperti yang tersaji pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Periode ulang (T) kejadian hujan (R) pada Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan dan Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto.

Periode Ulang (T) (tahun)	Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan	Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto
	R (mm)	R (mm)
2	101,5	101,1
5	179,0392	136,6688
10	213,79	181,4568
25	239,596	203,6803
50	248,198	211,0882
100	252,499	214,7921

Sumber: Hasil Pengolahan (2024)

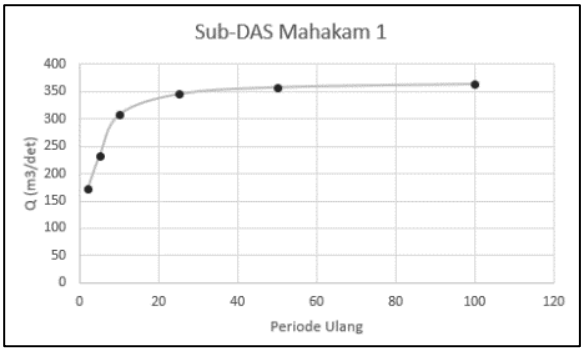
Periode ulang merupakan waktu rata rata yang diharapkan terjadi pada suatu kejadian yang berurutan (Asdak, 2023). Pada penelitian ini digunakan satuan waktu kejadian periode ulang (T) pada 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Perhitungan ini dilakukan pada data hujan maksimum yang terjadi di wilayah kajian IKN. Setelah menghitung periode ulang, dilakukan perhitungan debit banjir menggunakan metode hampers pada setiap periode waktu kejadian tertentu. Perhitungan debit banjir yang dilakukan menggunakan **Persamaan 3**. Pada **Tabel 6** akan dicontohkan hasil perhitungan debit banjir pada Sub-DAS Mahakam 1.

Tabel 6. Perhitungan debit banjir rencana pada Sub-DAS Mahakam 1.

Periode Ulang (T) (tahun)	R (mm)	r (mm)	A	β	I	t (jam)	A (km^2)	Q (m^3/det)
2	101,100	59,835	0,297	0,114	11,463	1,450	417,67	161,9797
5	136,669	80,886			15,495			218,9671
10	181,457	107,393			20,573			290,7252
25	203,680	120,545			23,093			326,3311
50	211,088	124,930			23,933			338,1998
100	214,792	127,122			24,353			344,1341

Sumber: Hasil Pengolahan (2024)

Berdasarkan hasil perhitungan, diasumsikan bahwa kejadian debit banjir sebesar 161,9797 m^3/det akan terjadi pada periode waktu 2 tahunan. di sisi lain, debit banjir dengan nilai 344,1341 m^3/det diasumsikan terjadi pada periode waktu 100 tahunan.



Gambar 5. Grafik debit banjir pada periode kejadian tertentu di Sub-DAS Mahakam 1.

Perhitungan debit banjir dilakukan pada seluruh sub-DAS kajian menggunakan cara yang sama dengan yang dilakukan **Tabel 6**. di bawah ini merupakan hasil dari perhitungan debit banjir pada skala sub-DAS di wilayah IKN yang disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Perhitungan debit banjir rencana pada seluruh sub-DAS kajian di wilayah IKN.

SubDAS	Periode Ulang (T) (tahun)					
	2	5	10	25	50	100
	Q (m^3/det)					
Mahakam 1	161,9797	218,9671	290,7252	326,3311	338,1998	344,1341
Mahakam 2	154,2665	208,5402	276,8813	310,7917	322,0952	327,7470
Mahakam 3	148,4526	200,6809	266,4464	299,0788	309,9563	315,3950
Mahakam 4	260,7706	352,5143	468,0375	525,3593	544,4666	554,0203
Mahakam 5	187,7833	253,8488	337,0381	378,3161	392,0754	398,9551
Mahakam 6	128,1096	173,1809	229,9344	258,0951	267,4820	272,1755
Mahakam 7	259,4597	350,7423	465,6848	522,7185	541,7298	551,2354
Mahakam 8	199,9637	270,3145	358,8998	402,8553	417,5071	424,8330
Senipah	201,1141	271,8697	360,9646	405,1730	419,9091	427,2772
Manggar	194,4023	342,9126	409,4706	458,8967	475,3720	483,6097
Riko Manggar 1	146,2647	258,0011	308,0781	345,2653	357,6611	363,8589
Riko Manggar 2	182,2655	321,5041	383,9068	430,2471	445,6939	453,4172
Riko Manggar 3	170,7419	301,1773	359,6346	403,0451	417,5153	424,7503
Riko Manggar 4	164,8294	290,7480	347,1811	389,0884	403,0575	410,0420
Samboja Kuala	152,4120	268,8445	321,0262	359,7764	372,6931	379,1515

Sumber: Hasil Pengolahan (2024)

KESIMPULAN

Perpindahan IKN membutuhkan data dan informasi geospasial yang mumpuni untuk membantu dalam perumusan kebijakan pembangunan. Salah satu aspek penting yang dibahas adalah informasi karakteristik hidrologi di IKN, terutama dalam konteks pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai upaya mitigasi bencana hidrologi seperti banjir. Adapun Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Dilakukan pemodelan SIG pada data *Digital Elevation Model* (DEM) sehingga memperoleh informasi informasi karakteristik hidrologi seperti sebaran aliran sungai, satuan daerah aliran sungai mikro, dan informasi lainnya seperti panjang sungai utama pada setiap sub-DAS, elevasi hulu, dan elevasi hilir.
2. Data-data hasil pemodelan SIG kemudian dijadikan sebagai penentuan variabel pada perhitungan debit banjir Metode Haspers meliputi variabel *time concentrate*, luas DAS, kemiringan sungai, dan lain-lain.
3. Didapatkan hasil akhir berupa data spasial skala sub-DAS di wilayah IKN meliputi Peta Jaringan Sungai, Peta Kemiringan Lereng, Peta Topografi, Peta Delineasi Sub-DAS, serta peta lainnya.
4. Didapatkan hasil akhir berupa data statistik olahan skala sub-DAS di wilayah IKN meliputi data kemiringan sungai, panjang sungai, elevasi hulu/hilir sungai, periode ulang hujan maksimum, dan data debit banjir rencana.

Dengan hasil perolehan data tersebut diharapkan dapat membantu pemerintah memperhitungkan arah gerak pelaksanaan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN). Hasil penelitian ini akan menjadi alat bantu penting dalam mengarahkan pembangunan yang sesuai dengan kebutuhan dan memperhitungkan aspek lingkungan serta mitigasi risiko bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dan Badan Informasi Geospasial (BIG) atas kerja sama dan ketersediaan data yang sangat berharga dalam penelitian ini. Kontribusi dari instansi-instansi tersebut telah memungkinkan kami untuk menghasilkan informasi yang bermanfaat dalam upaya perumusan kebijakan dan pengambilan

keputusan untuk pembangunan Ibu Kota Negara yang baru. Tanpanya, mungkin penelitian ini tidak akan pernah selesai. Akhir kata, dengan segala hormat, penulis ucapkan terima kasih sebesar besarnya kepada pihak terkait.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H. Z. (2017). Peranan Informasi Geospasial dalam Percepatan Pembangunan Infrastruktur. *Disampaikan dalam acara Kuliah Umum di Universitas Mercubuana*, *16*.

Asdak, C. (2023). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. UGM PRESS.

Aulia, S. N., Zakaria, Z., & Shopian, R. I. (2019). PENGARUH GETARAN TERHADAP KESTABILAN LERENG UNTUK RENCANA PEMBANGUNAN EMBUNG di DAERAH DESA CILELES, JATINANGOR, SUMEDANG, JAWA BARAT. *Geoscience Journal*, *3*(5), 354-360.

Damayanti, A. (2010). Kebijakan Pembangunan Wilayah Berbasis Pengelolaan Das Terpadu dan Berkelanjutan. *Bogor: Institut Pertanian Bogor*.

Harmadianto, C. B. T., Suwarman, R., Riawan, E., Nugraha, P., & Simanjuntak, Y. S. M. (2020, November). Study of regional regulation on "Kawasan Bandung Utara" impact on flood discharges from the perspective of spatial variations of extreme precipitation in Bandung basin. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 592, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.

Irwansyah, E. (2013). *Sistem informasi geografis: prinsip dasar dan pengembangan aplikasi*. DigiBook Yogyakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR). (2006). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 29/PRT/M/2006 Tahun 2006 tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung*. Jakarta.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR). (2017). *POLA PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR WILAYAH SUNGAI MAHAKAM*. Jakarta.

Rahayu, R., Mathias, S. A., Reaney, S., Vesuviano, G., Suwarman, R., & Ramdhan, A. M. (2023). Impact of land cover, rainfall and topography on flood risk in West Java. *Natural Hazards*, *116*(2), 1735-1758.

Soekarno, I., & Rohmat, D. (2005). Perbandingan metoda formulasi intensitas hujan untuk kawasan hulu daerah aliran sungai. *Journal Geografi GEA*, *5*(2), 1-9.

Subakah, I. (1980). *Hidrologi: untuk perencanaan bangunan air*. Penerbit Idea Dharma.

WULANDARI, S. (2018). *KAJIAN MORFOMETRI TERHADAP KARAKTERISTIK HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGA* (Doctoral dissertation, UPN Veteran Jatim).

Sunarto, K. (2015). Peran Informasi Geospasial untuk Arahan Upaya Konservasi Air di Kabupaten Bogor Guna Mitigasi Bencana Banjir Jakarta.

Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific reports*, *10*(1), 13768.

Urbac, M., Junaidi, A., Syukur, M., Nurhamidah, N., & Ferial, R. (2023). Kajian Aspek Geospasial Untuk Percepatan Pembangunan dan Pemberdayaan Desa Binaan Kota Padang. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, *12*(4), 198-204.

COMMUNITY EFFORTS TO IMPROVE SUSTAINABLE FOOD SECURITY IN URBAN AREAS

Studies in Several Cities in Indonesia

(*Upaya Masyarakat dalam Meningkatkan Ketahanan Pangan Berkelanjutan di Perkotaan: Studi di Beberapa Kota di Indonesia*)

Tia Rizka Nuzula Rachma[1,2] dan Evi Frimawaty[1]
[1]School of Environmental Science, Universitas Indonesia
[2]Geospatial Information Agency

Jl Raya Jakarta Bogor KM 46 Cibinong, Kabupaten Bogor
E-mail: tia.rizka@big.go.id

ABSTRACT

Achieving food security is currently a global concern. Food security in urban areas is a challenge because big cities have high population density but limited land, so food fulfillment in cities relies on supplies from outside the region. This study aims to provide recommendations for achieving sustainable food security in urban areas. Research methods include literature studies, surveys of 64 respondents, interviews with experts, and gathering information from social media. The results of the study show that the practice of urban farming plays an essential role in meeting the needs of urban food, such as vertical farming and the use of technology. This study also revealed that local communities have an active role in education, food fulfillment for pre-prosperous communities, and saving food loss and waste. This study concluded the importance of utilizing urban potential to meet food needs sustainably to realize food security. It can be done by integrating the practice of urban farming, agricultural technology, and active participation of the community.

Keywords: Food security, Indonesia, sustainable food system, urban farming

ABSTRAK

Mencapai ketahanan pangan saat ini menjadi perhatian global. Ketahanan pangan di perkotaan menjadi sebuah tantangan karena kota-kota besar memiliki kepadatan penduduk yang tinggi namun lahan yang terbatas, sehingga pemenuhan pangan di perkotaan bergantung pada pasokan dari luar daerah. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi untuk mencapai ketahanan pangan berkelanjutan di perkotaan. Metode penelitian meliputi studi literatur, survei terhadap 64 responden, wawancara dengan pakar, dan pengumpulan informasi dari media sosial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa praktik urban farming berperan penting dalam memenuhi kebutuhan pangan perkotaan, seperti pertanian vertikal dan pemanfaatan teknologi. Studi ini juga mengungkapkan bahwa masyarakat lokal mempunyai peran aktif dalam bidang pendidikan, pemenuhan pangan bagi masyarakat prasejahtera, serta penyelamatan kehilangan dan sampah pangan. Kajian ini menyimpulkan pentingnya pemanfaatan potensi perkotaan untuk memenuhi kebutuhan pangan secara berkelanjutan guna mewujudkan ketahanan pangan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengintegrasikan praktik urban farming, teknologi pertanian, dan partisipasi aktif masyarakat.

Kata Kunci: ketahanan *pangan, Indonesia, sistem pangan berkelanjutan, pertanian kota*

INTRODUCTION

Food security is one of the crucial issues in the world. Global attention to food security is shown by including this issue in the Sustainable Development Goals (SDG). Among the 17 goals, the second reads "End Hunger, Achieve Food Security and Improved Nutrition and Promote Sustainable Agriculture."

Based on the Global Food Security Index (GFSI), Indonesia is ranked 63rd out of 113 countries worldwide. This value is lower than other ASEAN countries (Economist Impact, 2022). Indonesia is a tropical country where every island is surrounded by sea, so Indonesia is a country

rich in biodiversity. This advantage should make Indonesia a country with high food security due to abundant food sources from both land and sea.

In Indonesia, *food security* is defined by Law Number 18 of 2012 on Food as "the condition of the fulfillment of food for the country to individuals with the religion, beliefs, and culture of the community, to be able to live healthy, active, and productive in a sustainable manner". From this definition can be found several criteria for food security in Indonesia, namely (1) sufficient in number, (2) quality food, (3) safety, (4) diversity, (5) affordability, (6) suitability, and (7) sustainability. Although it has been running for ten years after the law was determined, Indonesia has yet to reach total food security. A sustainable food system ensures that everyone has access to a nutritious diet while minimising the negative effects of the food system on the environment, society, and the economy (FAO, 2021; Rockström *et al.*, 2020). The food system framework comprises six components (Fanzo *et al.*, 2020), i.e. the supply chain, environment, individual factors, consumer behaviour, external drivers of the food system, and results of the Food System: nutrition and health outcomes.

According to the Prevalence of Inadequate Food Consumption in Indonesia, there has been an increase in the rate of inadequate food consumption in Indonesia from 2019, namely 7.63 to 8.34 in 2020 and 8.49 in 2021, which means that more people are unable to meet their needs than before. (BPS, 2022). The National Map of Food Resilience and Vulnerability (Peta Ketahanan dan Kerawanan Pangan) issued by the National Food Agency of Indonesia shows that almost all provinces have food-resistant status (Badan Pangan Nasional, 2022). However, there are still vulnerable or very vulnerable villages in food-resistant cities. For example, in Bandung City, which has a very resistant status, there is a very vulnerable area, namely Ciumbuleuit, because of the food facilities ratio, a household without clean water ratio, and a low health worker ratio (Badan Pangan Nasional, 2022).

Food security in urban areas is challenging because big cities have high population density. In line with Crush and Frayne, achieving urban food security is a development challenge due to the complexity of urban food systems (Crush & Frayne, 2011). Urbanization has been proven to increase the income per capita of the Indonesian urban population (Hadijah & Sadali, 2020), thus triggering the migration of the rural population to urban areas.

Urban areas that cannot meet their own food needs have the potential to be food-vulnerable, especially when conditions cause limited access to food. The increase in urban population is positively correlated with the built land, which indicates the decrease in agricultural areas that can be utilized (Hermanto *et al.*, 2018). Even Bogor City and Tangerang City, satellite cities supporting the state capital, have drastically lost agricultural areas and replaced them with impermeable areas for settlements and other supporting facilities (Rachma *et al.*, 2022). Thus, food availability in urban areas is increasingly vulnerable and dependent on supplies from outside the area.

Urban life that does not have its food source has the potential to be disrupted due to unforeseen circumstances. For example, the pandemic has prevented food accessibility, followed by limited food availability (Workie *et al.*, 2020). Conditions in the future can be exacerbated by climate change. Beddington *et al.* (Beddington *et al.*, 2011) stated that the main factors beneath the challenge of ensuring food security are Global population growth, demographic changes, rising wealth, and urbanization, which are driving up food demand and changing demand patterns in the form of increased food consumption; Global climate change which can cause environmental risks that disrupt plant growth; Changes in the spread and severeness of pests and diseases, which can adversely impact on food supply and livestock welfare; The environmental impacts of agriculture and harvests include extensive use of water and land, attrition, reduced land quality, biodiversity loss, and water and air pollution; Limited primary agricultural resources, especially land area, clean water supply, energy, and other input sources, such as phosphate minerals (important plant nutrients).

Due to population growth that shows exponential graphics, more food production is needed to support the demand for 2050, and the cities and urban centres are most affected by the risk (Silva *et al.*, 2019). Solutions are needed to overcome urban problems that cause limited access to food, such as limited land, increasing population, urbanization, and dependence on external supplies. This study aims to answer the challenges of sustainable food security in urban areas.

METHODS

Research is needed to determine efforts to maintain food security in Indonesian urban areas. This study is based on national and international references, i.e., scientific references and reports from international organizations and the Indonesian Government. A questionnaire was distributed to Indonesian urban residents to complete the research data. The questionnaire was distributed online in June 2023, with 18 questions related to food security that refer to the U.S. Household Food Security Survey Module (United States Department of Agriculture, n.d.). Researchers also conducted in-depth interviews with selected respondents/food security experts to develop the concept of sustainable food security in urban areas.

RESULT AND DISCUSSION

Indonesian Urban Characteristics

Indonesia's Urban and rural areas have striking differences. Rural areas are characterized by rice fields, plantations, or green open spaces, while urban areas have more massive development and more developed infrastructure.

Indonesian urban areas are densely populated areas. Most of the population concentrated on Java despite not being the largest island. Based on the Statistical Yearbook of Indonesia 2023 issued by BPS-Statistics Indonesia, almost all provinces in Java have a density of more than 1,000 people per km^2 except East Java. The most congested province is DKI Jakarta, the nation's capital, with a density of 16,158 people per km2 in 2022 (Badan Pusat Statistik, 2023). This figure is 2.5 times greater than the population density of Tokyo Metropolis (Statistics Bureau of Japan, 2022).

Urban areas have formed mega-urban and metropolitan areas. However, urban growth is not only due to the development of big cities but also small cities (Mardiansjah *et al.*, 2019), such as urban expansion and rural areas that turn into urban (Mardiansjah *et al.*, 2021). This area is packed with permanent residents and commuter residents who live on the edge of the city but head to the city daily to work or go to school. Some city residents also occupy temporary houses or rooms on weekdays and return to their origin on holidays.

More Indonesians live in dense urban areas compared to rural areas. The number will continue to increase in the future. According to BPS-Statistics Indonesia, the urban population in 2020 reached 56.7% and could increase to 66.6% in 2035 (BPS, 2020).

Rural-to-urban migration strengthens the density. Migration is related to age, education, marital status, income, dependents, and family size factors, but currently, there is an increase in households headed by women (Pardede *et al.*, 2020). The motivation for migration is undoubtedly different. More diverse employment and more complete educational choices attract rural residents to migrate. In addition, environmental risks such as crop failures and natural disasters also increase interest in migrating, and the perpetrators can improve welfare through migration (Marta *et al.*, 2020). In family migration, ~~the~~ children who migrate to big cities in Indonesia get more extended educational benefits than remain in rural areas (Resosudarmo & Suryadarma, 2014). In addition, environmental risks such as crop failures and natural disasters also increase interest in migrating, and perpetrators get the benefits of migration through improving welfare (Sudharsanan & Ho, 2020). High migration rates, supported by global factors such as population growth, high fertility levels, and high food prices in urban areas, have affected urban region's food insecurity (Kharisma & Abe, 2020).

Urban Community Efforts to Improve Food Security

Urban Farming

With the dense population and rapid development, urban areas increasingly need more land. On the other hand, a high population demands the availability of large amounts of food. The conditions cause the community to have limitations on food access. One key factor in increasing food accessibility is facilitating society's role (Rachman, 2010). The community can use limited land in households to plant food crops independently, which is known as urban farming.

Urban farming, or urban agriculture or city agriculture, is an activity to produce food in an urban environment. Although called *agriculture*, urban farming also includes raising livestock in densely populated areas. The activity is carried out by utilizing limited space, such as yards, roofs, balconies, and even closed spaces, for example, for mushroom cultivation. This practice is not only by individuals or households but can be done by a group of people who use shared land.

The location quite popular for urban farming is the house's roof and balcony. The roof and balcony have direct access to sunlight and rain, which makes it easy for plants to grow. The roof can be used for agriculture and fisheries to maximize its function (Baganz *et al.*, 2021).

The use of shared space for gardening has been carried out in various cities. People use green open space near their homes to plant various types of plants. Although the city garden is seen as a solution, in practice, it is only sometimes easily accepted by the community. Increasing community acceptance can be done through a three-stage approach, including (1) building relations with the community, (2) introducing concepts, and (3) involving the community directly in various urban agricultural activities so that people are touched and feel bound (Poulsen *et al.*, 2014).

In settlements with limited green open space, gardening can be done by utilizing existing space. Another alternative is gardening on the riverbank with the urban floating farming method to overcome land limitations (Rahmani & Caesarina, 2021). However, this activity can only be carried out in urban areas with clean rivers.

In response to the need for a sustainable food production system, Indonesia's Law Number 22 of 2019 on the Sustainable Agriculture Cultivation System provides the basis for the development of urban agriculture. This law, which includes a Sustainable Agricultural Cultivation System, is designed to effectively manage biological natural resources and produce agricultural commodities to meet human needs while preserving the environment. The law provides for community involvement in agricultural cultivation, allowing for suggestions, responses, objections, suggestions for improvement, and assistance from the community, thus ensuring that urban agriculture initiatives are aligned with community needs and aspirations[1]. This legal framework is particularly important in urban areas where land is limited, and innovative methods such as rooftop and balcony gardening or floating farming are needed to ensure food security and sustainability. The integration of these practices into Indonesia's legal system could be a significant step towards creating resilient urban ecosystems that can support the country's food sovereignty goals.

Vertical Farming

Urban communities that are generally more educated, creative, and innovative have found various solutions in limited land. At present, there have been many vertical planting practices. Several opportunities for vertical planting areas of the city include (Kalantari *et al.*, 2018): 1) saving energy because it can provide alternative lighting and energy-efficient temperatures; (2) reducing the use of water with aeroponic and hydroponic systems; (3) productivity per area is higher than traditional planting; (4) recycling of organic waste as compost fertilizer; (5) save land; (6) resistant to climate change because it is planted in space; (7) the need from natural disasters because it does not depend on the soil directly; (8) reducing emissions because planting in the city can shorten food distribution; (9) with a smaller land area than conventional agriculture, other urban land can be used for greening and restoration; (10) food crops planted with a vertical system are not affected by water and soil that has been contaminated; (11) reducing urban heat island; (12) acts as a voice insulator; (13) reduce carbon traces and their effects on air quality; (14) reducing the use of herbicides and pesticides.

Vertical gardening can also be done with a hydroponic system. In urban areas, vertical hydroponic farming can be done because it is more efficient in using water and land (Gentry, 2019). The existing system is suitable for application in residential areas that have limited land without using land at all. This technique can be used to grow various types of vegetable and fruit plants, such as tomatoes, peppers, eggplant, cucumbers, and bok choy (Rosliani & Sumarni, 2005). The types of plants that can be grown using hydroponic media can suit the family's food needs with maximum results.

Recent advances in vertical farming are reshaping the urban landscape, providing sustainable solutions to food production for space-constrained cities. Vertical farming can be integrated into

urban planning, emphasizing its role in creating efficient and climate-resilient food systems within the urban fabric (Buscher *et al.*, 2023). Vertical farming not only contributes to food security but also increases biodiversity and promotes a circular economy by recycling organic waste and reducing the carbon footprint of food distribution, as discussed in (Nogeire-McRae *et al.*, 2018) study. These innovative practices are critical in addressing the challenges posed by urbanization and climate change, making vertical farming a cornerstone of sustainable urban development.

Strengthening the Role of the Community

One of the city's characteristics is that residents come from diverse backgrounds and have easy access to social media. This condition makes it easier for people to form communities according to their interests. Currently, several communities that support food security have been formed.

For example, England has a Food Partnership in Brighton and Hove. The Food Partnership educates local communities on cooking, growing food crops, nutrition, and minimizing waste (Brighton and Hove Food Partnership, 2023). The Food Partnership has proven that local communities play a role in supporting food security (Goal 2 of SDGs), human health (Goal 3), as well as environmental health (Goal 15) (Nicholls *et al.*, 2020).

Communities also play a role in overcoming food-related issues, namely food loss and waste (FLW). There are two terms, namely food loss and food waste. These two terms are commonly used to describe the inability to manage food. Food loss refers to the loss of food or a decrease in the mass of food that can be consumed, while food waste refers to wasted food or leftover food (FAO, 2011). Food loss happens at the production, post-harvest, and storage stages, as well as processing and packaging. In contrast, food waste happens at the distribution, marketing, and consumption stages (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS, 2021).

In several cities in Indonesia, some communities manage food banks. Garda Pangan in Surabaya, Indonesia, is one of them. This community consists of young people who carry out food rescue activities, either through collaborating with retailers and producers to save food that would otherwise be thrown away or collaborating with farmers who experience losses due to falling prices. Through social media, Garda Pangan shares various social actions and markets the food products of farmers who experience losses. One of the activities is gleaning or collecting the harvest of apple and mustard greens from farmers in Batu, Indonesia. From this activity, Garda Pangan has saved up to seven tons of apples that were almost thrown away, of which four tons were sold, and three tons were distributed to underprivileged communities (Afidah *et al.*, 2022).

Best Practices

This research is equipped with best practices that Indonesian urban residents have implemented. Questionnaires were distributed to strengthen the research results. The target of the questionnaire is urban farming practitioners. The questionnaire was distributed online in June 2023, with 18 questions related to food security referring to the U.S. Household Food Security Survey Module (United States Department of Agriculture, n.d.). The total number of respondents who participated was 64 respondents. Respondents came from eight provinces in Indonesia (Aceh, South Sumatra, West Kalimantan, West Nusa Tenggara, Special Region of Yogyakarta, Lampung, East Java, Central Java, Banten, Jakarta, and West Java) with diverse backgrounds. Respondents have a variety of gardening methods,, including personal gardening, communal gardening, raising livestock, and carrying out gardening and livestock activities.

Of the 64 questionnaire answers, selection was carried out to obtain respondents who met the criteria, namely urban farmers in urban areas. Seven respondents defined their residence as "Living in a rural area," and five respondents filled in "not urban farmer," so the total number of respondents from whom data was taken in this research was 52.

This research found that around 83% of respondents carried out urban farming activities at home. Meanwhile, around 17% of respondents are involved in communal urban farming activities, namely planting on shared land and managing together. Communal gardens have advantages because the land can be more extensive, overcoming limited land at home. Furthermore, of all

respondents, around 63% only garden plants, while 37% carry out gardening activities and raising animals, both land animals and fisheries. By combining agriculture and fisheries, more diverse food benefits can be obtained. In the last 12 months, around 81% of respondents have experienced harvesting. However, around 19% of respondents had never harvested during that period. Possibly because it is still in the early stages or experiencing obstacles in urban farming activities. From this data, it is known that urban farming activities can be carried out on a household scale and developed in communities. Apart from that, most respondents have experienced harvest results in the last 12 months, indicating that urban farming has met the food needs of respondents and their families.

Based on the research results using methods established by the U.S. Household Food Security Survey Module, it was found that most respondents (81%) had food security status. This result shows that they can meet their family's food needs well.

A qualitative approach was carried out using interview methods with selected respondents to gain a deeper understanding of the influence of urban farming practices in fulfilling family food requirements.

One of the respondents, AR, stated that urban farming had been running for seven years. AR also took part in an online gardening workshop to broaden her understanding. Plants include kale, mustard greens, spinach, lettuce, eggplant, tomatoes, and chilies. AR also uses pot media to grow fruit called Tabulampot in Indonesia and cultivates oyster mushrooms. AR also keeps several animals that can be consumed, such as free-range chickens, pigeons, and rabbits. Apart from consumption, animal waste is used as drum fertilizer to meet plants' needs independently. On the other hand, AR also keeps maggots for composting and additional feed for cattle, as shown in **Figure 1**.



(a) (b)

Figure 1. (a) Maggots bred at the respondent's house (b) Maggot growth media. (Images shared by research respondents)

Urban farming practices are carried out by AR on limited land using polybag media, as can be seen in **Figure 2**. The obstacles she faces in urban farming include plants that cannot grow well and animal disturbances such as chickens and mice. However, AR stated the benefits of urban farming on a household scale: "With urban farming, we grow healthy, nutritious food. We eat what we grow, it is fresher, and of course pesticide-free." This statement states the importance of urban farming in providing healthy and nutritious food for families. She also uses the harvest to share with neighbuors when she experiences a surplus. Food insecurity sometimes occurs when financial conditions are inadequate, but the harvest results are lower than expected. However, AR's persistence in continuing urban farming is limited because of the benefits obtained.



Figure 2. Urban farming using polybag media. (Images shared by research respondents)

Community involvement in training on gardening and healthy food, as carried out by AR, shows the importance of maternal education in food security. The importance of education follows the results of research by Devi *et al.* (2020), which states that increasing food security requires education and education that reaches the household level, especially for mothers (Devi *et al.*, 2020). Mothers are crucial in promoting urban farming, building awareness, and forming habits that support food security locally.

Another respondent, AH, admitted to being involved in several urban farming groups and communities. He uses the community as a place to discuss, solve planting problems, share enthusiasm, and share seeds and harvests. Community support is essential in providing information on gardening needs, carrying out activities together, and educating fellow community members. These results align with the findings of Sinaga *et al.* (2022), namely that urban farming practices can be more optimal if implemented on a community scale, especially if encouraged with external support such as counseling, providing assistance, and holding urban farming competitions (Sinaga *et al.*, 2022). Urban farming can provide social benefits by improving physical and mental health, channeling hobbies, diversifying food consumption, using media for socializing, meeting nutritional needs, and increasing food knowledge (Syabrina *et al.*, 2022).

AH uses the 30 m2 roof at his house as gardening space and uses public facilities in his housing complex for gardening. He has experience planting more than 100 types of vegetable plants, fruit plants, and kitchen spice plants. He uses polybags, pots, and unused bottles or packaging to recycle them into gardening media. AH has been pursuing this activity as a hobby since 2018, the only obstacle he feels is the limited time because he has to do other activities.AH also has 7 chickens whose eggs and meat he harvests. Even though he gets the benefits of harvesting, AH still needs food supplies from outside, such as staple food (rice) and several types of food that are difficult to grow on limited land. However, he feels the benefits of urban farming to supplement the family's food needs.

Meanwhile, another respondent, MBD, is an urban farming activist using hydroponic media (**Figure 3**). MBD has been carrying out this activity since the pandemic in 2020 and has succeeded in planting Brazilian spinach, romaine lettuce, and bok choy. With limited land where he lives in a housing complex in an urban area, MBD utilizes the front yard of his house specifically for his hydroponic media. MBD chose hydroponic media because it does not require a large area of land and requires minimal maintenance. The obstacle he experienced was choosing a place that received adequate sunlight and was close to an electricity source for pumping water.



Figure 3. Gardening at home using hydroponic media. (Images shared by research respondents)

BS, another respondent, is an urban farming activist on a household and communal scale. BS also practices gardening and raising food animals. BS provides gardening classes and empowers underprivileged communities. Through social media, BS shared her experience in helping build family gardens in the yards of underprivileged people. BS formed a group containing underprivileged people and provided education on gardening on limited land so that underprivileged people could become food-independent. Support for underprivileged communities is essential because evidence shows that underprivileged communities who practice urban farming are more food secure (Diehl *et al.*, 2019).

Future Opportunities

One of the advantages of living in an urban area is more accessible to technology. Various big cities are scrambling to develop cities with the smart city concept. Smart cities utilize technology, information, and communication to improve ~~city~~ residents' efficiency and quality of life. The concept can be utilized in urban gardening practices.

Supporting effective urban gardens requires technological intervention. Technology has made things easier and simpler for human life with the help of the Internet of Things (IoT), which can be used for monitoring and managing urban irrigation (Podder *et al.*, 2021). The combination of IoT, artificial intelligence (AI), and 5G technology combined with environmentally friendly technology has enormous potential for urban agriculture that can carry out self-monitoring, self-correction, and self-healing (Ng & Mahkeswaran, 2021). This technology can be used to control plants even if it is done remotely.

City residents who want to maximize limited land, can use an aquaponic system or combine hydroponic cultivation of fish and vegetables. Currently, there is research into smart aquaponics, which utilizes internet-based technology that can monitor and control water quality, light intensity, and fish feed, as well as send early warnings and be able to correct abnormalities independently without human intervention (Silva *et al.*, 2019). This technology can be used so that urban farmers can continue to carry out their activities without worrying about their livestock, with control when necessary.

CONCLUSION

Based on the study results, urban farming practices have significant potential in meeting food sufficiency in urban areas. Questionnaire data shows that most respondents have enough food for the family, although food sources are not only from urban farming but also other economic activities. Urban farming can positively contribute to meeting food needs by providing people with easier access to food. Through urban farming, people can also control the nutrition of their family's

food by providing food free from excessive pesticides, herbicides, and chemical fertilizers. However, several obstacles affect the success of this practice, such as animal disturbance and failure of the planting process. Therefore, efforts need to be made to increase the efficiency and effectiveness of urban farming.

Research also concludes that local communities play a strategic role in support and education. Local communities can become centres for disseminating information. The education needed is not only limited to planting procedures but also how to provide healthy food free from excessive synthetic ingredients. Apart from that, local communities can also provide support in reducing food loss and food waste and positively impact underprivileged communities.

In supporting urban agriculture, technological intervention is needed to maximize the use of limited land. Providing innovative agricultural technology will undoubtedly be more affordable for the community if it receives support from the government. Government support in providing quality seeds and increasing green open space in urban areas, specifically for communal gardening, can benefit urban agricultural practices.

Based on these conclusions, stakeholders and the government must formulate policies that support urban farming and create a conducive environment for this practice. Sustainable food security can be created through urban farming, and the quality of life of urban communities can be improved. With a comprehensive approach and involving all stakeholders, urban farming can be a positive step in achieving sustainable food security.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank all research respondents who have been willing to provide the data and information needed for this research. The experiences shared by respondents provided valuable input for this study.

REFERENCES

Afidah, N. F., Hakim, R., & Hakim, A. L. (2022). Strategi Sociopreneur Garda Pangan dalam Perekonomian Petani Apel dan Sawi di Kota Batu. *Journal of Islamic Economics Development and Innovation*, *2*(1).

Badan Pangan Nasional. (2022). *Peta Ketahanan dan Kerentanan Pangan Tahun 2022* (A. Suryana, D. Martianto, & M. Ariani (eds.); 2022nd ed.). Badan Pangan Nasional.

Badan Pusat Statistik. (2023). Statistical Yearbook of Indonesia 2023. In *Statistik Indonesia 2023* (Vol. 1101001, p. 790). BPS-Statistics Indonesia. https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html

Baganz, G. F. M., Baganz, E., Baganz, D., Kloas, W., & Lohrberg, F. (2021). Urban Rooftop Uses: Competition and Potentials from the Perspective of Farming and Aquaponics – a Berlin Case Study. *Proceedings of REAL CORP 2021, 26th International Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society*, 1015–1028. https://doi.org/10.48494/REALCORP2021.7077

Beddington, J., Asaduzzaman, M., Fernández, A., Clark, M., Guillou, M., Jahn, M., Erda, L., Mamo, T., Van Bo, N., Nobre, C. A., Scholes, R., Sharma, R., & Wakhungu, J. (2011). *Achieving food security in the face of climate change: Summary for policy makers from the Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change* (Issue November). http://www.ccafs.cgiar.org/commission

BPS. (2020). *Persentase Penduduk Daerah Perkotaan menurut Provinsi, 2010-2035*. https://www.bps.go.id/statictable/2014/02/18/1276/persentase-penduduk-daerah-perkotaan-menurut-provinsi-2010-2035.html

BPS. (2022). *Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Indonesia 2022* (A. Sofian, H. A. Reagan, & A. Hastuti (eds.)).

Brighton and Hove Food Partnership. (2023). *The Brighton & Hove Food Partnership*. https://bhfood.org.uk/

Buscher, J., Bakunowitsch, J., & Specht, K. (2023). Transformative Potential of Vertical Farming—An Urban Planning Investigation Using Multi-Level Perspective. *Sustainability*, *15*(22), 15861. https://doi.org/10.3390/su152215861

Crush, J. S., & Frayne, G. B. (2011). Urban food insecurity and the new international food security agenda. *Development Southern Africa*, *28*(4), 527–544. https://doi.org/10.1080/0376835X.2011.605571

Devi, L. Y., Andari, Y., Wihastuti, L., & Hariwibowo, R. K. (2020). Model Sosial-Ekonomi dan Ketahanan Pangan Rumah Tangga di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, *28*(2), 103–116. https://doi.org/https://doi.org/10.14203/JEP.28.2.2020.103-115

Diehl, J., Oviatt, K., Chandra, A., & Kaur, H. (2019). Household Food Consumption Patterns and Food Security among Low-Income Migrant Urban Farmers in Delhi, Jakarta, and Quito. *Sustainability*, *11*(5), 1378. https://doi.org/10.3390/su11051378

Economist Impact. (2022). *Global Food Security Index 2022: Indonesia*. https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/explore-countries/indonesia

Fanzo, J., Haddad, L., McLaren, R., Marshall, Q., Davis, C., Herforth, A., Jones, A., Beal, T., Tschirley, D., Bellows, A., Miachon, L., Gu, Y., Bloem, M., & Kapuria, A. (2020). The Food Systems Dashboard is a new tool to inform better food policy. *Nature Food*, *1*(5), 243–246. https://doi.org/10.1038/s43016-020-0077-y

FAO. (2011). Global Food loss and food waste: Extent, Causes and Prevention. In *Food Loss and Food Waste: Causes and Solutions*. Food and Agriculture Organization of the United States. https://doi.org/10.4337/9781788975391

FAO. (2021). *Sustainable Food Systems: Concept and Framework. 2021*. http://www.fao.org/about/what-we-do/so4

Gentry, M. (2019). Local heat, local food: Integrating vertical hydroponic farming with district heating in Sweden. *Energy*, *174*, 191–197. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.119

Hadijah, Z., & Sadali, M. I. (2020). Pengaruh Urbanisasi Terhadap Penurunan Kemiskinan di Indonesia. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, *8*(3). https://doi.org/10.14710/jwl.8.3.290-306

Hermanto, S. S. A., Makalew, A. D. N., & Sulistyantara, B. (2018). Hubungan Antara Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Total Penduduk Yang Dipengaruhi Oleh Fenomena Urbanisasi di Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Lanskap Indonesia*, *10*(1), 7–11. https://doi.org/10.29244/jli.v10i1.17397

Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., & Fatemi, E. (2018). Opportunities and Challenges in Sustainability of Vertical Farming: A Review. *Journal of Landscape Ecology*, *11*(1), 35–60. https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016

Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS. (2021). *Laporan Kajian Food Loss and Waste di Indonesia dalam Rangka Mendukung Penera[an Ekonomi Sirkular dan Pembangunan Rendah Karbon*.

Kharisma, V., & Abe, N. (2020). Food Insecurity and Associated Socioeconomic Factors: Application of Rasch and Binary Logistic Models with Household Survey Data in Three Megacities in Indonesia. *Social Indicators Research*, *148*(2), 655–679. https://doi.org/10.1007/s11205-019-02210-z

Mardiansjah, F. H., Rahayu, P., & Rukmana, D. (2019). Urban Population Growth and The Growth of Towns and Cities in Indonesia. *Proceedings of the 55th ISOCARP World Planning Congress 2019*, 624–643.

Mardiansjah, F. H., Sugiri, A., & Ma'rif, S. (2021). Examining small-town growth and expansion in peri-urban areas of small cities: Evidence from peripheries of three small cities in central java. *Journal of Regional and City Planning*, *32*(3), 216–232. https://doi.org/10.5614/jpwk.2021.32.3.2

Marta, J., Fauzi, A., Juanda, B., & Rustiadi, E. (2020). Understanding migration motives and its impact on household welfare: evidence from rural–urban migration in Indonesia. *Regional Studies, Regional Science*, *7*(1), 118–132. https://doi.org/10.1080/21681376.2020.1746194

Ng, A. K., & Mahkeswaran, R. (2021). Emerging and Disruptive Technologies for Urban Farming: A Review and Assessment. *Journal of Physics: Conference Series*, *2003*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2003/1/012008

Nicholls, E., Ely, A., Birkin, L., Basu, P., & Goulson, D. (2020). The contribution of small-scale food production in urban areas to the sustainable development goals: a review and case study. *Sustainability Science*, *15*(6), 1585–1599. https://doi.org/10.1007/s11625-020-00792-z

Nogeire-McRae, T., Ryan, E. P., Jablonski, B. B. R., Carolan, M., Arathi, H. S., Brown, C. S., Saki, H. H., McKeen, S., Lapansky, E., & Schipanski, M. E. (2018). The role of urban agriculture in a secure, healthy, and sustainable food system. *BioScience*, *68*(10), 748–759. https://doi.org/10.1093/biosci/biy071

Pardede, E. L., McCann, P., & Venhorst, V. A. (2020). Internal migration in Indonesia: new insights from longitudinal data. *Asian Population Studies*, *16*(3), 287–309. https://doi.org/10.1080/17441730.2020.1774139

Podder, A. K., Bukhari, A. Al, Islam, S., Mia, S., Mohammed, M. A., Kumar, N. M., Cengiz, K., & Abdulkareem, K. H. (2021). IoT based smart agrotech system for verification of Urban farming parameters. *Microprocessors and Microsystems*, *82*, 104025. https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104025

Poulsen, M., Spiker, M., & Winch, P. (2014). Conceptualizing Community Buy-in and Its Application to Urban Farming. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 161–178. https://doi.org/10.5304/jafscd.2014.051.014

Rachma, T. R. N., Silalahi, F. E. S., & Oktaviani, N. (2022). Monitoring 20 Years of Land Cover Change Dynamics in The Satellite Cities of Jakarta , Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, *1111*(012034). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1111/1/012034

Rachman, H. P. S. (2010). Aksesibilitas Pangan: Faktor Kunci Pencapaian Ketahanan Pangan di Indonesia.

Pangan, *19*(1), 147–156.

Rahmani, D. R., & Caesarina, H. M. (2021). Valuasi Urban Floating Farming Sebagai Media Kemandirian Pangan Masyarakat dan Pemenuhan Ruang Hijau Bantaran Sungai Perkotaan. *NATURALIS – Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, *10*(2), 282–287. https://doi.org/https://doi.org/10.31186/naturalis.10.2.13432

Resosudarmo, B. P., & Suryadarma, D. (2014). The Impact of Childhood Migration on Educational Attainment: Evidence from rural–urban migrants in Indonesia. *Asian Population Studies*, *10*(3), 319–333. https://doi.org/10.1080/17441730.2014.942954

Rockström, J., Edenhofer, O., Gaertner, J., & DeClerck, F. (2020). Planet-proofing the global food system. *Nature Food*, *1*(1), 3–5. https://doi.org/10.1038/s43016-019-0010-4

Rosliani, R., & Sumarni, N. (2005). *Budidaya Tanaman Sayuran dengan Sistem Hidroponik*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

Silva, W., Amorim, D., Borchardt, A., Gonçalves, L., Neiva, S., Prasath, A. R., Baltazar, J., Osório, S., & Guerra, D. A. (2019). Urban challenges and opportunities to promote sustainable food security through smart cities and the 4th industrial revolution. *Land Use Policy*, *87*(May). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104065

Sinaga, G. A. D., Kurniawan, Y., Aminy, N. A., & Kusumawati, A. (2022). Urgensi Komunitas, Budaya Lokal dan Ketahanan Pangan dalam Gerakan Urban Farming di MasaPandemi COVID-19. *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, *11*(2), 337–351.

Statistics Bureau of Japan. (2022). *Statistical Handbook of Japan 2022*. https://www.stat.go.jp/english/data/handbook/c0117.html

Sudharsanan, N., & Ho, J. Y. (2020). Rural–Urban Differences in Adult Life Expectancy in Indonesia. *Epidemiology*, *31*(3), 393–401. https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001172

Syabrina, E., Rosmaina, R., Dani, R., Purwati, P., & Sari, N. H. (2022). Persepsi dan Minat Masyarakat Terhadap Urban Farming di Kota Pekanbaru. *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis) : Jurnal Agribisnis dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*, *7*(5), 166–172. https://doi.org/10.37149/jia.v7i5.100

United States Department of Agriculture. (n.d.). *Food Security in the U.S. - Survey Tools*. Retrieved June 14, 2023, from https://www.ers.usda.gov/topics/food-nutrition-assistance/food-security-in-the-u-s/survey-tools/

Workie, E., Mackolil, J., Nyika, J., & Ramadas, S. (2020). Deciphering the impact of COVID-19 pandemic on food security, agriculture, and livelihoods: A review of the evidence from developing countries. *Current Research in Environmental Sustainability*, *2*(December), 100014. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.007

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMETAAN WILAYAH POTENSIAL PERIKANAN DI PERAIRAN LAUT IKN GUNA MENDUKUNG TERWUJUDNYA KEAMANAN MARITIM

Studi Kasus: Selat Makassar

(Mapping Potential Fisheries Areas in IKN Sea Waters to Support the Realization of Maritime Security. Case Study: Macassar Strait)

Bagus Satrio Wicaksono, Nabilla Chaerunnisa Kuswaya, Retno Mulyaningrum, Annisha Destyanna Sari, dan Asep Adang Supriyadi

Fakultas Keamanan Nasional, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16810

Email: bagussatriowckn@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia adalah negara maritim yang memiliki banyak pulau-pulau kecil dan garis pantai terpanjang di dunia. Sebagai negara maritim, Iindonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, sehingga perlu adanya pemetaan kualitas air laut khususnya di perairan Ibu Kota Nusantara (IKN) yang berhadapan langsung dengan Selat Makassar. Pemetaan kualitas air laut di Selat Makassar, perlu dianalisis lebih komprehensif untuk mendukung keamanan maritim. dalam penelitian ini, peneliti akan melakukan pemetaan wilayah potensi perikanan laut dalam aspek salinitas, suhu permukaan laut (SPL), *chlorophyll-a* (CHL-a), dan *upwelling* untuk pemantauan ancaman *illegal fishing* dalam menjaga keamanan maritim. Pemetaan dilakukan dengan metode pengolahan data menggunakan ArcGIS 10.8 dengan memanfaatkan citra *AquaModis* dan Sentinel-2. Citra *AquaModis* dengan resolusi spasial 4x4 km menghasilkan data SPL dan CHL-a. Data SPL dan CHL-a dilakukan perhitungan dengan algoritma menurut Kunarso (2005) yang menghasilkan peta skala kelimpahan *upwelling*. Kemudian, data salinilitas diolah dengan rentang kedalaman vertikal 0,5 sampai 10 meter. Data tersebut dimulai pada 1 Januari sampai 31 Desember 2023. Tujuan penelitian pemetaan ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai lokasi koordinat yang menjadi titik kelimpahan sumber daya ikan. Hal ini dapat memberikan dasar sebagai lokasi patroli yang lebih intens untuk melakukan pengamanan dan pertahanan maritim. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat banyak lokasi kelimpahan sumber daya ikan yang dapat dimanfaatkan dalam mendukung kemajuan negara. Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan antara salinitas, suhu permukaan laut, *chlorophyll-a*, dan *upwelling* sehingga terjadinya *illegal fishing* yang berdekatan dengan Ibu Kota Nusantara (IKN).

Kata Kunci: *AquaModis, illegal fishing, kualitas air laut, Sentinel-2A*

ABSTRACT

Indonesia is a maritime country that has many small islands and the longest coastline in the world. As a maritime country, Indonesia has abundant natural resources, so it is necessary to map the quality of sea water, especially in the waters of the Capital City of the Archipelago (IKN) which is directly facing the Makassar Strait. Mapping of seawater quality in the Makassar Strait needs to be analyzed more comprehensively to support maritime security. In this study, researchers will map potential areas of marine fisheries in the aspects of Salinity, Sea Surface Temperature (SPL), Chlorophyll-a (CHL-a), and Upwelling for monitoring illegal fishing threats in maintaining maritime security. Mapping is done using data processing methods using ArcGIS 10.8 by utilizing AquaModis and Sentinel-2 imagery. AquaModis imagery with a spatial resolution of 4x4 km produces SPL and CHL-a data. SPL and CHL-a data were calculated with an algorithm according to Kunarso 2005 which produced a map of the upwelling abundance scale. Then, salinility data were processed with a vertical depth range of 0.5 to 10 meters. The data starts from January 1, 2023, to December 31, 2023. The purpose of this mapping research is expected to be able to provide information about the location of coordinates that are points of abundance of fish resources. This could provide a basis for more intense patrols to conduct maritime security and defense. The results obtained show that there are many locations of abundance of fish resources that can be utilized in supporting the progress of the country. This study shows a significant influence between salinity, Sea Surface Temperature, Chlorophyll-a, and upwelling so that illegal fishing occurs adjacent to the Capital City of the Nusantara (IKN).

Keywords: *AquaModis, sea water quality, illegal fishing, Sentinel-2A*

PENDAHULUAN

Luas geografis suatu negara memainkan peranan penting dalam mengatur tata kelola dan laju kehidupan berbangsa dan bernegara. Fakta ini dapat mengantarkan negara pada keberlimpahan sumber daya sekaligus persoalan-persoalan sulit yang dapat mengganggu stabilitas negara. dalam hal ini, berdasarkan laporan penelitian dari hasil kolaborasi antara Badan Informasi Geospasial dan Pusat Hidrografi Oseanografi TNI AL menyatakan bahwa luas geografis Indonesia secara keseluruhan adalah 1.904.569 km^2 dengan garis pantai sepanjang 108.000 km^2. Hal ini mengantarkan Indonesia sebagai negara kepulauan dengan jumlah pulau mencapai 17.504 pulau (Fathun, 2019). Besarnya potensi sumber daya di Indonesia membuat pemerintah perlu berhati-hati dalam menentukan langkah untuk merumuskan sebuah kebijakan. Selain itu, variabel yang menjadi penentu dalam menentukan sebuah langkah perlu mendapatkan kajian mendalam secara komprehensif.

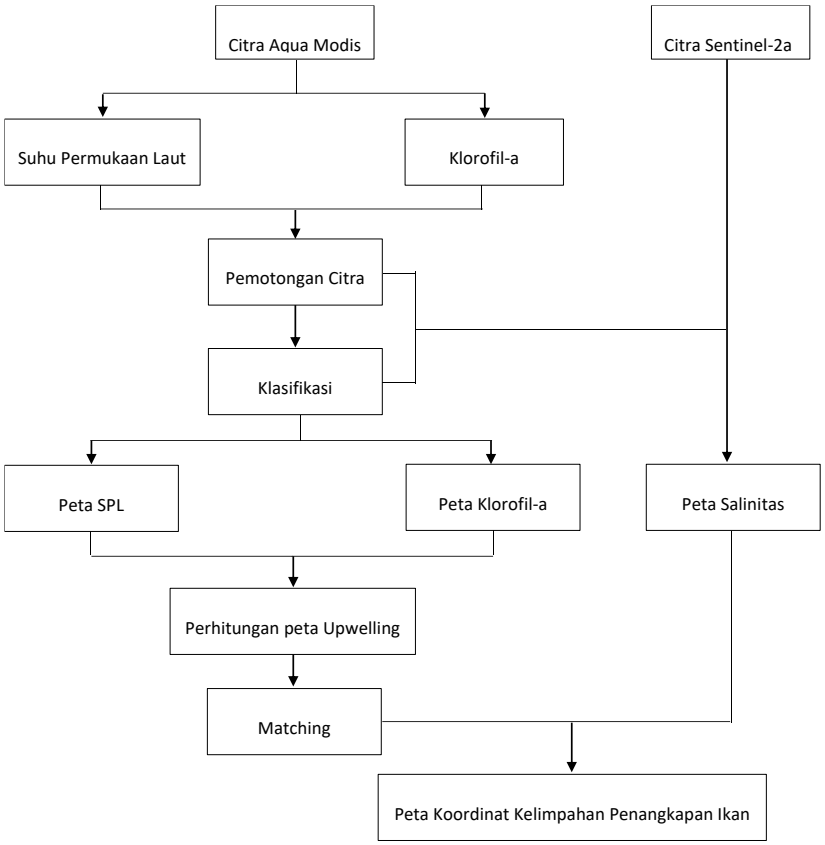
Salah satunya, ketika pemerintah mengumumkan akan melakukan kebijakan untuk memindahkan Ibu Kota Negara yang semula bertempat di Daerah Khusus Istimewa Jakarta (DKI Jakarta) ke Pulau Kalimantan. Rencana ini pertama kali disampaikan pada tanggal 29 April 2019 ketika pemerintah meluncurkan dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024 (Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, 2019). Adapun urgensi dari keputusan pemindahan Ibu Kota Negara ini dilatarbelakangi oleh beberapa pertimbangan. Pertama, Indonesia memiliki persoalan mendalam terkait ketidakmerataan ekonomi pembangunan yang selalu terkonsentrasi di Pulau Jawa. Berdasarkan dokumen resmi yang dikeluarkan oleh Satuan Tugas Pembangunan Infrastruktur IKN-PUPR tingkat pembangunan ekonomi terpusat di Pulau Jawa sebesar 57% (Satgas Pembangunan Infrastruktur IKN-PUPR, 2023). Hal ini diperkuat dengan data resmi yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik pada Maret 2023 bahwa untuk tingkat ketimpangan pengeluaran penduduk antara di desa dan perkotaan adalah 0,388 (BPS, 2023). Kedua, pertumbuhan urbanisasi di DKI Jakarta sangat tinggi dengan jumlah penduduk mencapai 10,67 juta jiwa. Angka tersebut naik 0,66% dari tahun sebelumnya. Ketiga, penurunan daya dukung lingkungan, ancaman banjir, gempa bumi dan tanah turun di DKI menjadi faktor yang mengharuskan langkah ini segera dieksekusi (Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2019).

Pemilihan Kalimantan sebagai Ibu Kota Negara yang baru adalah sebuah langkah strategis. Sebab Kalimantan memiliki sumber daya maritim yang dapat mengembangkan potensi perekonomian dan industri maritim Indonesia. Hal ini dapat dilihat sebagai upaya pemerintah dalam mendorong terwujudnya transisi ekonomi dari *green economy* menjadi *blue economy*. Kawasan Kalimantan sendiri adalah wilayah yang terhubung dengan jalur laut ALKI II yang menjadi arena keluar dan masuknya kapal peti kemas baik dari dalam negeri maupun luar negeri. Oleh karena itu, melalui rencana pemindahan Ibu Kota Negara baru, Panglima TNI Jenderal Agus Subiyanto dalam Rapat Pimpinan TNI-Polri tahun 2024 berencana untuk membentuk markas-markas baru TNI dari 3 matra yaitu Matra TNI AU, TNI AL, dan TNI AD di wilayah IKN (Marison, 2024).

Dalam melakukan perencanaan strategi pertahanan dan pengawasan, identifikasi potensi sumber daya dan kekuatan internal merupakan elemen penting yang menjadi pendukung dalam menentukan keberhasilan sistem pertahanan. Salah satunya melalui eksplorasi sumber daya melalui metode konvensional dan teknologi penginderaan jarak jauh seperti penggunaan citra satelit (Indrayanti dan Handoyo, 2023). Maka dari itu, sebagai salah satu komponen pendukung dalam perencanaan sistem pertahanan dan pengawasan, aktivitas pemetaan wilayah potensial perikanan menjadi penting untuk dikaji secara mendalam sebagai upaya dalam meningkatkan efisiensi negara untuk melakukan penangkapan ikan. Sehingga pemerintah dapat mengidentifikasi titik-titik wilayah perairan potensial mana saja yang harus mendapatkan pengawasan dan penjagaan lebih melalui penggunaan teknologi pemantau satelit dengan parameter salinitas, suhu permukaan laut, klorofil-a dan *upwelling* yang didapat dari citra satelit *AquaModis* dan Sentinel-2A (Rasyid *et al.*, 2014). Selain itu, melalui upaya pemetaan wilayah potensial pada wilayah perairan strategi dapat menjadi rujukan dalam upaya pencegahan dan penanganan praktik *illegal fishing* yang berdekatan di wilayah Ibu Kota Nusantara.

METODE

Dalam penelitian yang dilakukan, peneliti melakukan pengamatan data salinitas, klorofil-a, suhu permukaan laut, dan *upwelling* yang dimulai pada tanggal 1 Januari sampai 31 Desember 2023. Pengamatan dilakukan dengan cara studi literatur dan pengolahan data sekunder yang didapatkan dari citra satelit. Data-data tersebut diolah menggunakan bantuan *software ArcGIS* 10.8 dengan melakukan ekstraksi dan *cropping data* untuk menampilkan sebaran data pengamatan yang akan dikaji. Data citra didapatkan dari *website* https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/order/ yang dapat diakses secara bebas untuk pemetaan SPL dan klorofil-a-a-a, sedangkan data citra untuk salinitas dapat diakses secara bebas pada *website* https://marine.copernicus.eu/. Peneliti membagi mejadi tiga (3) Langkah, yakni: *pre-processing, processing, post-processing.* Kerangka penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kerangka penelitian.

Pertama, *pre-processing* pengolahan data di antaranya melakukan pengumpulan informasi. penentuan area studi yang mencakup Selat Makassar dan sekitarnya sebagai lokasi kunci dalam penelitian ini. Selat Makassar dipilih karena peran strategisnya dalam keanekaragaman hayati maritim dan kegiatan perikanan di Indonesia.

Kedua, *processing*. Pengumpulan dan analisis data satelit menggunakan perangkat lunak pemetaan yang dapat membantu dalam pemetaan parameter oseanografis. Data SPL dan CHL-a dapat diakses melalui penggunaan produk satelit MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) yang menyediakan estimasi pesebaran suhu permukaan dan konsentrasi klorofil-a di perairan dengan resolusi spasial 4 km (4,6 km pada ekuator). Data yang di-*download* adalah data level 3 yang sudah dilakukan tahap koreksi atmosferik, radiometrik, dan pengolahan citra secara langsung, sehingga menjadi sebuah *image* dengan *format data binned* yang menjelaskan *data value.* Selanjutnya, analisis *upwelling* dilakukan dengan menggunakan algoritma kelimpahan *upwelling* sesuai dengan Kunarso (2005), yang menunjukkan adanya kelimpahan *upwelling* kuat, sedang, dan lemah, sehingga mengidentifikasi adanya fenomena pada skala *upwelling* tersebut di area koordinat tertentu. Kemudian untuk proses pengolahan data salinitas, memanfaatkan citra satelit Sentinel-2a pada kanal 11 (SWIR-*Short Wave Infrared*) dengan rentang

1.610-1.690 nm yang dapat membantu dalam pemetaan salinitas karena sensitif terhadap mineral dan garam.

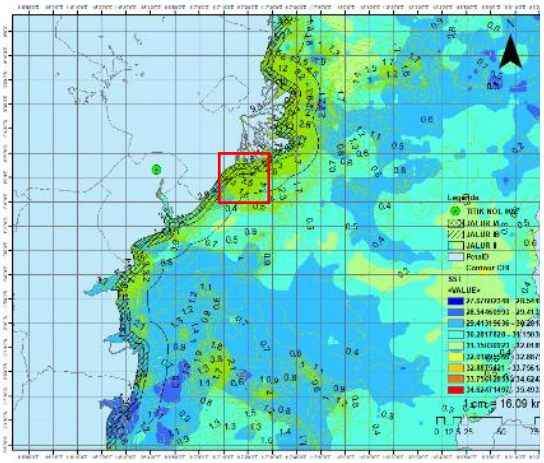
Ketiga, *post-processing.* Dengan menggunakan kemampuan pemrosesan *software* SeaDas dan ArcGIS, dapat dilakukan analisis tren dan pemodelan distribusi spasial dari parameter-parameter oseanografis yang sedang kaji. Proses pengolahan data menggunakan SeaDase, data dilakukan *subset* citra terlebih dahulu agar mendapatkan rata-rata nilai dan koordinat yang mempresentasikan wilayah kajian dalam rentang 1 tahun sepanjang 2023 pada setiap bulannya. Kemudian dilakukan ekspor data dalam bentuk .CVS ke dalam *software* ArcGIS untuk dilakukan interpolasi data. Selanjutnya dilakukan pengklasifikasian terlebih dahulu pada setiap *bin raster*, dimana nilai *bin* yang sesuai akan diberikan kriteria nilai 1 dan nilai 0 pada *bin* yang tidak sesuai kriteria. Setiap bin pada kedua data (SPL dan CHL-a) dilakukan kalkulasi dengan *tool raster calculator*, pada tiap *bin* yang bernilai 2 dianggap sesuai yang menghasilkan peta kelimpahan *upwelling*. Pada data salinitas dilakukan ekstraksi dengan menggunakan *tool Make NetCDF Raster Layer (Multidimension)* yang mengubah *data raster* menjadi peta persebaran salinitas. Data kemudian di-*overlay* dengan data *upwelling* untuk mengindikasi hubungan persebaran *upwelling* yang ada.

Pada tahap *post-processing* dilakukan *layouting dan* interpretasi data serta hasil analisis untuk mengidentifikasi area berisiko tinggi terjadinya *illegal fishing* berdasarkan parameter oseanografis yang telah dipetakan. Parameter yang digunakan dalam penetapan kesesuaian area perairan pada zona tangkapan ikan pada kondisi kisaran klorofil-a di rentang 0,3-2,0 mg/m^3. Zona dengan produktivitas biologis tinggi, ditunjukkan oleh konsentrasi klorofil-a yang tinggi dan mengindikasi terjadinya fenomena *upwelling*, cenderung menjadi lokasi yang disukai untuk kegiatan perikanan, termasuk berpotensi adanya kegiatan *illegal fishing*.

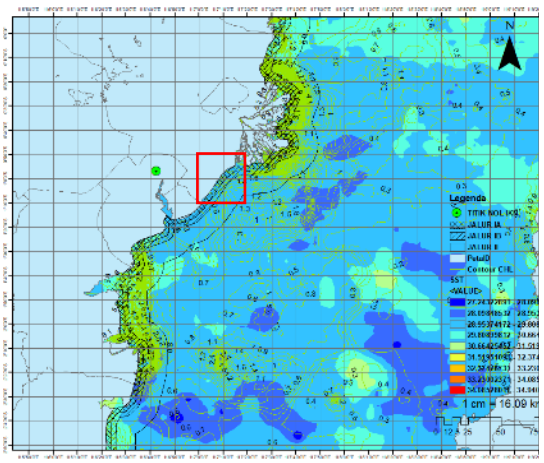
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan nilai kandungan klorofil-a di perairan Selat Makassar dengan memanfaatkan ekstraksi citra satelit *AquaModis* pada bulan Januari sampai Desember 2023 menghasilkan nilai kandungan yang tersebar memiliki rata-rata 0,615377 mg/m^3. Nilai kandungan klorofil-a tertinggi terdapat pada Januari sebesar 0,816634267 mg/m^3. Sementara, hasil dari nilai kandungan klorofil-a terendah yang didapatkan pada September yaitu sebesar 0,393816443 mg/m^3.

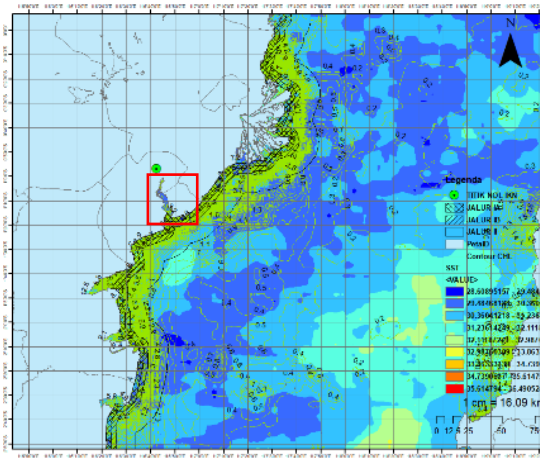
Kemudian untuk hasil persebaran suhu permukaan laut (SPL) yang didapatkan di perairan Selat Malaka dari ektraksi citra satelit *AquaModis* pada Januari sampai Desember 2023, didapatkan persebaran suhu permukaan laut menunjukkan rata-rata sebesar 30,38071^{o}C. Nilai persebaran SPL tertinggi terdapat pada November yakni sebesar 31,17172239^{o}C. Sementara, hasil dari nilai persebaran SPL terendah yang didapatkan pada Agustus yakni sebesar 29,59330788^{o}C. Jika melihat pada gambar yang dihasilkan kedua data (SPL dan CHL-a) (**Gambar 2**), cenderung ditemukan area pada koordinat yang hampir sama pada peningkatan kedua data parameter kajian sesuai cakupan *rectangle* merah.



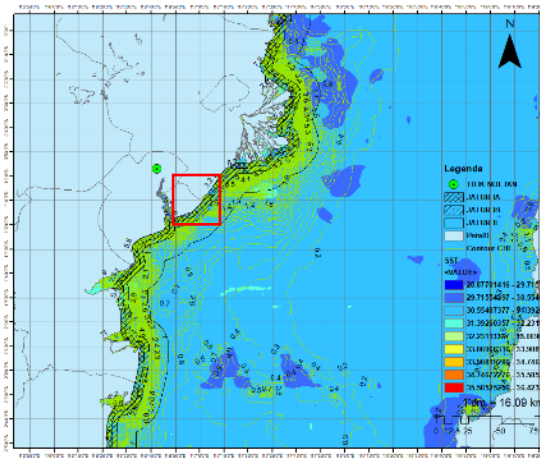
1



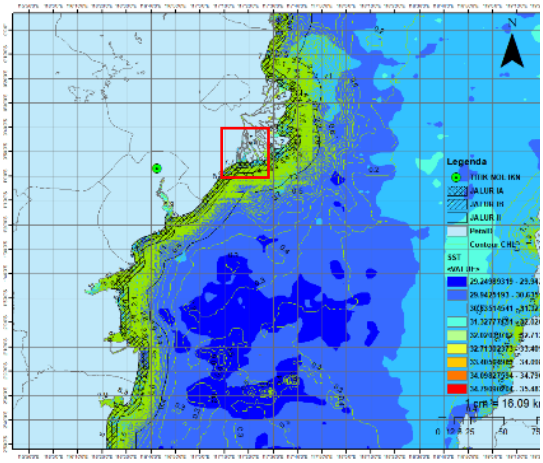
2


N
Legenda
1 cm = 16.09 km

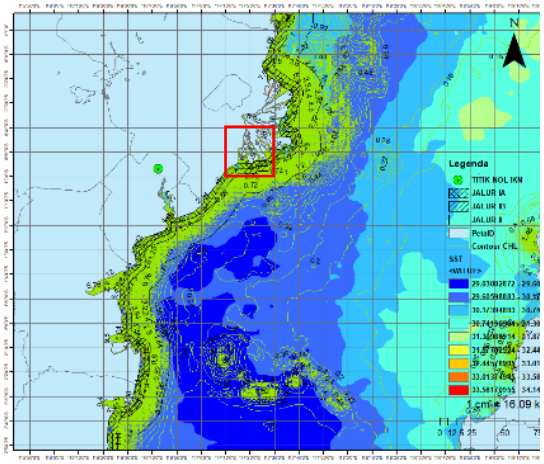
3


N
Legenda
1 cm = 16.09 km

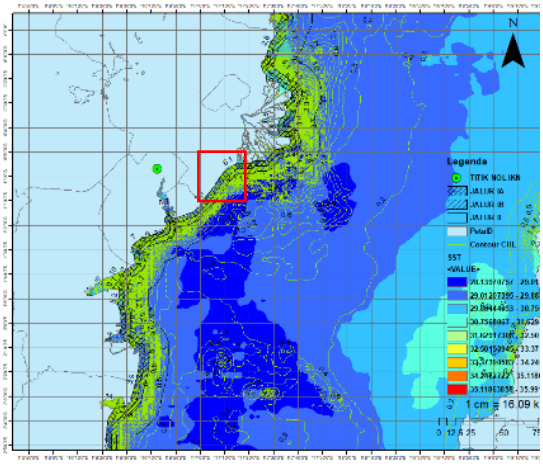
4


N
Legenda
1 cm = 16.09 km

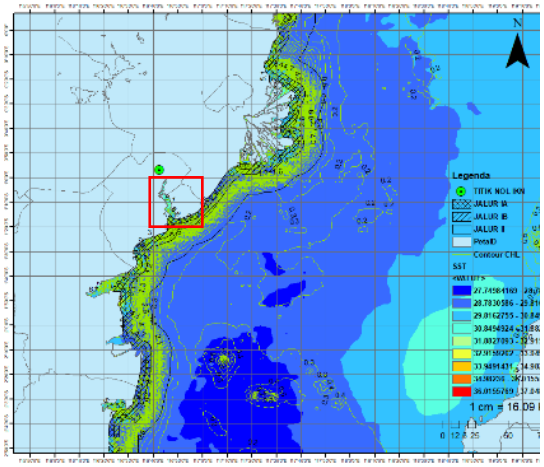
5


N
Legenda
1 cm = 16.09 km

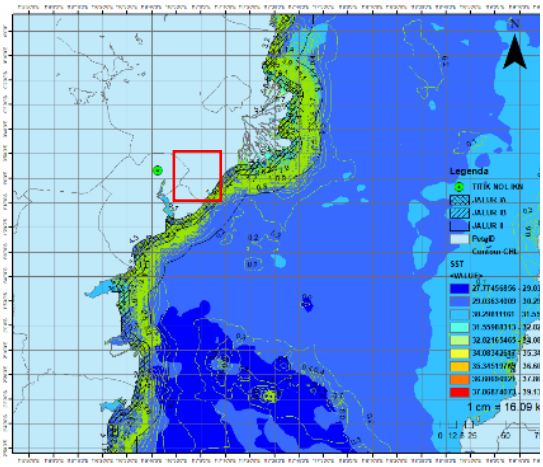
6

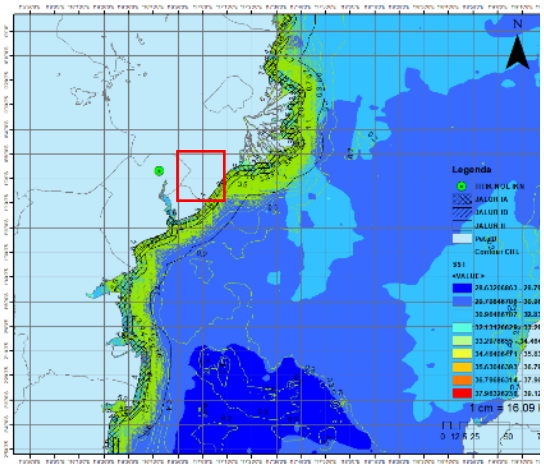

N
Legenda
1 cm = 16.09 km

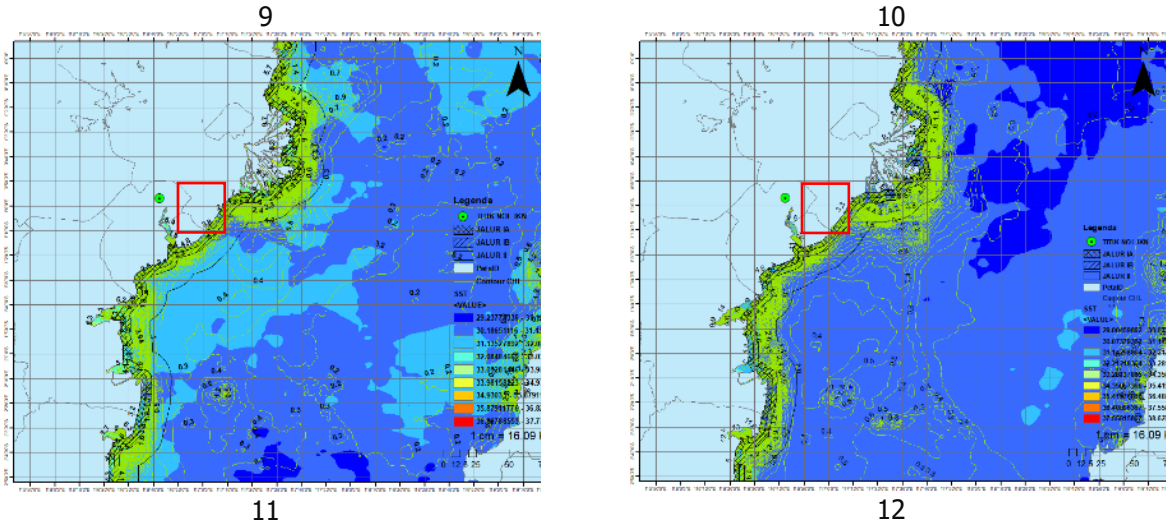
7


N
Legenda
1 cm = 16.09 km

8

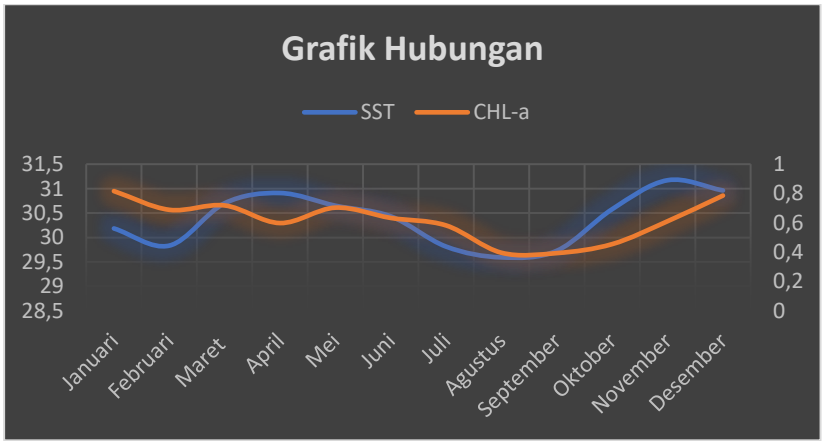

N
Legenda
1 cm = 16.09 km


N
Legenda
1 cm = 16.09 km



Gambar 2. Hasil pengolahan data Peta SPL dan CHL-a. Bulan (1) Januari, (2) Februari, (3) Maret, (4) April, (5) Mei, (6) Juni, (7) Juli, (8) Agustus, (9) September, (10) Oktober, (11) November, dan (12) Desember 2023.

Secara keseluruhan pada area kajian, nampak bahwa distribusi suhu yang berbeda dari grafik klorofil hanya bulan April saja. Jika menelaah pada tren grafik yang dihasilkan keduanya (**Gambar 2**), dapat disimpulkan bahwa kedua data parameter (SPL dan CHL-a) cenderung memiliki pola yang selaras dari bulan Januari sampai Desember 2023. Keselarasan ini menunjukkan bahwa peningkatan SPL dan CHL-a akan mempengaruhi pola distribusi kelimpahan *upwelling* pada perairan.



Gambar 30. Grafik tren hubungan SPL dan CHL-a.

Analisis *overlay* yang dilakukan berdasarkan pada (Kunarso, 2005) untuk menentukan area persebaran *upwelling* berdasarkan parameter SPL dan CHL-a. Berikut kriteria nilai SPL dan CHL-a pada penyajian **Tabel 1** di bawah ini.

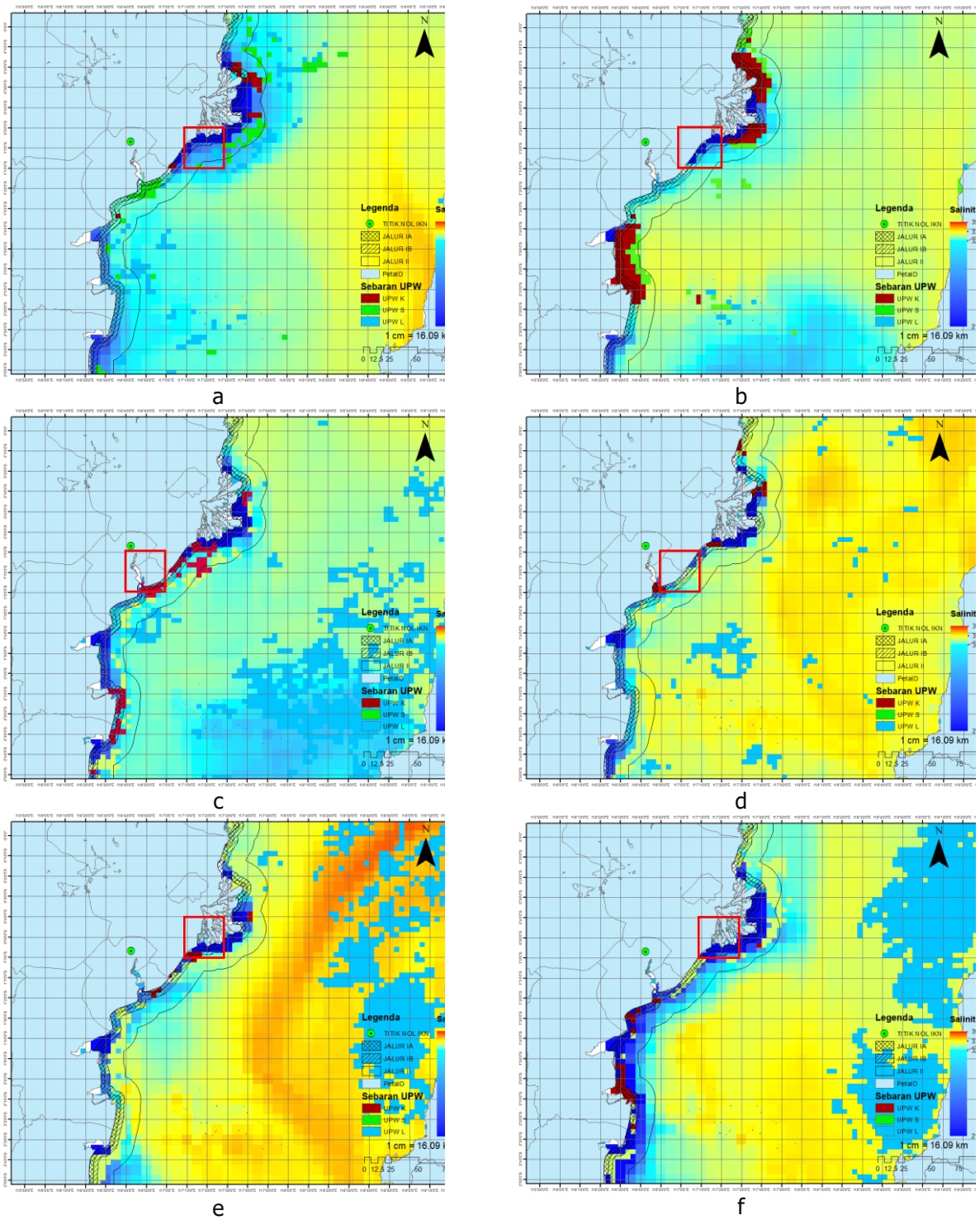
Tabel 1. Kreteria intensitas *upwelling* berdasarkan parameter SPL dan klorofil-a.

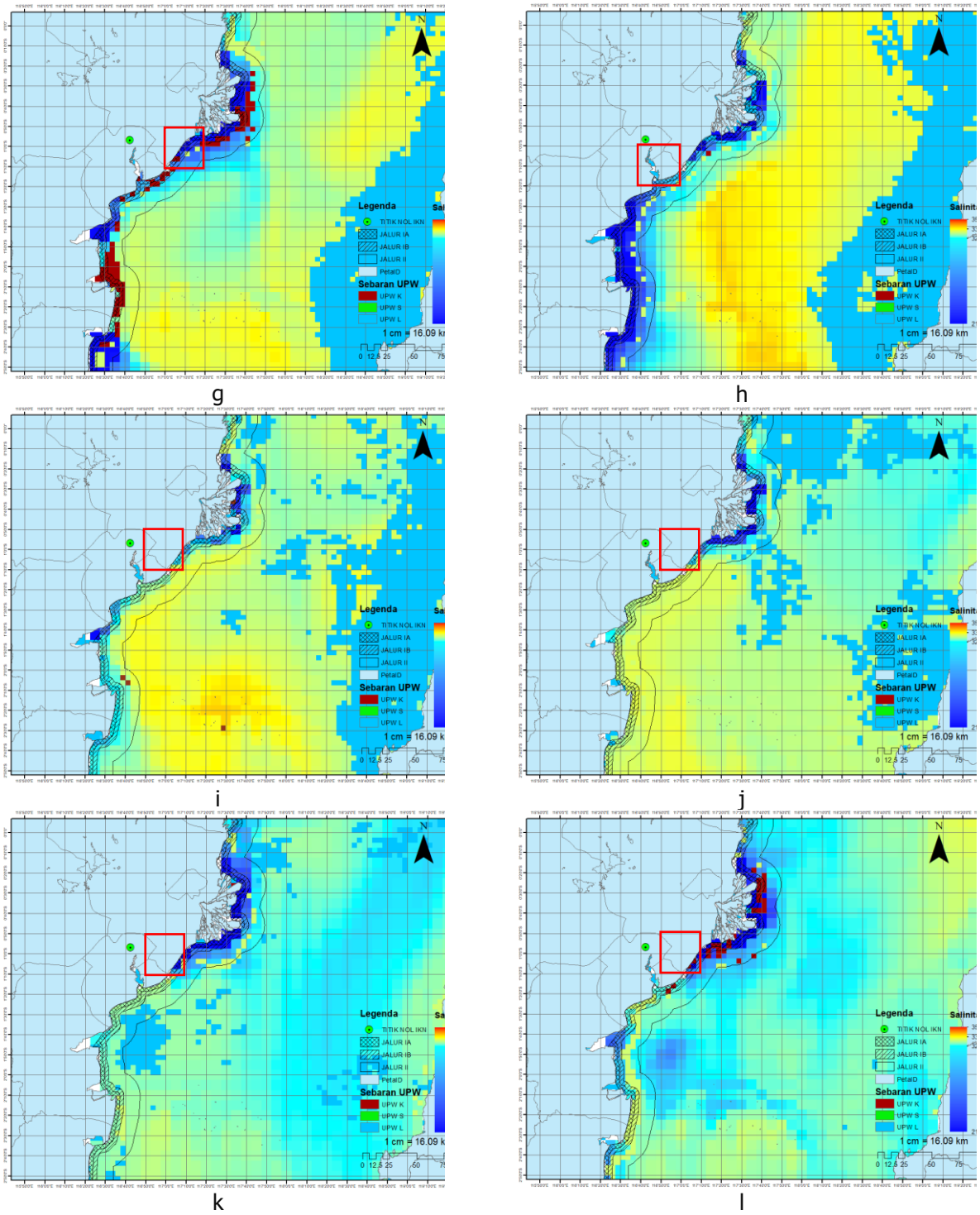
Suhu (°C)	*Chlorofil-a* (mg/m^3)	Kriteria *Upwelling*
>31	<1	intensitas *upwelling* lemah
29-30	1-2	intensitas *upwelling* sedang
<28	>2	intensitas *upwelling* kuat

Pada peta *overlay* antara distribusi *upwelling* menggunakan kriteria intensitas *upwelling* kuat (K), sedang (S), lemah (L) dengan persebaran salinitas di selat makasar. Menurut Suhana (2018), kenaikan *upwelling* akan berbanding luruh dengan kadar salinitas pada lokasi terjadinya *upwelling,* dengan demikian salinitas akan memiliki nilai yang seimbang. data salinitas diolah dengan rentang kedalaman vertikal 0,5 sampai 10 meter didapatkan bahwa persebaran data intensitas *upwelling* sedang-kuat terdapat di area kisaran koordinat yang sama dengan parameter SPL dan CHL-a.

Keempat parameter yang digunakan menunjukkan hasil yang serupa, bahwa potensi kelimpahaan tangkapan ikan di Selat Makasar berada pada area kisaran koordinat 0°50'0"S; 117°30'0"E sampai 0°50'0"S; 118°0'0"E dan 1°20'0"S; 117°30'0"E sampai 1°20'0"S; 118°0'0"E sesuai cakupan *rectangle* merah (**Gambar 2** dan **4**).

Jika berdasarkan pada Peraturan Menteri (Permen) Kelautan Perikanan Nomor 18 tahun 2021 tentang jalur penangkapan dan peraturan lainnya menunjukkan bahwa potensi kelimpahan tangkapan ikan di luar jalur II atau lebih dari 12 mil garis pantai, terindikasi dari hasil pemetaan yang ada memiliki potensi yang sangat besar. Sehingga, perlu adanya patroli atau perhatian yang lebih pada area yang terdeteksi memiliki potensi sumber daya tangkap perikanan melimpah. Hal ini disebabkan karena lokasi zona potensi penangkapan ikan tidak terlalu jauh dengan Ibu Kota Nusantara (IKN), yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan keamanan dan pertahanan IKN.





Gambar 3. Peta *upwelling* dan salinitas perairan Selat Makassar hasil pengolahan data SPL dan CHL-a bulan (a) Januari, (b) Februari, (c) Maret, (d) April, (e) Mei, (f) Juni, (g) Juli, (h) Agustus, (i) September, (j) Oktober, (k) November, dan (l) Desember 2023.

KESIMPULAN

Pemilihan Kalimantan sebagai Ibu Kota Nusantara (IKN), didasari oleh pertimbangan tingginya urbanisasi di DKI Jakarta dan meninjau peluang potensi perekonomian dan industri maritim untuk mendukung kemerataan pembangunan ekonomi. Terwujudnya *blue economy* akan berdampak pada penguatan sektor keamanan, khususnya keamanan maritim. Salah satu penguatan keamanan dapat menggunakan penginderaan jauh citra satelit, yang dapat mendorong penguatan *blue economy*. Potensi wilayah sumber daya perikanan menjadi aspek penting dalam meningkatkan perekonomian. Pada pengolahan potensi wilayah sumber daya perikanan dengan memanfaatkan citra *AquaModis* dan Sentinel-2A, variabilitas pada keempat parameter yang dikaji

menunjukkan adanya hasil yang selaras. Apabila SPL meningkat, klorofil-a akan meningkat. Sehingga, *upwelling* pada data yang telah di-*overlay* dengan salinitas menunjukkan hasil yang selaras. Perairan Selat Makassar memiliki zona potensi penangkapan ikan yang cukup luas dan terkonsentrasi di area dengan koordinat 0°50′0″S; 117°30′0″E sampai 0°50′0″S; 118°0′0″E dan 1°20′0″S; 117°30′0″E sampai 1°20′0″S; 118°0′0″E. Lokasi ini juga cukup berdekatan dengan IKN yang memungkinkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan keamanan dan pertahanan IKN. Oleh karena itu, perlu adanya perhatian khusus atau peningkatan patroli pada area yang terindikasi menjadi wilayah zona potensi penangkapan ikan yang melimpah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Marsda TNI (Purn) Prof. Dr. Ir. Asep Adang Supriyadi, ST., MM., IPU., ASEAN Eng. dan Kepala Program Studi Keamanan Maritim Bapak Kolonel Laut Dr. Panji Suwarno, SE. M.Si, CIQnR karena telah memberikan saran dan masukan kepada penulis serta membantu dalam membuat artikel ini menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Abd Rasyid, J., Nurjannah, N., Burhanuddin, A. I., & Hatta, M. (2014). Karakter Oseanografi Perairan Makassar Terkait Zona Potensial Penangkapan Ikan Pelagis Kecil pad Musim Timur. PERENNIAL, 1(1).

BPS. (2023). Tingkat Ketimpangan Pengeluaran Penduduk Indonesia Maret 2023. *Berita Resmi Statistik*, *No. 48/07/*(17 Juli 2023), 1–8.

Effendi, R., Palloan, P., & Ihsan, N. (2012). Analisis konsentrasi klorofil-a di perairan sekitar Kota Makassar menggunakan data Satelit Topex/Poseidon. Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika, 8(3), 279-285.

Fathun, L. M. 2019. ASEAN Contemporary Security: Maritime Diplomacy in Handling of Maritime Security Threats in Malaka Strait. Insignia: Journal of International Relations, Vol 6 (1), 50.

Fauz, R. A. (2024). Tindakan Illegal Fishing dan Upaya Fisheries Court International. ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 3(2), 558-575.

Indrayanti, E., & Handoyo, G. (2023). Penentuan Daerah Upwelling Berdasarkan Indikator Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a di Perairan Selat Sunda Tahun 2010-2019. Indonesian Journal of Oceanography, 4(4), 62-73.

Kementerian Komunikasi dan Informatika. (2019). *Pemindahan Ibu Kota Untuk Pacu Pemerataan dan Keadilan di Luar Pulau Jawa*. Kominfo. https://www.kominfo.go.id/content/detail/20729/pemindahan-ibu-kota-untuk-pacu-pemerataan-dan-keadilan-di-luar-pulau-jawa/0/berita

Kunarso. 2005. Kajian Penentuan Lokasi-Lokasi Upwelling di Perairan Indonesia dan Sekitarnya Serta Kaitannya dengan Fishing Ground tuna. [Thesis], PS.Oseanografi, Saints Atmosfir dan Seismologi, ITB, Bandung, 250 hlm.

Puspasari, R., Rachmawati, P. F., & Wijopriono, W. (2016). Analisis kerentanan jenis ikan pelagis kecil di Perairan Selat Bali dan Selat Makassar terhadap dinamika suhu permukaan laut. Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia, 22(1), 33-42.

Rossarie, D., & Kusumarani, D. (2022). Pemetaan zona potensi penangkapan ikan di perairan Kabupaten Raja Ampat menggunakan citra satelit aqua modis. Jurnal Aquafish Saintek, 2(1), 8-13.

Sadly, M., & Awaluddin, A. (2017). Sistem Penjejak Ikan Untuk Pemantauan Kualitas Lingkungan Perairan dan Prediksi Lokasi Penangkapan Ikan Menuju Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan. Jurnal Teknologi Lingkungan, 18(1), 29-36.

Satgas Pembangunan Infrastruktur IKN-PUPR. (2023). *Progres pembangunan ibu kota negara "Nusantara."* 1–32.

Sekretariat Kabinet Republik Indonesia. (2019). *Digagas Sejak Era Soekarno, Presiden Jokowi Jelaskan Alasan Perlunya Pemindahan Ibu Kota Negara*. Setkab.Go.Id. https://setkab.go.id/digagas-sejak-era-soekarno-presiden-jokowi-jelaskan-alasan-perlunya-pemindahan-ibu-kota-negara/

Semedi, B., & Dimyati, R. D. (2010). Study Of Short Mackerel Cath, Sea Surface Temperature, And Chlorophyll-A In the Makassar Strait. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES), 6(1).

Suhana, M. P. (2018). Karakteristik sebaran menegak dan melintang suhu dan salinitas perairan Selatan Jawa. Dinamika Maritim, 6(2), 9-11.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

AHP-GIS MODEL-BASED ANALYSIS FOR WIND POWER PLANT SITE SUITABILITY ASSESSMENT IN IBU KOTA NUSANTARA, INDONESIA

(Analisis Berbasis Model AHP-GIS Untuk Penilaian Kesesuaian Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Ibu Kota Nusantara, Indonesia)

Arrafi Malika Ardy[1] and Nurhafizul Abu Seri[2]

[1]Geographic Information Science Study Program, Faculty of Social Science Education, Universitas Pendidikan Indonesia

[2]GeoInformatic Unit (GIU), Geography Section, School of Humanities, Universiti Sains Malaysia

Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat

E-mail: arrafiardy0@upi.edu

ABSTRACT

The study used an analytical hierarchy process (AHP) and a Geographic Information System (GIS) model to evaluate the suitability of sites for the development of wind power plants in Ibu Kota Nusantara, the new prospective capital of Indonesia. This research sought to provide significant information on the selection of the right site for wind power infrastructure, highlighting the importance of renewable energy in sustainable development, especially in this area designed to be a metropolitan city. The data utilized in this study were primarily sourced from an open-source geospatial database and governmental organizations. Factors used to assess location suitability include wind speed, land use land cover (LULC), slope, settlements, power grid lines, distance from roads, and distance from rivers. Data were collected and analyzed by utilizing the Analytical Hierarchy Process (AHP) methodology from previous research to determine the suitability classification, which was subsequently divided into four specific categories: most suitable, moderately suitable, least suitable, and not suitable. Findings showed that 13.78% (353.23 km^2) and 29.98% (742.57 km^2) of the IKN area are respectively covered by "most suitable" and "moderately suitable" classes which are dominantly located in the western part of IKN. While in contrast, the "least suitable" and "not suitable" classes cover respectively 53.04% (1359.10 km^2) and 4.20% (107.61 km^2). The results are expected to advance renewable energy plant installations and urban planning in Indonesia and further increase the usage of evidence-based decision-making systems to combat energy issues while encouraging sustainability.

Keywords: analytical hierarchy process, renewable energy, site suitability assessment, wind power plants

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk penilaian kesesuaian lokasi pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Ibu Kota Nusantara, calon ibu kota baru Indonesia. Penelitian ini berupaya memberikan informasi penting mengenai pemilihan lokasi yang tepat untuk infrastruktur tenaga angin, dengan menyorot pentingnya energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan, terutama di kawasan yang dirancang untuk menjadi kawasan perkotaan metropolitan. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari basis data geospasial open-source dan organisasi pemerintah. Faktor-faktor yang digunakan dalam penilian kesesuaian lokasimeliputi kecepatan angin, tutupan lahan penggunaan lahan (LULC), kemiringan lereng, pemukiman, jaringan listrik, jarak dari jalan raya, dan jarak dari sungai. Data kemudian dikumpulkan dan dianalisis dengan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dari penelitian terdahulu untuk menentukan klasifikasi kesesuaian, yang selanjutnya dibagi menjadi empat kategori: paling sesuai, cukup sesuai, kurang sesuai, dan tidak sesuai. Temuan menunjukkan bahwa 13,78% (353,23 km^2) dan 29,98% (742,57 km^2) wilayah IKN masing-masing merupakan kelas "paling sesuai" dan "cukup sesuai" yang dominan berada di wilayah IKN bagian barat. Sedangkan kelas "kurang sesuai" dan "tidak sesuai" masing-masing mencakup 53,04% (1359,10 km^2) dan 4,20% (107,61 km^2). Hasil yang diperoleh diharapkan dapat meningkatkan pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan dan perencanaan kota di Indonesia serta semakin meningkatkan penggunaan sistem pengambilan keputusan berbasis bukti untuk mengatasi permasalahan energi sekaligus mendorong keberlanjutan.

***Kata Kunci**: analytical hierarchy process, energi terbarukan, evaluasi kesesuaian lokasi, pembangkit listrik tenaga angin*

INTRODUCTION

The world's growing concern about the impact of greenhouse gas (GHG) emissions and global warming has prompted a quest for alternatives. Renewable energy stands out as a highly sustainable and increasingly favoured substitute for fossil fuels (natural gas, oil, and coal) (Hasanuzzaman *et al.*, 2017). And it is also widely recognized as environmentally friendly sources of energy that can play a crucial role in mitigating environmental damage and averting future disasters (Nematollahi *et al.*, 2016). Today, the global energy landscape is undergoing a new phase of transformation and adaptation (Li *et al.*, 2022). While in southeast Asian countries abound with abundant renewable energy sources, including solar energy, wind power, geothermal energy, hydropower, biomass, kinetic energy of streams and waves, and the power of sea waves (Mamat *et al.*, 2019). The promotion of the development and use of renewable energy has emerged as a globally accepted agreement and collaborative effort among countries around the world (Xu *et al.*, 2019).

By investing in renewable energy sources has a positive impact on poverty reduction, productivity in industry, transportation, rural development, health protection, and the promotion of sustainability and environmental quality (Hostettler, 2015). Therefore, it should be used with full effectiveness, minimal ecological impact, and at the most economical cost (Abeykoon *et al.*, 2021). According to projections, renewable energy is expected to provide 66% of the world's energy needs by 2050. This will have a substantial impact on decreasing greenhouse gas emissions and will contribute to keeping the global surface temperature increase below 2°C. It is projected that the proportion of renewable energy in the overall primary energy supply will rise from 14% in 2015 to 63% in 2050, representing a sixfold growth. This will lead to a substantial reduction in the use of fossil fuels, decreasing from 86% to 37%. By 2050, the power sector, specifically wind and solar technologies, will experience a significant rise of eight times in renewable energy capacity. Renewable sources will contribute to 85% of electricity generation (Gielen *et al.*, 2019).

Wind energy can be utilized either directly as mechanical power or indirectly by converting the wind's kinetic energy into electrical energy. The central component of any wind energy system is the wind turbine, which converts wind energy into mechanical power that can be harnessed for various purposes. Wind turbines for energy generation were first developed in the early 20th century (Kumar *et al.*, 2016). Interestingly, Ibu Kota Nusantara (IKN), Indonesia, is expected to become the capital of Indonesia with an attention on green development and long-term sustainability, even though there are currently low of wind plant site in the region. This aligns with the Indonesian government's goals of advancing environmental preservation and promoting activities related to renewable energy. With the ongoing expansion and urbanisation of IKN, which aims to establish itself as a capital city, it has a significant potential to incorporate renewable energy sources, specifically wind power, into its infrastructure. By integrating wind farms into IKN's energy portfolio, the city may actively contribute to the reduction of carbon emissions and the mitigation of climate change. Additionally, this initiative will demonstrate the city's dedication to sustainable development at both national and global levels. This research was built to create a spatial model by combining a two-level holistic methodology: (1) multiple-criteria decision-making (MCDM) known as the Analytical Hierarchy Process (AHP), and (2) Geographic Information System (GIS) evaluation. This combined approach enables a comprehensive evaluation using the AHP algorithm in GIS to address complex decision-making problems related to the selection of wind farm site in IKN.

This research was built to create a spatial model that aims to select a suitable site for a wind power plant in IKN. This process incorporates a two-stage holistic methodology, including MCDM through AHP and GIS evaluation. Initially, relevant criteria were identified, including Wind Speed Data, Distance to settlements, Distance from power lines, Distance from rivers, Distance from road networks, and Slope, which were then hierarchically structured. Then, GIS data related to wind speed, topography, infrastructure network, land use and environmental factors were collected and pre-processed for analysis. Through overlay and weighted overlay analysis in a GIS framework, spatial layers are combined and weighted based on priority weights obtained from the AHP process. The combination of these methods leads to a detailed map showing the best places to

build a wind power plant. This helps decision makers understand how different factors affect where they should place wind power plants in IKN, and how it can affect people and the economy.

METHOD

Study Area and Data

In 2022, the new capital will be officially named Nusantara or Ibu Kota Nusantara (IKN), and it is scheduled to be inaugurated in 2024. The zero Point (Core Area) of IKN is at 0° 58' 22.72761" S 116° 42' 31.79704" E. This new capital city is located approximately at coordinates as follows: To the north, lie the coordinates 00°38'20.578" S latitude and 117°00'20.102" E longitude. To the east, the coordinates are 01°06'32.773" S latitude and 117°18'25.590" E longitude. On the west side, the coordinates are 01°00'14.822" S latitude and 116°31'31.180" E longitude. Finally, to the south, the coordinates are 01°15'31.780" S latitude and 117°11'51.546" E longitude. To the south, the city is bordered by Penajam Subdistrict, North Penajam Paser Regency, Teluk Balikpapan; West Balikpapan Subdistrict; North Balikpapan Subdistrict; and East Balikpapan Subdistrict, Balikpapan City. It shares its western border with Loa Kulu Subdistrict, Kutai Kartanegara Regency; and Sepaku Subdistrict, North Penajam Paser Regency. In the north, it is adjacent to Loa Kulu Subdistrict, Loa Janan Subdistrict, and Sanga-Sanga Subdistrict in Kutai Kartanegara Regency. Lastly, its eastern boundary is defined by the Makassar Strait **(Figure 1)**.

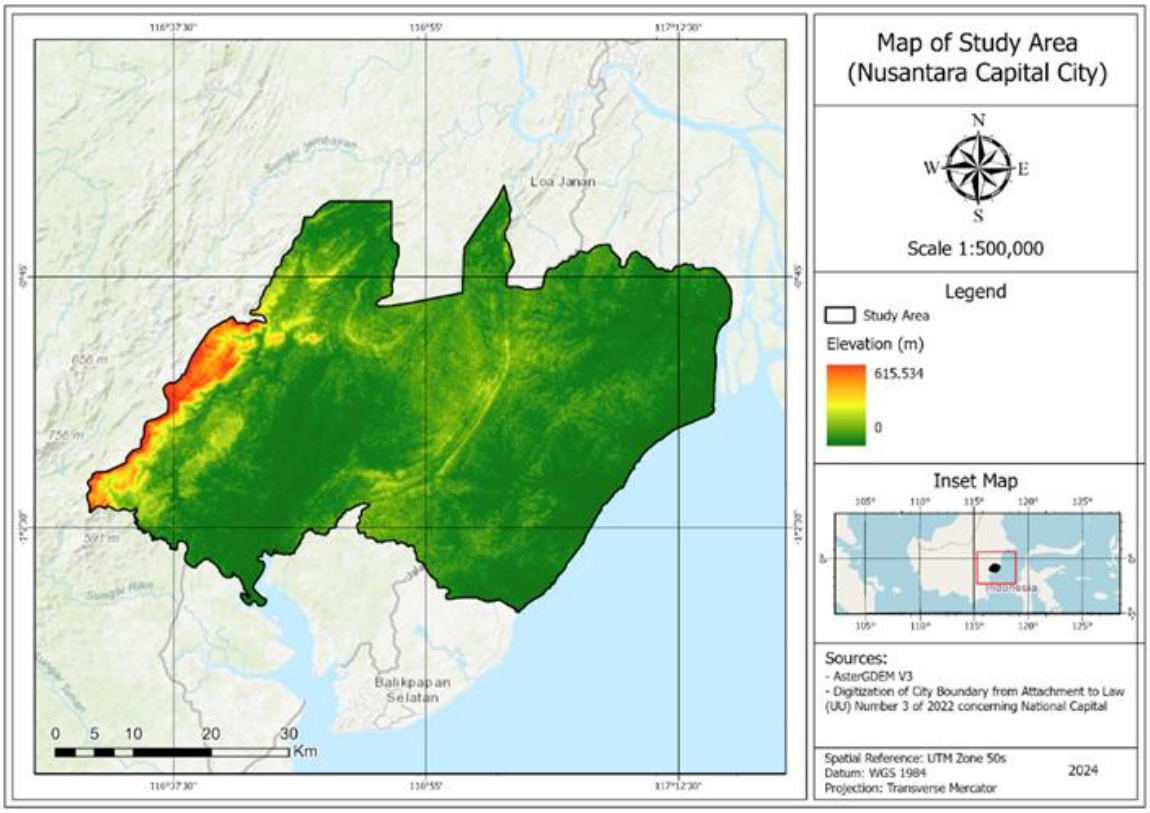


Figure 1. Nusantara or Ibu Kota Nusantara (IKN) located within the East Kalimantan.

The research combines data acquired from multiple agencies to conduct a thorough spatial analysis within the designated research area **(Table 1)**. These datasets collectively support the study's objectives by providing essential spatial information for analysis and modelling. The data was prepared using the ArcGis Pro 3.1 proprietary software, where further processing and adjustment were performed to align with the specific objectives of the study. Following this, the data that had been prepared underwent a conversion process into raster format, ensuring that the resolution remained consistent throughout the conversion process. The process of conversion made it easier to combine and examine different information in a raster based ArcGis environment. This allowed for the spatial analysis, modelling, and visualisation of the attributes and phenomena of IKN.

Table 1. Data sources and description for spatial analysis in the research area.

Data	Description	Source
Boundary	Digitization of IKN Boundary from Attachment to Law (UU) Number 3 of 2022 concerning National Capital	Attachment of Law (UU) Number 3 of 2022 concerning National Capital
Wind Speed	100m Mean wind speed data from Global Wind Atlas	https://globalwindatlas.info/en
Settlements	Derived from ESRI 10m 2022 LULC	https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer
Power Lines	ESDM Ministry One Map	https://geoportal.esdm.go.id/emo
River Network	Rupa Bumi Indonesia (RBI) from Indonesian Geospatial Agency	https://tanahair.indonesia.go.id/unduh-rbi/
Slope	Derived from AsterGDEM V3	https://search.earthdata.nasa.gov/search/
LULC	ESRI 10m 2022 LULC (From Sentinel-2)	https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer
Road Network	OpenStreetMap road network	https://www.openstreetmap.org/

Analytical Hierarchy Process (AHP)

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is widely recognized as a reliable, rigorous, and robust method for obtaining and quantifying subjective judgments in multi-criteria decision making (MCDM) (Tavana t al., 2023). In this study, we begin by establishing a robust hierarchy of criteria and sub-criteria essential to our decision-making framework, a fundamental step in using AHP. Through careful consideration, we identify key factors that are important to our site suitability assessment including wind speed, distance to settlements, distance from power lines, slope, distance to rivers, and land use. This hierarchical structuring ensures a comprehensive evaluation process, allowing us to systematically prioritize factors that are important to our site suitability analysis. Second, the decision maker, often a domain expert, conducts a pairwise comparison of the elements at each level of the hierarchy to determine their relative importance. This comparison is made based on a nine-point scale, considering the goal of the decision **(Table 2)**. Lastly, pairwise comparisons are then conducted for each factor within the corresponding level. These comparisons result in several comparisons arranged above the principal diagonal of a square matrix, where the diagonal entries are one. The entries below the principal diagonal are reciprocals of the entries above, ensuring consistency in the comparisons. In practical applications, these comparisons help build positive reciprocal decision matrices known as 'pairwise comparison matrices' or 'judgment matrices'.

Table 2. AHP Pairwise Comparison Scale.

Weight	Definition
1	Equal importance
3	Weak importance of one over other
5	Essential or strong importance
7	Very strong importance
9	Absolute importance
2, 4, 6, 8	Intermediate values between the two adjacent judgments
Reciprocals of previous values	If factor *'i'* is assigned one of the previously mentioned numbers when compared to factor *'j'*, then factor *'j'* has the reciprocal value when compared to factor *'i'.*

Source: Darko et al. (2019)

RESULTS AND DISCUSSIONS

Wind Speed (m/s)

Through GIS analysis, the wind speed distribution across the IKN was determined, with measurements taken at 100 meters above sea level. The results show variations in wind speed across the region, ranging from below 1.75 m/s to above 3.5 m/s. Most areas exhibit wind speeds in the moderate suitable range (>1.75-3.5 m/s), with sporadic pockets of higher wind speeds **(Figure 2(a))**. Areas identified with wind speeds exceeding 3.5 m/s are mainly concentrated in certain areas in IKN. These zones are usually located along coastal areas or in elevated areas,

where wind flow dynamics are conducive to higher speeds. Factors that contribute to the suitability of this area include topography, proximity to bodies of water and the absence of obstructions. Most of the IKN's capital falls into this category, offering moderate conditions suitable for wind power generation at an altitude of 100 meters. These areas show sufficient wind speeds for efficient wind energy production but may require optimized turbine placement and design to maximize output. Wind power generation requires a reliable wind source, and wind speed serves as a crucial indicator of regional wind potential (Zhou *et al.*, 2024). Jangid *et al.* (2016) have identified wind speed as the most critical factor for wind farms and the turbine requires a minimum wind speed of 3m/s to operate effectively.

Distance from Settlements (km)

Area located more than 7.5km from the settlement is considered the most suitable for the development of wind energy farms **(Figure 2(b))**. These locations offer minimal impact on residential areas, due to their relative distance, thus reducing the potential for conflict with the community. To reduce the environmental impact, it is recommended to maintain an optimal distance of up to 7.5km between wind power plants and settlement (Tercan, 2021). While sites located less than 2.5km from settlements are considered unsuitable for wind farm development due to their proximity, which increases the possibility of negative impacts such as noise disturbance, visual intrusion, and potential health concerns for nearby residents. Therefore, this area needs to be exempted from consideration to maintain the well-being of the community and minimize conflict. Wind turbines should be situated at least 2 km away from residential areas, or alterations should be made to house construction to mitigate any potential interference (Nazir *et al.*, 2019).

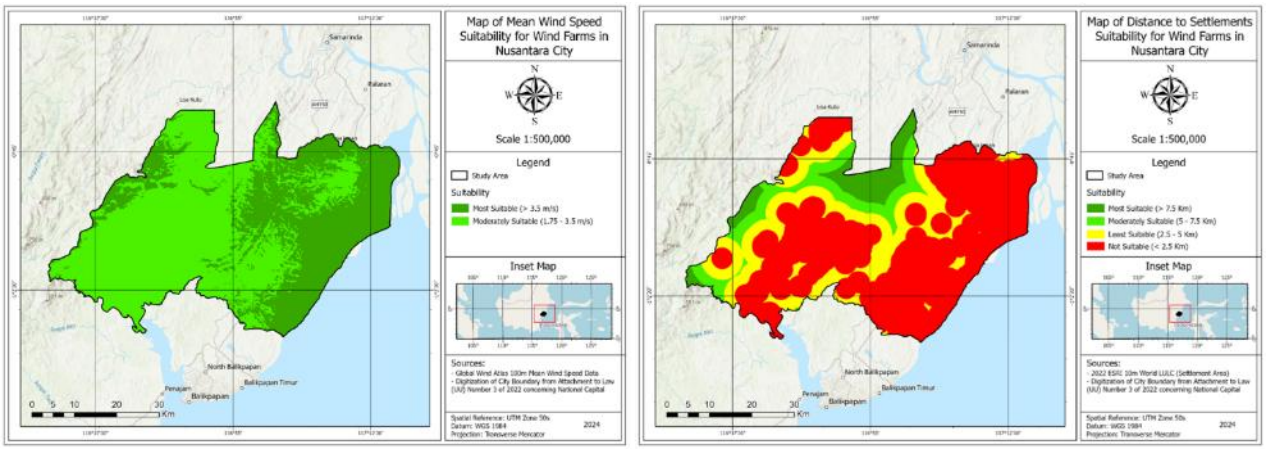


Figure 2. a) Mean wind speed suitability for wind farms in IKN; **b)** Distance to settlements suitability for wind farms in IKN.

Distance from Power Lines (km)

Sites within < 1.67 km from power lines has the highest suitability for wind farm in IKN. Their proximity to power lines facilitates efficient electricity transmission, thereby minimizing energy loss and reducing infrastructure costs **(Figure 3(a))**. These sites offer optimal conditions for seamless integration into the existing power grid network. In this study, we determined that locations located within > 5 km from existing power lines are considered unsuitable due to several factors. First, such locations may lack easy access to essential infrastructure such as roads, transmission facilities and water sources, which are essential for the efficient operation of wind farms. Being further away from power lines can result in increased costs associated with connecting wind power plants to the electricity grid, thus reducing economic viability since IKN is a new city to be developed and there are still many facilities that need to be built and improved. It is suggested that wind farms should be located closer to transmission lines, usually between 250 and 5,250 meters, to minimize the need to build new transmission lines and reduce costs (Baffoe & Sarpong, 2016; Noorollahi *et al.*, 2016).

Slope (°)

This study identified areas with slopes of < 10° as the most suitable for wind farm development **(Figure 3(b))**. This area provides good conditions for the installation and operation of wind turbines, ensuring stable and efficient energy generation. Jangid *et al.* (2016) categorized slopes less than 10% as highly suitable and slopes exceeding 34% as low suitable for wind farm site selection. Areas characterized by slopes between 10°-20° are not recommended (least suitable) since Ayodele *et al.* (2018) in their study stated that only areas with a gradient below 15% are suitable. Although not completely prohibited, the establishment of wind farms in the least suitable areas may require extensive mitigation measures and incur higher investment costs. Thus, in the study conducted by Yildiz (2024), areas with slopes exceeding 30% were assigned a score of 0, while those with slopes below 6% received the highest score of 5, indicating their suitability for wind farms. In this study we considered slope higher than 30° are not suitable for wind farm because slopes greater than 25% are considered unsuitable due to the potential challenges they pose for installation and maintenance. Therefore, such sites are usually excluded from consideration in wind farm projects (Latinopoulos & Kechagia, 2015).

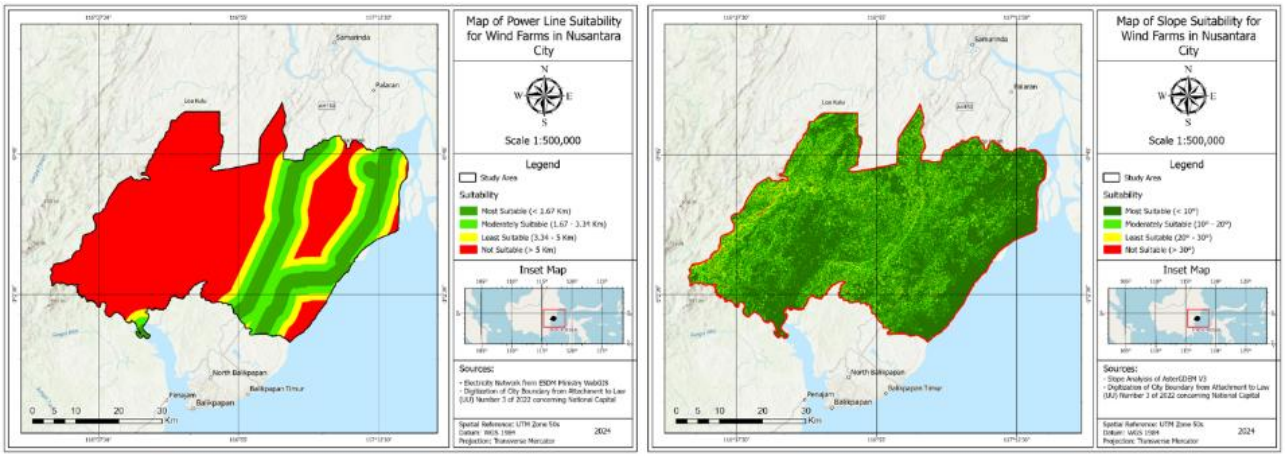


Figure 3. a) Power lines suitability for wind farms in IKN; **b)** Slope suitability for wind farms in IKN.

Distance from Rivers (km)

In this study areas located more than 0.6 km from the river appear to be the most suitable, offering optimal conditions for wind energy generation characterized by consistent wind patterns and minimal interference from the surrounding geography **(Figure 4(a))**. Previous study also shows that the areas exceed 600 m from water bodies are considered suitable for the construction of wind farms, while a minimum distance of 300 m from water bodies is recommended to avoid negative impacts on renewable energy projects (Benti *et al.*, 2023). Conversely, areas located < 0.2 km from the river are considered unsuitable for establishing wind farms. Water bodies including rivers, are often unsuitable for wind farms due to several factors. First, it can disrupt wind patterns, affecting the efficiency and stability of the turbine. Second, building turbines near bodies of water can harm aquatic ecosystems and wildlife habitats. Finally, safety concerns arise during construction, maintenance, and operation, exacerbated by noise and flicker effects that may disturb nearby residents (Cunden *et al.*, 2020).

Distance from Road Networks (km)

The study found thet sites located at less than 1.67 km from the road network were considered the most suitable **(Figure 4(b))**. As in study by Ayodele *et al.* (2018) when the location is situated at a distance ranging from 0.5 km to 5 km from roads networks it can be important for accessibility and logistics. This location provides advantageous access to transportation infrastructure, streamlining logistics operations across the various phases of wind farm development, including construction, maintenance, and repair. Conversely, areas located beyond the 5 km threshold from the road network are classified as unsuitable for the

establishment of wind farms. Relative distance from transportation infrastructure makes this location impractical or economically unviable for wind farm development and operation. Wind farm planning must consider economic viability in terms of grid proximity, wind availability and road access while minimizing social and environmental impacts (Latinopoulos & Kechagia, 2015).

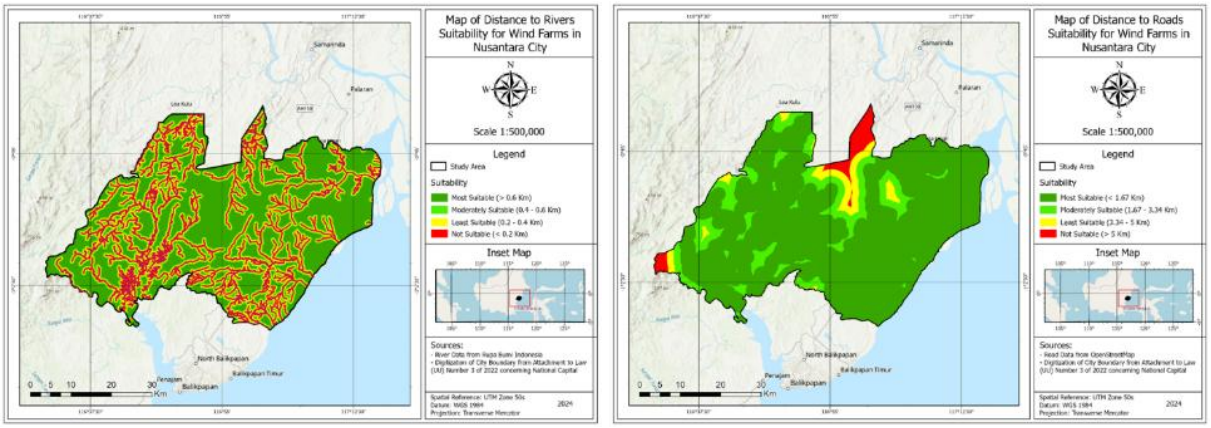


Figure 4. a) Distance to rivers suitability for wind farms in IKN; **b)** Distance to roads suitability for wind farms in IKN

Land Use Land Cover (LULC)

The study findings show that in IKN, certain land cover types show varying levels of suitability for wind farm sites. Bare land and Grasslands emerge as the most favourable environments due to their openness and minimal obstructions, offering optimal conditions for efficient wind energy generation. In the study by Deng *et al.* (2011) on wind farm siting in China, grasslands emerge as favourable locations for wind farm development (approximately 40%) because it can provide abundant open space, minimizing land use conflicts and facilitating construction. Additionally, the flat terrain of grasslands simplifies various aspects of wind farm operations, including equipment transportation, site construction, and maintenance, thus enhancing the economic viability of wind power projects in these areas. In addition, water bodies and built-up areas are considered unsuitable for wind farms due to significant obstacles such as buildings and infrastructure, as well as low wind speeds over water bodies, which prevent efficient wind energy production **(Figure 5)**. Sites where wind turbines would interfere with current land use, such as airports and urban areas, are identified as unsuitable for wind turbine installation (Van Haaren & Fthenakis, 2011).

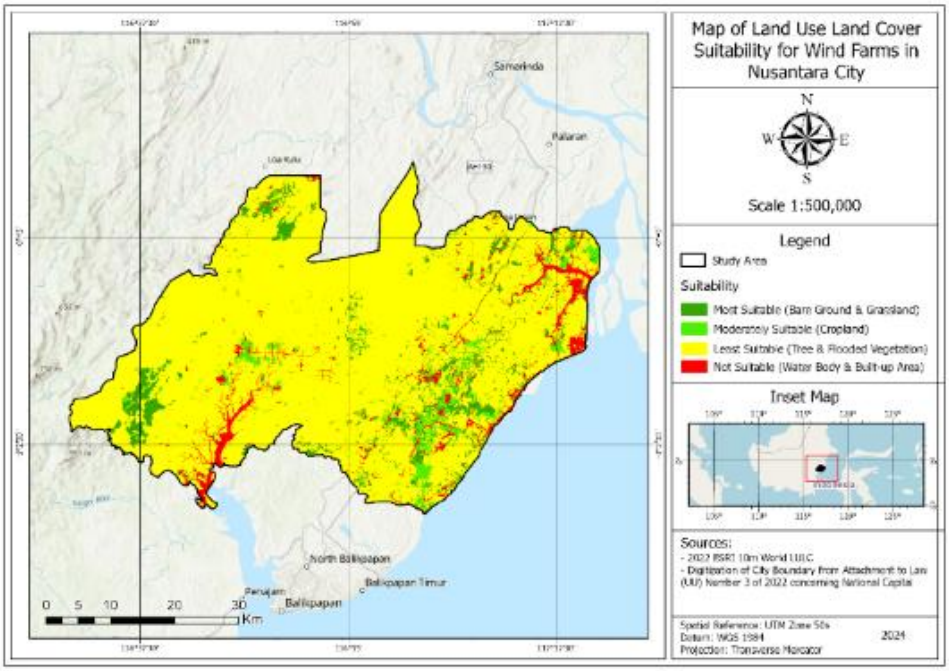


Figure 5. Land Use Land Cover suitability for wind farms in IKN

Final Map of Suitability of Wind Farm

AHP analysis that has been done in the previous research by Benti et al (2023) was employed for this study. In particular, the wind speed criterion variable received the highest weight value of 43.29%, which is aligning with the other similar research conducted in Iran by Shorabeh *et al.* (2022). On the other hand, residential proximity and slope were found to have little influence on the establishment of wind farms, each with a weight of 5% **(Table 3)**. Since the AHP analysis has been tested and acquired a satisfying consistency ratio (CR) of 0.06 which is deemed acceptable as it has a value below 0.10, we aim to test the AHP framework in other study areas, namely IKN to assess which area of the new capital city is suitable for wind farms.

Table 3. Weight results for each parameter.

Parameter	AHP (%)	Weighted Overlay (%)
Mean wind speed	43.29	43
Distance to power line (HVDC)	19.75	20
Distance to road networks	13.57	14
Distance to settlement	4.76	5
Slope	5.32	5
Distance to River	6.87	7
LULC	6.44	6

Combining the criterion's weight by Benti *et al.* (2023) and weighted overlay union tools within ArcGIS Pro, the final map of the suitability of wind farms was created. The final suitability map is divided into four different classes **(Table 4)**:

Table 4. Suitability Classes of Final Map of Wind Farm Suitability in IKN.

Class	Suitability Classes	Area (Km^2)	%
1	Most Suitable	353.23	13.78
2	Moderately Suitable	742.57	28.98
3	Least Suitable	1359.10	53.04
4	Not Suitable	107.61	4.20

The "most suitable" and "moderately suitable" classes respectively cover 13.78% (353.23 km^2) and 29.98% (742.57 km^2) of the IKN area **(Table 4)**. Those two are among the classes which are deemed to be suitable to build wind farms. The geographical distribution of the "most suitable" and "moderately suitable" are mostly in the eastern part of IKN, aligning with the result of wind speed and power line suitability for wind farm maps. The geographical distribution for those two less suitable classes is mostly located in the western area of IKN which happened to be the core area of IKN in the future. This result aligned with the characteristics of the less suitable area where it has unsuitable terrain for wind farm installation (relatively high slope and dominated by trees) with no high voltage power line and less wind speed as can be seen in previous discussions **(Figure 6)**.

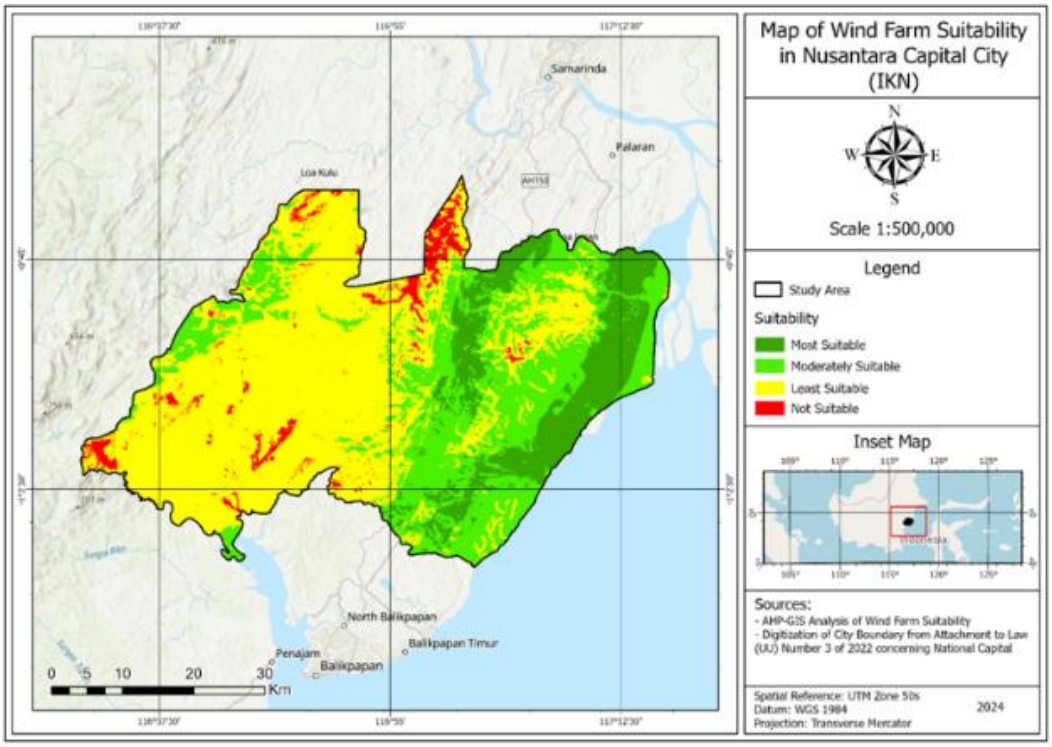


Figure 6. Final suitability map for wind farm site in IKN.

CONCLUSION

Our study found that IKN possesses remarkable suitability to build wind farms with the evidence of the scientific AHP-GIS generated result showing that 13.78% (353.23 km^2) and 29.98% (742.57 km^2) of IKN area are respectively covered by "most suitable" and "moderately suitable" classes. Those two are among the classes which are deemed to be suitable to build wind farms. While in contrast, the "least suitable" and "not suitable" classes cover respectively 53.04% (1359.10 km^2) and 4.20% (107.61 km^2). Thus, by focusing on the area that exhibits a higher level of appropriateness, hopefully, the government will be able to install wind farms with the highest efficiency and performance to support the development of IKN. There are 13.78% (353.23 km^2) and 29.98% (742.57 km^2) of IKN area are respectively covered by "most suitable" and "moderately suitable" classes. While in contrast, the "least suitable" and "not suitable" classes cover respectively 53.04% (1359.10 km^2) and 4.20% (107.61 km^2).

ACKNOWLEDGEMENT

We extend our gratitude to institutions that have provided us with the open data, namely Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), the Indonesian Geospatial Agency, NASA, the Technical University of Denmark, and OpenStreetMap. Their contributions greatly enriched our xresearch, and we are grateful for their support.

REFERENCES

Abeykoon, C., McMillan, A., & Nguyen, B. K. (2021). Energy efficiency in extrusion-related polymer processing: A review of state of the art and potential efficiency improvements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *147*, 111219. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111219.

Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S. O., Odigie, O., & Munda, J. L. (2018). A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. *Applied energy*, *228*, 1853-1869. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.051.

Baffoe, P. E., & Sarpong, D. (2016). Selecting suitable sites for wind energy development in Ghana. *Ghana Mining Journal*, *16*(1), 8-20. https://doi.org/10.4314/gmj.v16i1.2.

Benti, N. E., Alemu, Y. B., Balta, M. M., Gunta, S., Chaka, M. D., Semie, A. G., ... & Yohannes, H. (2023). Site suitability assessment for the development of wind power plant in Wolaita area, Southern Ethiopia: an AHP-GIS model. *Scientific Reports*, *13*(1), 19811. https://doi.org/10.1038/s41598-023-47149-x.

Cunden, T. S., Doorga, J., Lollchund, M. R., & Rughooputh, S. D. (2020). Multi-level constraints wind farms siting for a complex terrain in a tropical region using MCDM approach coupled with GIS. *Energy*, *211*, 118533. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118533.

Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., Owusu, E. K., Pärn, E., & Edwards, D. J. (2019). Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. *International journal of construction management*, *19*(5), 436-452. https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452098.

Deng, Y., Yu, Z., & Liu, S. (2011). A review on scale and siting of wind farms in China. *Wind energy*, *14*(3), 463-470. https://doi.org/10.1002/we.427.

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy strategy reviews*, *24*, 38-50. https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006.

Hasanuzzaman, M., Zubir, U. S., Ilham, N. I., & Seng Che, H. (2017). Global electricity demand, generation, grid system, and renewable energy polices: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, *6*(3), e222. https://doi.org/10.1002/wene.222.

Hostettler, S. (2015). Energy challenges in the Global South. In *Sustainable Access to Energy in the Global South: Essential Technologies and Implementation Approaches* (pp. 3-9). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20209 -9_1.

Jangid, J., Bera, A. K., Joseph, M., Singh, V., Singh, T. P., Pradhan, B. K., & Das, S. (2016). Potential zones identification for harvesting wind energy resources in desert region of India–a multi criteria evaluation approach using remote sensing and GIS. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *65*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.078.

Kumar, Y., Ringenberg, J., Depuru, S. S., Devabhaktuni, V. K., Lee, J. W., Nikolaidis, E., ... & Afjeh, A. (2016). Wind energy: Trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *53*, 209-224. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.200.

Latinopoulos, D., & Kechagia, K. (2015). A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. *Renewable Energy*, *78*, 550-560. https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.041.

Li, L., Lin, J., Wu, N., Xie, S., Meng, C., Zheng, Y., ... & Zhao, Y. (2022). Review and outlook on the international renewable energy development. *Energy and Built Environment*, *3*(2), 139-157. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.002.

Mamat, R., Sani, M. S. M., Khoerunnisa, F., & Kadarohman, A. (2019). Target and demand for renewable energy across 10 ASEAN countries by 2040. *The Electricity Journal*, *32*(10), 106670. https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106670.

Nazir, M. S., Mahdi, A. J., Bilal, M., Sohail, H. M., Ali, N., & Iqbal, H. M. (2019). Environmental impact and pollution-related challenges of renewable wind energy paradigm–a review. *Science of the Total Environment*, *683*, 436-444. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.274.

Nematollahi, O., Hoghooghi, H., Rasti, M., & Sedaghat, A. (2016). Energy demands and renewable energy resources in the Middle East. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 1172-1181. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.058.

Noorollahi, Y., Yousefi, H., & Mohammadi, M. (2016). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 13,* 38-50. https://doi.org/10.1016/j.seta.2015.11.007.

Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., Firozjaei, M. K., Jelokhani-Niaraki, M., Homaee, M., & Nematollahi, O. (2022). The site selection of wind energy power plant using GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *168*, 112778. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112778.

Tavana, M., Soltanifar, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2023). Analytical hierarchy process: revolution and evolution. *Annals of operations research*, *326*(2), 879-907. https://doi.org/10.1007/s10479-021-04432-2.

Tercan, E. (2021). Land suitability assessment for wind farms through best-worst method and GIS in Balıkesir province of Turkey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101491. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101491.

Van Haaren, R., & Fthenakis, V. (2011). GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and sustainable energy reviews*, *15*(7), 3332-3340. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.010.

Xu, X., Wei, Z., Ji, Q., Wang, C., & Gao, G. (2019). Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures. *Resources Policy*, *63*, 101470. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470.

Yildiz, S. S. (2024). Spatial multi-criteria decision making approach for wind farm site selection: A case study in Balıkesir, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *192*, 114158. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114158.

Zhou, J., Liu, D., Sha, R., Sun, J., Wang, Y., & Wu, Y. (2024). Geospatial simulation and decision optimization towards identifying the layout suitability and priority for wind-photovoltaic-hydrogen-ammonia project: An empirical study in China. *Energy*, *286*, 129489. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129489.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

STRATEGI PENGELOLAAN PANGAN BERKELANJUTAN PROVINSI KALIMANTAN TIMUR UNTUK MENDUKUNG KETAHANAN PANGAN IBU KOTA NUSANTARA

(*Sustainable Food Management Strategy of East Kalimantan Province to Support The Food Security of The Nusantara Capital City*)

Aryana Rachmad Sulistya dan Sri Ayu Purba Sari
Program Studi Geografi, Institut Teknologi PLN

Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat Lantai 2, Kota Jakarta Barat 11750
E-mail: aryana.rachmad@itpln.ac.id

ABSTRAK

Setiap negara berupaya mencukupi kebutuhan pangan masyarakatnya, termasuk Indonesia yang memiliki komitmen mewujudkan 17 target *Sustainable Development Goals* (SDGs) terutama pada pilar kedua, yaitu *zero hunger* (tanpa kelaparan). dalam mewujudkan hal ini tidaklah mudah, karena jumlah penduduk yang cukup banyak, perubahan iklim, degradasi lahan dan air, dan tensi politik. Penelitian ini bertujuan untuk: 1) Melakukan pemetaan ketahanan pangan di Provinsi Kalimantan Timur; 2) Menganalisis strategi pengelolaan pangan Provinsi Kalimantan Timur untuk mendukung ketahanan pangan Ibu Kota Negara "Nusantara" (IKN); 3) menganalisis usulan dan rekomendasi untuk keberhasilan ketahanan pangan IKN. Sumber data utama menggunakan Indeks Ketahanan Pangan (IKP) dari Badan Pangan Nasional 2021-2022. Penelitian dilakukan dengan metode kualitatif dan kuantitatif (*mix method*). Penyajian data penelitian berupa peta dan tabular. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Provinsi Kalimantan Timur memiliki ketahanan pangan 2022 dengan IKP sebesar 77,6 (ketahanan pangan baik). Namun terdapat 2 dari 10 kota/kabupaten yang masih tergolong daerah ketahanan pangan agak rentan. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa strategi yang diperlukan Provinsi Kalimantan Timur dalam mendukung terwujudnya ketahanan pangan di IKN yaitu memperkuat sistem ketahanan pangan; meningkatkan dukungan untuk perlindungan pertanian; mempercepat pembangunan sistem sirkulasi dan industri pangan modern; subsidi pupuk petani daerah 3T (tertinggal, terdepan dan terluar); memperbanyak sumur bor untuk pengairan pertanian; melanjutkan program *Good Agricultural Practices* (GAP); pertanian berkelanjutan dengan teknologi tepat guna dan digitalisasi pertanian (*Smart Farming*);pembangunan infrastruktur pertanian; dan bantuan pembiayan KUR Tani dan asuransi petani saat gagal panen.

Kata kunci: ketahanan pangan, SDGs, pertanian, pemetaan, IKN

ABSTRACT

Every country strives to meet the food needs of its people, including Indonesia, which has a commitment to realizing 17 targets in the Sustainable Development Goals (SDGs) in the second pillar, namely zero hunger. In realizing this is not easy, because of the large population, climate change, land and water degradation, and political tensions. This study aims to: 1) mapping regional food security in East Kalimantan province; 2) analyzing the food security strategy of East Kalimantan province to support the food security of IKN "Nusantara"; 3) analyzing the proposals and recommendations for the success of food security IKN"Nusantara". The main data source uses the Food Security Index from the National Food Agency 2021-2022. The study was conducted by qualitative and quantitative methods (mix method). Presentation of research data in the form of maps and tabular. The results showed that East Kalimantan province has food security in 2022 with an IKP of 77.6 (good food security). However, there are 2 out of 10 cities/districts that are still classified as food security areas rather vulnerable. From this research, it is concluded that the strategies needed by East Kalimantan province in supporting the realization of food security in IKN "Nusantara" are: a) strengthening the Food Security System; b) increasing support for agricultural protection; c) accelerating the development of circulation systems and modern food industries; d) subsidizing fertilizer for 3T (lagging, leading and outermost) regional farmers; e) increasing drilling wells; f) continuing The Good Agricultural Practices (GAP) program; g) sustainable agriculture with appropriate technology and digitalization of Agriculture (Smart Farming); h) agricultural infrastructure development; and I) Assistance in financing farmer KUR and farmer insurance when crop failure.

***Keywords**: food security, SDGs, agriculture, mapping, IKN*

PENDAHULUAN

Pangan merupakan kebutuhan primer (pokok) yang wajib terpenuhi untuk setiap orang, baik secara kuantitas maupun kualitas yang berkaitan dengan gizi, keamanan, dan kesehatan. Pangan adalah kebutuhan dasar (*basic need*) yang harus tercukupi sehari-hari untuk kehidupan manusia. Sesuai Undang-undang Nomor 18 Tahun 2012 yang dimaksud pangan adalah segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati produk pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan, peternakan, perairan, dan air, baik yang diolah maupun tidak diolah yang dikonsumsi manusia, berupa makanan atau minuman. Pangan merupakan kebutuhan manusia yang paling mendasar, sehingga ketersediaannya bagi masyarakat harus terjamin dan menjadi kewajiban suatu negara, termasuk Indonesia. Sebagaimana diamanatkan dalam Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia tahun 1945, negara berkewajiban menjalankan kedaulatan pangan (*food right*) dan memenuhi kebutuhan pangan penduduk. Berdasarkan penelitian Chaireni *et al.* (2020) pembangunan dan pemenuhan kebutuhan pangan erat kaitannya dengan perwujudan ketahanan pangan yang bertujuan untuk mempertahankan hidup dan kehidupan masyarakat.

Ketahanan pangan merupakan suatu kondisi terpenuhinya pangan bagi negara sampai dengan perseorangan (individu), dapat dilihat dari tercukupinya pangan, baik kuantitas maupun kualitas (mutu), keterjangkauan, pemerataan pangan dengan tidak bertentangan dengan agama, budaya, keyakinan masyarakat dengan tujuan untuk kehidupan yang lebih sehat, aktif, produktif, dan berkelanjutan (Badan Pangan Nasional, 2022). Ketahanan pangan dikaji dengan melihat beberapa aspek dimensi, antara lain ketersediaan pangan (*food availability*), akses terhadap pangan (*food access*), pemanfaatan pangan (*food utilization*), dan kestabilitan bahan pangan (*food stability*) (Brief, 2006; Lawlis *et al.*, 2018; Lin & He, 2020). Program dari pemerintah yang dilaksanakan oleh Badan Pangan Nasional (2023), untuk pembangunan ketahanan pangan dilakukan secara sistemik dengan melibatkan lintas sektor. Pendekatan ini diarahkan untuk mewujudkan ketersediaan pangan melalui produksi pangan domestik dan perdagangan; tercapainya stabilitas ketersediaan dan akses pangan secara makro-meso dan mikro; tercukupinya kualitas (keragaman dan keamanan pangan) dan kuantitas konsumsi pangan.

Permasalahan ketahanan pangan menjadi perhatian dunia global, karena menjadi masalah utama yang harus segera mendapatkan solusi. Berdasarkan data IFPRI, Indonesia dikategorikan sebagai negara yang mengalami kelaparan tinggi dengan nilai indeks kelaparan global sebesar 22 (FAO, 2009), kondisi ini menunjukkan bahwa ketahanan pangan Indonesia sangat rendah. Indonesia terus berupaya memberikan solusi terhadap masalah ketahanan pangan masyarakatnya dengan berkomitmen mewujudkan 17 target *Sustainable Development Goals* (SDGs) khususnya pilar kedua, yaitu *zero hunger* (tanpa kelaparan). Penelitian sebelumnya (Fagi, 2013 dalam Chaerani *et al.*, 2020) menunjukkan bahwa rendahnya ketahanan pangan di Indonesia disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kondisi geografis Indonesia yang berupa kepulauan. Kondisi ini menyebabkan ketimpangan produksi, distribusi, dan penyerapan pangan antarprovinsi di Indonesia akibat perbedaan potensi sumber daya alam, sumber daya manusia, dan tingkat pembangunan antarprovinsi di Indonesia.

Ketahanan pangan di IKN menjadi isu strategis dan banyak komponen yang mempengaruhinya, seperti ketersediaan infrastruktur pembangunan ketahanan pangan masih terbatas, masih diperlukan kolaborasi pemerintah daerah dan pusat, dukungan dan keikutsertaan elemen masyarakat yang masih kurang. Berdasarkan hasil dari Kepala Otorita Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara, menunjukan bahwa kawasan pertanian tanaman pangan, perkebunan, hortikultura seluas 42.375,94 hektare. Wilayah IKN akan dihuni secara akan ada lebih dari 488 ribu jiwa di tahun 2024, tahun 2035 jumlah penghuni IKN melambung bertahap jumlahnya menjadi 1,452 ribu jiwa, dan di tahun 2045 atau akhir dari tahapan ketiga jumlah penduduknya mencapai 1,91 ribu jiwa. Kebutuhan pangan penduduk di IKN, seperti kebutuhan kalori membutuhkan antara 1,2 hingga 1,9 kkl/hari setiap orang, dengan asumsi 1.781,2 ton/tahun hingga 2.781,3 ton/tahun. dalam pemenuhan kebutuhan pangan IKN tersebut, tentu membutuhkan peran dari wilayah sekitarnya. Hal ini, dimana Provinsi Kalimantan Timur merupakan daerah penyangga utama yang diharapkan mampu menopang kebutuhan dasar (pangan) IKN.

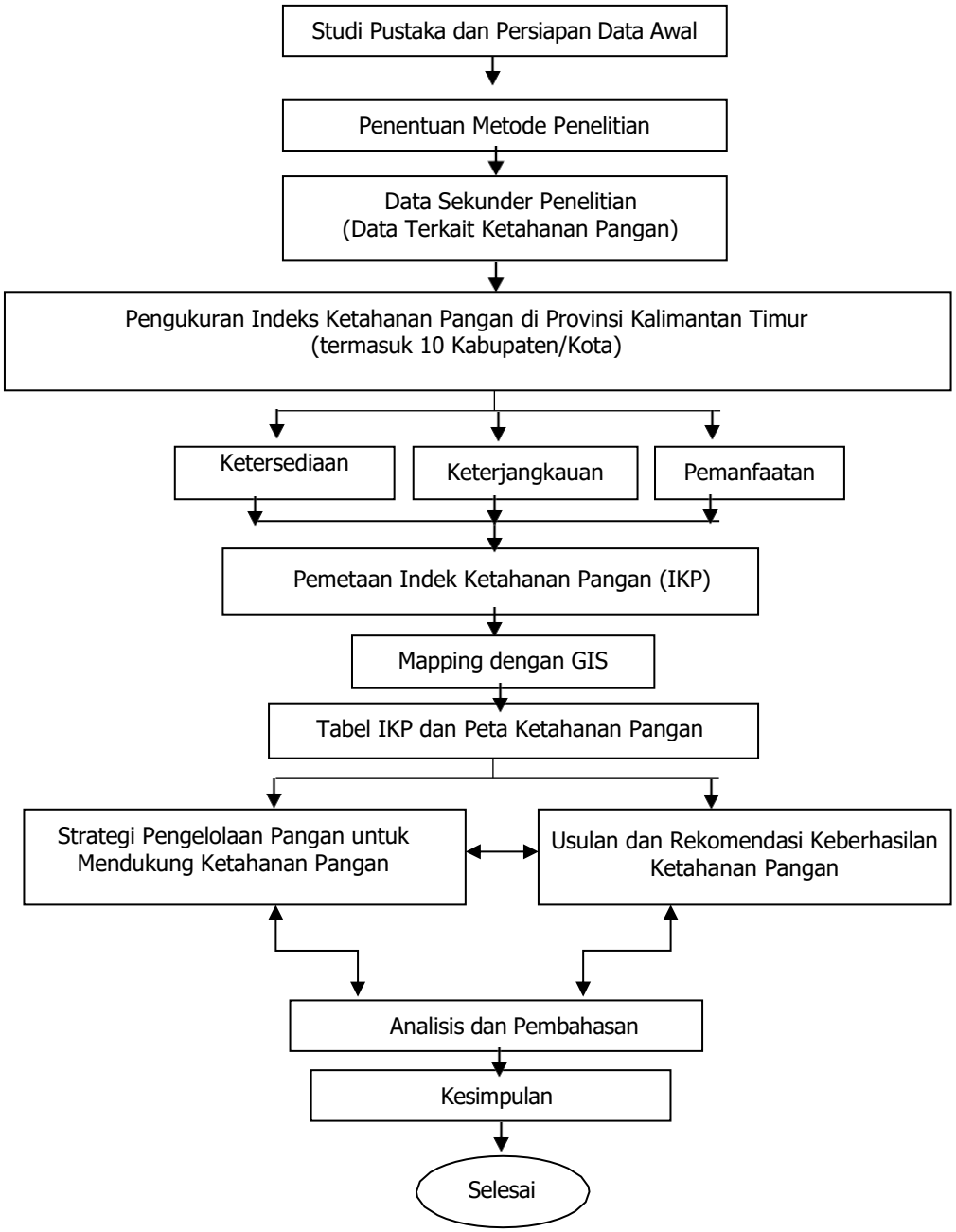
Berdasarkan penjelasan permasalahan yang telah dijabarkan sebelumnya, maka peneliti melakukan penelitian yang memiliki tujuan untuk: 1) Melakukan pemetaan ketahanan pangan

daerah di Provinsi Kalimantan Timur; 2) Menganalisis strategi pengelolaan pangan Provinsi Kalimantan Timur untuk mendukung ketahanan pangan IKN; 3) menganalisis usulan dan rekomendasi untuk keberhasilan ketahanan pangan IKN.

METODE

Penelitian dilakukan di Provinsi Kalimantan Timur yang memiliki luas 127.346,92 km^2 dan memiliki 10 kabupaten/kota yang terdiri dari Kabupaten Paser, Kabupaten Kutai Barat, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kabupaten Kutai Timur, Kabupaten Berau, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kabupaten Mahakam Ulu, Kota Balikpapan, Kota Samarinda, dan Kota Bontang.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah laptop untuk pengolahan data dan penulisan hasil penelitian, aplikasi *Geographic Information System* (GIS) untuk pemetaan, dan aplikasi Microsoft Excel untuk olah data tabular. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder dari instansi Badan Pangan Nasional. Dari alat dan bahan tersebut kemudian diolah dan menjadi sebuah data hasil penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Tahapan penelitian dimulai dengan studi pustaka dan persiapan data. Selanjutanya menentukan metode penelitian untuk mengukur Indeks Ketahanan Pangan (IKP) di Kabupaten/Kota yang berada Provinsi Kalimantan Timur. Tahapan olah data menggunakan data tabular dan aplikasi *Geographic Information System* (GIS) untuk pemetaan IKP. Selanjutanya di tahapan pembahasan dianalisis strategi pengelolaan pangan untuk ketahanan pangan dan rekomendasi keberhasilan ketahanan pangan. Selanjutnya dilakukan penyusunan kesimpulan dari penelian. Diagram penelitian tersebut tercantum pada **Gambar 1**.

Metode Penelitian dan Analisis Data

Sumber data penelitian ini diperoleh dari data sekunder dari data Indeks Ketahanan Pangan (IKP) Badan Pangan Nasional. Metode penelitian menggunakan metode gabungan (*mix method*) yaitu kombinasi kuantitatif dan kualitatif. Analisis data penelitian ini menggunakan hasil dari tabular Indeks Ketahanan Pangan (IKP) dan peta Indeks Ketahanan Pangan (IKP). Cara analisis data menggunakan data tabular Indeks Ketahanan Pangan (IKP) dan klasifikasi nilai Indeks Ketahanan Pangan (IKP) (terlampir **Tabel 1** Indikator Indeks Ketahanan Pangan (IKP) dan **Tabel 2** Klasifikasi Indeks Ketahanan Pangan).

Indeks Ketahanan Pangan (IKP) dilihat dari 3 aspek (Badan Pangan Nasional, 2022), yaitu ketersediaan pangan, keterjangkauan pangan, dan pemanfaatan pangan. Formulanya ditulis dalam **Persamaan 1** berikut.

$$IKP = (NKs \times Bobot\ NKs) + (NKj \times Bobot\ NKj) + (NPP \times Bobot\ NPP) \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
NKs : Nilai Aspek Ketersediaan Pangan
NKj : Nilai Aspek Keterjangkauan Pangan
NPP : Nilai Aspek Pemanfataan Pangan

Tabel 1. Indikator Indeks Ketahanan Pangan (IKP).

No	Indikator	Bobot
1.	Aspek Ketersediaan Pangan	0,30
2.	Aspek Keterjangkauan Pangan	0,30
3.	Aspek Pemanfataan Pangan	0,40

Sumber: Badan Pangan Nasional (2023), dengan modifikasi.

Dengan klasifikasi Indeks Ketahanan Pangan (IKP) berdasarkan sistematika Badan Pangan Nasional tahun 2023 sebagai berikut.

Tabel 2. Klasifikasi Indeks Ketahanan Pangan (IKP).

Kelompok IKP	Kabupaten	Kota	Provinsi
1	<= 41,52	<= 28,84	<= 37,61
2	> 41,52 – 51,42	> 28,84 – 41,44	> 37,61 – 48,27
3	> 51,42 - 59,58	> 41,44 - 51,29	> 48,27 – 57,11
4	>59,58- 67,75	> 51,29 - 61,13	> 57,11 – 65,96
5	> 67,75 - 75,68	> 61,13 - 70,64	> 65,96 – 74,40
6	> 75,68	> 70,64	> 74,40

Sumber: Badan Pangan Nasional (2022), dengan modifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

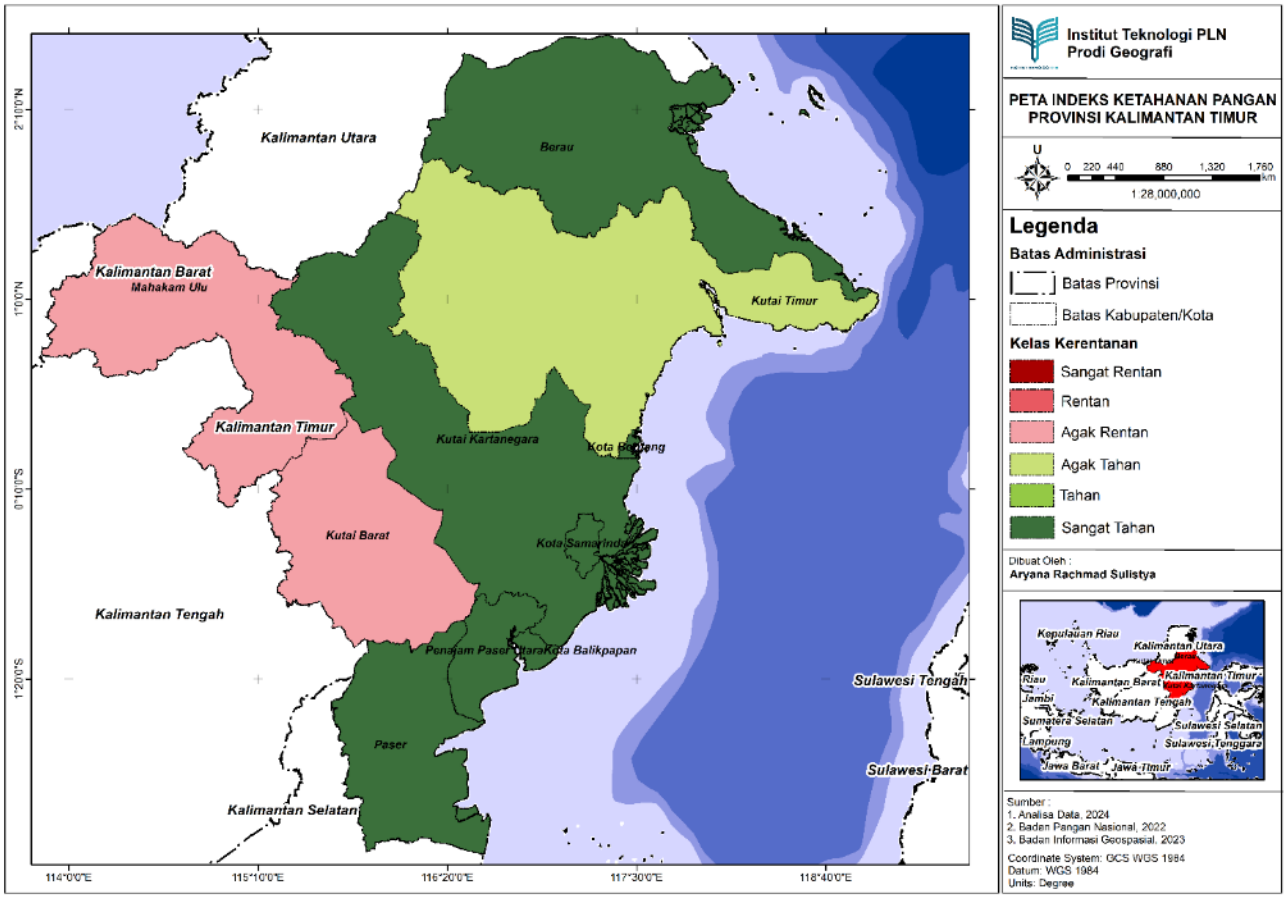
Pemetaan Indeks Ketahanan Pangan

Hasil penelitian (**Tabel 3** dan **Gambar 1**) menunjukkan bahwa Indeks Ketahanan Pangan Provinsi Kalimantan tahun 2021 sebesar 77,13 (kelas ketahanan pangan baik). Namun, jika dirinci terdapat 2 Kabupaten, yaitu Kabupaten Kutai Barat (IKP = 57,76) dan Kabupaten Mahakam Ulu (IKP = 52,75) yang termasuk dalam kelas ketahanan pangan agak rentan.

Tabel 3. Klasifikasi indeks ketahanan pangan provinsi 2021 berdasarkan kabupaten/kota.

Kabupaten/Kota	2021				
	Ketersediaan	Keterjangkauan	Pemanfaatan	IKP	Kelas Ketahanan Pangan
Paser	82,75	85,36	75,13	80,49	Paling Baik
Kutai Barat	5,72	86,56	75,18	57,76	Agak Rentan
Kutai Kertanegara	81,40	91,71	81,99	84,73	Paling Baik
Kutai Timur	30,53	86,26	77,87	66,19	Agak Baik
Berau	86,54	94,40	81,22	86,77	Paling Baik
Penajam Paser Utara	88,95	89,88	81,49	86,25	Paling Baik
Mahakam Ulu	0,00	82,07	70,32	52,75	Agak Rentan
Kota Balikpapan	0,00	98,01	81,06	88,69	Paling Baik
Kota Samarinda	0,00	89,13	79,29	83,72	Paling Baik
Kota Bontang	0,00	93,41	82,18	87,23	Paling Baik
Kalimantan Timur	62,65	89,679	78,573	77,13	Baik

Sumber: Badan Pangan Nasional (2022), dengan modifikasi.



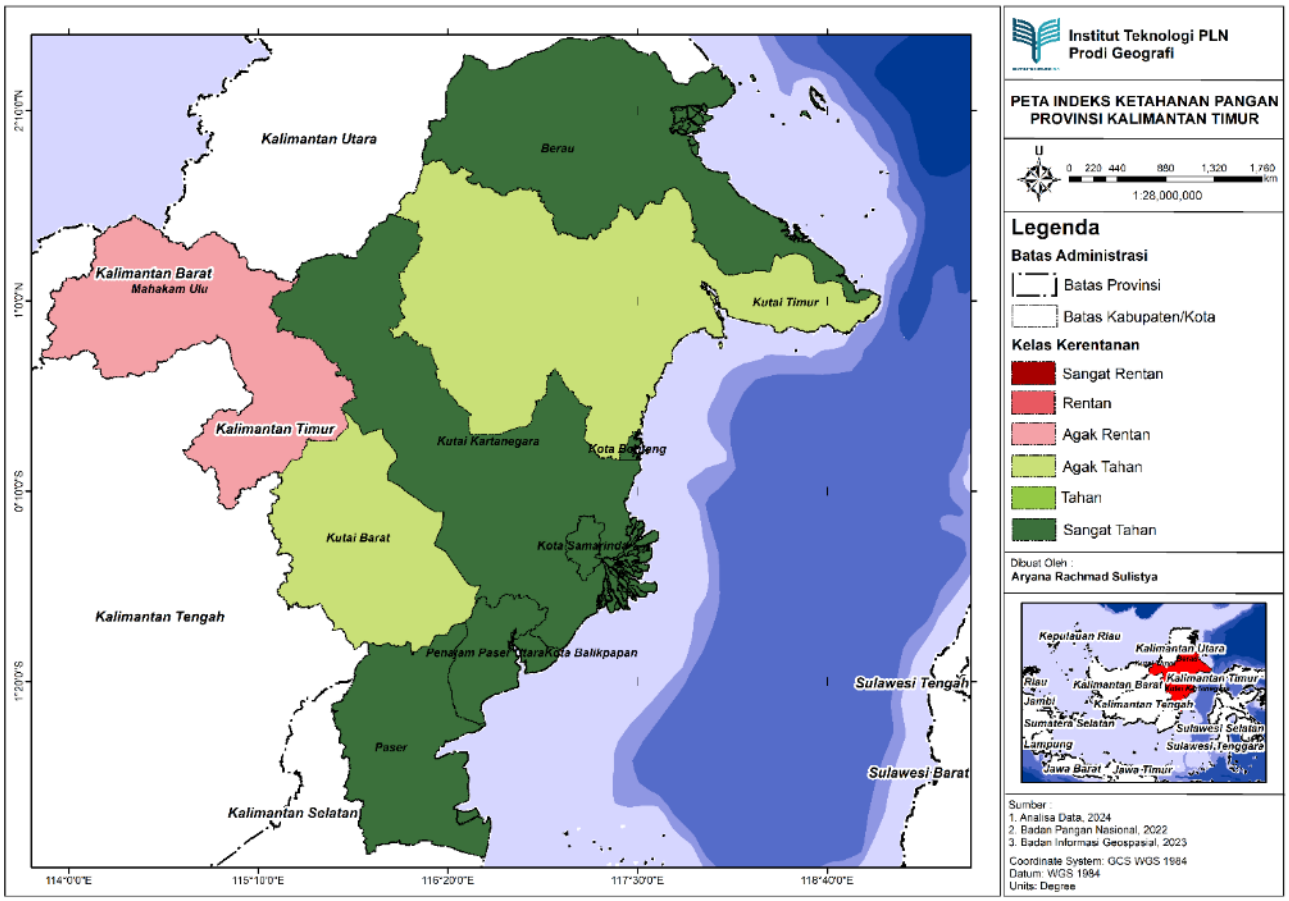
Gambar 1. Peta indeks ketahanan pangan Provinsi Kalimantan Timur 2021 berdasarkan kabupaten/kota.

Sedangkan Indeks Ketahanan Pangan (IKP) Provinsi Kalimantan tahun 2022 (**Tabel 4** dan **Gambar 2** menunjukkan bahwa Kalimantan Timur memiliki IKP sebesar 77,65 (kelas ketahanan pangan baik), terdapat sedikit peningkatan dari tahun 2021. Hal ini menunjukkan bahwa Kalimantan Timur ketahanan pangan baik, yang berarti Kalimantan Timur masih mampu mencukupi (tahan) kebutuhan pangannya. Jika melihat pada masing-masing hasil IKP kabupaten/kota. Namun, jika dirinci terdapat perbaikan dari tahun sebelumnya, hanya 1 Kabupaten, yaitu Kabupaten Mahakam Ulu (IKP = 53,29) yang termasuk dalam kelas ketahanan pangan agak rentan.

Tabel 4. Klasifikasi indeks ketahanan pangan provinsi 2022 berdasarkan kabupaten/kota.

Kabupaten/Kota	2022				
	Ketersediaan	Keterjangkauan	Pemanfaatan	IKP	Kelas Ketahanan Pangan
Paser	83,25	88,03	75,94	81,76	Paling Baik
Kutai Barat	28,84	87,63	80,00	66,94	Agak Baik
Kutai Kertanegara	79,63	91,36	82,86	84,44	Paling Baik
Kutai Timur	3,95	87,85	81,37	60,09	Agak Baik
Berau	83,76	94,04	82,04	86,16	Paling Baik
Penajam Paser Utara	86,92	90,39	80,80	85,51	Paling Baik
Mahakam Ulu	0,00	82,97	71,00	53,29	Agak Rentan
Kota Balikpapan	0,00	97,13	83,20	89,47	Paling Baik
Kota Samarinda	0,00	92,11	78,56	84,66	Paling Baik
Kota Bontang	0,00	91,19	78,49	84,21	Paling Baik
Kalimantan Timur	62,5	90,27	79,426	77,65	Baik

Sumber: Badan Pangan Nasional (2022), dengan modifikasi.



Gambar 2. Peta indeks ketahanan pangan Provinsi Kalimantan Timur 2022 berdasarkan kabupaten/kota.

Strategi Pengelolaan Pangan

Hasil perhitungan Indeks Ketahanan Pangan Provinsi Kalimantan Timur 2021 dan 2021 berdasarkan Kabupaten/Kota dapat dijadikan acuan dalam menyusun strategi pengelolaan pangan Provinsi Kalimantan Timur untuk mendukung ketahanan pangan IKN adalah sebagai berikut :

a. Memperkuat Sistem Ketahanan Pangan

Ketahanan pangan menjadi kunci untuk menghadapi ancaman krisis pangan di masa depan. Tak terkecuali di Kalimantan Timur, sebagai Provinsi yang akan dijadikan lokasi ibukota baru Republik Indonesia, maka pembangunan kawasan IKN tentu akan mengurangi lahan pertanian disana. Untuk mewujudkan dan memperkuat sistem ketahanan pangan di Kalimantan Timur diperlukan kebijakan pemerintah pusat dan daerah dalam mendukung swasembada.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2023), masih ada sebanyak 3,46 persen penduduk Provinsi Kalimantan Timur dengan kerawanan pangan sedang atau berat pada tahun 2022. Selain itu, skor Pola Pangan Harapan (PPH) di Kalimantan Timur pada tahun 2022 sebesar 85,90 persen. Hal ini dapat diartikan bahwa konsumsi pangan di Kalimantan Timur sudah cukup beragam serta bergizi seimbang. Untuk mendukung perwujudan sistem ketahanan pangan perlu di wujudkan : 1. Sistem manajerial pengelolaan pangan (distribusi pangan masuk-keluar); 2. Sistem impor-ekspor sesuai dengan peraturan nasional kementerian pangan; dan 3. Memperdayakan dan memberikan akses produsen pertanian lokal untuk dapat akses dan berdaya saing tinggi;

b. Meningkatkan Dukungan untuk Perlindungan Pertanian

Dukungan perlindungan pertanian, salah satunya dapat di implementasikan dan perlu memperkuat program Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) untuk merencanakan pembangunan di Kawasan Kalimantan Timur. Tidak hanya rencana kebijakan dari pemerintah saja, namun petani juga perlu memperoleh garansi akan LP2B tersebut. Karena LP2B merupakan program yang mendukung bekerlanjutan pertanian, maka petani juga pantas mendapatkan hasil dari LP2B tersebut, dan bergaransi hasil pertaniannya bisa laku terjual di pasaran. Perlindungan lahan pangan berkelanjutan merupakan upaya yang tidak terpisahkan dalam rangka mengendalikan alih fungsi lahan yang semakin pesat. Tidak hanya secara perlindungan fisik (lahan pertanian) saja, namun diperlukan jaminan perlindungan sosial bagi petani, seperti jaminan hari tua petani, jaminan tunjangan surplus panen, dan pendidikan sertifikasi petani kejuruan. Jaminan hari tua petani dapat direncanakan sejak awal kali petani sebelum panen. Ketika surplus panen tentu akan memberikan keuntungan untuk Provinsi Kalimantan Timur, sehingga perlu di apresiasi dengan memberikan tunjangan surplus panen. Selain itu, petani diharapkan memiliki sertifikasi keahlian untuk meningkatkan produktivitasnya sehingga dapat surplus pangan. Putri, R.F, Aji A, dan Sulistya A.R.. (2020), dalam penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa pembangunan pertanian perlu memperhatikan lahan pertanian dan tanah yang produktif untuk terus berkembang, serta Putri, R.F, dan Sulistya A.R.. (2019) menyebutkan bahwa penentuan lahan prioritas pertanian dan pemerintah daerah perlu tegas dan kuat dalam kebijakan lahaan (*decision-making for land development*);

c. Mempercepat Pembangunan Sistem Sirkulasi dan Industri Pangan Modern

Percepatan pembangunan sistem sirkulasi dan industri pangan modern dapat dilakukan dengan mendekatkan industri pangan hasil pertanian ke daerah desa. Hal tersebut bertujuan agar petani mendapatkan nilai tambah dan nilai tukar petani naik. Sehingga setiap panen, petani dapat langsung terserap oleh industri dan pasar dengan harga tinggi. Selain itu, pada sektor tenaga kerja, petani tidak hanya dapat bekerja di lahan sawah namun juga bisa bekerja di sektor industri pertanian

d. Subsidi Pupuk di Daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar)

Upaya peningkatan produksi pertanian komponen pupuk berperan vital dalam pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, setiap tahunnya pemerintah mengalokasikan anggaran subsidi pupuk dalam rangka peningkatan produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Akan tetapi, program pertanian ada 17 sampai dengan 20 persen petani yang tidak mampu mengakses atau menerima pupuk subsidi pemerintah. Hal ini dikarenakan daerahnya terpencil, tidak ada signal dan akses infrastrukturnya sulit. Oleh karena itu, perlu diperhatikannya distribusi pupuk bersubsidi di daerah 3T. Kabupaten Mahakam Hulu menjadi satu-satunya kabupaten di Kalimantan Timur yang termasuk dalam daerah 3T. Berdasarkan hasil Sensus Pertanian 2023, terdapat 110.894 unit Usaha Pertanian Perorangan (UTP) yang menggunakan pupuk di Kalimantan Timur. di Kabupaten Mahakam Hulu sendiri hanya 518 UTP dari 3.251 UTP yang menggunakan pupuk, atau sekitar 16 persen saja.

e. Memperbanyak Sumur Bor untuk Pengairan Pertanian

Program bantuan sumur bor untuk pengairan pertanian perlu diperbanyak di beberapa Kabupaten/Kota di Kalimantan Timur yang masih kurang, seperti di Kabupaten Kutai Barat dan Kabupaten Mahakam Ulu. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Rahmansah dan Rauf B, 2017), pengairan pertanian dapat ditingkatkan hasilnya hingga minimal 7liter/detik secara konstan. Hal ini sangat dibutuhkan masyarakat sistem pertanian tadah hujan seperti di Kabupaten Kutai Barat dan Kabupaten Mahakam Ulu. Tidak hanya itu, subsidi biaya dari sumur bor, bantuan penuh dari pemerintah tentu sangat membantu meringankan petani dalam biaya operasionalnya untuk meningkatkan produktivitas pertanian.

f. Melanjutkan Program *Good Agricultural Practices* (GAP)

Di beberapa negara Asia dan Eropa, program *Good Agricultural Practices* (GAP) ini telah berhasil diwujudkan. di Indonesia, program GAP ini sudah dimulai sejak 2003 oleh Kementerian Pertanian (Kristiana L dan Sholeh, M.S., 2020). Program GAP ini perlu diperkuat secara teknis maupun non teknis. Secara teknis penerapan sistem sertifikasi proses produksi pertanian yang menggunakan teknologi maju ramah lingkungan dan berkelanjutan, sehingga produk panen aman dikonsumsi, meningkatkan kesejahteraan pekerja dan usahatani yang memberikan keuntungan ekonomi bagi petani. Secara non teknis, perlu dilakukan penyuluhan, penyampaian informasi, serta adanya pemberdayaan petani untuk mendukung keberhasilan program GAP;

g. Pertanian Berkelanjutan Dengan Teknologi Tepat Guna dan Digitalisasi Pertanian (*Smart Farminig*)

Program smart agriculture belum banyak dilakukan di negara Indonesia. Program ini namun sudah menjadi kebijakan dan menjadi perhatian khusus di negara China, Amerika Serikat dan beberapa negara Eropa. dalam penggunaannya, smart farming dengan menggunakan robot dalam memonitoring proses tanam dan panen, drone sebagai alat bantu penyiraman tanaman pangan secara jarak jauh, sistem irigasi berbasis big data yang saling terintegrasi dan presissi, dan teknologi Internet of Things (IoT) dalam meningkat keakuratan data (analisis data). Teknologi-teknologi tersebut sudah terbukti mampu dalam meningkatkan produksi hasil pertanian, sebagai contoh di China (BRIN, 2023) Smart Farm mampu menghasilkan 8-10 ton sayu sehar per hari dengan waktu panen lebih cepat dan hemat air. di Kalimantan Timur sendiri, terdapat 75.307 petani yang menggunakan teknologi digital dalam mengusahakan pertanian (Hasil Sensus Pertanian 2023). Namun, teknologi digital tersebut belum optimal dalam meningkatkan hasil pertanian, hanya sebatas dalam monitoring dan pemasaran secara online hasil pertanian saja;

h. Pembangunan Infrastruktur Pertanian

Pembangunan infrastruktur pertanian di Kalimantan Timur dapat dilakukan dengan memperbanyak irigasi dari aliran sungai yang saling terhubung pada daerah aliran sungai (DAS) di setiap wilayahnya. Selain itu, dapat dilakukan dengan membangun waduk atau bendungan untuk menampung air irigasi pertanian lebih banyak lagi sehingga mampu meningkat kuantitas dan kualitas hasil pangan. Jalan lokal juga perlu diperbaiki dalam membantu petani untuk mendapatkan aksesibilitas dan distribusi hasil pertanian ketika panen langsung dapat dijual ke pasar sehinga tercipta sirkulasi ekonomi pertanian berjalan dengan baik. Pada tahun 2022, langkah pemerintah Kabupaten Paser dalam membangunan jalan untuk pertanian sudah cukup bagus dan perlu ditambah lagi (Paserkab, 2022);

i. Bantuan pembiayaan KUR Tani dan asuransi petani saat gagal panen

Merujuk dari program pemerintah pusat dalam meningkatkan perlindungan terhadap petani di Indonesia. Telah ditetapkan Undang-Undang No. 19 Tahun 2013 tentang Pemberdayaan dan Perlindungan Petani. dalam Undang-Undang tersebut, disebutkan bahwa salah satu upaya perlindungan terhadap petani adalah Asuransi Pertanian. Dimana, Asuransi Pertanian

merupakan upaya untuk meningkatkan ketahanan ekonomi petani kecil yang rentan secara finansial terhadap risiko kejadian gagal panen yang disebabkan faktor-faktor diluar kontrol petani seperti kejadian bencana, wabah, dan perubahan musim. Tidak hanya untuk petani, perlindungan terhadap lahan pertanian juga penting untuk dilakukan. Dengan strategi tersebut, petani diharapkan tidak khawatir akan adanya kejadian tidak terduga (*force major*) yang sekiranya terjadi tanpa terencana. Hal ini juga diharapkan mampu mengurangi rasa terpuruk (depresi) secara psikologi akibat gagal panen. Selain itu, Kredit Usaha Rakyat Tani (KUR Tani) perlu dimasifkan, tidak hanya pada kebutuhan dasar (pangan) saja, namun perlu juga bantuan KUR untuk sekolah petani atau anak petani. Hal ini dapat menjadi investasi masa depan bagi keluarga petani, dan menjadi pemicu keberhasilan di masa mendatang menjadi petani yang makmur dan sejahtera.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian yaitu Provinsi Kalimantan Timur memiliki IKP 2022 sebesar 77,65 (ketahanan pangan baik) dan IKP 2021 sebesar 77,13 (kelas ketahanan pangan baik). Namun, berdasakarn IKP Kabupaten/Kota di Provinsi Kalimantan Timur jika dirinci terdapat 2 Kabupaten, yaitu Kabupaten Kutai Barat (IKP = 57,76) dan Kabupaten Mahakam Ulu (IKP = 52,75) yang termasuk dalam kelas ketahanan pangan agak rentan. Sedangkan, pada tahun 2022 hanya 1 Kabupaten, yaitu Kabupaten Mahakam Ulu (IKP = 53,29). Dari penelitian ini disimpulkan bahwa strategi yang diperlukan Provinsi Kalimantan Timur dalam mendukung terwujudnya ketahanan pangan di IKN yaitu: a) memperkuat sistem ketahanan pangan; b) meningkatkan dukungan untuk perlindungan pertanian; c) mempercepat pembangunan sistem sirkulasi dan industri pangan modern; d) subsidi pupuk petani daerah 3T (tertinggal, terdepan dan terluar); e) memperbanyak sumur bor untuk pengairan pertanian; f) melanjutkan program *Good Agricultural Practices* (GAP); g) pertanian berkelanjutan dengan teknologi tepat guna dan digitalisasi pertanian (*Smart Farming*); h) pembangunan infrastruktur pertanian; dan i) bantuan pembiayan KUR Tani dan asuransi petani saat gagal panen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada istri, syifa yang telah banyak memberi masukan terhadap tulisan ini. Serta terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penulisan ini, tanpa dapat disebutkan satu per satu dan tanpa mengurangi rasa hormat.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pangan Nasional. (2022). Indeks Ketahanan Pangan tahun 2022 : Badan Pangan Nasional.

Badan Pusat Statistik Kalimantan Timur. (2022). Hasil Pencacahan Lengkap Sensus Pertanian 2023 Provinsi Kalimantan Timur Tahap I : Badan Pusat Statistik.

Chaerani, dkk. (2020). Ketahanan Pangan Berkelanjutan. Jurnal Kependudukan dan Pembangunan Lingkungan. Vol 2/2020.

Brief F. P. (2006). Food security Food security. *FAO Agriculture and Development Economics Division*, *2.*

BRIN. (2023). Smart Farming, Inovasi untuk Pertanian yang Memanfaatkan Kecerdasan Buatan. Diakses dari: https://www.brin.go.id/news/112097/smart-farming-inovasi-untuk-pertanian-yang-memanfaatkan-kecerdasan-buatan [30 Maret 2024].

FAO. (2009). Global agriculture towards 2050. High Level Expert Forum, Rome, 12-13 October 2009. Rome (IT): Food and Agriculture Organization

Lawlis, T., Islam, W., & Upton, P. (2018). Achieving the four dimensions of food security for resettled refugees in Australia: A systematic review. *Nutrition & Dietetics*, *75*(2), 182–192. https://doi.org/10.1111/1747-0080.12402 [17 Maret 2024].

Lin, Z., & He, W. (2020). The Multiple Dimensions of Food Security of China in the Context of Labor Costs Rising. *IEIS2019*, 693–703. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5660-9_52 [17 Maret 2024].

Kabupaten Paser. 2022. CPCL Pembangunan Jalan Usaha Tani di Desa Petangis Kecamatan Batu Engau. Artikel diakses pada : https://dtph.paserkab.go.id/detailpost/cpcl-pembangunan-jalan-usaha-tani-di-desa-petangis-kecamatan-batu-engau.

Kristiana, L dan Sholeh, M.S. (2020). Implementasi GAP (*Good Agricultural Practices*) Pada Petani Hortikultura dan Strategi Pengembangannya di Kabupaten Pamekasan. Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian (2020) 13 (3) : 242-252. *ISSN: 1978-5437 (Print), 2356-2382 (Online)* https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JSEP.

Putri, R.F, Aji A, dan Sulistya A.R.. (2020). Land priority area for agribusiness development based on human and economic resources in Central Java. IOP conference series: Earth and environmental science 451 (1), 012020. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/451/1/012020/meta.

Putri, R.F, dan Sulistya A.R. (2019). Determination of Priority Regions as The Direction of Decision-Making for Land Development of West Kalimantan Province. Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology 4 (3), 186-197. https://journal.uir.ac.id/index.php/JGEET/article/view/2908 https://doi.org/10.25299/jgeet.2019.4.3.2908.

Rahmansah dan Rauf B. (2017). Penerapan Sumur Bor Sistem Pipa Konservasi Air Tanah (Pipa Imbuh). Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. https://eprints.unm.ac.id/5800/53/49%20%20Rahmansah.pdf.

RI (Republik Indonesia). (2012). Undang-undang (UU) nomor 18 tahun 2012 tentang Pangan.

PENILAIAN DINAMIKA KUALITAS AIR LAUT SECARA SPASIAL DAN VERTIKAL

Studi Kasus Pulau Samatellu Lompo dan Samatellu Pedda, Sulawesi Selatan

(Assessing Spatial and Vertical Dynamics of Sea Water Quality. Case Study on Samatellu Island, Lompo and Samatellu Pedda, South Sulawesi)

Farida Ayu, Masita Dwi Mandini Manessa , Anisya Feby Efriana
Departemen Geografi, Universitas Indonesia

Depok, Indonesia
E-mail: farida.ayu81@ui.ac.id

ABSTRAK

Pematauan kualitas air terbukti nyata menunjang berbagai kebijakan dan sistem manajemen perairan untuk mencapai Pembangunan Berkelanjutan. dalam lingkup perairan laut, aktivitas antropogenik berkontribusi terhadap masifnya penurunan kualitas air. Pemantauan kualitas air secara komprehensif masih sangat terbatas, terkendala akan sifat perairan laut yang dinamis. Penelitian ini mengkaji persebaran variabilitas kualitas air laut secara horizontal dan vertikal melalui parameter Klorofil-a, Salinitas, dan Suhu. dalam meninjau aspek aktivitas antropogenik, penelitian ini juga membandingkan kondisi kualitas air laut pada Pulau berpenghuni dan tidak berpenghuni di Pulau Samatellu Lompo dan Samatellu Pedda, Sulawesi Selatan. Penelitian ini menggunakan instrumen AAQ Water Depth Profiler dalam menghasilkan nilai parameter di setiap kedalaman. Data AAQ Water Depth Profiler diproses melalui metode gridding berupa kriging untuk menghasilkan persebaran spasial dan vertikal berbasis jarak dari garis pantai dan kelas kedalaman perairan (0-5 mdbl, 5-10 mdbl, 10-15 mdbl). Hasil penelitian menunjukan bahwa setiap parameter pada pulau berpenghuni dan tidak berpenghuni memiliki variasi spasial dan vertical yang berbeda. Pada pulau berpenghuni, parameter Suhu dan Salinitas mengilustrasikan peningkatan nilai terjadi seiring menjauhi garis pantai dan bertambahnya kedalaman, sedangkan pada parameter Chl-a meningkat seiring mendekatinya garis pantai. Sedangkan, pada pulau tidak berpenghuni, parameter Salinitas dan Suhu menunjukkan hasil yang berbanding terbalik. Pemantauan kualitas air mengilustrasikan krusialnya aktivitas antropogenik terhadap keberlanjutan biota laut dan keseimbangan ekosistem.

Kata kunci: kualitas air, antropogenik, horizontal, vertikal

ABSTRACT

Monitoring water quality has proven to be essential in supporting various policies and water management systems to achieve sustainable development. In marine environments, anthropogenic activities contribute significantly to the massive decline in water quality. However, comprehensive water quality monitoring is still very limited, hindered by the dynamic nature of marine waters. This research investigates the distribution of sea water quality, exploring horizontal and vertical variability through parameters such as Chlorophyll-a (Chl-a), Salinity (Sal), andTemperature. In examining anthropogenic activities, the study also compares seawater quality conditions between inhabited and uninhabited islands in Samatellu Lompo and Samatellu Pedda, South Sulawesi. The research utilizes the AAQ Water Depth Profiler instrument to generate parameter values at each depth. AAQ Water Depth Profiler data is processed through kriging methods, defining spatial dan vertical distribution based on distance from the coastline and water depth (with class of 0-5, 5-10, and 10-15 mbsl) Research findings indicate that each parameter on inhabited and uninhabited islands exhibits different spatial and vertical variations. On inhabited islands, parameters such as Temperature and Salinity illustrate an increase in values as distance from the coastline and depth increase, while Chlorophyll-a increase as the coastline approaches. Conversely, on uninhabited islands, parameters Salinity and Temperature show an inverse relationship. Water quality monitoring illustrates the crucial impact of anthropogenic activities on the sustainability of marine life and ecosystem balance.

***Keywords**: water quality, anthropogenic, horizontal, vertical*

PENDAHULUAN

Air memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem keanekaragaman hayati. Pada lingkungan perairan pesisir, kondisi dan kesehatan ekosistem berkaitan erat dengan stabilitas keanekaragaman hayati yang hidup didalamnya (Gotama *et al.*, 2024). Aktivitas antropogenik menjadi salah satu faktor substansial dalam perubahan besar keanekaragaman hayati laut (Amosu *et al.*, 2012). Faktor aktivitas antropogenik utama seperti limbah antropogenik dan eksploitasi sumber daya laut yang merusak (destructive fishing dan overfishing) memicu peningkatan pencemaran air laut (VishnuRadhan, David Thresyamma, *et al.*, 2015). Aktivitas ini mempengaruhi karakteristik fisik, kimia dan biologis dari lingkungan perairan pesisir (VishnuRadhan, Sagayadoss, *et al.*, 2015).

Pemantauan kualitas air telah terbukti secara signifikan mendukung beragam kebijakan dan sistem manajemen perairan untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Distribusi kualitas air laut merepresentasikan kondisi regional lingkungan pesisir (Rangel-Buitrago *et al.*, 2024). Dimana, aktivitas antropogenic cenderung berpengaruh pada penurunan kualitas air (Chen *et al.*, 2018). Pada wilayah tropis, perubahan kualitas air signifikan berpengaruh pada parameter Klorofil-a, Temperature, DO, Kekeruhan, dan Salinitas (Rahman *et al.*, 2016; Tavakoly Sany *et al.*, 2019).

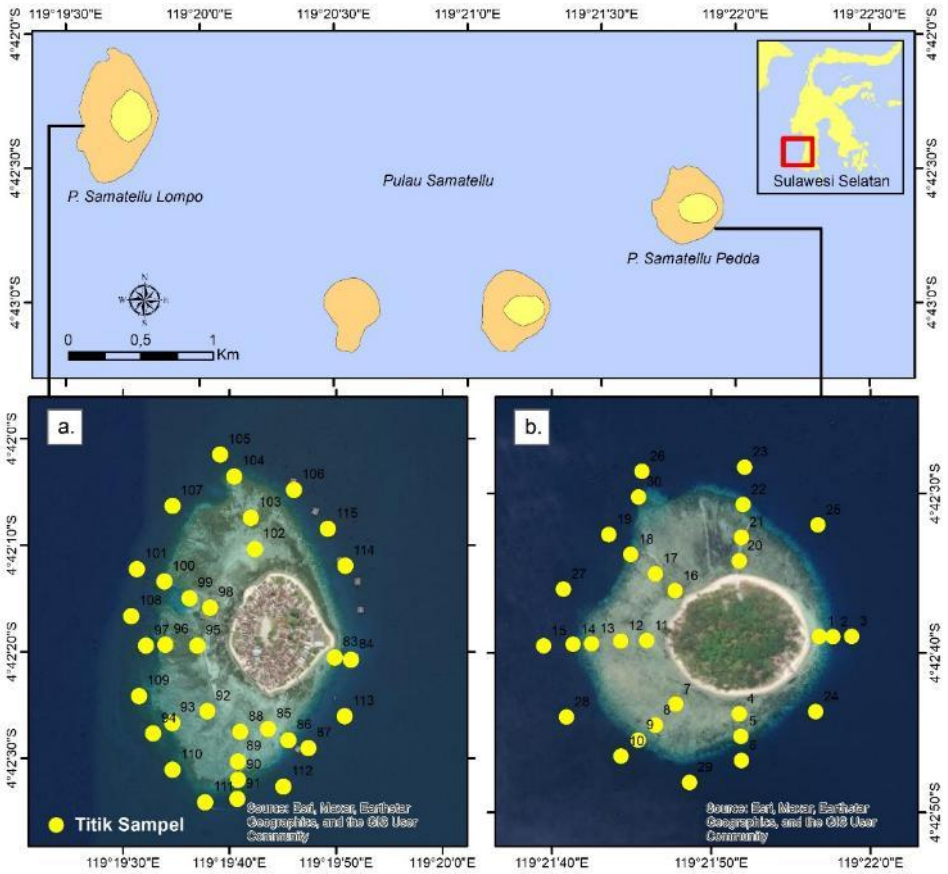
Penilaian distribusi spatial dan temporal kualitas air laut pada permukaan air laut telah banyak dilakukan(Arya *et al.*, 2023; Dong *et al.*, 2019; Du *et al.*, 2024). Namun, penilaian distribusi spasial kualitas air laut secara komprehensif masih terbatas, terkendala oleh sifat air yang dinamis (Chu & He, 2023). Secara lebih luas, distribusi spasial secara vertical dan horizontal dapat memperlihatkan variasi kualitas air laut dan keterkaitannya dengan kondisi keanekaragaman hayati di perkedalaman perairan. Berdasarkan pendekatan Nearest Neighbor pada data pengukuran insitu, penelitian (Ferencz & Dawidek, 2021) mengilustrasikan variabilitas kualitas air danau di per kedalaman.

Penilaian variasi distribusi kualitas air spasial secara vertical dan horizontal berkaitan erat dengan pengambilan data insitu dan penggunaan instrument yang memadai. AAQ-RINKO menjadi salah satu terobosan untuk memprofiling kualitas air laut (JFE Advantech Co., 2016). Dengan menggunakan metode gridding berupa kriging pada data insitu, penelitian ini bertujuan untuk untuk menghasilkan persebaran spasial dan vertikal berbasis jarak dari garis pantai dan kelas kedalaman perairan (0-5 mdbl, 5-10 mdbl, 10-15 mdbl). Kajian ini menjadi langkah awal dalam menambah pengetahuan akan variasi kualitas air laut untuk menciptakan kebijakan pengelolaan perairan untuk pembangunan berkelanjutan.

METODE

Wilayah Penelitian

Penelitian ini mengambil wilayah penelitian di perairan laut pesisir Kepulauan Samatellu, yang terdiri dari Pulau Samatellu Lompo dan Pulau Samatellu Pedda. Fokus utama penelitian adalah dari zona *reef flat* hingga *reef slope* (**Gambar 1**). Secara geografis, wilayah penelitian mencakup koordinat 119º 19' 30" hingga 119º 22' 00" BT dan 4º 43' 0" hingga 4º 42' 0" LS. Wilayah penelitian ini termasuk kedalam wilayah administratif Desa Mattiro Walie, Kecamatan Liukang Tupabbiring Utara, Kabupaten Pangkajene dan Pulau, Provinsi Sulawesi Selatan. di antara pulau-pulau yang termasuk dalam Kepulauan Samatellu, Pulau Samatellu Lompo memiliki populasi yang paling padat penduduknya (**Gambar 1a**). Sementara, Pulau Samatellu Pedda memiliki populasi yang paling sedikit (**Gambar 1b**). Pada penelitian ini, Pulau Samatellu Lompo merepresentasikan pulau yang berpenghuni, sedangkan Pulau Samatellu Pedda pulau tidak berpenghuni.



Gambar 131. Lokasi titik sampel kualitas air di a.) Pulau Samatellu Lompo dan b.) Pulau Samatellu Pedda yang terdiri dari 63 titik sampel.

METODE PENELITIAN

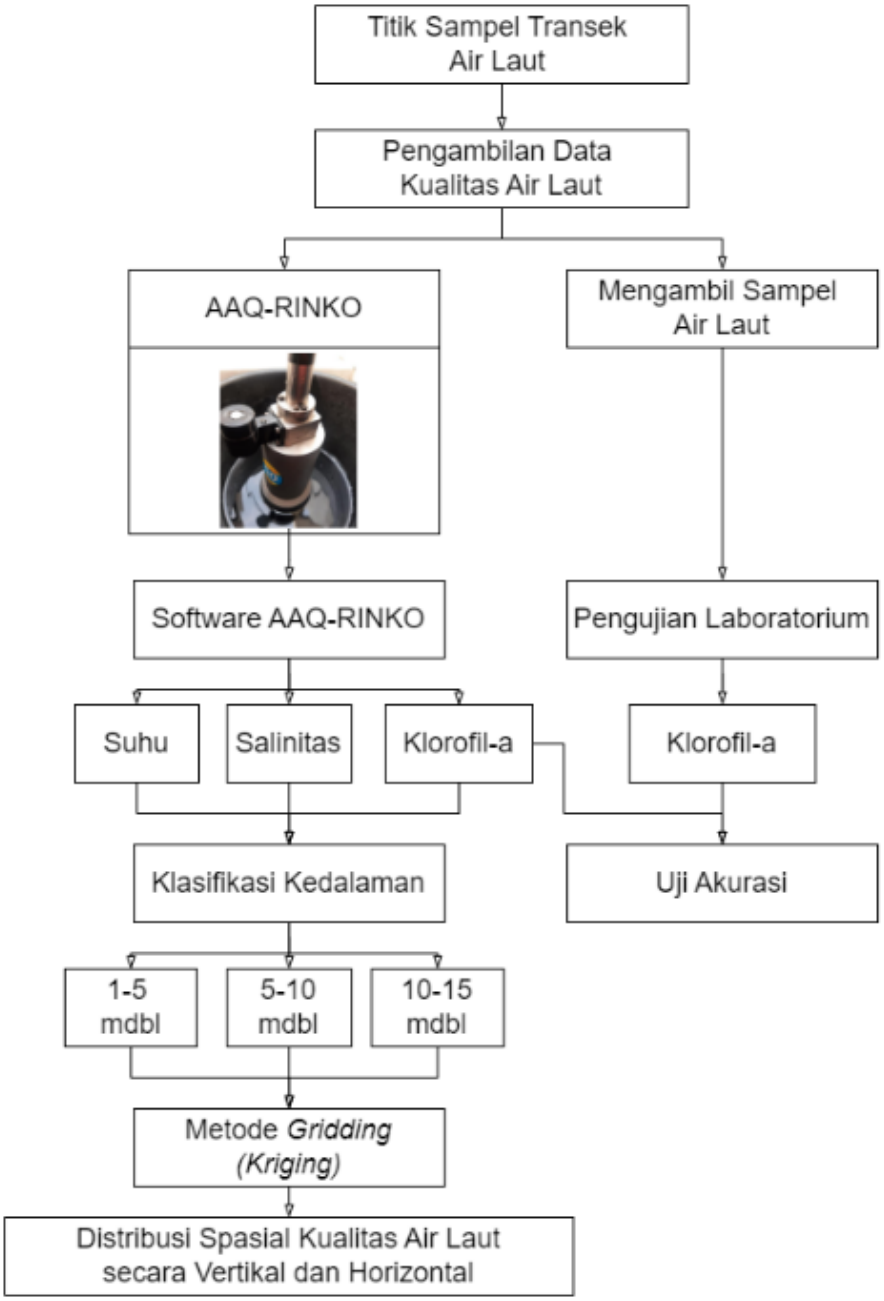
Secara keseluruhan, penelitian ini menggunakan data pengukuran kualitas air secara langsung (data insitu). Pengambilan data insitu meliputi beberapa tahap yaitu pre-survey, survey, dan pengolahan data (**Gambar 2**). Pada tahapan pre-survey, peneliti membuat rancangan pengambilan titik sampel terlebih dahulu. Pada penelitian ini, pengambilan titik sampel berdasarkan pembuatan garis transect yang dimulai dari dekat daratan hingga menjauhi daratan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan variasi kedalaman dan jarak dari garis pantai.

Pada tahapan survey, pengukuran data insitu kualitas air diperoleh dari instrumen AAQ-RINKO. Instrumen ini mampu membuat profiling kualitas air secara vertikal dengan data yang dihasilkan perkedalaman. AAQ-RINKO dapat mengukur delapan parameter kualitas air yaitu kedalaman, temperatur, conductivity, salinitas, turbidity, klorofil-a, dissolved oxygen, dan pH. Namun pada penelitian ini mengambil tiga parameter untuk dikaji yaitu Klorofil-a, Salinitas, dan Suhu. Proses pengukuran menggunakan instrumen ini dilakukan dengan meletakkan AAQ-RINKO dan mengulur hingga kedalaman yang diinginkan pada setiap titik sampel.

Berdasarkan (JFE Advantech Co., 2016), instrumen ini memiliki nilai akurasi error hanya sebesar ±1% FS yang menunjukkan hasil menyerupai kondisi lapangan. Namun, pada penelitian ini, uji akurasi menggunakan nilai multiple R (R) dan nilai error (RMSE) dilakukan kembali berdasarkan pengujian laboratorium salah satu parameter yaitu klorofil-a. Uji akurasi dilakukan pada data permukaan hasil instrumen AAQ-RINKO. Hasil uji akurasi menggambarkan tingkatan AAQ-RINKO dalam merepresentasikan kualitas air laut.

Tahapan pengolahan data dimulai dengan merekapitulasi hasil rekaman AAQ-RINKO dengan menggunakan software AAQ-RINKO dan Microsoft Excel. Rekapitulasi data menghasilkan nilai konsentrasi parameter pada setiap titik sampel. Kemudian, dalam memudahkan analisis, penelitian ini mengklasifikasikan titik sampel berdasarkan kedalaman yaitu 1-5 mdbl, 5-10 mdbl, dan 10-15mdbl. Titik yang terklasifikasi dilanjutkan dengan tahapan interpolasi dengan menggunakan

metode *gridding* berupa *kriging.* Hasil interpolasi dapat divisualisasikan dan mengilustrasikan distribusi spasial kualitas air laut secara vertikal dan horizontal.

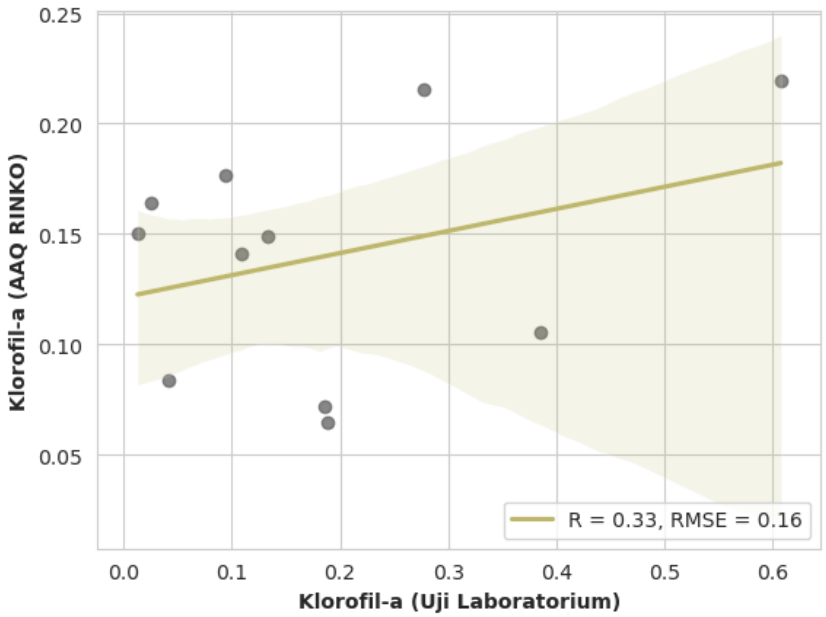


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Akurasi Instrumen AAQ RINKO

Berdasarkan pengujian akurasi pada data kualitas air parameter klorofil-a yang dihasilkan oleh instrumen AAQ-RINKO dan data uji laboratorium menghasilkan nilai R sebesar 0.33 dan RMSE sebesar 0.16 (**Gambar 3**). Hasil uji akurasi termasuk kedalam kategori moderat. Nilai uji akurasi yang tidak terlalu tinggi ini dikarenakan beberapa faktor seperti resolusi tinggi instrumen, kondisi dalam pengambilan sampel air laut, serta terdapat waktu tambahan untuk mengujikan di laboratorium. Meskipun begitu, hasil ini memiliki nilai error yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa Instrumen AAQ RINKO dapat merepresentasikan kualitas air laut di lapangan.

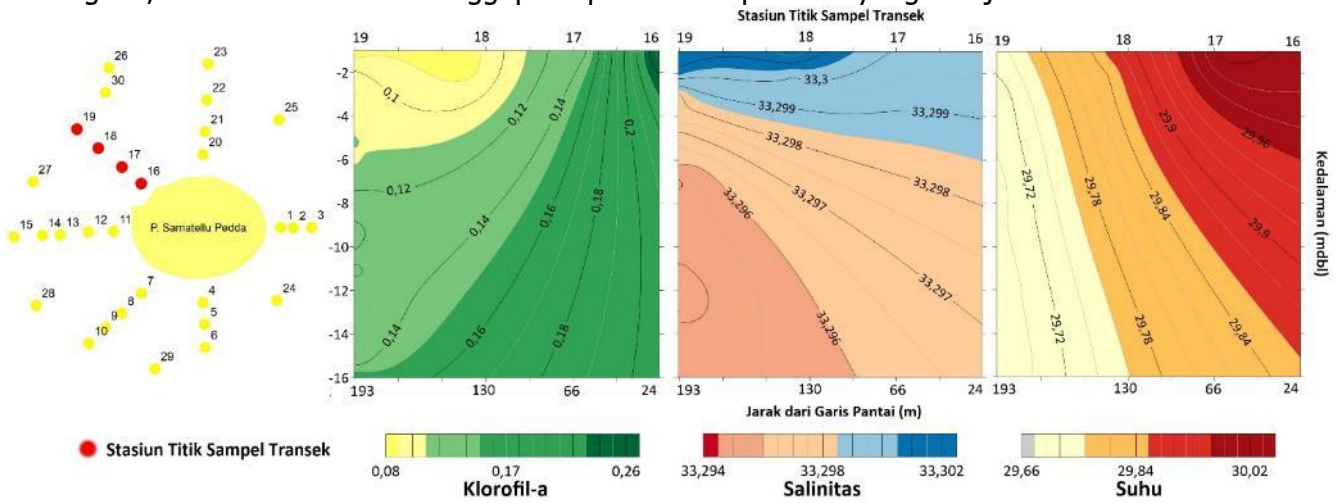


Gambar 3. Hasil Uji Akurasi pada data kualitas air yang diturunkan dari Uji Laboratorium dan AAQ-RINKO.

Persebaran Spasial dan Vertikal Kualitas Air di Lingkungan Perairan Pesisir

Pulau Tidak Berpenghuni, Pulau Samatellu Pedda

Pulau Samatellu Pedda merupakan salah satu pulau di gugusan pulau Samatellu yang memiliki populasi paling sedikit. Pulau ini dapat merepresentasikan pulau tidak berpenghuni dengan ekosistem perairan yang belum terkontaminasi oleh limbah antropogenik. Berdasarkan *kriging* pada penentuan stasiun titik sampel transek, dihasilkan penampang melintang pada parameter klorofil-a, salinitas, dan suhu di Pulau Samatellu Pedda. Berdasarkan **Gambar 4**, diketahui bahwa terdapat variasi konsentrasi pada setiap parameter. Berdasarkan kedalaman perairan, konsentrasi klorofil-a cenderung meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Sedangkan, hasil berbeda berada pada konsentrasi salinitas dan suhu, dimana cenderung menurun seiring bertambahnya kedalaman. Selain itu, berdasarkan jarak dari garis pantai, konsentrasi klorofil-a dan suhu memperlihatkan pola yang serupa yaitu konsentrasi tinggi semakin dekat dengan daratan. Sedangkan, konsentrasi salinitas tinggi pada permukaan perairan yang menjauhi daratan.



Gambar 4. Penampang melintang kualitas air parameter Klorofil-a, Salinitas dan Suhu pada Stasiun Titik Sampel Transek di Pulau Samatellu Pedda.

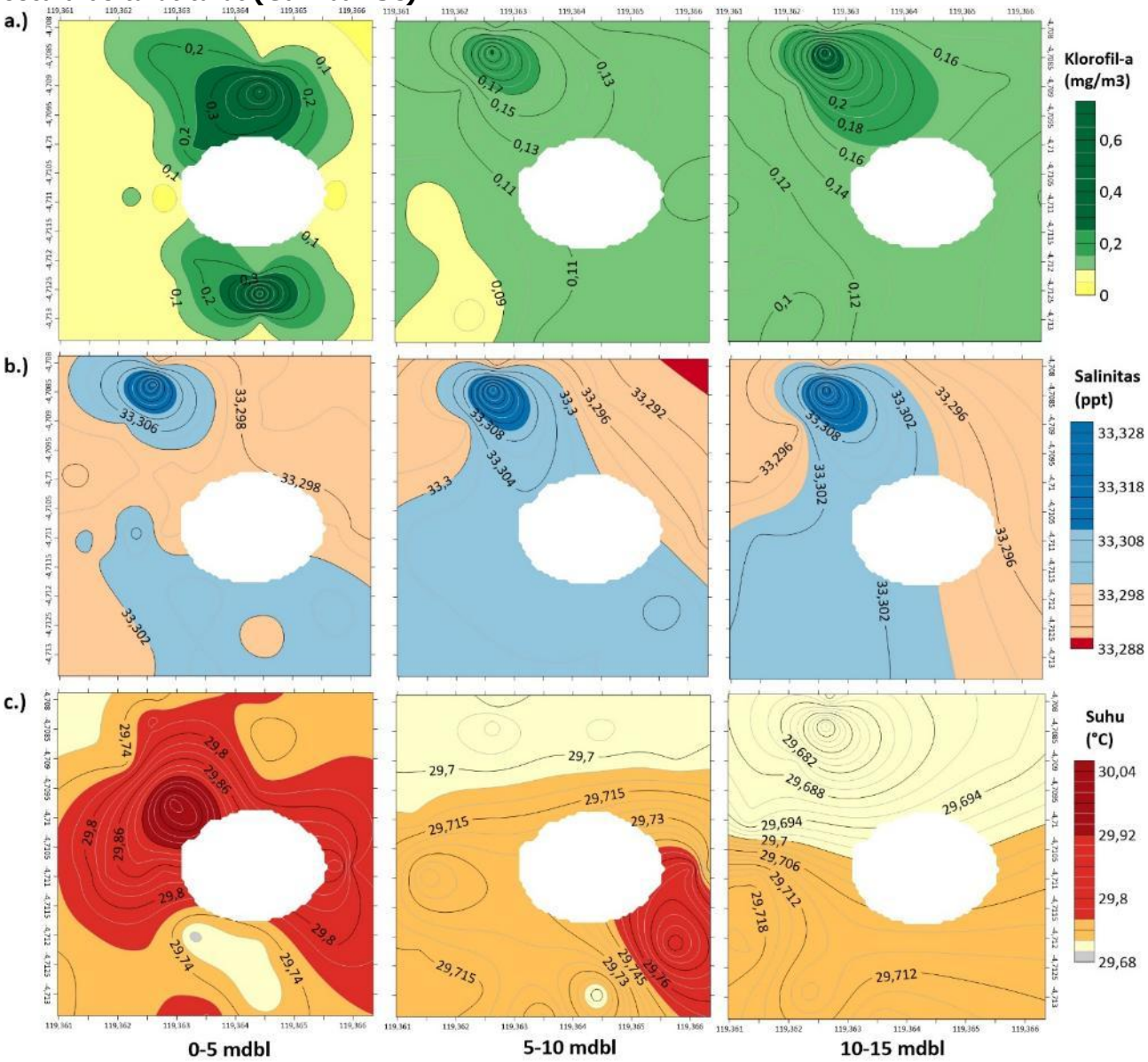
Hasil pada setiap parameter sesuai dengan teori persebaran kualitas air. Pada klorofil-a, tingginya konsentrasi umumnya berdasarkan limpahan nutrien dari daratan dan substrat dasar perairan, sehingga tinggi pada wilayah dekat dengan daratan dan berhimpunan dengan substrat

dasar perairan. Selain itu, pada salinitas, tingginya konsentrasi umum berada permukaan yang menjauhi daratan. Hal ini dikarenakan wilayah dekat dengan darat terpengaruh oleh faktor presipitasi yang menurunkan kadar garam. Sedangkan, suhu umumnya tinggi berada pada wilayah perairan yang semakin dangkal.

Selain variasi konsentrasi kualitas air berdasarkan penampang melintang, penelitian ini juga mengkaji dinamika spasial dan vertikal kualitas air. Secara keseluruhan Pulau Samatellu Pedda memiliki rentang nilai klorofil-a dari 0-0,7 mg/m3, salinitas 33,2-33.32 ppt, dan suhu 29,6-30°C. Berdasarkan **Gambar 5,** diilustrasikan persebaran spasial pada setiap kedalaman perairan 0-5 mdbl, 5-10 mdbl, dan 10-15 mdbl.

Setiap parameter kualitas air memperlihatkan variasi dinamika yang berbeda. Pada klorofil-a, konsentrasi bervariasi pada kedalaman 0-5 mdbl, dimana konsentrasi cenderung menurun seiring menjauhi daratan. Sedangkan pada kedalaman 5-10 dan 10-15 mdbl memperlihatkan variasi yang sama. Hal ini ditunjukan dengan memiliki rentang nilai dari 0,1 - 0,6 mg/m3 **(Gambar 5a).** Pada salinitas, konsentrasi cenderung serupa pada kedalaman 0-5, 5-10 dan 10-15 mdbl. Namun, pada kedalaman 0-5 mdbl didominasi oleh nilai salinitas yang rendah. Persebaran konsentrasi tinggi berada pada wilayah perairan yang menjauhi daratan **(Gambar 5b).**

Pada suhu, konsentrasi cenderung tinggi berada pada kedalaman 0-5 mdbl dan berdekatan dengan wilayah daratan. Sedangkan pada kedalaman 5-10 dan 10-15 mdbl variasi suhu menurun secara berturut-turut **(Gambar 5c).**

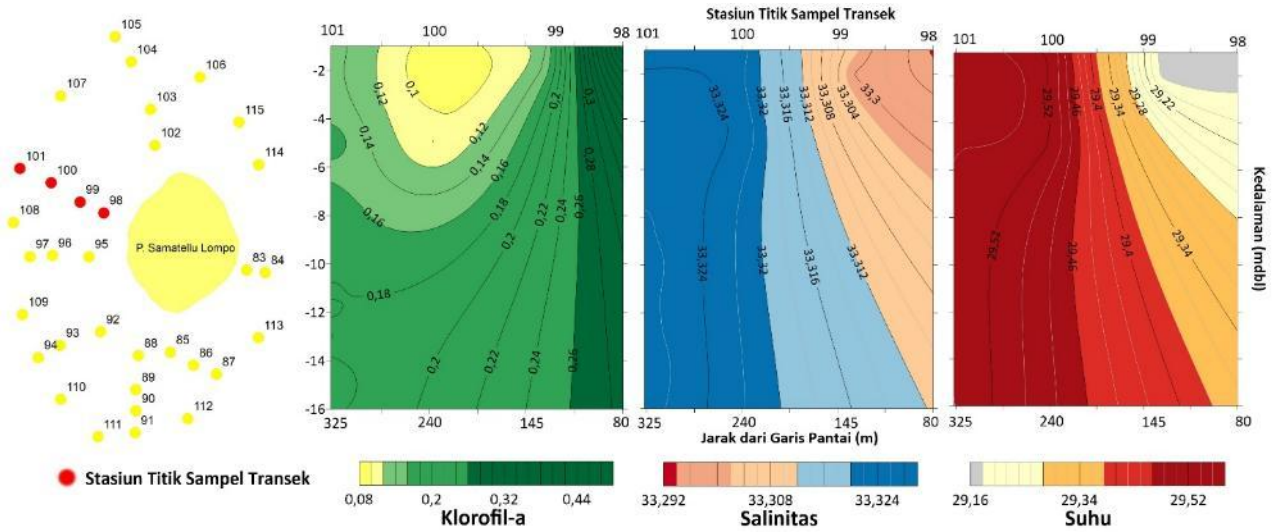


Gambar 5. Dinamika Spasial dan Vertikal pada kedalaman 0-5, 5-10, dan 10-15 mdbl pada parameter a.) klorofil-a, b.) Salinitas, dan c.) Suhu di Pulau Samatellu Pedda.

Pulau Berpenghuni, Pulau Samatellu Lompo

Pulau Samatellu Lompo merupakan salah satu pulau di gugusan pulau Samatellu yang memiliki populasi paling sedikit. Pulau ini dapat merepresentasikan pulau berpenghuni dengan ekosistem perairan yang telah terkontaminasi oleh limbah antropogenik. Berdasarkan *kriging* pada penentuan stasiun titik sampel transek, dihasilkan penampang melintang pada parameter klorofil-a, salinitas, dan suhu di Pulau Samatellu Lompo. Berdasarkan **Gambar 6**, diketahui bahwa terdapat variasi konsentrasi pada setiap parameter. Dibandingkan dengan pulau tidak berpenghuni, variasi konsentrasi pada pulau berpenghuni menunjukkan perbedaan khususnya pada parameter salinitas dan suhu. Perbedaan menunjukan hasil yang berbanding terbalik. Pada salinitas dan suhu, konsentrasi semakin tinggi seiring menjauhi daratan dan bertambahnya kedalaman.

Kondisi ini berbeda dengan teori, terutama pada parameter suhu. Berdasarkan observasi lapangan, pada Pulau Samatellu Lompo wilayah reef flat didominasi oleh Lamun. Tutupan lamun tumbuh subur akibat adanya pencemaran dari limpahan limbah antropogenik. Hal ini dimungkinkan mempengaruhi konsentrasi suhu dan salinitas secara signifikan.



Gambar 6. Penampang melintang kualitas air parameter Klorofil-a, Salinitas dan Suhu pada Stasiun Titik Sampel Transek di Pulau Samatellu Lompo.

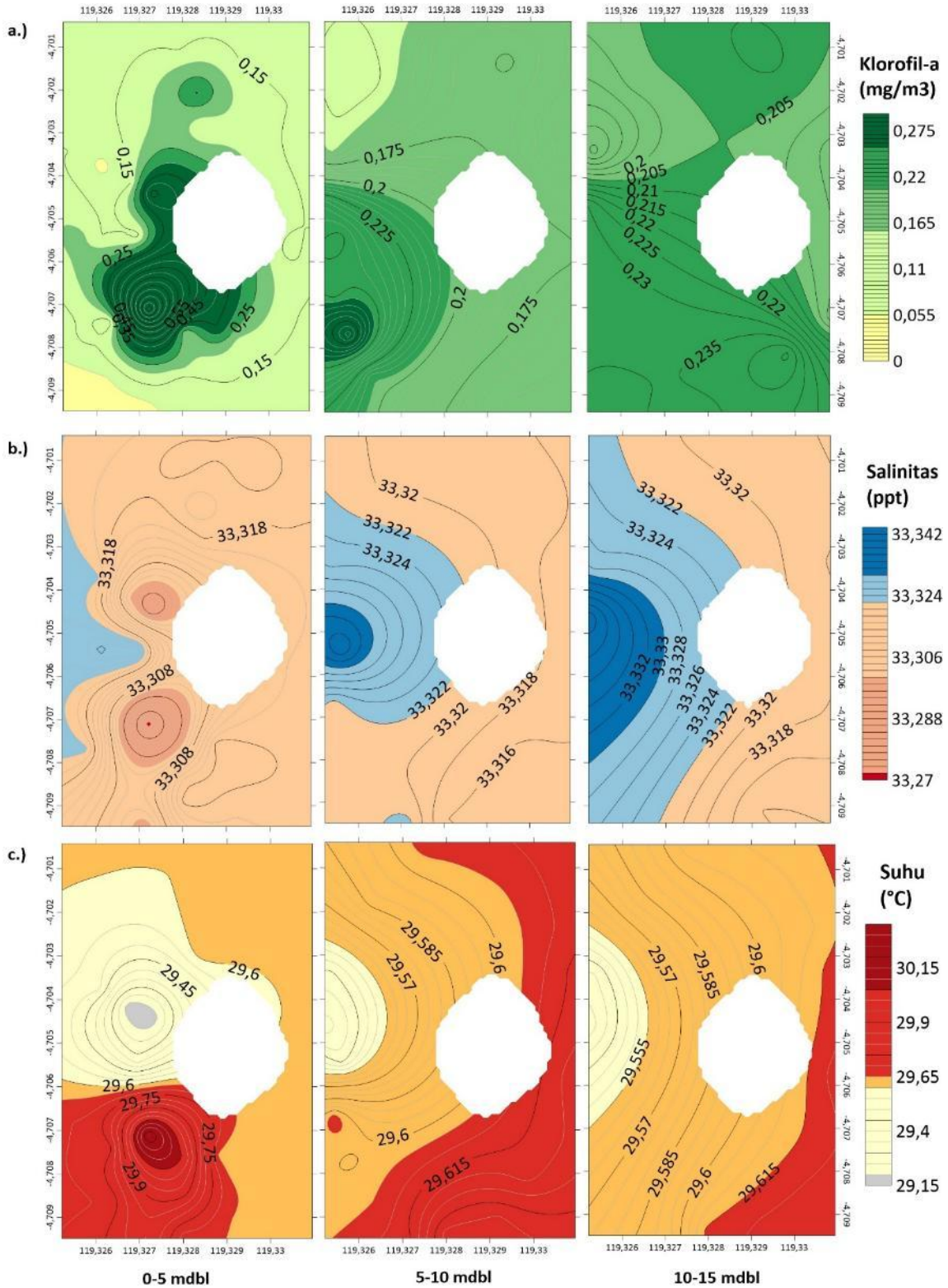
Selain itu, secara keseluruhan Pulau Samatellu Lompo memiliki rentang nilai klorofil-a lebih rendah dibandingkan Pulau Samatellu Pedda, yaitu dari 0-0,275 mg/m3, salinitas 33,2-33.34 ppt, dan suhu 29,1-31°C. Meskipun rentang nilai klorofil-a lebih rendah, persebaran konsentrasi klorofil-a yang tinggi mendominasi wilayah perairan. Variasi dinamika spasial dan vertikal pada pulau ini juga memperlihatkan perbedaan pada pulau sebelumnya **(Gambar 7).**

Pada klorofil-a, konsentrasi bervariasi pada kedalaman 0-5 mdbl, dimana konsentrasi cenderung menurun seiring menjauhi daratan. Sedangkan pada kedalaman 5-10 dan 10-15 mdbl berturut-turut memperlihatkan persebaran peningkatan konsentrasi **(Gambar 7a).**

Pada salinitas, konsentrasi homogen pada kedalaman 0-5 mdbl, dimana konsentrasi cenderung didominasi oleh konsentrasi yang rendah. Sedangkan pada kedalaman 5-10 dan 10-15 mdbl berturut-turut memperlihatkan persebaran peningkatan konsentrasi **(Gambar 7b).** Pada suhu, konsentrasi bervariasi pada kedalaman 0-5 mdbl. Sedangkan pada kedalaman 5-10 dan 10-15 mdbl berturut-turut memperlihatkan persebaran peningkatan suhu **(Gambar 7c).**

Secara keseluruhan, penelitian ini menggarisbawahi pentingnya memahami dampak aktivitas antropogenik terhadap kualitas perairan. Dengan memperhatikan perbedaan dalam distribusi kualitas air antara pulau yang dihuni dan tidak dihuni, serta variasi spasial dan vertikal dari parameter kualitas air yang dipelajari, menyadari bahwa intervensi manusia berpengaruh pada kerentanan ekosistem laut. Temuan ini menegaskan bahwa tindakan kita dalam mengelola sumber daya alam, terutama di lingkungan maritim, memiliki dampak signifikan terhadap keberlanjutan ekosistem laut dan keseimbangan alam secara keseluruhan.

Oleh karena itu, langkah-langkah pencegahan dan pemulihan yang efektif harus diambil untuk memastikan bahwa perairan tetap berfungsi sebagai sumber kehidupan yang berkelanjutan bagi berbagai spesies dan untuk masa depan generasi mendatang.



Gambar 7. Dinamika Spasial dan Vertikal pada kedalaman 0-5, 5-10, dan 10-15 mdbl pada parameter a.) klorofil-a, b.) Salinitas, dan c.) Suhu di Pulau Samatellu Lompo

KESIMPULAN

Dinamika spasial dan vertikal kualitas air laut pada suatu wilayah perairan sangat bergantung pada kondisi aktivitas antropogenik regional. Hasil penelitian menunjukkan variasi yang signifikan

dalam distribusi horizontal dan vertikal dari parameter kualitas air antara pulau berpenghuni dan tidak berpenghuni. Pada pulau berpenghuni, parameter Suhu dan Salinitas menunjukkan peningkatan nilai seiring menjauh dari garis pantai dan meningkatnya kedalaman, sementara parameter Klorofil-a meningkat ketika mendekati garis pantai. Sebaliknya, pada pulau tidak berpenghuni, parameter Salinitas dan Suhu menunjukkan hasil yang berbanding terbalik. Aktivitas antropogenik terbukti memberikan pengaruh anomali kualitas air laut pada pulau berpenghuni terutama pada parameter suhu. Limpahan limbah antropogenik mampu merubah kondisi substrat dasar perairan dan menggangu stabilitas ekosistem laut. Penelitian ini memberikan gambaran mengenai dinamika kualitas air laut, sebagai langkah-langkah pencegahan dan pemulihan yang tepat untuk menunju keberlanjutan dimasa yang akan datang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih peneliti sampaikan pada Hibah Penelitian RISPRO dengan nomor PRJ-41/LPDP/2020 yang telah berpartisipasi dalam memberikan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Amosu, A. O., Bashorun, O. W., Babalola, O. O., Olowu, R. A., & Togunde, K. A. (2012). *Impact of climate change and anthropogenic activities on renewable coastal resources and biodiversity in Nigeria*.

Arya, M. S., Biju, A., & Benchamin, D. (2023). Assessment of spatial and temporal variations in water quality using multivariate statistical analysis in the Munroe Island, Kerala, India. *Acta Ecologica Sinica*, *43*(5), 751–763.

Chen, K., Liu, Y., Huang, D., Ke, H., Chen, H., Zhang, S., Yang, S., & Cai, M. (2018). Anthropogenic activities and coastal environmental quality: a regional quantitative analysis in southeast China with management implications. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*, 3093–3107.

Chu, H.-J., & He, Y.-C. (2023). Remote sensing water quality inversion using sparse representation: Chlorophyll-a retrieval from Sentinel-2 MSI data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *31*, 101006.

Dong, Z., Liu, D., Wang, Y., & Di, B. (2019). Temporal and spatial variations of coastal water quality in Sishili Bay, northern Yellow Sea of China. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, *22*(1), 30–39.

Du, Y., Ren, Z., Zhong, Y., Zhang, J., & Song, Q. (2024). Spatiotemporal Pattern of Coastal Water Pollution and Its Driving Factors: Implications for Improving Water Environment along Hainan Island, China. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1383882.

Ferencz, B., & Dawidek, J. (2021). Assessment of Spatial and Vertical Variability of Water Quality: Case Study of a Polymictic Polish Lake. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(16). https://doi.org/10.3390/ijerph18168620

Gotama, R., Baker, D. M., Guibert, I., McIlroy, S. E., & Russell, B. D. (2024). How a coastal megacity affects marine biodiversity and ecosystem function: Impacts of reduced water quality and other anthropogenic stressors. *Ecological Indicators*, *160*, 111683. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111683

JFE Advantech Co. (2016). *AAQ-RINKO*. https://www.igp.de/mess-pruefsensoren/jfe-advantech/rinko-series/aaq-rinko/AAQ Rinko.pdf

Rahman, M. M., Noor, N. M., Saad, S., & Yunus, K. (2016). Coastal water quality of Tioman Island: effects of human activity and the distance from shoreline. *Desalination and Water Treatment*, *57*(1), 83–87.

Rangel-Buitrago, N., Galgani, F., & Neal, W. J. (2024). Addressing the global challenge of coastal sewage pollution. *Marine Pollution Bulletin*, *201*, 116232. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116232

Tavakoly Sany, S. B., Monazami, G., Rezayi, M., Tajfard, M., & Borgheipour, H. (2019). Application of water quality indices for evaluating water quality and anthropogenic impact assessment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *16*, 3001–3012.

VishnuRadhan, R., David Thresyamma, D., Sarma, K., George, G., Shirodkar, P., & Vethamony, P. (2015). Influence of natural and anthropogenic factors on the water quality of the coastal waters around the South Andaman in the Bay of Bengal. *Natural Hazards*, *78*, 309–331.

VishnuRadhan, R., Sagayadoss, J., Seelan, E., Vethamony, P., Shirodkar, P., Zainudin, Z., & Shirodkar, S. (2015). Southwest monsoon influences the water quality and waste assimilative capacity in the Mandovi estuary (Goa state, India). *Chemistry and Ecology*, *31*(3), 217–234. https://doi.org/10.1080/02757540.2014.961435

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ANALISIS POTENSI LISTRIK BIOBRIKET DARI TANAMAN PESISIR BERBASIS PENGINDERAAN JAUH

Studi Kasus di Pulau Singkep, Kabupaten Lingga

(Remote Sensing-Based Analysis of The Electrical Potential of Biobriquettes from Coastal Plants: Case Study in Singkep Island, Lingga Regency)

Afriyanto[1] dan Fhari Rizki Wibowo[2]
[1]CV. Geogafri Digital Utama
[2]Departemen Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro

Kabupaten Lingga, Kepulauan Riau
E-mail: afriyantohrmn@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia telah meratifikasi Persetujuan Paris melalui UU No 16 Tahun 2016, yang menegaskan posisinya untuk mencapai *net zero emission* pada tahun 2060 atau lebih awal. Hal ini menuntut transisi energi fosil ke energi terbarukan. Salah satunya dengan memanfaatkan tanaman pesisir seperti ketapang (*Terminalia catappa*), cemara laut (*Casuarina equisetifolia*), dan pandan pantai (*Pandanus utilis*). Dedaunan layu dari tanaman tersebut bisa diolah menjadi biobriket yang memiliki potensi listrik. Pulau Singkep, Kabupaten Lingga tentunya memiliki potensi tersebut untuk dikembangkan lebih lanjut. Tahapan penting di awal kajian yaitu melakukan pemetaan secara menyeluruh dengan teknologi penginderaan jauh yang relevan dipilih pada penelitian ini. Metode ini membutuhkan citra satelit Sentinel-2 yang selanjutnya diolah menggunakan *software* Google Earth Engine. Hasil penelitian ini adalah luas wilayah dengan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) tinggi pada sempadan pantai (100 meter dari garis pantai ke arah darat) di Pulau Singkep sebesar 2.013.348,14 m^2 atau 11% dari luas sempadan pantai di Pulau Singkep. Luasan area tersebut mencakup 611.985 batang tanaman pesisir yang mampu menghasilkan biobriket sebesar 246.155 kg dengan potensi daya listrik yang dihasilkan sebesar 44.981,38 MWh. Hal ini bisa menjadi referensi untuk pemerintah dalam mengoptimalkan potensi energi baru terbarukan di Pulau Singkep, Kepulauan Riau.

Kata kunci: biobriket, google earth engine, listrik, singkep, tanaman pesisir

ABSTRACT

Indonesia has ratified the Paris Agreement through Law No. 16/2016, affirming its position to achieve net zero emissions by 2060 or earlier. This demands the transition of fossil energy to renewable energy. One of them is by utilizing coastal plants such as ketapang (Terminalia catappa), sea spruce (Casuarina equisetifolia), and beach pandan (Pandanus utilis). The withered leaves of these plants can be processed into biobriquettes which have electrical potential in them. Singkep Island, Lingga Regency certainly has this potential to be developed further. However, it is important at an early stage to conduct a thorough mapping, which is why remote sensing technology is relevant for this research. This method requires sentinel-2 satellite images which are then processed using Google Earth Engine software. The result of this research is that the area with high NDVI on the coastal border (100 meters from the coastline inland) on Singkep Island is 2,013,348.14 m^2 or 11% of the coastal border area on Singkep Island. The area covers 611,985 stems of coastal plants capable of producing 246,155 kg of briquettes with a potential electrical power generated of 44,981.38 MWh. This can be a reference for the government in optimizing the potential for new renewable energy on Singkep Island, Riau Islands.

Keywords: *biobriquettes, google earth engine, electricity, singkep, coastal crops*

PENDAHULUAN

Indonesia telah meratifikasi Persetujuan Paris melalui UU No 16 Tahun 2016, yang menegaskan posisinya untuk mencapai *net zero emission* pada tahun 2060 atau lebih awal. Menurut IESR (2016), Kesepakatan Paris ini tentunya memberikan pekerjaan rumah yang cukup besar untuk negara berkembang. Negara tersebut harus ikut serta dalam upaya global untuk

melakukan mitigasi emisi gas rumah kaca sekaligus harus beradaptasi menghadapi dampak perubahan iklim. Hal ini mendorong negara-negara tersebut melakukan transformasi dengan cepat, menuju pembangunan rendah karbon dan berdaya lenting terhadap dampak perubahan iklim. Salah satunya berfokus pada transisi energi baru terbarukan (EBT).

EBT berperan penting dalam pendorong sistem ekonomi hijau, berkelanjutan, dan rendah karbon. Hal ini menjadi tren pembangunan di seluruh dunia dalam menyikapi semakin naIKNya populasi, kebutuhan manusia, dan kegiatan manusia yang menyebabkan kerusakan lingkungan.

Indonesia sendiri tentunya memiliki potensi energi terbarukan yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia antara lain sumber energi surya, air, angin, panas bumi, gelombang laut, dan sumber energi biomassa. Energi biomassa terdiri atas *biofuel* (biodiesel, bioetanol), biogas, dan biomassa (serpihan kayu, biobriket, residu pertanian). Hal menarik yang akan dibahas mengenai biobriket.

Biobriket adalah batangan arang yang terbuat dari arang limbah organik yang telah dicetak sedemikian rupa yang memiliki nilai kalor yang tinggi (Varun *et al*., 2014). Biobriket tentunya banyak dimanfaatkan di negara-negara Asia bagian selatan seperti Indonesia, India, dan Thailand. Sumber daya yang digunakan untuk membuat biobriket tentunya memanfaatkan limbah organik yang di sisi lainnya termasuk mengurangi jumlah organik yang terbuang secara percuma. Biobriket ini bisa menggunakan tanaman pesisir seperti ketapang (*Terminalia catappa*), cemara laut (*Casuarina equisetifolia*), dan pandan pantai (*Pandanus utilis*) (Ganing *et al*., 2021). Hal ini juga memiliki potensi yang tinggi mengingat Indonesia adalah negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia.

Potensi pesisir Indonesia yang tinggi dan tersebar sepanjang khatulistiwa, salah satunya di Pulau Singkep, Kabupaten Lingga, Provinsi Kepulauan Riau. Pulau ini tentunya memiliki potensi tanaman pesisir yang mampu diolah menjadi biobriket untuk dikembangkan lebih lanjut. Namun, penting di tahap awal untuk melakukan pemetaan secara menyeluruh yang mana teknologi penginderaan jauh relevan dipilih pada penelitian ini.

Penginderaan Jauh adalah seni dan ilmu untuk mendapatkan informasi tentang objek, area atau fenomena melalui analisis terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, ataupun fenomena yang dikaji (Lillesand, 2007). Metode ini membutuhkan citra satelit Sentinel-2 yang selanjutnya diolah menggunakan *software* Google Earth Engine untuk mengetahui secara spasial mengenai indeks vegetasi (NDVI) yang mengindikasikan kerapatan vegetasi di suatu area tertentu.

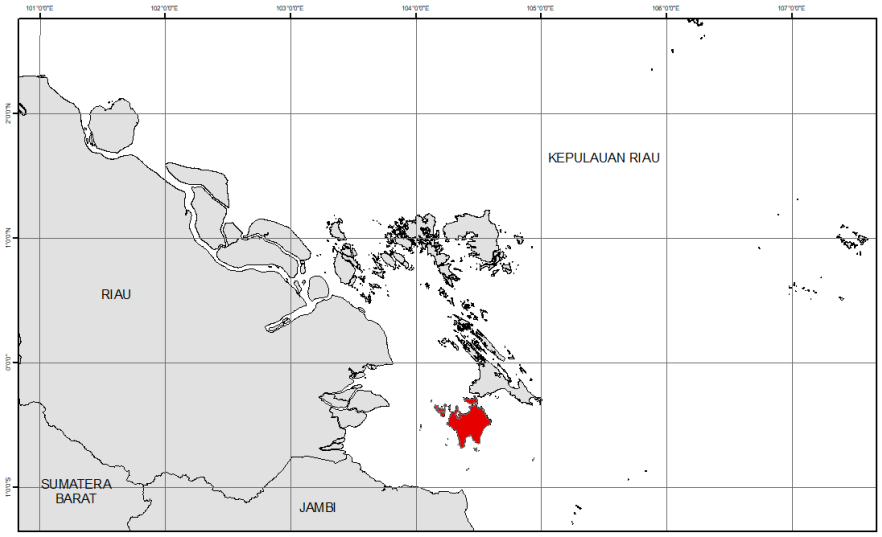
Penelitian ini dilakukan analisis secara spasial (keruangan) dilanjutkan dengan analisis potensi listrik yang dihasilkan dari biobriket tanaman pesisir. Hasil tersebut akan menjadi rekomendasi bagi pemerintah untuk mengoptimalkan potensi tanaman pesisir sebagai biobriket demi kemajuan transisi energi terbarukan.

METODE

Penelitian ini berlokasi di Pulau Singkep, Kabupaten Lingga, Provinsi Kepulauan Riau. Pulau yang dikenal sebagai pulau timah pada masanya dan pusat perekonomian terletak di Dabo Singkep, Kecamatan Singkep yang terletak pada 00º03’00” Lintang Selatan dan 02º21’00” Lintang Selatan serta 104º22’00” Bujur Timur dan 105º02’00” Bujur Timur (BPS, 2021).

Secara geologi, pulau ini bagian dari paparan kontinental yang terkenal dengan nama Paparan Sunda. Karakteristik batuan pluton yang bersifat asam dengan singkapan batuan endapan yang berasal dari zaman geologi pratersier dan trios. Jenis tanah yang pada umumnya merupakan podsonik merah kuning, litosol, dan organosol (BPS, 2021).

Kondisi geografis Pulau Singkep ini cocok untuk pertumbuhan tanaman pesisir seperti ketapang (*Terminalia catappa, L.*). Tumbuhan ini mampu tumbuh pada dataran rendah hingga dataran tinggi, di hutan primer maupun sekunder, hutan campuran *Dipterocarpaceae*, hutan rawa, hutan pantai, hutan jati maupun sepanjang sungai dan pantai (Faizal *et al*., 2009). Hal ini sangat relevan dengan kondisi Pulau Singkep dengan topografi relatif datar dan pantai.



Gambar 32. Peta lokasi penelitian.

Secara umum, penelitian ini menggunakan metode penginderaan jauh (*remote sensing*). Adapun data yang digunakan adalah data Sentinel-2 yang bersifat *open-source* dari *website* resmi Copernicus. Data citra satelit ini selanjutnya dilakukan analisis menggunakan algoritma NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dengan bantuan Google Search Engine. Penulisan algoritma NDVI (Rouse *et al.*, 1973) diuraikan dalam **Persamaan 1**.

$$NDVI = (NIR-R) / (NIR+R) \quad \text{.....(1)}$$

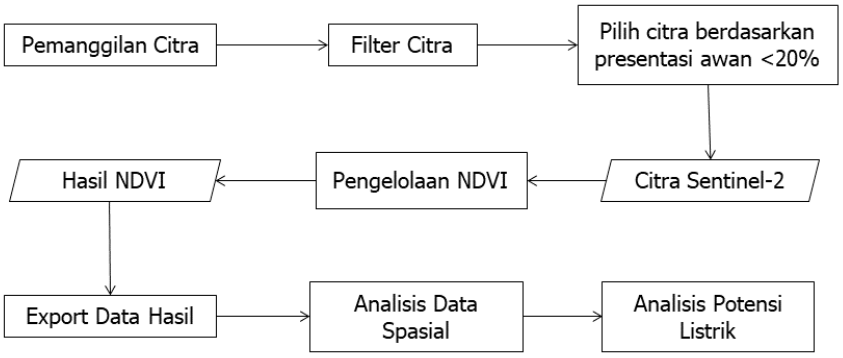
Keterangan:
NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*
NIR = reflektansi inframerah dekat
R = reflektansi cahaya merah

Perhitungan potensi listrik dari biobriket dilakukan dengan cara mendapatkan nilai kalor dari biobriket dan massa aliran biobriket sesuai **Persamaan 2** dan **3** berikut.

$$\text{Potensi Daya Bahan Bakar} = \text{Jumlah kandungan nilai kalor} \times \text{aliran massa biobriket} \quad \text{.....(2)}$$
$$\text{Potensi Energi Listrik} = \text{Daya bahan bakar} \times \text{Durasi hidup} \times \text{Efisiensi PLTU} \quad \text{.....(3)}$$

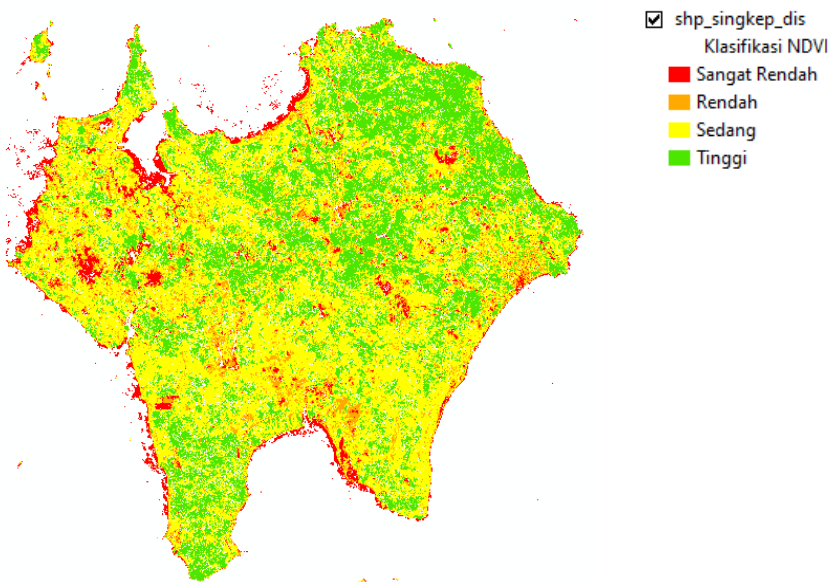
Keterangan:
Potensi Daya Bahan Bakar : Potensi Energi dari output yang dihasilkan (Watt)
Jumlah kandungan nilai kalor : Nilai kalor pada biobriket (kj/kg)
Aliran massa biobriket : Massa dari limbah organik (kg/hari)
Potensi Energi Listrik : Jumlah dari potensi energi bahan bakar di kali efisiensi PLTU (kWh)
Durasi hidup : Waktu operasi PLTU (jam)
Efisiensi PLTU : Efisiensi PLTU (25%)

Penelitian ini terdiri atas serangkaian tahapan kerja yang disajikan ke dalam **Gambar 2**.



Gambar 33. Tahapan kerja penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN



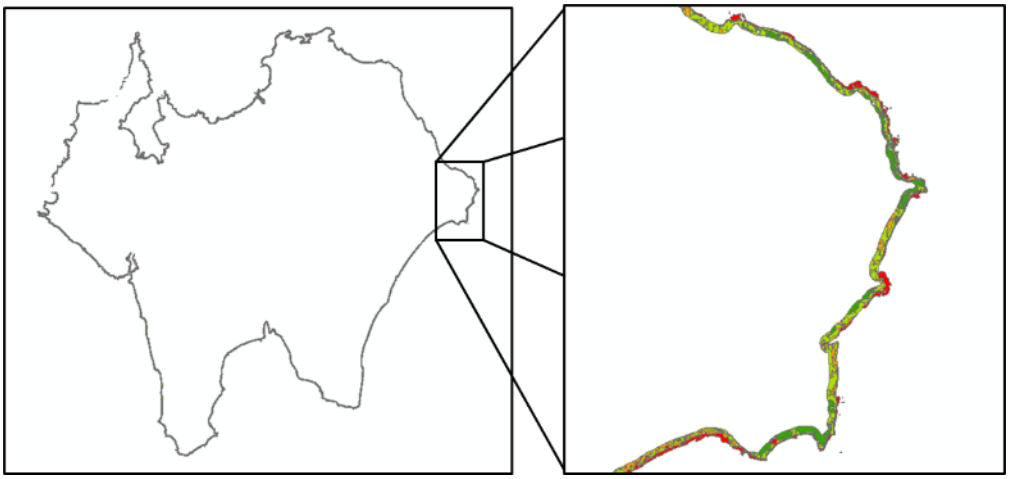
Gambar 34. Hasil klasifikasi indeks vegetasi di Pulau Singkep.

Hasil Indeks Vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) adalah sebagai berikut.

Tabel 31. Hasil indeks vegetasi NDVI Pulau Singkep.

Kategori	Hasil NDVI	
	Luas (m^2)	Persentase (%)
Sangat rendah	45.263.554,45	6%
Rendah	62.962.116,22	9%
Sedang	390.679.609,59	53%
Tinggi	240.352.993,06	33%
Total	739.258.273,32	100%

Berdasarkan **Tabel 1**, adapun luas area (m^2) hasil klasifikasi NDVI yaitu daerah dengan indeks vegetasi tinggi seluas 240.342.993,06 m^2 (33%), daerah dengan indeks vegetasi sedang seluas 390.679.609,59 m^2 (53%), daerah dengan indeks vegetasi rendah seluas 62.962.116,22 m^2 (9%) dan daerah dengan indeks vegetasi sangat rendah seluas 45.263.554,45 m^2 (6%). Hal ini menunjukkan bahwa secara luasan masih banyak area hijau di Pulau Singkep. Selanjutnya dilakukan klasifikasi indeks vegetasi di area sempadan pantai Pulau Singkep. Adapun sempadan pantai ini mengindikasikan tanaman pesisir yang berada dalam radius 100 meter dari garis pantai ke arah darat. Berikut ini hasil Indeks Vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) di sempadan pantai Pulau Singkep ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 35. Hasil indeks vegetasi NDVI di sempadan pantai Pulau Singkep.

Hasil indeks vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pada kawasan sempadan pantai di Pulau Singkep disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 32. Hasil indeks vegetasi NDVI sempadan pantai Pulau Singkep.

Kategori	Hasil NDVI	
	Luas (m^2)	Persentase (%)
Sangat rendah	4.070.292,05	22%
Rendah	4.602.494,39	25%
Sedang	8.004.461,95	43%
Tinggi	2.013.348,14	11%
Total	18.690.596,52	100%

Hasil Indeks Vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pada kawasan sempadan pantai per kecamatan yang terdapat di Pulau Singkep disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil indeks vegetasi sempadan pantai per kecamatan.

Kategori	Kecamatan Singkep		Kecamatan Singkep Barat	
	Luas (m^2)	Persentase (%)	Luas (m^2)	Persentase (%)
Sangat rendah	1.305.220,13	17%	2.765.071,91	25%
Rendah	2.058.517,31	28%	2.543.977.07	23%
Sedang	3.194.560,25	43%	4.809.901,70	43%
Tinggi	904.469,23	12%	1.108.878,91	10%
Total	7.462.766,92	100%	11.227.829,60	100%

Berdasarkan data tersebut, penulis melakukan analisis kelistrikan terkait peluang atau potensi yang akan diperoleh. Mengacu pada penelitian Wahyuni (2022), dimensi daun ketapang yang bisa hidup dan sesuai dengan topografi Pulau Singkep (Faizal *et al.*., 2009) sebagai indikator tanaman pesisir lainnya seperti pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Parameter dimensi tanaman.

p (cm)	l (cm)	h (cm)	vol (cm^3)	aR (ml)	Da	Td	Ta (ml)
21,030	11,960	0,017	3,790	80,2	21,8	4.693	17.330

Sumber: Wahyuni (2022)

Keterangan:

p	: panjang daun (cm)	aR	: jumlah air transpirasi dalam 1 ranting (ml)
L	: lebar daun (cm)	Da	: banyaknya daun dalam 1 ranting
H	: tinggi daun (cm)	Td	: total daun dalam 1 pohon
Vol	: volume daun (cm^3)	Ta	: estimasi jumlah air hasil transpirasi pada pohon ketapang (ml)

Adapun volume daun pada 1 pohon adalah perhitungan antara total daun dalam 1 pohon (Td) dan volume pada 1 helai daun (vol), sehingga:

$$\textit{Volume daun pada 1 pohon} = Td \times vol$$
$$= 4.693 \times 3{,}790\ cm^3$$
$$= 17.808{,}84\ ml$$

Potensial total daun yang bisa diolah menjadi biobriket (secara material kering) adalah selisih antara volume daun pada 1 pohon terhadap estimasi jumlah air hasil transpirasi pada pohon ketapang (Ta) sebesar 478,838 ml atau 0,287 kg. (kepadatan bahan = 0,6 gram/cm^3)

Di sisi lain, penulis melakukan perhitungan terhadap jumlah pohon yang terdapat di sempadan pantai yang terdapat di Pulau Singkep yaitu:

$$\textit{Total pohon} = \textit{Luas NDVI Tinggi di sempadan pantai Pulau Singkep } (m^2) / \textit{Luas Pohon } (m^2)$$
$$= 2.013.348{,}14\ m^2 / 3{,}29\ m^2$$
$$= 611.985 \text{ pohon}$$

Dengan demikian, untuk mengetahui potensi bahan biobriket yang bisa dihasilkan maka dilakukan perhitungan antara jumlah pohon dan daun kering yang dihasilkan per pohon yaitu sebesar 175.825,09 kg. Adapun 1 kg daun kering mampu menghasilkan biobriket sebesar 1,4 kg sehingga potensi massa biobriket yang dihasilkan sebesar 246.155 kg serta mampu menghasilkan 11,06 x 10^{12} kal (1 kg daun kering = 62.907 kal/gram).

Perhitungan Potensi Listrik Biobriket

Potensi kelistrikan dari biobriket tanaman pesisir tentunya bisa dilakukan perhitungan (Wahyuni, 2022) dengan jumlah kandungan nilai kalor 100 gram biobriket sebesar 18.800,38 kJ/kg dan aliran massa biobriket 0,000162 kg/s sehingga diperoleh potensi daya bahan bakar biobriket perharinya sebesar 3,0456 Watt.

Potensi energi listrik dihitung dengan menggunakan potensi daya bahan bakar dan efisiensi PLTU 25% (Wahyuni, 2022) untuk mengetahui potensi energi listrik dari biobriket tanaman pesisir dalam 1 hari, sehingga:

Potensi Listrik Biobriket = *Potensi Daya Bahan Bakar x Durasi Hidup x Efisiensi PLTU*
= 3,0456 Watt x 24 jam x 25%
= 18,27 kWh

Selanjutnya, adapun potensi listrik biobriket pada tanaman pesisir di sepanjang sempadan pantai Pulau Singkep adalah sebagai berikut:

Potensi Listrik Biobriket Singkep = *Potensi Listrik Biobriket x massa biobriket keseluruhan*
= 18,27 kWh x 10 x 246.155 kg
= 44.981.380 kWh atau 44.981,38 MWh

Jadi, potensial energi listrik biobriket dari tanaman pesisir di sempadan pantai Pulau Singkep yang mampu dihasilkan sebesar 44.981,38 MWh. Hal ini sesuai dengan parameter yang sudah dilakukan pengujian (Wahyuni, 2022) termasuk potensi listrik yang dihasilkan. Hal ini bisa menjadi rekomendasi kepada pemerintah daerah dalam mengoptimalkan sumber daya alam yang tersedia.

KESIMPULAN

Biobriket tanaman pesisir menjadi salah satu referensi energi baru terbarukan (EBT) yang bisa direalisasikan di Pulau Singkep, Kabupaten Lingga, Kepulauan Riau. Hasil penelitian ini adalah luas wilayah dengan NDVI tinggi pada sempadan pantai (100 meter dari garis pantai ke arah darat) di Pulau Singkep sebesar 2.013.348,14 m^2 atau 11% dari luas sempadan pantai di Pulau Singkep. Luasan area tersebut mencakup 611.985 batang tanaman pesisir yang mampu menghasilkan biobriket sebesar 246.155 kg dengan potensi daya listrik yang dihasilkan sebesar 44.981,38 MWh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang sudah membantu proses penelitian dan penulisan paper ini. Kepada Fhari Rizki Wibowo yang sudah membantu proses pengolahan data dengan metode penginderaan jauh, kepada orang tua kedua penulis dan semua orang yang penulis sayangi dan kasihi. Untuk cakupan luasnya, penulis persembahkan karya ini kepada masyarakat di Pulau Singkep, Kabupaten Lingga, Kepulauan Riau.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik Kabupaten Lingga. (2021). Kecamatan Singkep dalam Angka 2021. Lingga: Badan Pusat Statistik Kabupaten Lingga.

Faizal, M., Noprianto, P., dan Amelia, R., 2009. Pengaruh Jenis Pelarut, Ukuran Partikel, dan Jumlah Siklus terhadap Yield Ekstrakis Minyak Biji Ketapang. Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya, *2*(1), 28-34.

Institute for Essential Services Reform. (2016). IESR Annual Impact Report 2016. Jakarta: IESR.

Iriany, C. Cindy, and Sari C. (2016). Pembuatan Biobriket dari Pelepah dan Cangkang Kelapa Sawit: Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Baku dan Waktu Karbonisasi Terhadap Kualitas Briket. Jurnal Teknik Kimia USU, *5*(3), 31-37.

Jain. Varun, Rc. Chippa, Pbl. Chaurasia, Harshal Gupta and Sarvesh Kumar Singh. (2014). A Comparative Experimental Investigation of Physical and Chemical Properties of Sawdust and Cattle Manurebriquette. *International Journal of Science Engineering And Technology*, *2*(7), 2348-4098.

Lillesand *et al.* (2007). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Melani Ganing, Andi Suryanto, Zakir Sabara dan M Arman. (2021). Pemanfaatan Daun Ketapang Kering dan Kulit Kakao menjadi Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Journal of Chemical Process Engineering*, *6*(2), 75-82.

Ramadhan A. (2023). Analisis Pemanfaatan Daun-Daun Kering menjadi Biobriket sebagai Energi Alternatif. Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional, *9*(1), 12-19.

Rouse, J. W., R. H. Hass, J. A. Schell and D. W. Deering. (1973). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In: Proceedings of the Third ERTS Symposium, Washington, DC: NASA, 309–317.

Saefulhak, Y., T. Mumpuni & F. Tumiwa. (2017). ENERGI TERBARUKAN: Energi untuk Kini dan Nanti. *Strategic Partnership For Green And Inclusive Energy*. Institute for Essential Services Reform, Mei 2017. Jakarta.

Wahyuni S. (2022). *The Estimation of Ketapang (Terminalia catappa Linn.) Tree's Transpiration*. Jurnal Biologi Tropis, *22*(3), 889-894.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

SUBTEMA 6:
Pemetaan Karbon Biru
(Blue Carbon Mapping)

Halaman ini sengaja dikosongkan.

PEMETAAN STOK KARBON MANGROVE DAN TINGKAT PENYERAPANNYA DENGAN GOOGLE EARTH ENGINE (GEE) DI MUARA SUNGAI CIMANUK KABUPATEN INDRAMAYU

(Mapping of Mangrove Carbon Stock And Its Level of Absorption Using Google Earth Engine (GEE) in Cimanuk River Estuary, Indramayu Regency)

Sodikin[1], Fauzi Fahmi[2], dan Asep Andri Astriyandi[3]
[1]Program Magister Studi Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Terbuka
[2]PT Geo Alam Teknika Indonesia
[3]Pendidikan IPS STKIP Al Amin Indramayu

Jl. Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan 15418
E-mail: sodikinn@ecampus.ut.ac.id

ABSTRAK

Mangrove adalah vegetasi pesisir yang memiliki berbagai fungsi, antara lain fungsi ekologi, ekonomi, dan sosial. Salah satu fungsi ekologi mangrove adalah sebagai penyerap emisi karbon di udara. Vegetasi mangrove memiliki fungsi penyimpan karbon yang lebih besar dibandingkan dengan hutan darat lainnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan stok karbon dan tingkat penyerapan karbon mangrove di muara Sungai Cimanuk Kabupaten Indramayu. Penelitian ini menggunakan pendekatan spasial, yaitu dengan menganalisis stok karbon dan tingkat serapannya dengan menggunakan citra Sentinel 2A tahun 2023 yang diolah dengan menggunakan Google Earth Engine (GEE). Teknik analisis yang digunakan untuk melihat tingkat kerapatan mangrove menggunakan analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan formulasi untuk penentuan biomassa mangrove, stok karbon, dan serapan karbon. Validasi lapangan dilakukan melalui *ground check* lapangan dengan mengukur diameter pohon setinggi dada (DBH) pada beberapa titik sampel. Berdasarkan hasil penelitian terdapat 9 jenis mangrove yang ada di muara Sungai Cimanuk yang tersebar hampir di sepanjang kawasan tersebut. Hasil analisis menunjukkan nilai biomassa total di muara Sungai Cimanuk adalah 102.474.558,8 kg/hektare, dan Nilai total stok karbon pada mangrove muara Sungai Cimanuk sebesar 51.237.276,65 kg/hektare dan Nilai Total serapan karbon dari kawasan mangrove di muara Sungai Cimanuk sebesar 188.040.819,6 kg/hektare. Biomassa, stok karbon dan penyerapannya dikategorikan berdasarkan 3 kriteria antara lain: rendah, sedang dan tinggi. Jika dihubungkan dengan tingkat kerapatan vegetasinya, stok karbon dan serapan karbon menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kerapatan, semakin besar stok karbon maupun tingkat serapan karbon di wilayah tersebut.

Kata kunci: mangrove, stok karbon, Cimanuk, Indramayu

ABSTRACT

Mangroves are coastal vegetation that have various functions, including ecological, economic and social functions. One of the ecological functions of mangroves is to absorb carbon emissions in the air. Mangrove vegetation has a greater carbon storage function compared to other land forests. The aim of this research is to map the carbon stock and level of mangrove carbon absorption in the Cimanuk River Estuary, Indramayu Regency. This research uses a spatial approach, namely by analyzing carbon stocks and absorption levels using sentinel 2A imagery in 2023 which was processed using Google Earth Engine (GEE). The analytical technique used to see the level of mangrove density uses NDVI analysis and formulations for determining mangrove biomass, carbon stock and carbon uptake. Field validation was carried out through ground checks by measuring the diameter of the tree at breast height (DBH) at several sample points. Based on the results of research on the types of mangroves at the mouth of the Cimanuk River, there are 9 types of mangroves spread almost throughout the area. The results of the analysis show that the total biomass value at the mouth of the Cimanuk River is 102,474,558.8 kg/hectare, and the total value of carbon stock in the mangroves at the mouth of the Cimanuk River is 51,237,276.65 kg/hectare and the total value of carbon uptake from the mangrove area at the mouth of the River Cimanuk amounted to 188,040,819.6 kg/hectare. Biomass, carbon stock and absorption are categorized based on 3 criteria, including: low, medium and high. If it is related to the level of vegetation density, carbon stock and carbon uptake, it can be seen that the higher the density level, the greater the carbon stock and level of carbon uptake in that area.

***Keywords**: mangrove, carbon stock, Cimanuk, Indamayu*

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk yang begitu pesat, diikuti oleh semakin meningkatnya aktivitas penduduk di bumi ini. Beberapa aktivitas penduduk seperti industri, penggunaan kendaraan bermotor dalam aktivitas sehari-sehari tidak bisa dipungkiri akan menghasilkan emisi karbon. Saat ini penyumbang terbesar emisi karbon di bumi adalah dari bahan bakar kendaraan bermotor dan industri. Kontribusi pencemaran udara yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60%, selebihnya sektor industri 25%, rumah tangga 10%, dan sampah 5% (Kusumawardani, 2018). Emisi karbon yang tinggi akan berdampak terhadap kesehatan masyarakat. Selain itu jumlah emisi karbon yang terus meningkat dapat memicu potensi kerugian ekonomi nasional (Pusparini, 2023). Permasalahan pemanasan global yang terjadi saat ini tidak terlepas dari meningkatnya emisi karbon di bumi kita. Pemanasan global ini disebabkan oleh meningkatnya gas-gas rumah kaca yang dominan ditimbulkan oleh industri. Gas rumah kaca yang meningkat ini menimbulkan efek pemantulan dan penyerapan terhadap gelombang panjang yang bersifat panas (inframerah) yang diemisikan oleh permukaan bumi kembali ke permukaan bumi (Pratama, 2013).

Salah satu ekosistem yang mampu menyerap dan menyimpan karbon adalah ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove merupakan vegetasi yang tumbuh di kawasan peralihan darat dan laut *(interface*). Oleh karena itu, ekosistem ini mempunyai fungsi spesifik yang keberlangsungannya bergantung pada dinamika yang terjadi di ekosistem daratan dan lautan (Nurasia, 2021). Mangrove adalah salah satu ekostem pesisir yang memiliki banyak fungsi, baik secara ekologi, ekonomi, dan sosial. Mangrove memiliki serapan karbon paling tinggi dibandingkan dengan hutan darat. Sehingga keberadaaan mangrove di suatu wilayah, tentunya akan membantu dalam menyimpan dan menyerap karbon yang ada di wilayah tersebut (Donato *et al.*,2012). Hal ini senada dengan penyataan Kareninsekar (2020) yang menyatakan bahwa mangrove merupakan tanaman yang memiliki peranan sebagai salah satu agen penyerap karbondioksida (CO_2) yang berasal dari udara sehingga berpengaruh terhadap perubahan iklim.

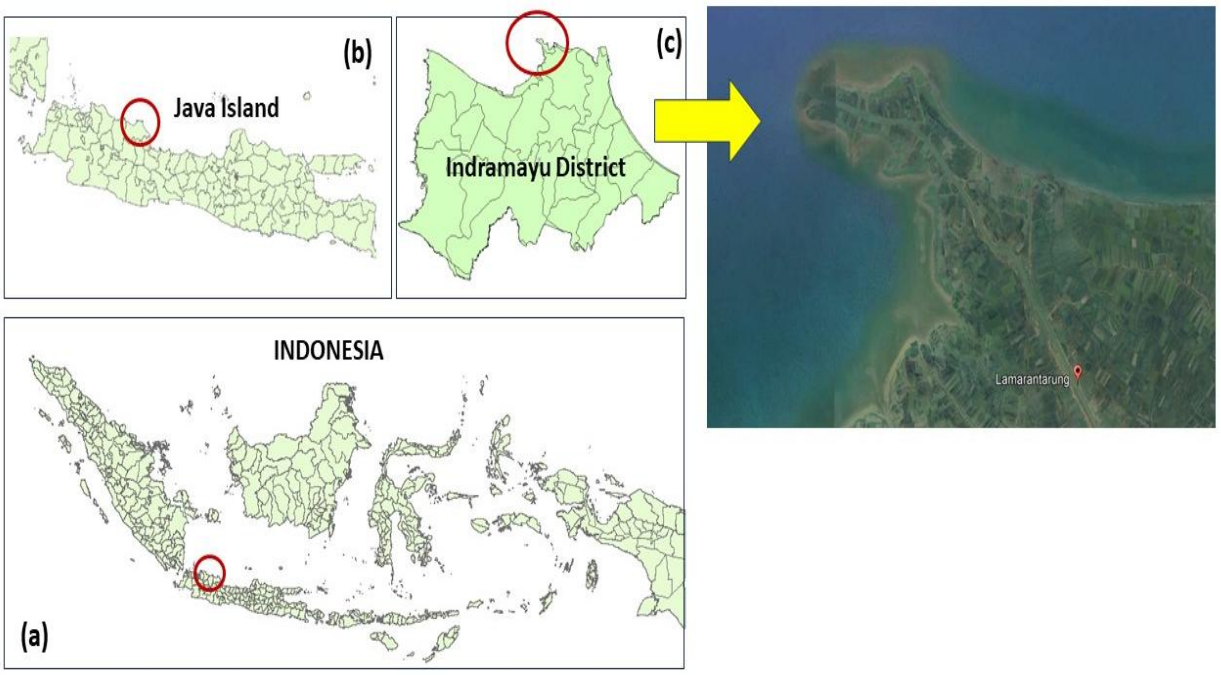
Penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi pengolahan citra yang dapat digunakan untuk mendeteksi biomassa dari ekosistem mangrove. Pendugaan biomassa menggunakan penginderaan jauh dilakukan melalui analisis data yang diperoleh dari waktu tempat tertentu tanpa kontak langsung dengan objek atau daerah yang dikaji. Data yang umum digunakan dalam penginderaan jauh berupa citra digital yang direkam melalui sensor nonkamera berupa satelit seperti: Landsat ETM+, Sentinel, SPOT, NOAA, Quickbird, dan Ikonos (Tunggadewi, 2014). Dari data biomassa kita dapat melakukan pendugaan terhadap ketersediaan karbon dan tingkat penyerapannya. Sehingga dapat mengetahui seberapa besar total biomassa, stok karbon, dan penyerapan dari sebuah kawasan ekosistem mangrove.

Di era moden saat ini muncul *platfom* Google Earth Engine (GEE) yang dapat membantu untuk melakukan analisis citra untuk berbagai bidang. GEE mempunyai kelebihan seperti akses data yang sangat besar dan pengolahan data berbasis cloud, sehingga proses analisis dan visualisasi geo-big data dapat dilakukan tanpa menggunakan super komputer. GEE juga mempunyai beberapa metode machine learning untuk analisis citra seperti random forest, CART dan sebagainya (Tamiminia et al, 2020).

Muara Sungai Cimanuk adalah salah satu wilayah yang berada di Desa Lamaran Tarung Kecamatan Cantigi Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. Kawasan Mangrove di muara Sungai cimanuk dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya luas daratan wilayah tersebut akibat sedimentasi yang cukup besar. Kawasan mangrove yang cukup tinggi menjadi kawasan yang berpotensi menjadi penyimpan dan penyerap karbon untuk wilayah sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan stok karbon dan penyerapannya dengan GEE di Muara Sungai Cimanuk Desa Lamaran Tarung, Kecamatan Cantigi Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat.

METODE

Penelitian dilaksanakan di muara Sungai Cimanuk yang secara administrasi berada di Desa Lamaran Tarung, Kecamatan Cantigi, Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2023. Lokasi penelitian seperti terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Peta Administrasi Desa Lamarang Tarung, dan citra Sentinel 2 tahun 2023 dengan menggunakan *Band* 4 (*Red*) dan *Band* 8 (*NIR*) serta model alometrik *carbon stock* tegakan mangrove. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Global Positioning Sistem (GPS), kamera, perangkat keras (*hardware*) yang digunakan adalah berupa seperangkat *personal computer* (PC) dan *software* yang digunakan yaitu ArcGIS 10.8 dan *platform GEE*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini antara jumlah pohon dan identifikasi jenis mangrove. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan survei lapangan dan analisis citra. *Ground check* lapangan dilakukan untuk memvalidasi terkait dengan hasil interpretasi citra terkait objek mangrove dan non mangrove di lapangan. Data sekunder yang digunakan antara lain, peta administrasi dan citra Sentinel.

Analisis Index Vegetasi (NDVI)

Analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan salah satu algoritma indeks vegetasi yang paling sering digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan vegetasi, salah satunya untuk menghitung kerapatan ekosistem mangrove (Safitri, 2023). NDVI juga dapat menunjukkan parameter vegetasi, seperti biomassa daun hijau, wilayah dedaunan hijau, sehingga dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi (Setiawan *et al.*, 2018). Citra yang dilakukan analisis NDVI adalah citra Sentinel 2 tahun 2023. Menurut Danoedoro (1996) formulasi untuk NDVI dirumuskan dalam **Persamaan 1** berikut.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
NIR : Nilai spektral saluran *Near Infrared*
RED : Nilai spektral saluran *Red*

Perhitungan Biomassa

Untuk melakukan analisis biomassa mangrove, digunakan hasil NDVI pada tahap sebelumnya. Formulasi yang digunakan untuk mengubah NDVI ke biomassa menggunakan formulasi dari Budi (2000). Model alometrik yang dibuat Budi (2000) melibatkan NDVI yang memiliki nilai koefisien

determinasi yang tinggi dengan nilai 82,8%. Formulasinya dirumuskan dalam **Persamaan 2** berikut.

$$W = \frac{30{,}97183 - 56{,}898258\ \text{NDVI}}{1 + 3{,}95247\ \text{NDVI} - {,}5673017\ \text{NDVI}^2};\ R^2 = 82{,}8\% \quad \text{.....(2)}$$

Analisis Stok Karbon

Untuk menghitung ketersediaan karbon menggunakan formulasi **Persamaan 3** berikut.

$$\boldsymbol{C = 0.5 \times W} \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan:
C : Kandungan karbon (kg/m^2)
W : Biomassa (kg)

Analisis Serapan Karbon

Untuk menghitung serapan karbon mangrove, cadangan karbon diubah menjadi total CO_2 menggunakan rasio massa atom relatif C, yang dapat dirumuskan dalam **Persamaan 4** berikut.

$$\boldsymbol{CO_2 = Cn \times 3.67} \quad \text{.....(4)}$$

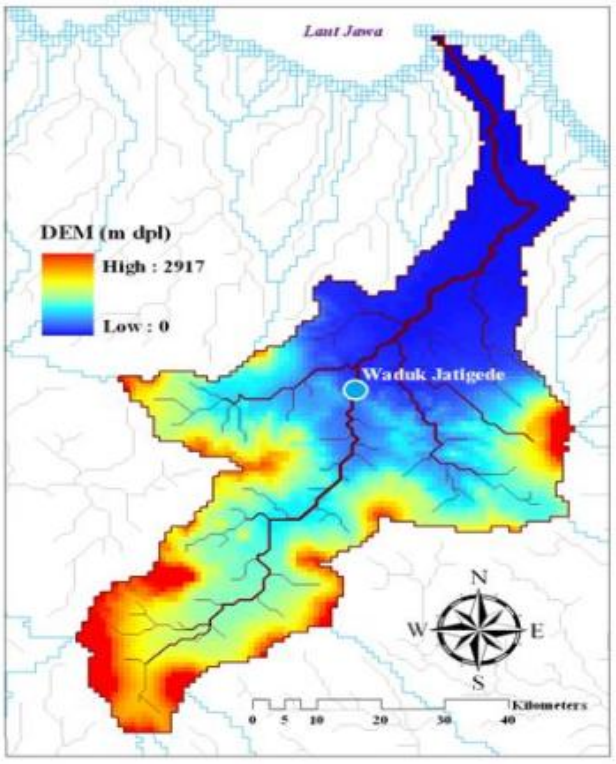
Keterangan:
Cn : Stok karbon
3,67 : Angka ekuivalen atau konversi unsur C ke CO_2 (massa atom C=12 dan O=16, CO_2= (1x12)+(2x16) = 44; konversinya (44:12) = 3,67)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Muara Sungai Cimanuk

Sungai Cimanuk secara administrasi berada di Desa Lamaran Tarung Kecamatan Cantigi Kabupaten Indramayu, Sungai Cimanuk menjadi sungai terbesar di Kabupaten Indramayu. Jika kita runtut dari hulunya, Sungai Cimanuk merupakan sungai berhulu di Puncakgede, melewati Kabupaten Sumedang, Malalengka dan bermuara di Kabupaten Indramayu. Sungai Cimanuk merupakan satu di antara tiga sungai besar di Jawa Barat yang bermuara di pantai utara Jawa. Daerah Aliran Sungai (DAS) Cimanuk yang berawal dari Gunung Puncakgede hingga pertemuan dengan Sungai Cilutung di wilayah Tomo memiliki luas 1.981 km^2 dengan panjang sekitar 83,12 km (Sulaksana *et al*., 2013).

Sedimentasi muara Sungai Cimanuk dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan, sehingga membentuk daratan yang semakin luas pada wilayah muara tersebut. Pertumbuhan Delta Cimanuk adalah adanya penambahan daratan (akresi) pada rentang 2001 sampai 2020 adalah seluas 800 hektare, pertumbuhan terbesar terjadi pada rentang tahun 2009-2013 yaitu sebesar 339 hektare, pertumbuhan ini diduga karena tingginya sedimen yang masuk ke muara tersebut sehingga daratan sangat cepat terbentuk (Sodikin, 2021). Pertumbuhan delta mangrove ini berpengaruh terhadap peningkatakan luasan mangrove, karena mangrove yang tumbuh secara alami, lebih banyak menempati wilayah daratan yang baru terbentuk. Pola hubungan antara penambahan daratan dengan peningkatan mangrove *di* Delta Cimanuk berdasarkan hasil observasi lapangan terlihat bahwa mangrove muncul setelah adanya penambahan daratan, pada mulanya daratan masih sangat tidak stabil (masih berbentuk lumpur) yang terkena pasang surut yang kadang muncul dan kadang tenggelam. Setelah itu akan ditumbuhi mangrove secara alami biasanya ditumbuhi oleh jenis *Avicennia*, kemudian pertumbuhan mangrove yang pesat akan memperkuat struktur tanah di sana sehingga menjadi daratan yang masif (Sodikin, 2022). Berikut ini adalah gambaran DAS Cimanuk dari wilayah hulu ke hilir, seperti terlihat pada **Gambar 2**.



Sumber : Bagiawan (2013)

Gambar 2. DAS Cimanuk dari hulu ke hilir.

Karakteristik Mangrove di Muara Sungai Cimanuk

Mangrove di muara Sungai Cimanuk dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya luasan muara sungai di wilayah tersebut. Berdasarkan hasil penelitian Sodikin (2022) mangrove di Delta Cimanuk pada tahun 1995 luas mangrove 879 hektare, pada tahun 2001 meningkat menjadi 884 hektare, kemudian pada tahun 2011 meningkat Kembali menjadi 919 hektare, dan pada tahun 2021 mangrove di Delta Cimanuk mejadi 2.123 hektare. Jika dilihat dari jenisnya terdapat 9 Jenis mangrove yang berada di wilayah tersebut baik mangrove mayor maupun mangrove ikutan. Berdasarkan hasil observasi lapangan yang dilakukan pada tahun 2023 mangrove *di* Delta Cimanuk menempati pinggiran pantai sampai masuk pada tepi Sungai Cimanuk itu sendiri. Jenis mangrove yang ditemukan pada lokasi penelitian lebih detail ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Jenis mangrove di Delta Cimanuk, Kabupaten Indramayu.

Nama Latin	Nama Lokal
Rhizophora mucronata	Bakau
Rhizophora stylosa	Bakau
Rhizophora apiculate	Bakau
Agiceras Corniculatum	Gedangan
Avicennia marina	Api-api
Avicennia alba	Api-api
Sonneratia Caseolaris	Pedada
Sonneratia alba	Pedada
Acanthus ilicifolius	Jeruju

Berdasarkan **Tabel 1** terdapat 9 jenis mangrove yang tersebar di wilayah Delta Cimanuk. Wilayah ini didominasi oleh jenis *Avicennia dan Rhizophora.* Mangrove di wilayah pesisir Indramayu mayoritas pada kondisi yang semakin menurun. Berdasarkan hasil penelitian Sodikin (2017) mangrove di Kabupaten Indramayu pada rentang 1989 sampai 2015 terus mengalami penurunan. Penyebab utamanya adalah konversi lahan mangrove yang digunakan untuk peruntukan lain. Sebagian besar di antaranya untuk perluasan tambak. Seiring meningkatnya

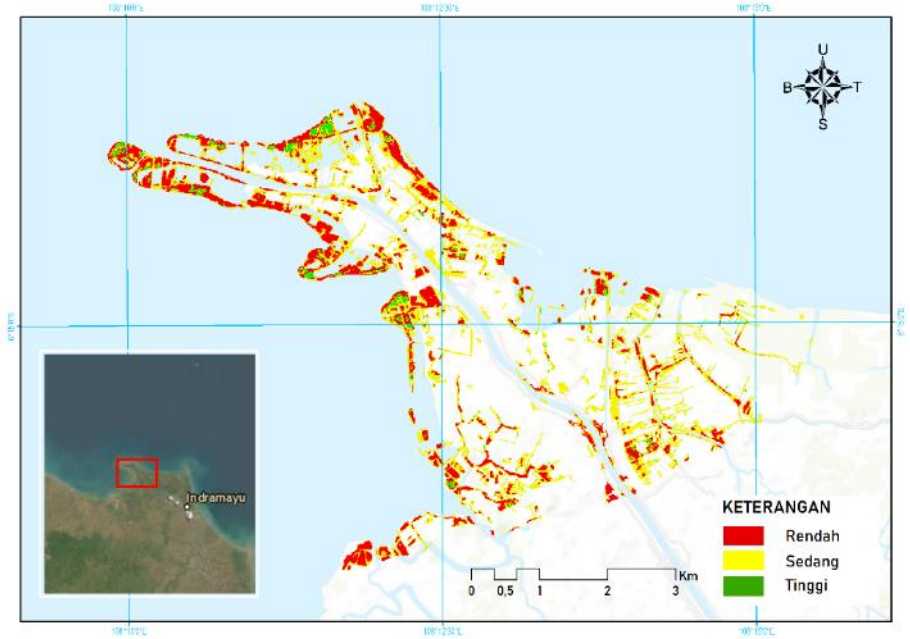
luasan Delta Cimanuk, luasan mangrove di wilayah ini juga mengalami peningkatan. Berikut ini adalah gambaran sebaran mangrove di muara Sungai Cimanuk, seperti terlihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Mangrove di muara Sungai Cimanuk.

Biomassa Mangrove

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dapat membantu dalam melakukan estimasi stok karbon hutan secara kuantitatif melalui penyusunan model statistik beberapa transformasi citra yang berkorelasi dengan biomassa hutan. Biomassa adalah materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik baik yang ada di atas permukaan tanah maupun yang ada di bawah permukaan tanah (Fadillah, 2023). Biomassa mangrove berdasarkan hasil analisis dengan GEE, seperti terlihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Sebaran biomassa mangrove di muara Sungai Cimanuk.

Berdasarkan hasil analisis citra yang telah dilakukan, perhitungan nilai total biomassa dibuat interval dalam menentukan kriteria rendah, sedang, dan tinggi. Nilai selisih ini didasarkan pada selisih nilai total biomassa, yaitu selisih antara nilai biomassa tertinggi dan terendah, maka akan diperoleh kriteria seperti pada **Tabel 2**.

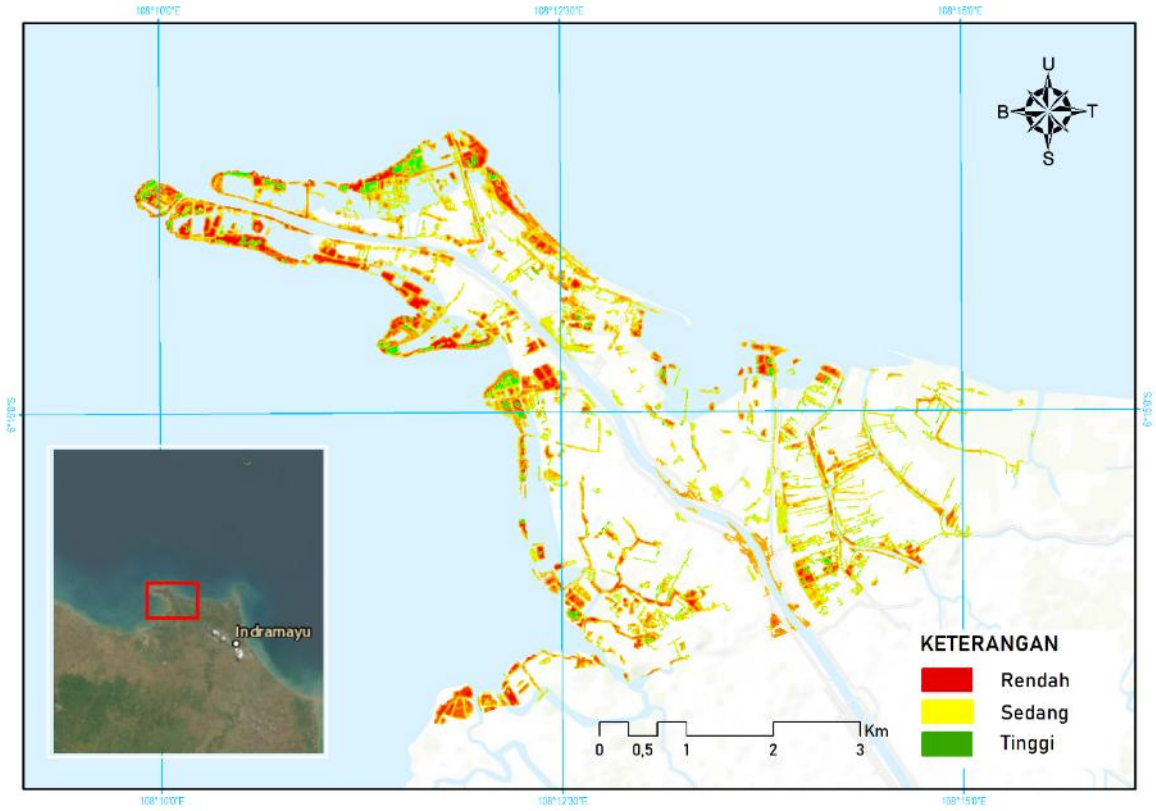
Tabel 2. Kriteria nilai total biomassa mangrove di muara Sungai Cimanuk**.**

Total Biomassa (kg/hektare)	Kriteria
0-76.787,90	Rendah
76.787,90-179.903,10	Sedang
179.903,10-559.454,76	Tinggi

Berdasarkan **Tabel 2** nilai biomassa total di muara Sungai Cimanuk adalah 102.474.558,8 kg/hektare. Biomassa mangrove ini dapat dikelompokkan menjadi 3 kategori yaitu total biomassa 0-76.787,90 kg/hektare, 76.787,90-179.903,10 kg/hektare, dan 179.903,10-559.454,76 kg/hektare.

Stok Karbon Mangrove

Stok karbon merupakan jumlah karbon yang tersimpan dalam tumbuhan. Tumbuhan akan menyerap karbon anorganik di udara (CO_2) dan mengubahnya menjadi karbon organik dalam bentuk karbohidrat melalui proses fotosintesis (Hazmi *et al.*, 2017). Stok karbon mangrove berdasarkan hasil analisis dengan GEE, seperti disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Nilai stok karbon mangrove di muara Sungai Cimanuk.

Berdasarkan hasil analisis citra yang telah dilakukan, perhitungan nilai stok karbon dibuat interval dalam menentukan kriteria rendah, sedang, dan tinggi. Nilai selisih ini didasarkan pada selisih nilai total stok biomassa, yaitu selisih antara nilai biomassa tertinggi dan terendah, maka akan diperoleh kriteria seperti pada **Tabel 3**.

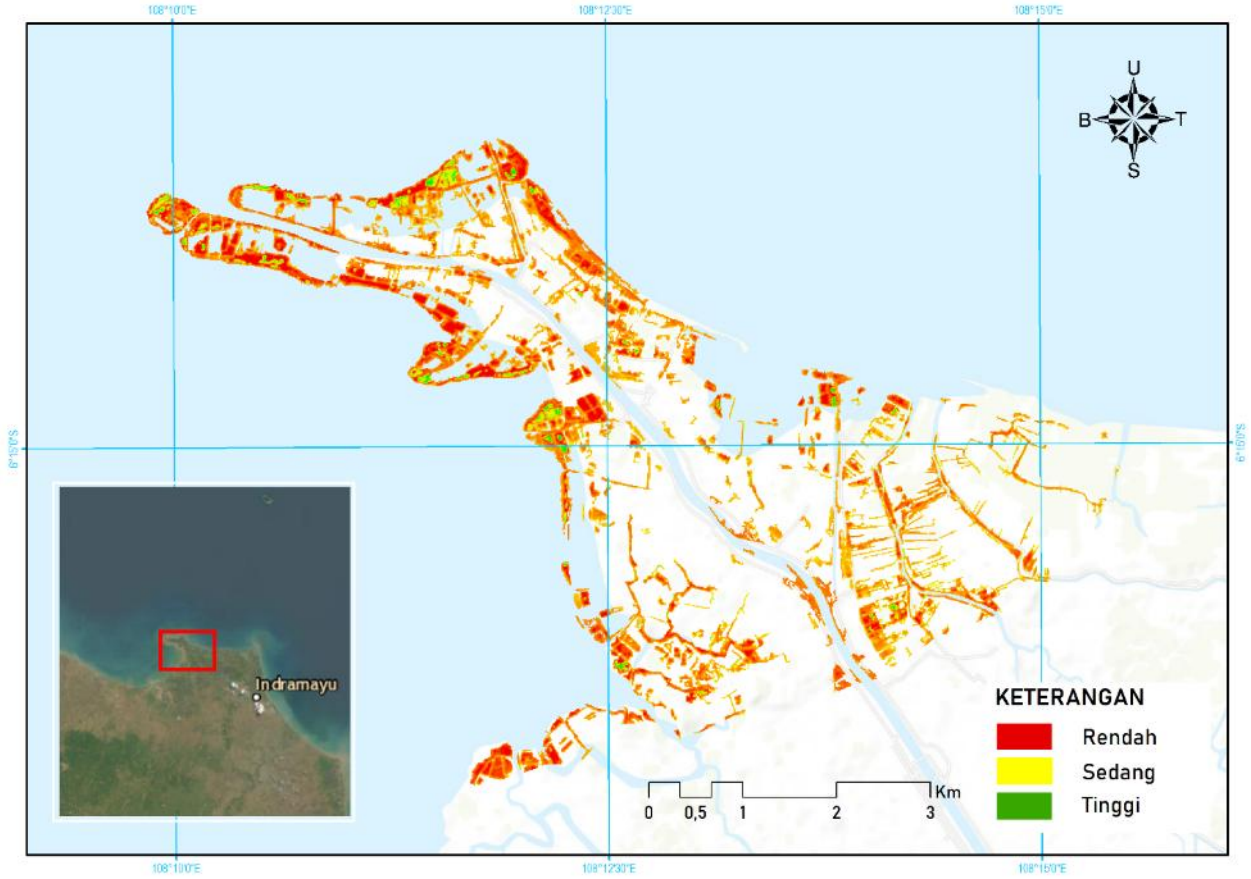
Tabel 3. Kriteria nilai stok karbon mangrove di muara Sungai Cimanuk.

Total Stok Karbon (kg/hektare)	Kriteria
0 – 38.393,95	Rendah
38.393,95- 89.951,55	Sedang
89.951,55 – 279.727,27	Tinggi

Berdasarkan **Tabel 3** nilai total stok karbon pada mangrove muara Sungai Cimanuk sebesar 51.237.276,65 kg/hektare. Stok karbon mangrove ini dapat digolongkan menjadi 3 kategori yaitu kategori rendah dengan nilai 0-38.393,95 kg, kategori sedang pada rentang nilai 38.393,95-89.951,55 kg/hektare, dan kategori tinggi berada pada rentang nilai 89.951,55-279.727,27 kg/hektare. Stok karbon merupakan salah satu eksternalitas yang diperhatikan pada pembangunan kawasan dalam rangka pencegahan dan pengendalian pemanasan global. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi stok karbon adalah ketersediaan kawasan vegetasi (Zhou et.al., 2020).

Tingkat Serapan Karbon

Tingkat serapan karbon merupakan kemampuan vegetasi dalam menyerap emisi karbon di wilayah tersebut. Tingkat serapan karbon di muara Sungai Cimanuk berdasarkan analisis dari citra Sentinel seperti disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Tingkat serapan karbon di muara Sungai Cimanuk.

Berdasarkan hasil analisis citra yang telah dilakukan, perhitungan nilai serapan karbon dibuat interval dalam menentukan kriteria rendah, sedang, dan tinggi. Nilai selisih ini didasarkan pada selisih nilai total serapan karbon, yaitu selisih antara nilai biomassa tertinggi dan terendah, maka akan diperoleh kriteria seperti pada **Tabel 4**.

Tabel 4.Tingkat serapan karbon mangrove di muara Sungai Cimanuk.

Total Serapan Karbon (kg/hektare)	Kriteria
0-140.905,81	Rendah
140.905,81-330.122,19	Sedang
330.122,19-1.026.599,50	Tinggi

Berdasarkan **Tabel 4** nilai total serapan karbon dari kawasan mangrove di muara Sungai Cimanuk sebesar 188.040.819,6 kg/hektare. Total serapan karbon ini digolongkan menjadi 3 kategori, yaitu kategori rendah dengan rentang nilai serapan 0-140.905,81 kg/hektare, kategori

sedang dengan rentang nilai 140.905,81-330.122,19 kg/hektare, dan kategori serapan tinggi berada pada rentang nilai 330.122,19-1.026.599,50 kg/hektare.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, biomassa mangrove di muara Sungai Cimanuk terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hasil analisis biomassa mangrove, nilai biomassa total sebesar 102.474.558,8 kg/hektare, dan nilai total stok karbon sebesar 51.237.276,65 kg/hektare, dan nilai total serapan karbon dari kawasan mangrove di muara Sungai Cimanuk sebesar 188.040.819,6 kg/hektare. Biomassa, stok karbon, dan penyerapannya dikategorikan berdasarkan 3 kriteria antara lain rendah, sedang, dan tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Yayasan Lingkungan Hidup Estuari, atas bantuannya dalam proses pengambilan data di lapangan dan *support* data sekunder terkait dengan muara Sungai Cimanuk.

DAFTAR PUSTAKA

Bagiawan, A. (2013). Prakiraan Distribusi Erosi dan Sedimentasi di DAS Cimanuk dengan Menggunakan Prediksi Hujan dari Satelit dan Model Sedimen Distribusi Spasial. Jurnal Sumber Daya Air, 9 (1), 51-66.

Budi, C. (2000). Model Penduga Biomassa dan Indeks Luas Daun Menggunakan Data Landsat Thematic Mapper (TM) dan Spot Multispektral (XS) di Hutan Mangrove(Studi Kasus Segara Anakan, Cilacap). [Thesis]. Program Pascasarjana IPB : Bogor.

Danoedoro, P. 1996. Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasinya. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. dan Kanninen, M. (2012). Mangrove Salah Satu Hutan Terkaya Karbon di Daerah Tropis, *Brief CIFOR*, 12, 1- 12.

Fadillah1, M.A., Bashit, N., Qoyimah, S., Susilo, H., Apriyanti, D. (2023). Analisis Pendugaan Stok Karbon Vegetasi dengan Penginderaan Jauh Menggunakan Metode Light Use Efficiency di Hutan Penggaron, Kota Ungaran Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 06 (01), 32-43.

Hazmi, I.B.A., Mulyanto, dan Arfiati, D. (2017). Penyerapan Karbon Dioksida (CO2) Pada Daun, Serasah Daun, dan Sedimen Mangrove Sonneratia caseolaris (L) Engler Kategori Tiang di Kawasan Mangrove Tlocor, Kabupaten Sidoarjo. Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan, 33-39.

Kareninsekar, C., Insafitri. (2020). Stok dan Serapan Karbon pada Jenis Mangrove yang Berbeda (Rhizophora Stylosa, Avicennia Marina dan Bruguierra Gymnorrhiza) di Perairan Tuban. *Juvenil*, 1 (2), 220-226.

Kusumawardani, D., Navastara, A.M. (2018). Analisis Besaran Emisi Gas CO_2 Kendaraan Bermotor Pada Kawasan Industri Sier Surabaya, J. Tek. ITS, 6 (2), 399-402.

Nurasia, Aminuddin, A. Hidayanti, N. (2021). Pendampingan Masyarakat Pesisir Desa Muladimeng dalam Penanaman Pohon Mangrove Sebagai Bentuk Kepedulian Lingkungan Serta Upaya Menunjang Ekonomi Masyarakat.J*urnal Abdimas Indonesia*, 1 (1), 1-7.

Pratama, T.D., Latifah, S. Patana, P. (2013). Pemetaan Potensi Simpanan Karbon Hutan Tanaman Industri Eucalyptus grandis di Hutan Tanaman Industri PT. Toba Pulp Lestari, Tbk., Sektor Aek Nauli. *Peronema Forestry Science Journal*, 2 (2), 168-173.

Safitri, F., Adrianto, L., Nurjaya, I.W. (2023). Pemetaan Kerapatan Ekosistem Mangrove Menggunakan Analisis Normalized Difference Vegetation Index di Pesisir Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26 (2), 399-406.

Setiawan, A., Akhbar, & Arianingsih, I. (2018). Analisis vegetasi Mangrove Menggunakan (NDVI) pada Ekosistem MAangrove di Kecamatan Balinggi Kabupaten parigi Moutong. *Jurnal Forest Sains*, 15(2), 82–90.

Sodikin, Sitorus S. R. P., Prasetyo L. B., Kusmana C., 2017 Spatial analysis of mangrove deforestation and mangrove rehabilitation directive in Indramayu Regency, West Java, Indonesia. *AACL Bioflux* 10(6):1654-1662.

Sodikin, Kusnanto, Afrianto, L., Nurkholifah. 2021. Dinamika Spasial Pertumbuhan Delta Cimanuk Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat Tahun 2001-2020. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2021ISSN: 1979-911XYogyakarta,20 Maret2021.

Sodikin, Lestari K.L.A., Fahmi F. (2022). Dinamika Spasial Penambahan Daratan Serta Korelasinya Terhadap Luasan Mangrove di Delta Cimanuk Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. *Accelerating Sustainable Innovation Towards Society 5.0*. Universitas Terbuka. Hal. 593-619.

Sulaksana, N., Sukiyah, E., Sjafrudin, A. dan Haryanto, E.T. (2013). Karakteristik geomorfologi DAS Cimanuk bagian hulu dan implikasinya terhadap intensitas erosi serta pendangkalan Waduk Jatigede. *Bionatura,* 15(2), 100 – 106.

Tunggadewi, A.T., Syaufina L., Puspaningsih, N. (2014). Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Estimasi Stok Karbon di Area Reklamasi PT. Antam Ubpe Pongkor, Kabupaten Bogor. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 4 (1), 49 – 59.

Zhou, G. dkk. (2020) "Estimation of karst carbon sink and its contribution to CO2 emissions over a decade using remote sensing imagery," *Applied Geochemistry*, 121, 104689. doi:10.1016/j.apgeochem.2020.104689.

PEMETAAN PREDIKSI PERUBAHAN KONDISI MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 DAN INDEKS VEGETASI TURUNAN PADA KAWASAN TELUK BALIKPAPAN

(Mapping Predicted Changes in Mangrove Condition Using Sentinel-2 Imagery and Derived Vegetation Indices in The Balikpapan Bay Area)

Nur Afifah, Rufaidha Lathiifunnisa, Akemat Rio Setiawan
Departemen Geografi, Universitas Negeri Malang

Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia
E-mail: nur.afifah.1907226@students.um.ac.id

ABSTRAK

Pelestarian ekosistem mangrove di Teluk Balikpapan harus terus dilakukan sejalan dengan tujuan mencapai ekonomi biru atau *blue carbon*. Oleh karena itu, pemantauan ekosistem mangrove secara temporal perlu dilakukan untuk memantau perubahan tersebut. dalam penelitian ini, dilakukan analisis prediksi perubahan ekosistem mangrove dengan penginderaan jauh sebagai solusi yang cepat, akurat, dan efisien. Penelitian ini menggunakan platform *cloud computing Google Earth Engine* dengan algoritma klasifikasi CART untuk klasifikasi mangrove dan non-mangrove serta regresi linier sederhana untuk memprediksi perubahan luas mangrove. Analisis deteksi mangrove dilakukan dengan menggabungkan kanal citra multispektral Sentinel-2 dengan data elevasi (SRTM), serta menggunakan algoritma NDVI, EVI, dan MNDWI untuk mendeteksi perubahan ekosistem mangrove dari 2016 hingga 2023. Algoritma CART menghasilkan akurasi yang baik, dengan nilai rata-rata di atas 80%. Selanjutnya, dilakukan analisis prediksi perubahan mangrove dengan menggunakan regresi linier pada setiap kuartal dalam satu tahun. Hasil prediksi ini menunjukkan perkiraan penurunan luas mangrove sebesar 295,321 hektare per tahun. Awalnya, luas vegetasi mangrove pada tahun 2016 adalah 20.192,72 hektare, dan menurun menjadi 16.173,53 hektare pada tahun 2023. Diprediksi bahwa luasnya akan terus menurun pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut menjadi 15.599,36, 15.025,19, dan 14.451,02 hektare. Selain itu, kerapatan mangrove juga mengalami penurunan secara terus-menerus, dengan berkurangnya dominasi mangrove vegetasi rapat menjadi mangrove vegetasi sedang selama periode 2016-2023.

Kata kunci: ekosistem mangrove, Sentinel-2, perubahan, prediksi, Teluk Balikpapan

ABSTRACT

The conservation of mangrove ecosystems in Balikpapan Bay must continue in line with the goal of achieving a blue economy or blue carbon. Therefore, temporal monitoring of mangrove ecosystem is necessary to monitor such changes. In this study, a prediction analysis of mangrove ecosystem changes using remote sensing is conducted as a fast, accurate, and efficient solution. This research uses a cloud computing platform Google Earth Engine with the CART classification algorithm for mangrove and non-mangrove classification and simple linear regression to predict changes in mangrove area. Mangrove detection analysis was conducted by combining Sentinel-2 Multispectral Image channels with Elevation data (SRTM), and using NDVI, EVI, and MNDWI algorithms to detect changes in mangrove ecosystems from 2016 to 2023. The CART algorithm produces good accuracy, with an average value above 80%. Furthermore, a prediction analysis of mangrove change was conducted using linear regression for each quarter of the year. The prediction results showed an estimated decrease in mangrove area of 295.321 hectare per year. Initially, the area of mangrove vegetation in 2016 was 20,192.72 hectare and decreased to 16,173.53 hectare in 2023. It is predicted that the area will continue to decrease in 2024, 2025, and 2026 to 15,599.36, 15,025.19, and 14,451.02 hectare, respectively. In addition, mangrove density also experienced a continuous decline, with a reduction in the dominance of dense vegetation mangroves to medium vegetation mangroves during the 2016-2023 period.
***Keywords**: mangrove ecosystem, Sentinel-2, change, prediction, Balikpapan Bay*

PENDAHULUAN

Hutan mangrove, sebagai salah satu ekosistem hutan, memiliki peran penting dalam

penyerapan karbon. Ekosistem ini merupakan penyimpan karbon terbesar di daerah tropis (Waru *et al.*, 2022). Potensinya yang besar dalam penyerapan karbon ini disebabkan oleh kemampuan mangrove untuk menyerap karbon 3-5 kali lebih tinggi daripada hutan tropis (Murdiyarso *et al.*, 2015). Sebagai penyerap karbon terbesar di wilayah pesisir, mangrove memegang peran penting dalam mitigasi perubahan iklim (Liu *et al.*, 2017), terutama dalam pengelolaan karbon biru (Yaqin *et al.*, 2022).

Ekosistem mangrove tersebar di seluruh pesisir provinsi di Indonesia, termasuk di Teluk Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur. Teluk Balikpapan merupakan Kawasan Esensial Ekosistem yang kaya akan keanekaragaman hayati dan menjadi habitat serta sumber penghidupan yang penting, serta destinasi ekowisata (Novareka *et al.*, 2023; Ginting *et al.*, 2024). Manfaat ekosistem mangrove meliputi fungsi sebagai habitat organisme hidup lainnya, perlindungan pantai, karbon, penyerapan dan penyimpanan, pariwisata, serta sumber bahan bakar dan bahan bangunan bagi masyarakat lokal (Nasution, 2023).

Meskipun Teluk Balikpapan ideal sebagai tempat pengembangan ekosistem mangrove karena minimnya ombak dan gelombang dari laut lepas, ekosistem mangrove semakin berkurang karena alih fungsi lahan menjadi penggunaan lain seperti permukiman, perkebunan sawit, pelabuhan, tanaman industri, dan tambang. Rencana pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Penajam Paser Utara dapat memperparah alih fungsi lahan mangrove. Oleh karena itu, penting untuk memonitor kondisi mangrove secara teratur dan memprediksi dampaknya agar dapat mengurangi dan mencegah kerusakan lebih lanjut, sesuai dengan tujuan pembangunan IKN yang berbasis *blue carbon*.

Teknik penginderaan jauh digunakan untuk mendeteksi kondisi perubahan mangrove secara temporal di kawasan Teluk Balikpapan. Penginderaan jauh sangat efektif untuk memetakan mangrove karena minim biaya, waktu, dan tenaga sehingga bisa memetakan kondisi mangrove dalam waktu yang singkat karena minim proses survei ke lapangan. Penggunaan platform *cloud computing* Google Earth Engine (GEE) digunakan untuk memetakan mangrove agar lebih efisien (Giri *et al.*, 2013; Giri, 2016). Hal ini karena GEE menyediakan automatisasi dari perintah yang berulang-ulang seperti akuisisi citra, kalibrasi, dan pemrosesan dengan demikian mengurangi waktu pengerjaan hingga 60% (Cárdenas *et al.*, 2017).

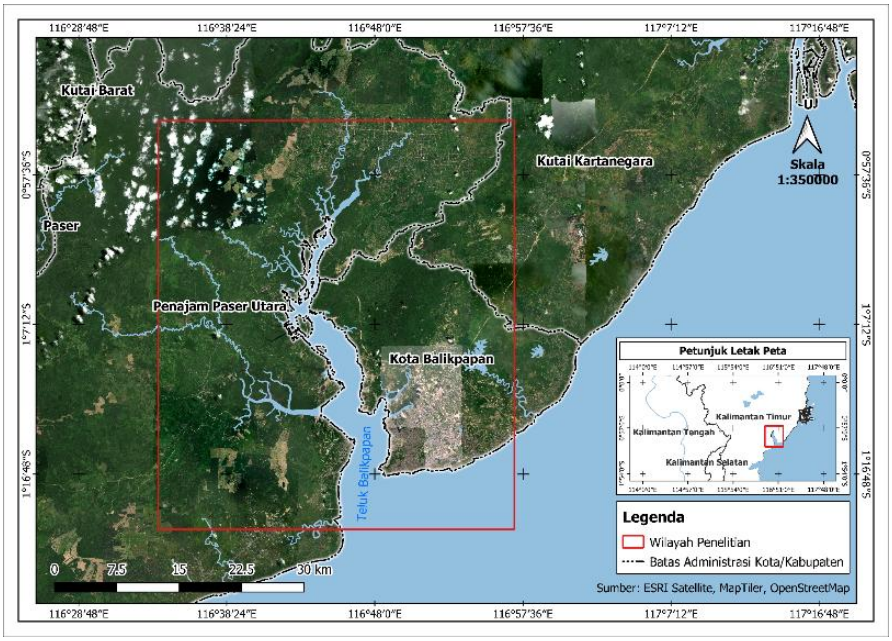
Pemetaan perubahan kondisi mangrove menggunakan GEE sebelumnya telah sukses melakukan oleh beberapa ahli. Chen *et al.* (2017) melakukan pemetaan hutan mangrove di China tahun 2015 secara *time-series* menggunakan Sentinel-1 dan Landsat 7/8. Zhao *et al.* (2020) melakukan pemetaan hutan mangrove di China secara multitemporal. Mondal *et al.* (2019) melakukan analisis ekosistem mangrove di barat Afrika dengan citra Sentinel-2. Suardana *et al.* (2023) melakukan pemetaan mangrove permukaan untuk memperkirakan stok karbon menggunakan Sentinel-2 di Bali, Indonesia. Namun, belum ada yang memetakan kondisi mangrove secara kuartal dengan waktu yang lebih singkat untuk memantau mangrove secara temporal, karena mengingat ekosistem teluk, muara, dan dataran banjir mudah berubah jika terjadi perubahan lingkungan. Bahkan pendekatan prediksi untuk memperkirakan kondisi mangrove ke depannya juga masih jarang digunakan.

Dalam penelitian ini, dilakukan pemetaan prediksi perubahan kondisi mangrove di Teluk Balikpapan menggunakan GEE secara temporal dalam rentang waktu yang lebih rapat, yaitu setiap kuartal tiap tahunnya. Analisis regresi linier dilakukan dalam penelitian ini untuk memprediksi perubahan luas mangrove dan perubahan kerapatan mangrove, karena sederhana dan menghasilkan data yang akurat. Penelitian ini menggunakan algoritma NDVI dan EVI untuk melihat kerapatan vegetasi mangrove di Teluk Balikpapan dengan citra Sentinel-2. Selain itu, dilakukan integrasi dengan data elevasi dari SRTM dan MNDWI untuk memudahkan klasifikasi mangrove permukaan di GEE. Kemudian, melakukan regresi linier untuk melakukan analisis prediksi luas mangrove di Teluk Balikpapan. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis temporal kondisi mangrove dari nilai indeks vegetasi NDVI dan EVI di Teluk Balikpapan tahun 2016-2023, melakukan analisis temporal perubahan luas mangrove dan berdasarkan tingkat kerapatannya di Teluk Balikpapan tahun 2016-2023 dan memprediksi perubahan luas mangrove dan tingkat kerapatannya pada 2024-2016.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Teluk Balikpapan yang terletak di Kecamatan Balikpapan Utara, Balikpapan Tengah, dan Balikpapan Barat, Provinsi Kalimantan Timur (Hidayat *et al.*, 2016). Secara administratif, wilayah Teluk Balikpapan juga meliputi wilayah Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. **Gambar 1** berikut merupakan peta lokasi penelitian di Teluk Balikpapan.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur.

Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yaitu citra satelit Sentinel-2 MSI yang diluncurkan pada tanggal 22 Juni 2015. Citra Sentinel-2 ini memiliki jangkauan seluas 290 km dengan resolusi temporal 10 hari dengan 1 satelit dan 5 hari dengan 2 satelit (European Space Agency, 2015). Citra Sentinel-2 yang digunakan adalah Sentinel-2 Level 2A dengan spesifikasi bahwa produk ini telah menyediakan Bottom of Atmosphere (BOA) *image reflectance* yang diasosiasi dari produk Lever-1C (Suhet, 2013). Data citra Sentinel-2A yang digunakan pada penelitian ini adalah tahun 2016-2023 dengan spesifikasi 13 *band* Sentinel-2 seperti diuraikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi *band* Sentinel-2.

Sentinel-2 *Band*	Resolusi (m)	*Central Wavelength* (nm)	Deskripsi
B1	60	443	*Ultra Blue (Coastal and Aerosol)*
B2	10	490	*Blue*
B3	10	560	*Green*
B4	10	665	*Red*
B5	20	705	*Vegetation Red-edge*
B6	20	740	*Vegetation Red-edge*
B7	20	783	*Vegetation Red-edge*
B8	10	842	*Near Infrared*
B8A	20	865	*Vegetation Red-edge*
B9	60	940	*Water-Vapor*
B10	60	1375	*Cirrus*
B11	20	1610	*Short Wave Infrared (SWIR 1)*
B12	20	2190	*Short Wave Infrared (SWIR 2)*

Sumber: Jia et al. (2019)

Selain menggunakan Sentinel-2A, penelitian ini juga menggunakan citra *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) yang diluncurkan oleh National Aeronautics and Space Administration (NASA) dan National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). Citra SRTM digunakan sebagai asumsi tumbuhnya mangrove pada ketinggian yang rendah (di bawah 50 m) (Purwanto *et al.*, 2023; Nandika *et al.*, 2023). Pengolahan citra dilakukan oleh GEE. GEE merupakan *cloud computing* yang disediakan oleh Google dengan menggunakan bahasa pemrograman *javascript* dan *python*.

Analisis Spektral

Analisis spektral digunakan untuk membantu dalam mengidentifikasi vegetasi dengan menggunakan metode rasio *band* pada citra Sentinel-2. Sebelumnya, pada citra Sentinel-2 dilakukan analisis indeks vegetasi terlebih dahulu, kemudian diklasifikasikan menjadi wilayah tutupan lahan mangrove dan non-mangrove. Terdapat beberapa indeks spektral yang digunakan yaitu NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), MNDWI (*Modified Normalized Water Index*), dan EVI (*Enhanced Vegetation Index*). NDVI adalah indeks vegetasi yang memiliki fungsi untuk mengetahui nilai kerapatan vegetasi pada wilayah yang telah ditentukan sebagai lokasi sebelumnya (Pratama, 2018). Nilai NDVI berkisar dari -1 – 1 dengan **Persamaan 1** berikut.

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad \ldots\ldots (1)$$

Keterangan:
NIR = Near Infrared (Band 8)
Red = Band 4

Selain itu, terdapat MNDWI yang berfungsi untuk mengidentifikasi vegetasi yang berada di wilayah pasang surut yang secara berkala terendam air (Nandika *et al.*, 2023). **Persamaan 2** untuk MNDWI adalah sebagai berikut.

$$MNDWI = (Green - SWIR1)/(Green + SWIR1) \quad \ldots\ldots (2)$$

Selanjutnya adalah EVI digunakan untuk melakukan identifikasi terhadap mangrove. Indeks vegetasi EVI terbukti optimal digunakan untuk analisis time-series perubahan mangrove (Zhu *et al.*, 2021). Oleh karena itu, **Persamaan 3** digunakan persamaan EVI sebagai berikut:

$$EVI = 2.5 \times \frac{NIR-RED}{NIR+6\times RED-7.5\times BLUE+1} \quad \ldots\ldots (3)$$

Analisis Klasifikasi Tutupan Mangrove

Analisis klasifikasi tutupan mangrove menggunakan algoritma klasifikasi terbimbing yaitu CART (*Classification and Regression Tree*). CART adalah algoritma yang menggunakan teknik pohon keputusan (*decision tree*) yang dikembangkan oleh Breiman *et al.* (1984). Teknik klasifikasi dari algoritma ini adalah dengan menggunakan pendekatan rekursif secara biner. Algoritma ini dipilih karena kemampuannya dalam melakukan analisis data dalam jumlah banyak secara cepat dengan akurasi yang baik serta algoritma ni akan menghasilkan pohon klasifikasi apabila variabel respon memiliki skala kategorik dan akan menghasilkan pohon regresi apabila variabel respon menghasilkan data kontinu (Putri & Sibarani, 2023; Sumartini & Purnami, 2015). Pada penelitian ini algoritma CART digunakan untuk mengklasifikasikan antara mangrove dan non-mangrove.

Suardana *et al.* (2023) melakukan pemilihan *area of interest* (AOI) yang diasumsikan sebagai hutan mangrove berdasarkan beberapa karakteristik alamiah yang terdefinisikan pada citra dan indeks vegetasi yang digunakan, yaitu kombinasi SRTM, NDVI, dan MNDWI. Penelitian ini mengadopsi pendekatan tersebut, namun dengan melakukan beberapa modifikasi. Hal ini dilakukan karena area teluk yang sering terjadi genangan pasang surut akan mempengaruhi kondisi tutupan vegetasinya. Oleh karena itu, penggunaan indeks MNDWI untuk mengetahui batas daratan dan lautan perlu digunakan. Untuk itu, dilakukan penyaringan nilai citra untuk mengidentifikasi wilayah yang diklasifikasikan sebagai area mangrove. Pertama, mangrove diasumsikan tumbuh di dataran rendah, sehingga pada citra SRTM dipilih wilayah dengan ketinggian kurang dari 50 m. Kemudian, memiliki nilai NDVI di atas 0,25, nilai MNDWI di atas -0,5,

dan nilai EVI di atas 0,25. Setelah itu, dilakukan analisis klasifikasi tutupan mangrove dengan *filtering* nilai tutupan awan lebih rendah dari 20% dengan memperhitungkan nilai *overall accuracy* >80%.

Analisis Rata-rata Nilai Indeks Vegetasi, Perubahan Luas, dan Kerapatan Mangrove

Wilayah yang diklasifikasikan sebagai mangrove pertama-tama dilakukan ekstraksi nilai rata-rata indeks vegetasi baik NDVI maupun EVI setiap kuartal. Kemudian, nilai tersebut dibuat grafik. Kemudian, mencari luas tutupan mangrove setiap kuartal per tahun. Nilai luas tutupan mangrove dikalkulasi dari nilai *reducer* jumlah *pixel* pada area mangrove yang bernilai 1. Kemudian, dihitung dalam satuan hektare. Analisis perubahan luas mangrove dilakukan setiap *quarter* mulai dari 2016 hingga 2023.

Analisis tingkat kerapatan mangrove didasarkan pada pedoman KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan) untuk menentukan tingkat kerapatan mangrove berdasarkan tingkat nilai NDVI-nya. Sebelumnya, Rahmawati & Asyi'ari (2021) menggunakan *threshold* ini untuk memetakan tingkat kerapatan mangrove di Jakarta menggunakan GEE. **Tabel 2** menunjukkan kriteria/pedoman untuk melakukan analisis perubahan tingkat kerapatan mangrove di Teluk Balikpapan.

Tabel 2. Kriteria nilai kerapatan mangrove menggunakan indeks NDVI.

Kriteria	Rentang Nilai NDVI
Tinggi	> 0,42
Sedang	0,32 – 0,42
Rendah	< 0,32

Sumber: Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan 2005

Analisis Prediksi Perubahan Luas dan Kerapatan Mangrove

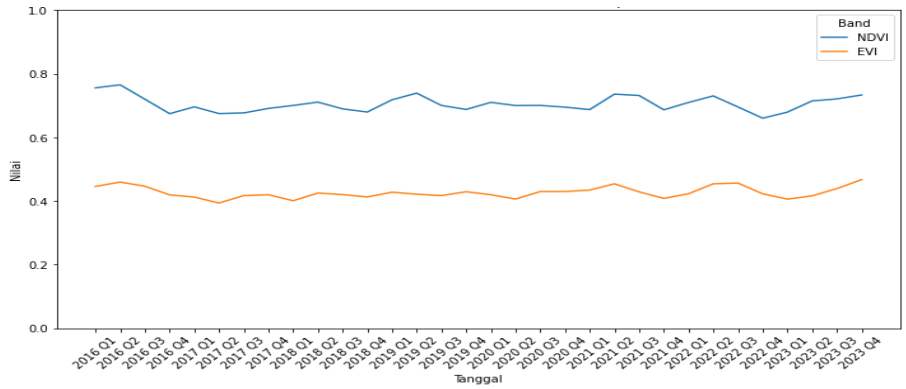
Analisis prediksi perubahan luas dan kerapatan mangrove dilakukan menggunakan model regresi linier dengan Visual Studio Code. Regresi linier adalah model statistik yang menggambarkan hubungan linier antara variabel dependen (Y) dan satu atau lebih variabel independen (X) (Draper & Smith, 1998). Model regresi linier merupakan model statistik yang menggambarkan hubungan linier antara variabel dependen (luas dan kerapatan mangrove) dan satu atau lebih variabel independen (tahun). Model ini dipilih karena cocok dengan data perubahan luas mangrove yang menunjukkan pola linier mengikuti perubahan tahun. Nilai kuartal luas dan kerapatan mangrove setiap tahunnya dianalisis menggunakan regresi untuk mendapatkan prediksi di tahun tersebut. Prediksi tersebut kemudian diperpanjang hingga tiga tahun ke depan, yaitu 2024, 2025, dan 2026. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk scatterplot untuk prediksi luas tutupan mangrove dan stacked column untuk prediksi tingkat kerapatan mangrove.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Indeks Vegetasi NDVI dan EVI Mangrove di Teluk Balikpapan 2016-2023

Analisis temporal kondisi mangrove didasarkan pada pengolahan nilai NDVI dan EVI selama 2016-2023. Kondisi mangrove mengalami kenaikan dan penurunan sepanjang tahun 2016-2023 baik itu berdasarkan hasil pengolahan NDVI maupun EVI. Berdasarkan nilai NDVI, kondisi mangrove berada di rentang 0,6-0,8 dimana nilai tersebut masuk kedalam kategori kondisi yang baik karena nilai NDVI yang cukup tinggi. Bentuk tren EVI mirip dengan NDVI karena indeks EVI dibentuk berdasarkan NDVI (**Gambar 2**). Nilai EVI cenderung rendah karena indeks ini mengurangi faktor tanah dan erosol, dengan menambahkan gelombang biru (Vasquez *et al.*, 2024). Tinggi rendahnya nilai NDVI dan EVI bergantung pada kondisi cuaca dan lingkungan di Teluk Balikpapan. Nilai NDVI dan EVI cenderung tinggi di kuartal pertama/awal setiap tahunnya (Mills *et al.*, 2011). Curah hujan yang tinggi di kuartal pertama mendukung pertumbuhan tanaman dan meningkatkan biomassa, sehingga nilai NDVI dan EVI yang mencerminkan kesehatan vegetasi juga meningkat. Sebaliknya, pada musim kemarau, curah hujan rendah dan temperatur udara tinggi. Hal ini menyebabkan stres pada tanaman dan mengurangi tutupan vegetasi, sehingga nilai

NDVI dan EVI menurun (Ebrahimi-Khusfi *et al.*, 2020).



Gambar 2. Grafik nilai indeks vegetasi NDVI dan EVI tahun 2016-2023.

Analisis Perubahan Luas Mangrove 2016-2023

Klasifikasi yang dilakukan untuk memetakan mangrove adalah klasifikasi terbimbing dengan algoritma CART. Klasifikasi ini menghasilkan perubahan luas mangrove yang terlihat mengalami kenaikan dan penurunan di sepanjang 2016-2023 (**Gambar 3**). Setelah dilakukan analisis statistik, kondisi mangrove berkurang sebesar 295,321 hektare/tahun. Luas mangrove yang terlihat naik turun pada grafik tersebut juga dipengaruhi oleh kondisi citra satelit di Teluk Balikpapan yang memiliki banyak tutupan awan. Grafik mangrove cenderung tinggi pada kuartal pertama dengan nilai luas mangrove tertinggi pada kuartal pertama tahun 2022 (22.107,21 hektare). Hal ini karena pada kuartal pertama curah hujan tinggi, sehingga terjadi peningkatan biomassa dan nilai indeks vegetasi menjadi lebih tinggi. Akibatnya, wilayah mangrove lebih luas dibandingkan pada pertengahan atau akhir tahun. Sebaliknya pada akhir tahun akan lebih rendah karena terjadi musim kemarau dan penguapan. Hal ini mengakibatkan mangrove yang terdeteksi lebih sedikit. Seperti luas mangrove terendah yang terjadi pada bulan kemarau, di kuartal ketiga 2023 (13.371,41 hektare). Namun, secara statistik, mangrove memiliki rata-rata penurunan tiap tahunnya. Hasil akurasi dari klasifikasi luas mangrove selama tahun 2016-2023 menunjukkan nilai *overall accuracy* yang cukup tinggi dan memenuhi standar yaitu sekitar 70-90%. Hal ini cukup baik mengingat data dan variabel yang kompleks mampu divalidasi dan sedemikian rupa mirip dengan titik validasinya.

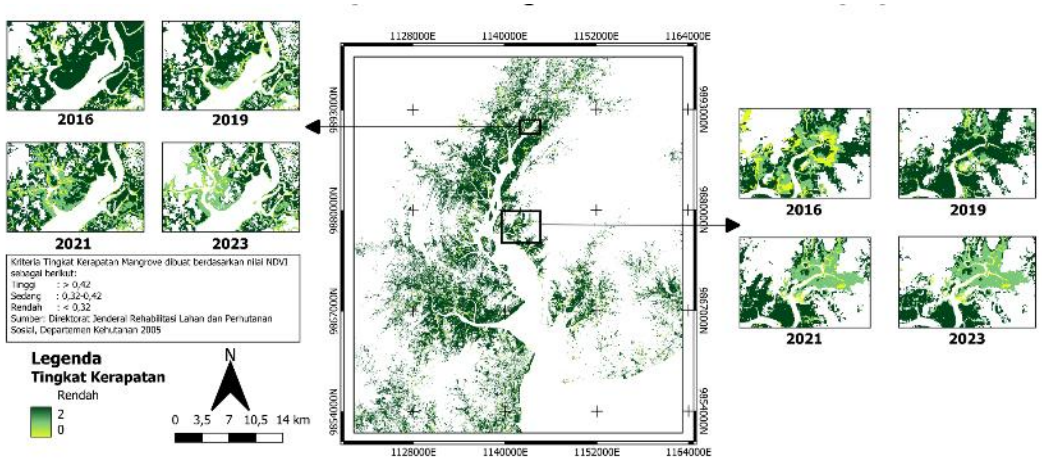


Gambar 3. Grafik perubahan luas mangrove 2016-2023.

Kondisi Kerapatan Mangrove di Teluk Balikpapan 2016-2023

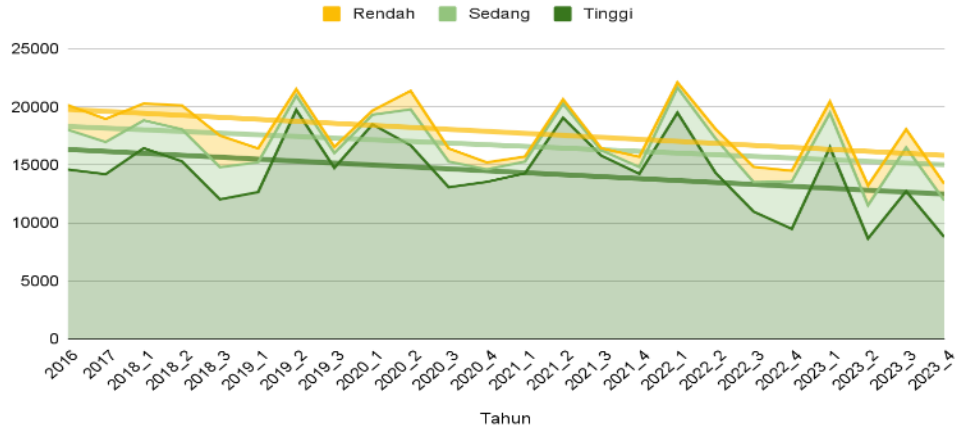
Kerapatan mangrove di Teluk Balikpapan pada 2016-2023 menunjukkan kerapatan yang bervariasi di area kajian. **Gambar 4** menunjukkan sebaran kerapatan vegetasi mangrove. Kriteria tingkat kerapatan mangrove dibuat berdasarkan indeks NDVI dengan klasifikasi tinggi memiliki nilai sebesar >0,43 dengan warna hijau tua, klasifikasi sedang memiliki nilai 0,32-0,42 dengan warna hijau muda, dan klasifikasi rendah memiliki nilai <0,32 dengan warna kuning. Perbedaan nilai NDVI dan EVI tersebut disebabkan karena beberapa faktor yang mempengaruhi indeks

vegetasi seperti topografi, jenis tanah, komponen kanopi, fotosintetik, tingkat kerapatan, dan faktor lainnya (Jensen, 2015). Selain itu, banyaknya awan di wilayah kajian menjadikan kemungkinan terjadinya salah klasifikasi, karena awan atau aerosol yang cenderung tinggi pada *band* 1 dan rendah pada *band* vegetasi (merah dan infra merah), membuat nilai indeks vegetasi semakin rendah. sehingga tingkat kerapatan yang tergambar lebih rendah dari klasifikasi seharusnya.



Gambar 4. Peta kondisi perubahan luas mangrove tahun 2016-2023.

Secara statistik, tingkat perubahan tingkat kerapatan mangrove menjadi lebih jelas. Kerapatan mangrove secara umum memiliki tren penurunan dari tahun 2016-2023 yang dapat dilihat pada **Gambar 5**. Dari 2016 hingga 2023, terjadi penurunan signifikan dalam kerapatan mangrove dengan fluktuasi dalam kuartal-kuartal tertentu. Pada tahun 2016, luas kerapatan tinggi, sedang, dan rendah berturut-turut adalah 14.608,48, 3.432,04, dan 2.123,27 hektare, sedangkan pada tahun 2023, luasnya menurun menjadi 8.790,11, 3.152,67, dan 1.428,63 hektare. Meskipun terdapat peningkatan sementara dalam beberapa kuartal, tren umum menunjukkan penurunan yang stabil dalam semua kategori kerapatan mangrove selama periode tersebut.

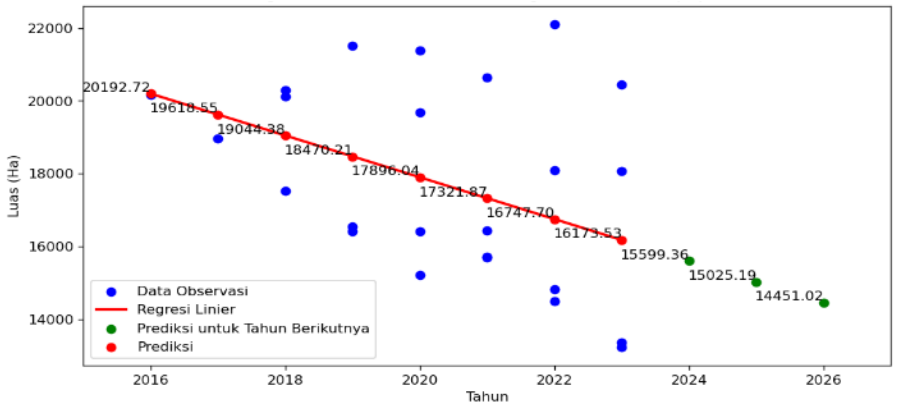


Gambar 5. Perubahan tingkat tingkat kerapatan mangrove tahun 2016-2023.

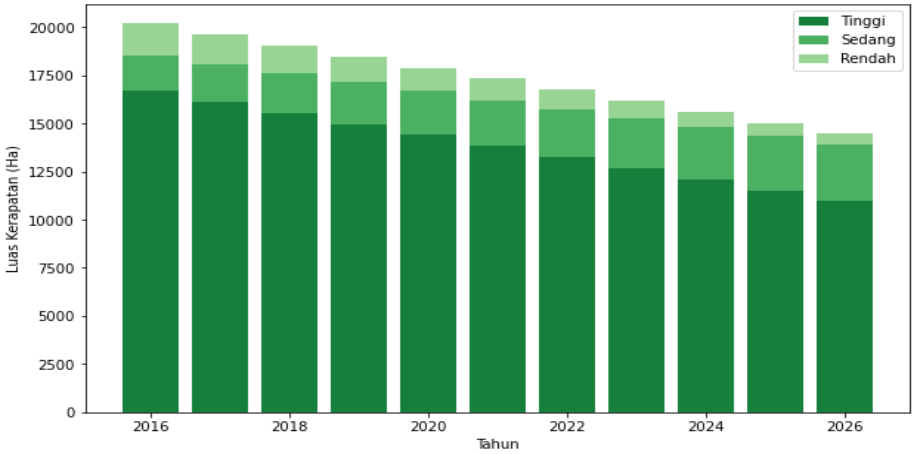
Prediksi Perubahan Luas dan Tingkat Kerapatan Mangrove 2024-2026

Data hasil analisis regresi linier menunjukkan adanya tren penurunan luas mangrove dari 2016 hingga 2026. dalam regresi linier, garis tren ditarik melalui titik-titik data yang ada, dan koefisien kemiringan garis tersebut menunjukkan tingkat perubahan rata-rata setiap tahun, seperti **Gambar 6**. dalam hal ini, koefisien kemiringan garis tersebut negatif, menandakan adanya penurunan luas mangrove setiap tahunnya. Dengan demikian, berdasarkan analisis regresi linier, dapat diprediksi bahwa penurunan luas mangrove akan berlanjut pada tahun-tahun mendatang. Namun, penting untuk dicatat bahwa prediksi tersebut tidak terlalu akurat karena keterbatasan dataset, dan pola data yang kurang bervariasi sehingga memiliki akurasi *r-squared* 0,2. Berdasarkan hasil prediksi, luas mangrove diprediksi akan mengalami penurunan. Diperkirakan luasnya menurun menjadi

15.599,36 hektare di tahun 2024. Kemudian, menurun lagi menjadi 15.025,19 hektare di tahun 2025 dan menjadi 14.451,02 hektare di tahun 2026.



Gambar 6. Prediksi luas mangrove tahun 2024-2026.



Gambar 7. Prediksi tingkat kerapatan mangrove di Teluk Balikpapan.

Prediksi perubahan tingkat kerapatan mangrove dilakukan untuk menduga tingkat kerapatan mangrove tiap tahunnya. Hal ini karena, faktanya setiap kuartal keadaan mangrove terus berubah karena kondisi iklim dan cuaca sehingga perlu dilakukan prediksi perkiraan luas yang sebenarnya dari data-data tersebut. Hasil regresi linier menunjukkan prediksi tingkat kerapatan mangrove yang terus mengalami penurunan. Seperti pada **Gambar 7**, terdapat tren penurunan kerapatan mangrove di semua kategori (rapat, sedang, dan rendah) dari 2016 hingga 2023. Penurunan kerapatan mangrove pada kategori tinggi dan rendah terjadi cukup signifikan, hal ini menunjukkan adanya degradasi hutan mangrove. Berdasarkan pola regresi linier yang terlihat dari data kerapatan mangrove sebelumnya, prediksi tingkat kerapatan mangrove tiga tahun ke depan akan terus menurun secara konsisten. Secara berturut-turut, luas mangrove dalam kategori rapat pada 2024, 2025, dan 2026 adalah 12.092,98, 11.518,72, dan 10.944,47 hektare. Demikian pula, luas mangrove dalam kategori sedang dan rendah juga akan mengikuti pola penurunan yang serupa dalam periode yang sama, dengan luas masing-masing menjadi 2.723,79, 2.836,44, dan 2.949,08 hektare untuk kategori sedang, serta 782,59, 670,04, dan 557,48 hektare untuk kategori rendah.

KESIMPULAN

Pemetaan prediksi kondisi tutupan mangrove di Teluk Balikpapan menggunakan citra Sentinel-2 sukses dilakukan. Resolusi citra 10 m yang cukup memadai, membuat prediksi cukup akurat untuk menganalisis dalam wilayah yang luas. Data SRTM cukup membantu dalam klasifikasi area mangrove dan non-mangrove. Algoritma CART cukup baik digunakan untuk klasifikasi mangrove dan non-mangrove dengan hasil akurasi 70-90%. Secara umum, rata-rata nilai indeks vegetasi mangrove NDVI adalah 0,6 dan EVI adalah 0,4. Luas mangrove memiliki fluktuasi yang signifikan, dan cenderung tinggi di awal tahun atau kuartal pertama. Hal ini karena musim hujan dan vegetasi

sedang dalam keadaan sehat. Tingkat kerapatan mangrove pun mengalami hal yang sama. Tren menunjukkan penurunan secara konsisten pada data tingkat kerapatan mangrove. Setelah dilakukan analisis regresi linier, baik luas mangrove dan tingkat kerapatan mangrove diprediksi akan mengalami penurunan. Luas mangrove pada 2024-2026 akan turun menjadi 15.599,36, 15.025,19, dan 14.451,02 hektare. Sedangkan, tingkat kerapatan mangrove mengalami penurunan signifikan pada kategori rapat, di sisi lain mengalami peningkatan pada kategori sedang. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi lingkungan. Pembangunan IKN nantinya harus memperhatikan kelestarian lingkungan, dengan tidak membabat wilayah mangrove untuk kepentingan permukiman, pertanian, perkebunan, maupun perniagaan.

DAFTAR PUSTAKA

Putri, R.A., & Sibarani, R. (2023). Analisis Tutupan Lahan Menggunakan Google Earth Engine dan Citra Landsat 8 OLI. *Jurnal JUPITER*, *15*(2), 1031–1042.

Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R.A., & Stone, C.J. (1984). Classification and Regression Trees (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. New York. https://doi.org/10.1201/9781315139470

Cárdenas, N.Y.; Joyce, K.E.; Maier, S.W. Monitoring mangrove forests: Are we taking full advantage of technology? Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 2017, 63, 1–14.

Chen, B.; Xiao, X.; Li, X.; Pan, L.; Doughty, R.; Ma, J.; Dong, J.; Qin, Y.; Zhao, B.; Wu, Z.; *et al.* A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2017, 131, 104–120.

Draper, N. R., & Smith, H. (1998). Applied regression analysis (3rd ed.). New York: Wiley.

Ebrahimi-Khusfi, Z., Mirakbari, M., & Khosroshahi, M. (2020). Vegetation response to changes in temperature, rainfall, and dust in arid environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(11), 691.

European Space Agency. (2015). *ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*. ESA Communications.

Ginting, D. N. B., Setiawan, K. T., Anggraini, N., Suardana, A. P., Nandika, M. R., Ulfa, A., ... & Dewanti, R. (2024). Comparison between top and bottom of atmosphere Sentinel-2 image for mangrove mapping in Balikpapan Bay, East Kalimantan. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 89, p. 07003). EDP Sciences.

Giri, C. Observation and monitoring of mangrove forests using remote sensing: Opportunities and challenges. Remote Sens. 2016, 8, 783.

Giri, C.; Pengra, B.; Long, J.; Loveland, T.R. Next generation of global land cover characterization, mapping, and monitoring. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 2013, 25, 30–37.

Hidayat, A., Dwi S, A. A., & Ismunarti, D. H. (2016). Pemetaan Batimetri dan Sedimen Dasar di perairan Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Oseanografi*, *5*(2), 191–201.

Jia, M., Wang, Z., Wang, C., Mao, D., & Zhang, Y. (2019). A new vegetation index to detect periodically submerged mangrove forest using single-tide Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, *11*(17), 1–17. https://doi.org/10.3390/rs11172043

Jensen, J.R. 2015. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Fourth Edi ed. Pearson Education., Glenview.

Liu K. Wang JD. Zeng WS. Song JL. 2017. Comparison and Evaluation of Three Methods for Estimating Forest Above Ground Biomass using TM and GLAS Data. China: Beijing Normal University

Mills, R. T., Hoffman, F. M., Kumar, J., & Hargrove, W. W. (2011). Cluster analysis-based approaches for geospatiotemporal data mining of massive data sets for identification of forest threats. *Procedia Computer Science*, *4*, 1612-1621.

Mondal, P.; Liu, X.; Fatoyinbo, T.E.; Lagomasino, D. Evaluating Combinations of Sentinel-2 Data and Machine-Learning Algorithms for Mangrove Mapping in West Africa. Remote Sens. 2019, 11, 2928.

Murdiyarso D. Purbopuspito J. Kauffman JB. Warren M. Sasmito S. Donato D. Kurnianto S. 2015. The Potential of Indonesian Mangrove Forests for Global Climate Change Mitigation. Bogor: IP

Nandika, M. R., Suardana, A. A. M. A. P., & Anggraini, N. (2023). Pemetaan Mangrove Menggunakan Algoritma Multivariate Random Forest Studi Kasus di Segara Anakan, Cilacap. *Majalah Ilmiah Globe*, *25*(1), 21–30.B.

Nasution T. (2023) Daya Dukung Hutan Mangrove Pangkal Babu pada Kelimpahan Sumberdaya Ikan dan Ekonomi Masyarakat Desa Tungkal Satu Tanjung Jabung Barat. J Natur Indones

Novareka, A. R., Hadibasyir, H. Z., & GIS, M. (2023). *Pemetaan Ekosistem Mangrove Menggunakan Citra Multisumber (Sentinel-2A dan Sentinel-1) Berbasis Cloud Computing di Teluk Balikpapan* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

Pratama, M. R. (2018). Analisis Sebaran dan Kerapatan Mangrove di Teluk Balikpapan Kecamatan

Balikpapan Barat. *The Indonesian Green Technology Journal*, *7*(2), 40–46. https://doi.org/10.21776/ub.igtj.2018.007.02.02

Purwanto, A. D., Wikantika, K., Deliar, A., & Darmawan, S. (2023). Decision Tree and Random Forest Classification Algorithms for Mangrove Forest Mapping in Sembilang National Park, Indonesia. *Remote Sensing*, *15*(1). https://doi.org/10.3390/rs15010016

Rahmadi, M. T., Yuniastuti, E., Hakim, M. A., & Suciani, A. (2022). Pemetaan Distribusi Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A: Studi Kasus Kota Langsa. *Jambura Geoscience Review*, *4*(1), 1-10.

Rahmawati, A. D., & Asyi'ari, R. (2021). Google Earth Engine: Pemanfaatan Platform Pemetaan Berbasis Cloud Computing dalam Mendeteksi Distribusi Mangrove Dengan Citra Sentinel-2 di Jakarta. Seminar Nasional Geomatika 2021: Inovasi Geospasial dalam Pengurangan Risiko Bencana.

Raynaldo, A., Marista, E., Shofiyah, S. S., Linda, R., & Rafdinal, R. (2022). Estimasi Cadangan Karbon Kawasan Taman Wisata Hutan Mangrove Kecamatan Sukadana, Kabupaten Kayong Utara, Kalimantan Barat. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, *15*(1), 23-30.

Suardana, A. A. M. A. P., Anggraini, N., Nandika, M. R., Aziz, K., As-Syakur, A. R., Ulfa, A., Wijaya, A. D., Prasetio, W., Winarso, G., & Dimyati, R. D. (2023). Estimation and Mapping Above-Ground Mangrove Carbon Stock Using Sentinel-2 Data Derived Vegetation Indices in Benoa Bay of Bali Province, Indonesia. Forest and Society, 7(1), 116–134. https://doi.org/10.24259/fs.v7i1.22062

Suhet. (2013). Sentinel-2 User Handbook. In *European Space Agency*. https://doi.org/10.1021/ie51400a018

Sumartini, S. H., & Purnami, S. W. (2015). Penggunaan Metode Classification and Regression Trees (CART) untuk Klasifikasi Rekurensi Pasien Kanker Serviks di RSUD Dr. Soetomo Surabaya. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, *4*(2), 211–216. https://journal.universitasbumigora.ac.id/index.php/matrik/article/view/676/479

Vasquez, J., Acevedo-Barrios, R., Miranda-Castro, W., Guerrero, M., & Meneses-Ospina, L. (2024). Determining Changes in Mangrove Cover Using Remote Sensing with Landsat Images: a Review. In *Water, Air, and Soil Pollution* (Vol. 235, Issue 1). Institute for Ionics. https://doi.org/10.1007/s11270-023-06788-6

Waru, A. T., Rukminasari, N., Inaku, D. F., & Yanuarita, D. (2022). Estimasi Cadangan Karbon di Atas Permukaan pada Hutan Mangrove Kuri Caddi Menggunakan Citra Sentinel-2A: Estimation of Above Ground Carbon in Kuri Caddi Mangrove using Sentinel-2A Imagery. *Jurnal Pengelolaan Perairan*, *4*(1), 13-24.

Yang, G., Huang, K., Sun, W., Meng, X., Mao, D., & Ge, Y. (2022). Enhanced mangrove vegetation index based on hyperspectral images for mapping mangrove. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *189*, 236–254. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.05.003

Yaqin, N., Rizkiyah, M., Putra, E. A., Suryanti, S., & Febrianto, S. 2022. Estimasi serapan karbon pada kawasan mangrove tapak di desa tugurejo semarang. Buletin Oseanografi Marina. 11(1)

Zhao, C.; Qin, C.-Z. 10-m-resolution mangrove maps of China derived from multi-source and multi-temporal satellite observations. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2020, 169, 389–405.

Zhu, B., Liao, J., & Shen, G. (2021). Combining time series and land cover data for analyzing spatio-temporal changes in mangrove forests: A case study of Qinglangang Nature Reserve, Hainan. China. Ecological Indicators, 131, 108135. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108135

ANALISIS ESTIMASI KANDUNGAN BIOMASSA DAN *CARBON STORAGE* PADA EKOSISTEM MANGROVE IBU KOTA NUSANTARA MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8

(Estimation Analysis of Biomass Content and Carbon Storage in The Mangrove Ecosystem of Ibu Kota Nusantara Using Landsat 8 Imagery)

Lia Berliana, Dinda Niken Zahra Anandito, Lutfiah Apriani, Mirna Kurniasih, Vanya Chathy Kemala Dewi
Sains Informasi Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung 40154, Indonesia
E-mail: liaberliana30@upi.edu

ABSTRAK

Pembangunan IKN (Ibu Kota Nusantara) berpotensi menyebabkan emisi karbon yang tinggi. IKN terletak di wilayah dataran rendah yang memiliki ketinggian 40 meter di atas permukaan laut dengan sebagian wilayah pesisir ditumbuhi oleh ekosistem mangrove. Mangrove merupakan salah satu ekosistem yang dapat menyerap dan menyimpan karbon empat kali lebih banyak dibandingkan dengan hutan tropis. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis estimasi kandungan biomassa dan *carbon storage* yang terdapat pada ekosistem mangrove di kawasan IKN. Delineasi citra Landsat 8 tahun 2022 dilakukan untuk memperoleh luasan area mangrove IKN, yakni seluas 11.904,3 hektare. Analisis estimasi *carbon storage* pada ekosistem mangrove dilakukan dengan menggunakan model estimasi karbon berbasis NDVI *(Normalized Difference Vegetation Index)* yang dilakukan dengan memasukkan nilai DN *(Digital Number)* NDVI dari citra yang dianalisis ke dalam persamaan model estimasi (y=204,37 (DN) -102,1). Hasil analisis model estimasi menunjukkan bahwa kandungan biomassa pada ekosistem mangrove mencapai 1.032.480,961 ton, dengan estimasi total kandungan karbon sebesar 485.266,052 ton yang didapatkan dari 47% nilai biomassa dan rata-rata kandungan karbon sebesar 40.764 ton/hektare. Terdapat hubungan yang signifikan antara kerapatan mangrove dengan *carbon storage* dan biomassa. Tingginya kerapatan mangrove berbanding lurus dengan jumlah *carbon storage* dan biomassa. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara ketiganya. Penggunaan citra Landsat 8 dalam analisis karbon kurang optimal karena resolusinya rendah sehingga dibutuhkan citra resolusi tinggi atau luasan mangrove yang telah tervalidasi agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

Kata kunci: biomassa, *carbon storage,* IKN*,* karbon biru*,* mangrove

ABSTRACT

The development of IKN (Ibu Kota Nusantara) has the potential to cause high carbon emissions. IKN is located in lowland area in height of 40 meters above sea level with some coastal areas covered by mangrove. Mangrove is the ecosystems that can absorb and store four times more carbon than tropical forests. This study was conducted to analyze the estimation of biomass content and carbon storage contained in mangrove ecosystems in IKN. Delineation of Landsat 8 images in 2022 was carried out to obtain the size of IKN mangrove area, which is 11,904.3 hectare. The analysis of carbon storage estimation in mangrove ecosystem was carried out using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) based carbon estimation model which was carried out by entering NDVI DN (Digital Number) value from the analyzed image into the estimation model equation (y=204.37 (DN)-102.1). The results of the estimation model analysis showed that the biomass content in mangrove ecosystem reached 1,032,480.961 tons, with an estimated total carbon content of 485,266.0519 tons obtained from 47% of the biomass value and an average carbon content of 40,764 tons/ha. There is a significant relationship between mangrove density with carbon storage and biomass. The high density of mangroves is directly proportional to the amount of carbon storage and biomass. This shows that there is a correlation between them. The use of Landsat 8 imagery in carbon analysis is less than optimal because the low-resolution, so high-resolution imagery or validated mangrove areas are needed to get the accurate results.

Keywords*: biomass, blue carbon, carbon storage, IKN, mangrove*

PENDAHULUAN

DKI Jakarta merupakan pusat pemerintahan dan Ibu Kota Nusantara (IKN) Indonesia. Namun sejak 2022 keputusan mengenai pemindahan ibu kota negara ke Kalimantan Timur telah disepakati dalam rapat paripurna DPR. Hal tersebut tentunya akan berdampak secara signifikan terhadap pembangunan di IKN. Pemindahan ibu kota diperkirakan dapat menurunkan *carbon storage* yang tersedia dan meningkatkan sekitar 70 persen emisi gas karbon dioksida (CO_2) yang berasal dari aktivitas perkotaan, khususnya pada bidang transportasi dan pembangunan secara masif yang sedang dilakukan (Mayada *et al.*, 2023). Emisi gas berupa karbon dioksida (CO_2) dapat dikurangi, salah satunya dengan adanya karbon biru yang dihasilkan oleh ekosistem mangrove (Ima & Mulani, 2023). Tim peneliti dari US Forest Service Pasifik Barat Daya dan Stasiun Penelitian Utara, Universitas Helsinki dan Pusat Penelitian Kehutanan Internasional melakukan penelitian pada 25 hutan mangrove di wilayah Indo-Pasifik untuk mengukur jumlah serapan karbon. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa karbon yang tersimpan pada luas per hektare hutan mangrove empat kali lebih banyak jumlahnya apabila dibandingkan dengan karbon tersimpan pada hutan tropis lainnya yang ada di dunia (Donato *et al.*, 2011).

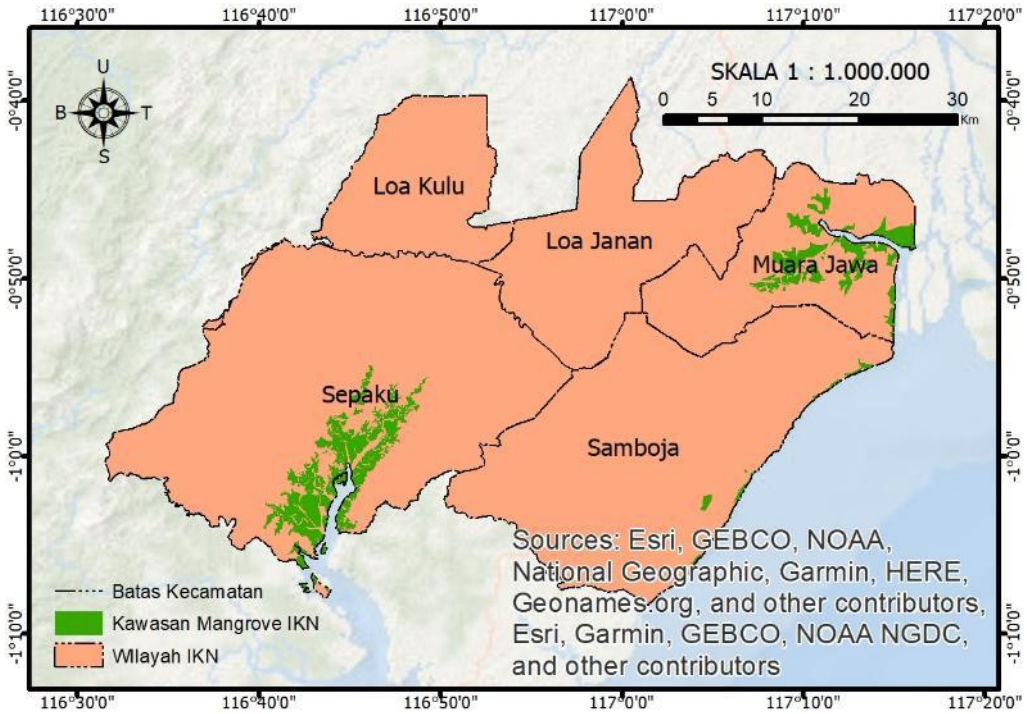
Hutan mangrove merupakan tipe hutan tropis yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut karena keberadaannya yang tumbuh di sepanjang pantai. Luas hutan mangrove di Indonesia diketahui antara 2,5 hingga 4,5 juta hektare (Zainuddin & Gunawan, 2014). Vegetasi mangrove memiliki air dengan kadar salinitas yang tinggi di pantai dan sungai dengan kondisi tanah yang berlumpur. Ekosistem mangrove mempunyai peran fisik dalam menjaga kestabilan pantai, penyerap polutan, dan sebagai habitat burung (Gunawan & Anwar, 2004). Karbon biru dihasilkan dari proses fotosintesis mangrove yang menghasilkan karbohidrat (karbon organik) kemudian tersimpan dalam jaringan tanaman. Karbon dioksida (CO_2) yang diserap dari proses tersebut disimpan ke dalam bentuk biomassa (Ferdina, 2023). Kandungan karbon pada mangrove dihasilkan dari 47 persen biomassa berdasarkan aturan dari SNI 7724:2011. Biomassa berasal dari bahan-bahan organik, yaitu ketika daun-daun jatuh ke tanah atau air kemudian terdekomposisi oleh bakteri akan menghasilkan senyawa organik.

Teknologi penginderaan jauh dipilih karena memiliki beberapa kelebihan, di antaranya lebih hemat dari segi biaya, waktu, serta dapat menjangkau cakupan area yang lebih luas jika dibandingkan dengan survei lapangan (Hidayat *et al.*, 2023). Parameter yang dipakai untuk mengetahui estimasi kandungan karbon adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Citra Landsat 8 OLI dipilih untuk menganalisis cadangan karbon dalam mangrove. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis estimasi kandungan biomassa dan *carbon storage* yang dapat disimpan oleh ekosistem mangrove di IKN.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian estimasi kandungan biomassa dan *carbon storage* dilakukan di seluruh kawasan vegetasi mangrove yang ada di IKN. Secara administratif, IKN terletak di dua kabupaten, yaitu Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1.** Wilayah berwarna oranye merupakan batas administrasi kecamatan wilayah kajian, sedangkan wilayah berwarna hijau merupakan kawasan mangrove yang dijadikan objek penelitian.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN).

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan penelitian untuk mendapatkan nilai estimasi kandungan biomassa dan *carbon storage* menggunakan data primer berupa Citra Landsat 8 perekaman tahun 2022 dan data sekunder berupa Peta Interaktif Penutup Lahan tahun 2022. Citra Landsat 8 didapatkan dari Lembaga Survei Geologi Amerika Serikat, USGS (*United States Geological Survey*) pada laman https://earthexplorer.usgs.gov/, sedangkan data sekunder berupa Peta Interaktif Penutup Lahan tahun 2022 diperoleh melalui *web* KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). Setelah data terkumpul, dilakukan proses pengolahan data menggunakan *software* QGIS 3.32 dan ArcMap 10.8.

Parameter Pengamatan

Digitasi Wilayah Mangrove

Dalam melakukan pendugaan *carbon storage* pada ekosistem mangrove, perlu diketahui terlebih dahulu luasan wilayah mangrove yang ada di lokasi penelitian. Penentuan luas area mangrove dilakukan dengan cara digitasi *on screen* area penutup lahan hutan mangrove berdasarkan acuan Peta Interaktif Penutupan Lahan tahun 2022 yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melalui laman https://sigap.menlhk.go.id/.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI merupakan metode yang digunakan untuk menghitung indeks kehijauan dan kerapatan vegetasi. Indeks vegetasi merupakan besaran nilai kehijauan yang diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan beberapa kanal data sensor satelit (Yudistira *et al.*, 2019). Nilai kecerahan yang diterima sensor satelit akan berbeda-beda karena penyerapan cahaya merah oleh klorofil dan pemantulan cahaya inframerah dekat oleh jaringan mesofil pada daun.

Wilayah dengan vegetasi yang rusak menunjukkan rasio yang rendah (minimum), sedangkan wilayah dengan vegetasi rapat menunjukkan rasio sangat tinggi (maksimum). Rasio tersebut merupakan perbandingan dari kedua *band* yang digunakan dalam perhitungan NDVI. Kedua *band* tersebut adalah *band* NIR (*Near Infrared*) dan *band red*. **Persamaan 1** berikut digunakan untuk menghitung nilai NDVI menggunakan citra Landsat 8.

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red) \quad .....(1)$$

Keterangan:
NIR : Reflektan kanal inframerah dekat (*Band* 5)
Red : Reflektan kanal merah (*Band* 4)

Cadangan Karbon dan Biomassa Mangrove

Perhitungan nilai estimasi kandungan karbon yang terdapat pada vegetasi mangrove diperoleh menggunakan model **Persamaan 2** analisis regresi berbasis NDVI menurut Situmorang *et al.* (2016) berikut.

$$Y = 204{,}37X - 102{,}1 \quad .....(2)$$

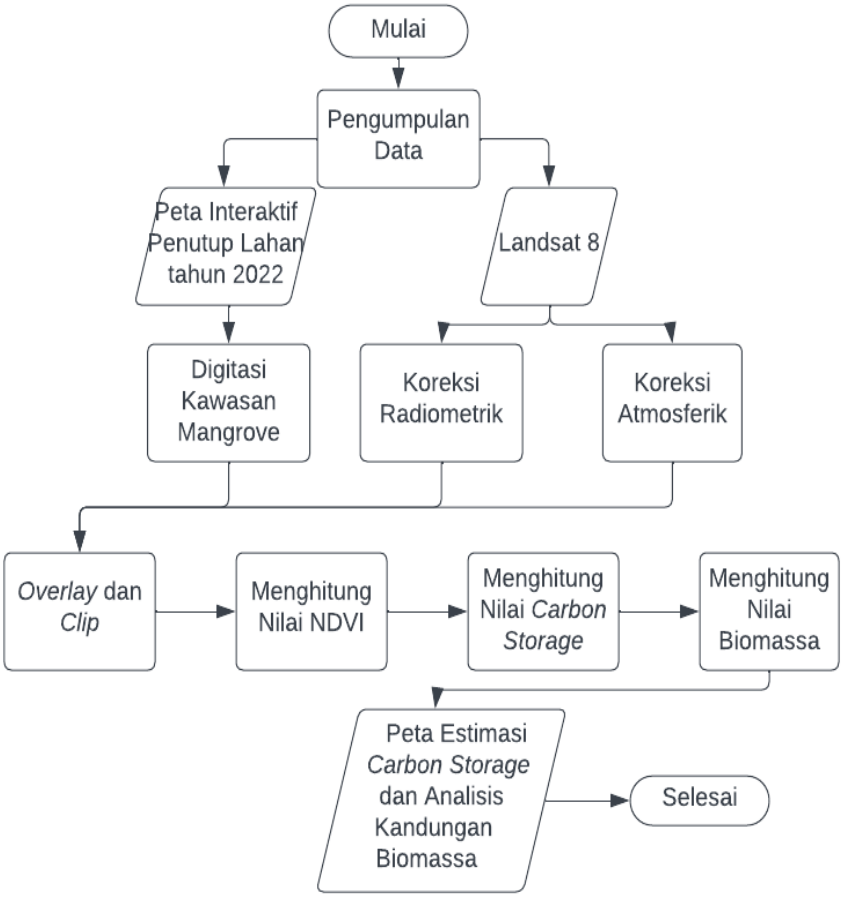
Keterangan:
Variabel X = Nilai NDVI

Setelah didapatkan nilai dari kandungan karbon, selanjutnya dilakukan perhitungan biomassa yang terdapat pada vegetasi mangrove menggunakan **Persamaan 3** yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia 7724 (2011) yaitu:

$$Cb = B \times \%C\ Organik \quad .....(3)$$

Keterangan:
Cb = Cadangan karbon mangrove (kg)
B = Total biomassa (kg)
%C Organik = Nilai persentase kandungan karbon (0,47)

Diagram Alir



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dan kuantitatif dengan menggunakan persamaan matematis dari beberapa persamaan allometrik penelitian-penelitian sebelumnya. Data yang diperoleh kemudian dipublikasikan dalam bentuk tabulasi sederhana.

Data dianalisis dengan melakukan uji regresi linear sederhana menggunakan *software* SPSS (*Statistical Product for Service Solution*) untuk mengetahui perbandingan biomassa, stok karbon terhadap kerapatan mangrove, dan korelasinya. Jika pada uji regresi linear didapatkan nilai <0,05, maka nilai variabel x berpengaruh terhadap nilai variabel y, sedangkan jika nilai >0,05, maka nilai variabel x tidak berpengaruh terhadap nilai variabel y dan harus dilakukan uji lebih lanjut.

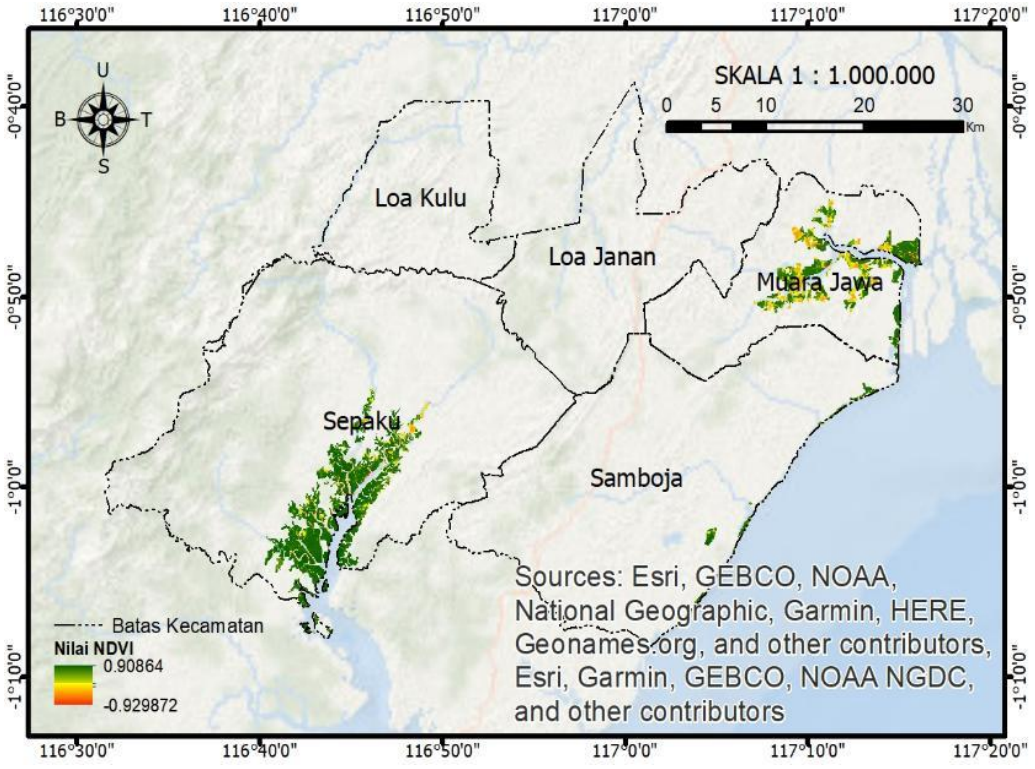
HASIL PEMBAHASAN

Luas Kawasan Mangrove

Pengolahan citra Landsat 8 berupa digitasi *on screen* menghasilkan area mangrove seluas 11.904,3 hektare. Area mangrove ini mencakup wilayah Kabupaten Penajam Paser Utara tepatnya di Kecamatan Sepaku serta Kabupaten Kutai Kartanegara tepatnya di Kecamatan Muara Jawa dan Samboja bagian pesisir. Wilayah mangrove tersebut terdapat di daerah pesisir pantai, muara sungai, dan wilayah berlumpur.

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Transformasi indeks vegetasi NDVI dilakukan untuk merepresentasikan tingkat kerapatan dan kehijauan vegetasi pada kawasan mangrove di IKN. Hasil transformasi NDVI akan menghasilkan nilai -1 sampai dengan 1 (Franklin, 2011). Rentang nilai NDVI pada daerah vegetasi mangrove IKN berkisar antara nilai -0,929872 hingga 0,90864. Ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilainya mengindikasikan vegetasi semakin kurang rapat dan semakin tinggi nilainya mengindikasikan vegetasi semakin rapat. Berdasarkan hasil yang diperoleh, daerah vegetasi mangrove IKN sebagian besar memiliki kerapatan vegetasi yang cukup tinggi seperti di Kecamatan Sepaku. Namun, hanya beberapa wilayah tertentu saja yang memiliki kerapatan rendah seperti di Kecamatan Muara Jawa. Sebaran nilai NDVI wilayah mangrove IKN disajikan pada **Gambar 3**.



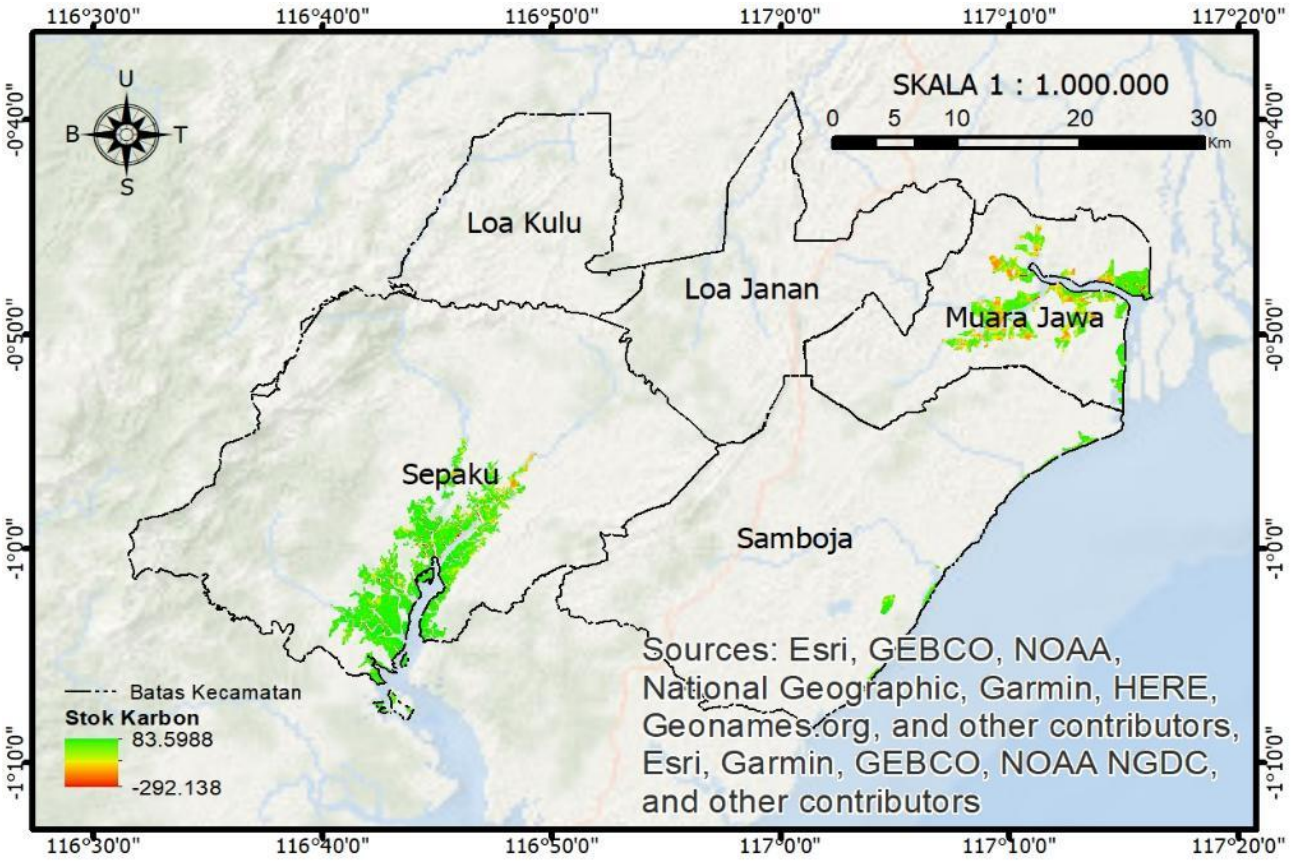
Gambar 3. Peta kerapatan vegetasi mangrove IKN.

Carbon Storage

Estimasi cadangan karbon dengan menggunakan persamaan analisis regresi berbasis NDVI menghasilkan estimasi total karbon mangrove sebesar 485.266,0519 ton/hektare dengan rata-rata karbon mangrove sebesar 40,764 ton/hektare seperti yang terdapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data perhitungan cadangan karbon menggunakan model persamaan regresi.

No	Luas (hektare)	Rata-rata Kandungan Karbon	Total Kandungan Karbon
1	11904,3	40.764	485.266,052



Gambar 4. Peta *carbon storage* mangrove wilayah IKN.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai *carbon storage* yang didapatkan berkisar antara -292,138 sampai 83,5988. Dapat dilihat berdasarkan **Gambar 4**, warna hijau yang mewakili nilai paling tinggi lebih dominan berada di wilayah Kecamatan Sepaku, terutama pada bagian yang berada di dekat laut atau pesisir dengan rentang nilai paling maksimal sebesar 83,599. Sedangkan pada bagian yang lebih condong ke daratan memiliki warna kuning dan warna oranye yang mewakili rentang nilai sampai yang paling rendah, yaitu -292,138. Pada Kecamatan Muara Jawa, warna hijau masih dominan, tetapi warna kuning dan hijaunya cenderung lebih banyak dibandingkan dengan Kecamatan Sepaku.

Namun, hasil estimasi *carbon storage* yang diperoleh belum dapat dipastikan memiliki potensi nilai karbon yang tinggi atau rendah. Hal tersebut karena belum ada acuan atau baku mutu nilai pasti yang menunjukkan bahwa nilai karbon yang diperoleh dikategorikan berpotensi tinggi atau rendah dalam menyerap dan menyimpan karbon oleh ekosistem mangrove.

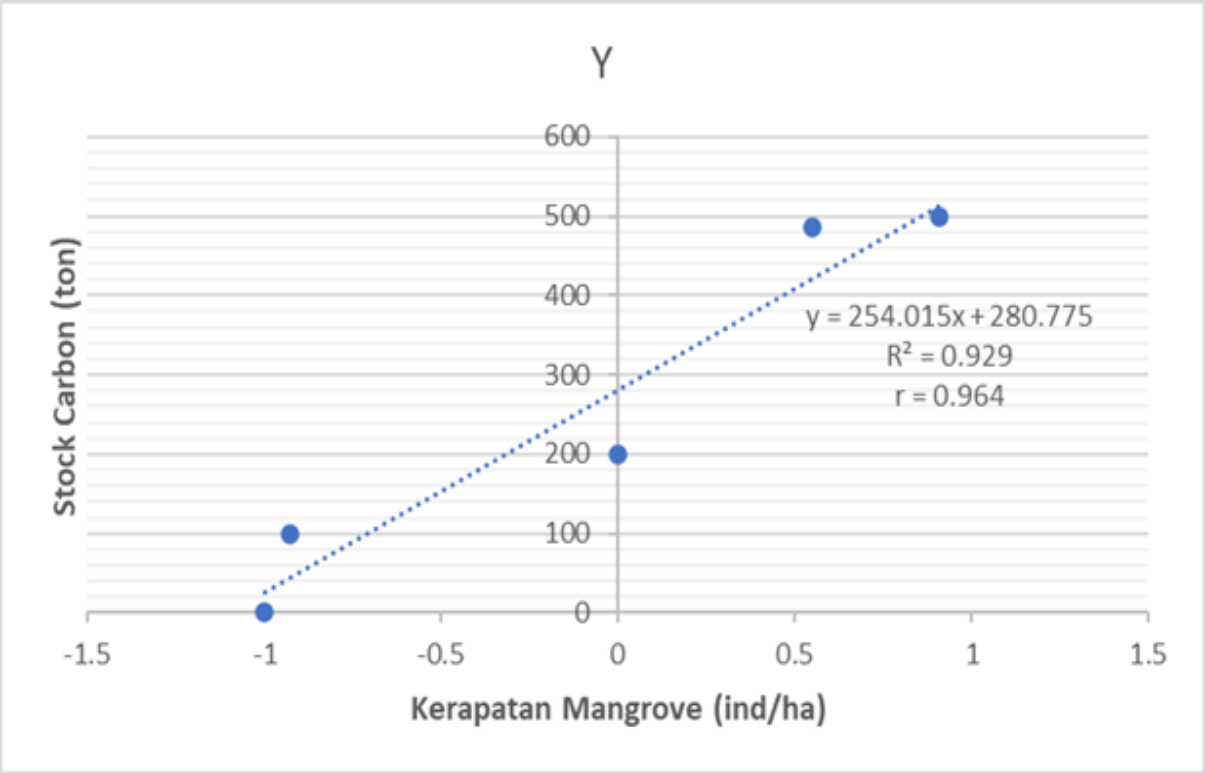
Biomassa

Hasil perhitungan kandungan biomassa yang didapatkan dari cadangan karbon dibagi dengan nilai persentase kandungan karbon adalah sebesar 1.032.480,961 ton. Kandungan biomassa dan *carbon storage* saling memengaruhi satu sama lain. Besarnya nilai biomassa berbanding lurus dengan nilai *carbon storage.* Kandungan biomassa dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi. Semakin

besar diameter suatu pohon, maka nilai biomassa juga akan semakin besar. Seiring bertambahnya usia tanaman, biomassa akan meningkat karena diameter pohon yang mengalami pertumbuhan. Pertumbuhan tersebut terjadi di dalam kambium ke arah radial sehingga akan membentuk sel-sel baru yang menambah diameter (Imiliaya *et al.*, 2012).

Hubungan Kerapatan Mangrove dengan *Carbon Storage* dan Biomassa

Hutan mangrove memiliki kandungan biomassa dan *carbon storage*. Nilai kerapatan mangrove menentukan besar kecilnya jumlah biomassa dan *carbon storage*. Untuk mengetahui seberapa erat hubungan tersebut, maka perlu dilakukan uji regresi antara kerapatan mangrove dengan biomassa dan *carbon storage* yang dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



Gambar 5. Hubungan kerapatan mangrove terhadap stok karbon di wilayah IKN.

Tabel 2. Hasil model *summary* kerapatan mangrove terhadap *carbon storage.*

Model	R	R *Square*	*Adjusted R Square*	*Std Error of the Estimate*
1	0,964a	0,929	0,906	69,53043

a. *Predictore: (Constant),* kerapatan mangrove

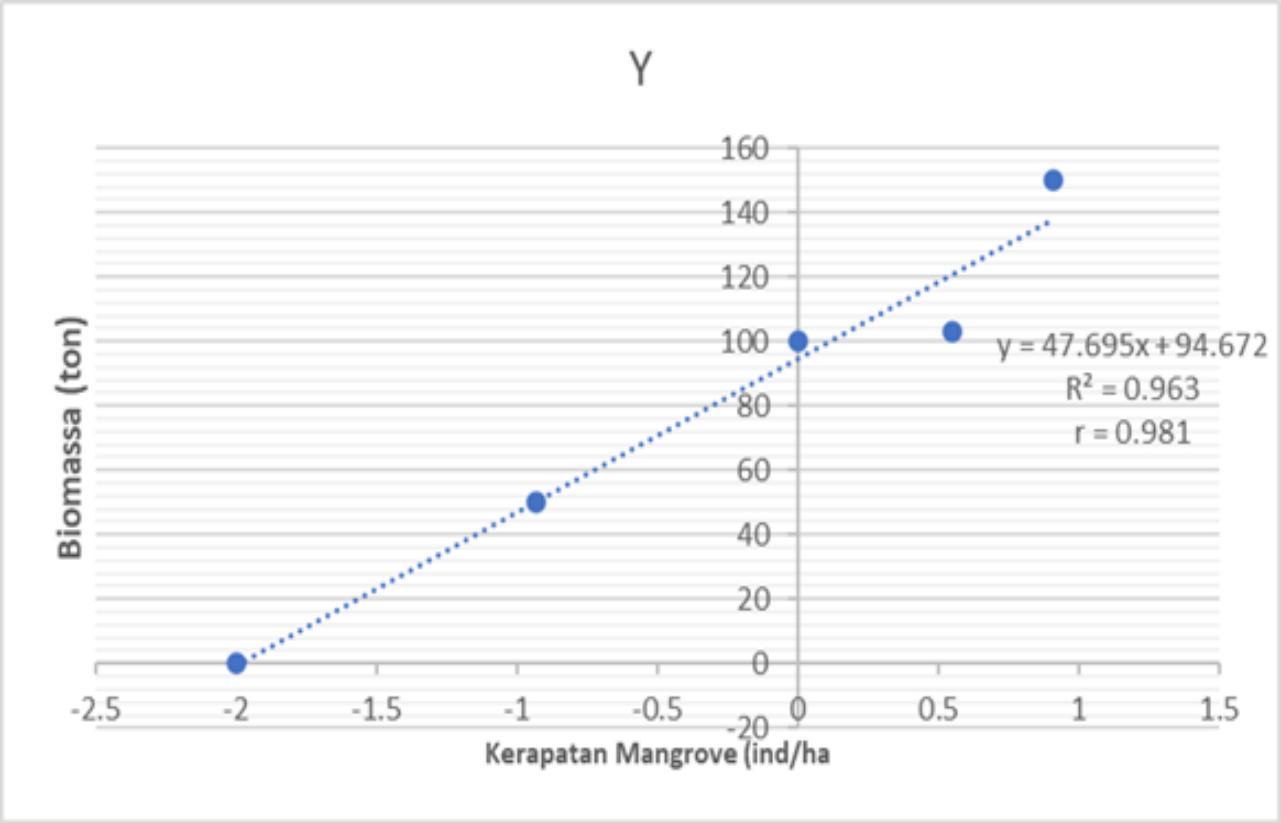
Hasil uji regresi linier menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara kerapatan mangrove dengan *carbon storage* di wilayah IKN. Hubungan tersebut memiliki nilai korelasi 0,964 yang mengindikasikan adanya tingkat korelasi yang sangat kuat. Sehingga dapat dilihat bahwa pengaruh kerapatan mangrove terhadap nilai *carbon storage* adalah sebesar 90,6%.

Tabel 3. Koefisien kerapatan mangrove terhadap *carbon storage.*

Model		*Unstandardized B*	*Coefficients Std. Error*	*Standardized Coefficients Beta*	*t*	*Sig.*
1	(*Constant*)	280,775	31,324		8,964	0,003
	Kerapatan Mangrove	254,015	40,455	0,964	6,279	0,008

a. *Dependent Variable: carbon storage*

Berdasarkan **Tabel 3**, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,008. Jika pada uji regresi linier didapatkan nilai <0,05, maka nilai kerapatan mangrove berpengaruh terhadap nilai *carbon storage*.



Gambar 6. Hubungan kerapatan mangrove terhadap biomassa di wilayah IKN.

Tabel 4. Model *summary* kerapatan mangrove terhadap biomassa.

Model	*R*	*R Square*	*Adjusted R Square*	*Std Error of the Estimate*
1	0,981a	0,963	0,951	12,68807

a. *Predictors: (constant),* kerapatan mangrove

Hasil uji regresi linier menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara kerapatan mangrove dengan nilai biomassa di wilayah IKN. Hubungan tersebut memiliki nilai korelasi 0,981 yang mengindikasikan adanya tingkat korelasi yang sangat kuat. Sehingga dapat dilihat bahwa pengaruh kerapatan mangrove terhadap nilai biomassa adalah sebesar 95,1%.

Tabel 5. Koefisien kerapatan mangrove terhadap biomassa.

Model		*Unstandardized B*	*Coefficients Std. Error*	*Standardized Coefficients Beta*	*t*	*Sig.*
1	*(Constant)*	94,672	5,891		160,072	0,001
	Kerapatan Mangrove	47,695	5,379	0,981	80,866	0,003

a. *Dependent variable:* biomassa

Berdasarkan **Tabel 5**, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,003. Jika pada uji regresi linier didapatkan nilai <0,05, maka nilai kerapatan mangrove berpengaruh terhadap nilai biomassa. Heriyanto dan Amin (2017) mengemukakan bahwa semakin tinggi nilai kerapatan mangrove, maka akan semakin tinggi pula nilai biomassanya. Sehingga secara otomatis nilai kerapatan mangrove akan memengaruhi nilai cadangan karbon.

KESIMPULAN

IKN memiliki luas kawasan mangrove sebesar 11.904,3 hektare yang berada di sebagian kecil wilayah Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Wilayah mangrove tersebut terdapat di daerah pesisir pantai, muara sungai, dan daerah berlumpur sebagaimana habitat asli dari vegetasi mangrove itu sendiri.

Tingkat kerapatan vegetasi mangrove di IKN yang diperoleh dari transformasi indeks vegetasi NDVI menghasilkan nilai -0,929872 hingga 0,90864. Wilayah mangrove di IKN sebagian besar memiliki kerapatan vegetasi yang cukup tinggi atau rapat dan hanya sebagaian kecil saja yang memiliki kerapatan vegetasi rendah yaitu di wilayah paling timur IKN.

Pengolahan model estimasi karbon berbasis NDVI menghasilkan nilai *carbon storage* berkisar antara -292,138 sampai 83,599 dengan estimasi total *carbon storage* sebesar 485.266,052 ton dengan rata-rata 40.764 ton/hektare. Dari hasil tersebut, dilakukan perhitungan terhadap nilai biomassa dan diperoleh hasil sebesar 1.032.480,961 ton.

Terdapat hubungan yang signifikan antara kerapatan mangrove dengan *carbon storage* dan biomassa. Besarnya nilai biomassa berbanding lurus dengan nilai carbon storage dan dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi. Tingginya kerapatan mangrove berbanding lurus dengan jumlah *carbon storage dan* biomassa. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara ketiganya.

Penggunaan citra Landsat 8 dalam penelitian ini kurang optimal karena resolusinya rendah sehingga dibutuhkan citra resolusi tinggi atau luasan mangrove yang telah tervalidasi agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan *paper* berjudul *"Analisis Estimasi Kandungan Biomassa dan Carbon Storage pada Ekosistem Mangrove Ibu Kota Nusantara Menggunakan Citra Landsat 8"*. Tanpa dedikasi dan kolaborasi dari berbagai pihak, *paper* ini tidak akan terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Terima kasih kepada tim penulis yang telah bekerja keras untuk merumuskan dan menyusun *paper* ini dengan penuh ketelitian. Kontribusi setiap anggota tim sangat berharga dalam menghasilkan analisis yang mendalam dan solusi yang inovatif terkait estimasi *carbon storage dan* biomassa di wilayah IKN.

Kami juga ingin menyampaikan apresiasi yang besar kepada BIG (Badan Informasi Geospasial) yang telah menyelenggarakan Seminar Nasional Geomatika VII Tahun 2024 ini. Inisiatif BIG dalam mendorong penelitian dan pengetahuan tentang isu lingkungan sangatlah penting. Kami sangat berterima kasih atas kesempatan yang diberikan untuk berpartisipasi dalam seminar nasional ini. Semoga *paper* ini tidak hanya menjadi sumbangsih bagi literatur ilmiah, tetapi juga menjadi sumber inspirasi bagi upaya-upaya konservasi lingkungan khususnya di wilayah Indonesia. Terima kasih sekali lagi kepada semua pihak yang telah terlibat dalam perjalanan penulisan *paper* ini.

DAFTAR PUSTAKA

Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the Most Carbon-Rich Forests in the Tropics. Nature geoscience, 4(5), 293-297.

Franklin, S. E. (2011). Remote Sensing for Sustainable Forest Management. Florida: CRC Press LLC.

Ferdina, H. (2023). Indeks Kesehatan Mangrove dan Laju Serapan Karbon di Kelurahan Kota Karang, Bandar Lampung dan Desa Karya Tunggal, Lampung Selatan.

Gunawan, H. & Anwar, C. (2004). Keanekaragaman jenis burung mangrove di Taman Nasional Rawa Aopa Watumohai, Sulawesi Tenggara. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, I(3), 294-308.

Heriyanto, T., & Amin, B. (2017). Analysis of biomass and carbon reserves in seagrass ecosystem of Malang Rapat Village Bintan District, Kepulauan Riau Province. *Applied Science and Technology*, *1*(1), 22-28.

Hidayat, A., Ikasari, D., & Andika, R. (2023). Sistem Informasi Geografis dalam Aplikasi Perhitungan Jarak Lurus Lokasi Ke Sman Depok. *Badan Penerbit Stiepari Press*, 1-65.

Ima, M. (2023). Pendugaan Potensi Stok Karbon dan Emisi Co2 Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan di Sekitar Kawasan Mangrove Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

Imiliyana, A., M. Muryono, Purnobasuki. (2012). Estimasi Stok Karbon pada Tegakan Pohon Rhizopora Stylosa di Pantai Camplong, Sampang-Madura. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Mayada, F. D., Qushayyi, M. F., Margarieta, W. A., & Sa'id, I. B. (2023). Pengaruh Perpindahan Ibukota Ke IKN Terhadap Perdagangan Karbon. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Lingkungan Wilayah Pesisir*, *1*(2), 49-52.

Purwanto, A. (2015). Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Identifikasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Kecamatan Silat Hilir Kabupaten Kapuas Hulu. *Pendidikan: Jurnal Pendidikan* , *13* (1), 27-36.

SNI. (2011). Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon– Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting). Badan Standarisasi Indonesia. SNI, 7724.

Yudistira, R., Meha, A. I., & Prasetyo, S. Y. J. (2019). Perubahan konversi lahan menggunakan NDVI, EVI, SAVI dan PCA pada Citra Landsat 8 (studi kasus: Kota Salatiga). *Indonesian Journal of Computing and Modeling*, *2*(1), 25-30.

Zainuddin, T., & Gunawan, I. (2014). Bakau Dibabat Kiamat Mendekat. Tabloid Boemi Poetra, 1, 1-15

ANALISIS DISTRIBUSI SPASIAL DAN KERAPATAN EKOSISTEM KARBON BIRU MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 9 OLI-2/TIRS-2

Studi Kasus di Kawasan Ekosistem Esensial, Teluk Balikpapan

(*Spatial Distribution and Density Analysis of Blue Carbon Ecosystems using Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 Imagery: Case Study of Essential Ecosystem Area, Balikpapan Bay*)

Anang Nasrudin Mahfud dan Muhammad Nafis Ubaidillah
Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Profesor H. Soedarto, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
E-mail: nasrudinanangmahfud@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia berkomitmen menurunkan emisi karbon yang tertuang dalam target *Enhance* NDC sebesar 31,89% pada tahun 2030 melalui pengelolaan ekosistem karbon biru. Potensi karbon biru yang dimiliki Indonesia merupakan salah satu yang terbesar di dunia dengan luas mangrove mencapai 3,3 juta hektare yang diperkirakan mampu menyimpan karbon hingga 3,3 gigaton atau 17% dari total karbon biru global. Pemetaan ekosistem mangrove menjadi salah satu solusi alternatif untuk mengetahui persebaran luasan ekosistem karbon biru dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan sebaran luasan dan tingkat kerapatan ekosistem mangrove di Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Teluk Balikpapan dengan menggunakan citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 tahun 2022. Metode analisis spasial untuk klasifikasi vegetasi menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* dengan membagi ke dalam tiga kelas, yaitu mangrove, non-mangrove, dan badan air. Sedangkan, analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) digunakan untuk mengetahui tingkat kerapatan mangrove. Pengolahan data menggunakan *software* ArcGIS 10.8. Secara kuantitatif, hasil perhitungan luas menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* didapatkan luas mangrove sebesar 12.225,94 hektare, non-mangrove 35.614,55 hektare, dan badan air seluas 14.159,51 hektare. Nilai NDVI di lokasi penelitian berkisar antara -0,537 hingga 0,841. Nilai NDVI maksimum terdapat pada objek mangrove, sedangkan nilai NDVI minimum terdapat pada objek badan air. Kerapatan mangrove di KEE Teluk Balikpapan didominasi oleh kerapatan tinggi dan sangat tinggi. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi awal perumusan kebijakan pengelolaan ekosistem mangrove sebagai penyimpan karbon agar ekosistem karbon biru dapat berkelanjutan.

Kata kunci: karbon biru, mangrove, NDVI, *maximum likelihood classification*, Teluk Balikpapan

ABSTRACT

Indonesia is committed to reducing carbon emissions, as stated in the Enhance NDC target by 31.89% by 2030, through managing the blue carbon ecosystem. Indonesia's blue carbon potential is one of the largest in the world, with a mangrove area of 3.3 million hectares, estimated to store up to 3.3 gigatons of carbon or 17% of the total global blue carbon. Mapping the mangrove ecosystem by utilizing remote sensing technology is an alternative solution to determine the distribution of the blue carbon ecosystem. This research aims to map the distribution of the area and density level of mangrove ecosystems in the Balikpapan Bay Essential Ecosystem Area (KEE) using Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 imagery in 2022. The spatial analysis method for vegetation classification uses the Maximum Likelihood Classification method by dividing it into three classes, namely mangroves, non-mangroves, and water bodies. Meanwhile, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis is used to determine the level of mangrove density. Data processing uses ArcGIS 10.8 software. Quantitatively, the area calculations using the Maximum Likelihood Classification method show that the mangrove area is 12,225.94 hectare, the non-mangrove area is 35,614.55 hectare, and the water body area is 14,159.51 hectare. NDVI values at the research location ranged from -0.537 to 0.841. The maximum NDVI value is found in mangrove objects, while the minimum NDVI value is found in water body objects. High and very high densities dominate mangrove density in KEE Balikpapan Bay. Overall, the results of this research can be used as initial information for formulating policies for managing mangrove ecosystems as carbon stores so that the blue carbon ecosystem can be sustainable.

***Keywords**: blue carbon, mangroves, NDVI, maximum likelihood classification, Balikpapan Bay*

PENDAHULUAN

Resiko perubahan iklim telah menjadi ancaman serius bagi masa depan peradaban manusia. Emisi gas rumah kaca (GRK) menjadi faktor pemicu mendasar perubahan iklim dalam bertambahnya gas karbon dioksida (CO_2) di atmosfer. Pemerintah Indonesia tengah berupaya keras berkontrubusi dalam penanganan isu perubahan iklim dengan meratifikasi *Paris Agreement* pada tahun 2016 melalui pernyataan komitmen *Nationally Determined Contribution* (NDC) pada 2022. dalam target NDC 2022, Indonesia berkomitmen menurunkan emisi GRK sebesar 31,89% dengan kemampuan sendiri dan dapat mencapai 43,20% pada 2030 dengan dukungan internasional. Salah satu upaya dalam mengurangi emisi karbon adalah dengan mengoptimalisasi potensi ekosistem karbon biru. Ekosistem karbon biru merupakan ekosistem-ekosistem pesisir yang terdiri dari hutan mangrove, padang lamun, dan rawa payau (Pendleton *et al.*, 2012). Ekosistem pesisir dapat menyimpan lebih dari tiga kali lipat karbon per hektare dibandingkan dengan yang disimpan oleh ekosistem daratan (Illiyyun *et al.*, 2023). Menurut laporan Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia pada 2022, Indonesia memiliki potensi karbon biru sebesar 3,4 giga ton atau setara dengan 17% dari total cadangan karbon biru global. Oleh karena itu, potensi ekosistem karbon biru dapat menawarkan peluang yang sangat besar dalam upaya mitigasi perubahan iklim global.

Kawasan hutan mangrove merupakan salah satu tipe ekosistem karbon biru yang yang memiliki kemampuan untuk menyerap karbon dioksida (CO_2) melalui proses fotosintesis serta menyimpan karbon dalam bentuk biomassa di dalam tanah (Howard *et al.*, 2018). Pemetaan ekosistem karbon biru yang berfokus pada ekosistem mangrove dapat dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi dari ekosistem tersebut. Pemetaan sebaran dan luasan ekosistem mangrove dapat dilakukan pendekatan teknologi penginderaan jauh (Herr *et al.*, 2012). dalam penentuan sebaran dan luasan mangrove dapat menggunakan dua metode, di antaranya adalah metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Metode NDVI menggunakan pendekatan indeks vegetasi dalam mengklasifikasikan mengrove dari nilai spektral band pada citra (Gupta *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2018). Metode MLC menggunakan pendekatan karakteristik spektral untuk mengelompokkan jenis tutupan lahan berdasarkan kesamaan nilai piksel pada citra. Penggunaan kedua metode ini dipilih karena prosesnya yang lebih mudah dan cepat daripada klasifikasi sebaran dan luasan objek permukaan bumi lainnya (Febrianti & Sofan, 2014).

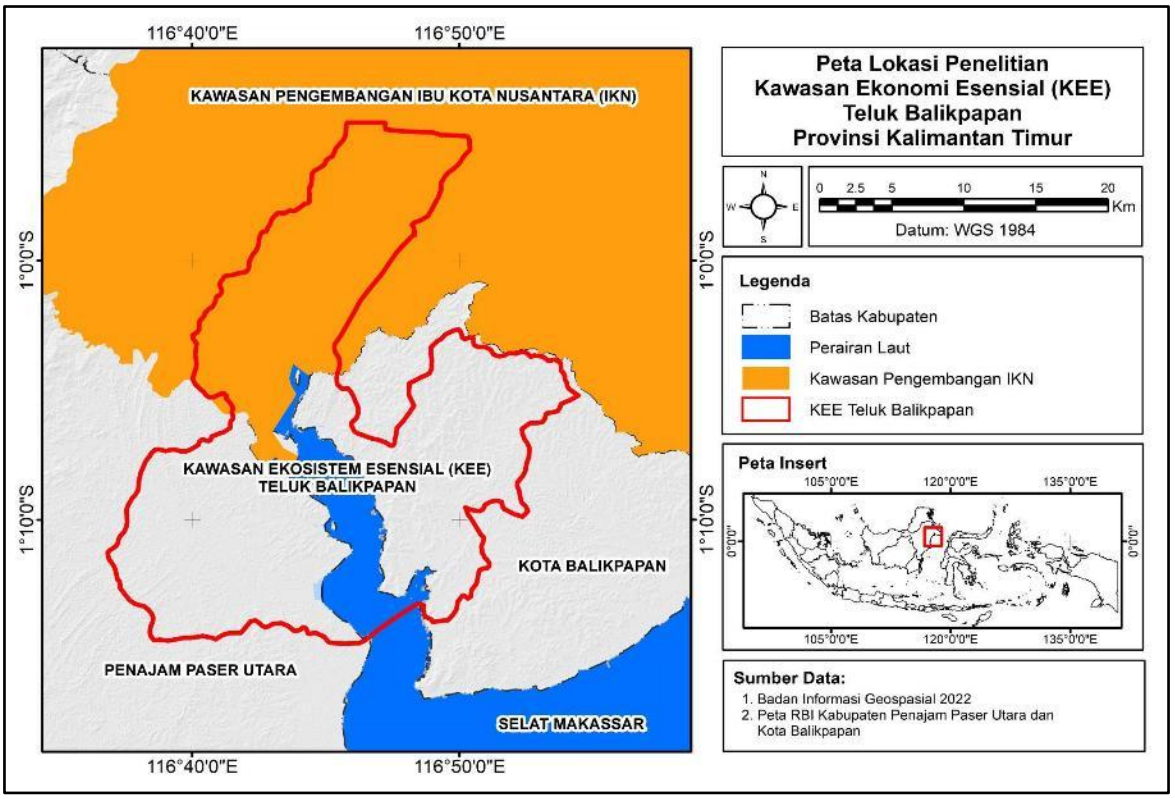
Salah satu wilayah pesisir di Indonesia yang ditumbuhi mangrove adalah Teluk Balikpapan. Mangrove di Teluk Balikpapan termasuk ke dalam Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) yang memiliki keanekaragaman hayati yang melimpah (Novareka *et al.*, 2023). Kawasan ini berdekatan lokasinya dengan Kawasan Strategis Nasional Ibu Kota Nusantara (IKN) sehingga memberikan pengaruh besar terhadap ekosistem mangrove. Selain itu, dengan adanya pemanasan global serta aktifitas permukiman, pariwisata, tambak, pelabuhan, dan penangkapan ikan diduga akan mempengaruhi ekosistem mangrove di KEE Teluk Balikpapan. Hal tersebut secara tidak langsung akan mempengaruhi ekosistem mangrove dalam menyimpan karbon.

Penelitian mengenai kondisi ekosistem mangrove saat ini di KEE Teluk Balikpapan masih cukup minim yang ditunjukkan dengan belum terdapatnya publikasi mengenai sebaran dan luasan mangrove di KEE Teluk Balikpapan. Data sebaran spasial dan kondisi ekosistem mangrove sangat diperlukan dalam pengelolaan ekosistem karbon biru yang berkelanjutan di KEE Teluk Balikpapan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan sebaran, luas, dan tingkat kerapatan ekosistem mangrove di KEE Teluk Balikpapan menggunakan pendekatan penginderaan jauh dengan memanfaatkan data citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 tahun 2022.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di KEE Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur (**Gambar 1**). Secara administratif, KEE Teluk Balikpapan termasuk wilayah Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU). Secara geografis terletak pada kisaran 01°25'-01°45' LS dan 116°20'-117°00' BT dengan luas wilayah KEE Teluk Balikpapan adalah 62.000 hektare atau 62 km^2.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian pada KEE Teluk Balikpapan.

NDVI

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) merupakan indeks vegetasi yang menggambarkan kondisi tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi (Pahlevi & Firdaus, 2021). NDVI dihitung sebagai rasio antara pantulan yang terukur dari *band* inframerah dengan *band* merah pada citra Landsat 9. Nilai kerapatan vegetasi dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1**. Nilai NDVI berkisar antara -1 dan +1, dengan nilai mendekati 1 menunjukkan kerapatan vegetasi yang semakin padat, sedangkan nilai yang mendekati -1 menunjukkan kerapatan vegetasi yang semakin jarang.

$$NDVI = \frac{Band\ 5\ (NIR) - Band\ 4\ (RED)}{Band\ 5\ (NIR) + Band\ 4\ (RED)} \quad \text{.....(1)}$$

dimana:
NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*
NIR = *Near Infrared Band*
RED = *Red Band*

Tabel 1. Kriteria tingkat kerapatan tajuk.

Nilai NDVI	Tingkat Kerapatan Tajuk
0,40 ≤ NDVI ≤ 1,00	lebat
0,25 ≤ NDVI ≤ 0,40	sedang
0.03 ≤ NDVI ≤ 0,25	jarang
-1.00 ≤ NDVI ≤ 0,03	badan air/non-vegetasi

Sumber: Marwoto & Ginting (2009) dengan modifikasi

Dalam menentukan nilai kerapatan tajuk mangrove dapat menggunakan dari hasil perhitungan NDVI. Nilai NDVI yang dihasilkan tersebut diklasifikasikan ulang *(reclass*) menjadi tiga kelas, yaitu kerapatan jarang, sedang, dan lebat. Berikut merupakan tabel penilaian tingkat kerapatan tajuk mangrove berdasarkan nilai NDVI (lihat **Tabel 1**).

Maximum Likelihood Classification

Maximum Likelihood Classification (MLC) merupakan salah satu jenis klasifikasi terbimbing (*supervised*). Metode ini mempertimbangkan jenis tutupan lahan yang memiliki nilai piksel sama dan identik pada citra yang diklasifikasi (Purwadhi *et al.*, 2001). dalam pengolahan klasifikasi terbimbing menggunakan area *sampling* dengan ketelitian yang ditentukan oleh kualitas dan jumlah sampel. Metode ini dapat memisahkan fitur mangrove, non-mangrove, dan badan air menggunakan *Region of Interest* (ROI) yang diasumsikan sebagai objek tertentu. ROI merupakan area *sampling* yang dibentuk sebagai *training area* pada klasifikasi *supervised*. MLC memerlukan data sampel perwakilan untuk tiap kelas secara akurat dengan cara memperkirakan nilai dari *mean* vektor dan kovarian matriks yang diperlukan oleh algoritma klasifikasi. Jika sampel pelatihan terbatas atau tidak representatif maka estimasi elemen yang tidak akurat sering kali akan menghasilkan klasifikasi yang buruk (Kanata *et al.*, 2021).

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain laptop, citra satelit Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 tahun 2022, DEMNAS, peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kota Balikpapan, serta peta KEE Teluk Balikpapan. Pengolahan data menggunakan *software* ArcGIS 10.8, Microsoft Office 2019, dan CorelDRAW 2019.

Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Pre-Processing Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2

Sebelum dilakukan pengolahan lebih lanjut, data citra perlu dikoreksi secara geometrik dan radiometrik. Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 sudah terkoreksi secara geometrik sehingga dalam pengolahan ini hanya perlu dilakukan koreksi radiometrik. Koreksi radiometrik diperlukan untuk memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan objek yang sebenarnya (Rini & Jajang, 2019). Proses koreksi radiometrik menggunakan *tools Raster Calculator* pada ArcGIS dengan mengkonversi *Digital Number* menjadi *Radian* kemudian *Reflectance*, kecuali *band thermal* yang dikonversi menjadi *Brightness Temperature*. dalam memudahkan proses pengolahan citra selanjutnya maka dilakukan pemotong citra (*cropping*) sesuai area penelitian. Pemotongan citra menggunakan *tools Extract by mask* pada ArcGIS. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses penajaman citra dan pemotongan citra sesuai dengan wilayah penelitian.

Komposit Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2

Pada metode NDVI, komposit *band* dilakukan dengan menggunakan *tools Raster Calculator* pada ArcGIS menggunakan rumus **Persamaan 1**. Sedangkan, pada metode MLC, komposit *band* dilakukan menggunakan *tools image analysis* dengan menggabungkan *band* 4, *band* 3, dan *band* 2 untuk menampilkan kenampakan *True Color.*

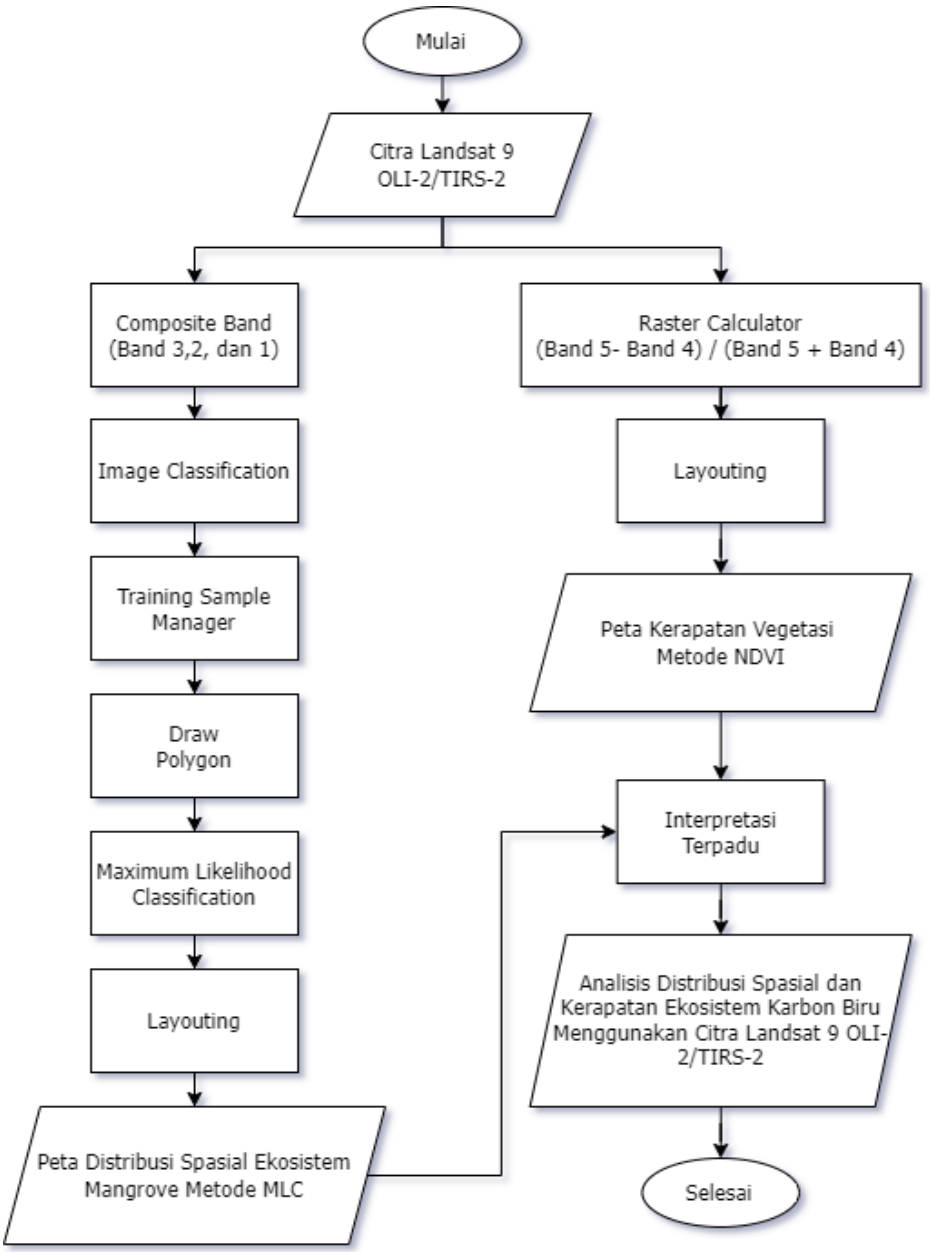
Penentuan Sampel pada Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2

Dalam penelitian ini, sampel ditentukan menggunakan teknik *stratified random sampling*. Proses pemilihan lokasi sampel dilakukan secara acak pada setiap tingkatan kelas penutup lahan dalam peta tentatif. Pola sampel ini didasarkan pada pemilihan jumlah lokasi titik sampel yang spesifik dan merata pada setiap kelas penutup lahan, sesuai dengan proporsi luasan tiap kelas

penutup lahan. Selanjutnya, klasifikasi dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* pada *tools image analysis.*

Maximum Likelihood Classification

Klasifikasi jenis tutupan lahan dilakukan dengan memanfaatkan pendekatan penutup lahan. Sebelum melakukan ekstraksi, terlebih dahulu dilakukan digitalisasi penutup lahan. Citra Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 dengan komposit 432 digunakan sebagai bahan untuk proses interpretasi digital penutup lahan, dengan tujuan mempermudah pembuatan sampel ROI khususnya untuk membedakan kelas-kelas penutup lahan. Klasifikasi penutup lahan dari sampel ROI dilakukan melalui pendekatan *supervised classification* dengan menggunakan algoritma *maximum likelihood*. dalam penelitian ini terdapat 3 kelas tutupan lahan yang akan diklasifikasi, karena jumlah kelas penutup lahan disesuaikan dengan kemampuan citra satelit yang digunakan dan tutupan lahan yang ada pada KEE Teluk Balikpapan. Hasilnya berupa 3 kelas klasifikasi tutupan yaitu badan air, mangrove, dan non-mangrove. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.**

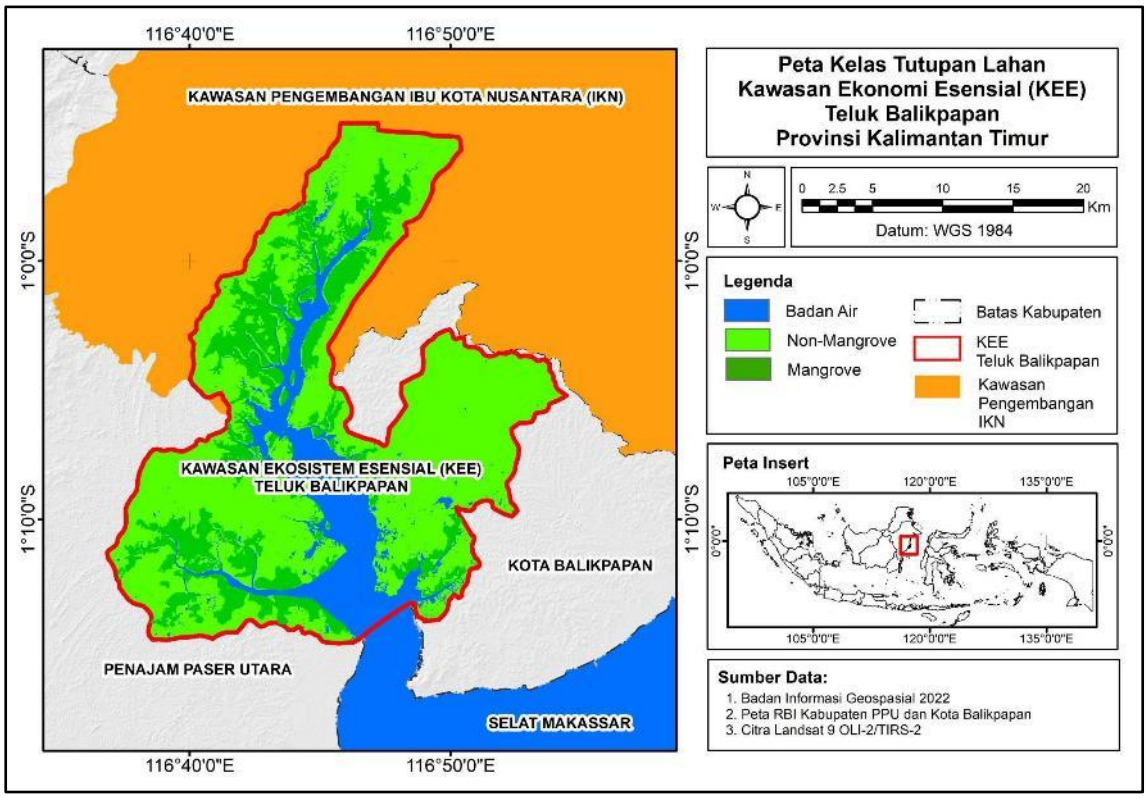


Gambar 2. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi Penutup Lahan Ekosistem Mangrove

Klasifikasi kelas tutupan lahan di daerah penelitian diperoleh dari klasifikasi tutupan lahan citra Landsat 9 pada tahun 2022. Tiga kelas tersebut terdiri dari badan air, mangrove, dan non-mangrove. **Gambar 3** menunjukkan peta kelas tutupan lahan di KEE Teluk Balikpapan pada tahun 2022. Berdasarkan hasil pengolahan klasifikasi penutup lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing *maximum likelihood* maka diperoleh luasan masing-masing kelas di KEE Teluk Balikpapan (**Tabel 2**). Dari hasil perhitungan luas tiap klasifikasi lahan, secara kuantitatif pada metode *maximum likelihood* luas mangrove sebesar 12.225,94 hektare dengan persentase 19,72%, non-mangrove sebesar 35.614,55 dengan persentase 57,44%, dan badan air 14.159,51 dengan persentase 22,84%.



Gambar 3. Peta kelas tutupan lahan KEE Teluk Balikpapan menggunakan metode *MLC.*

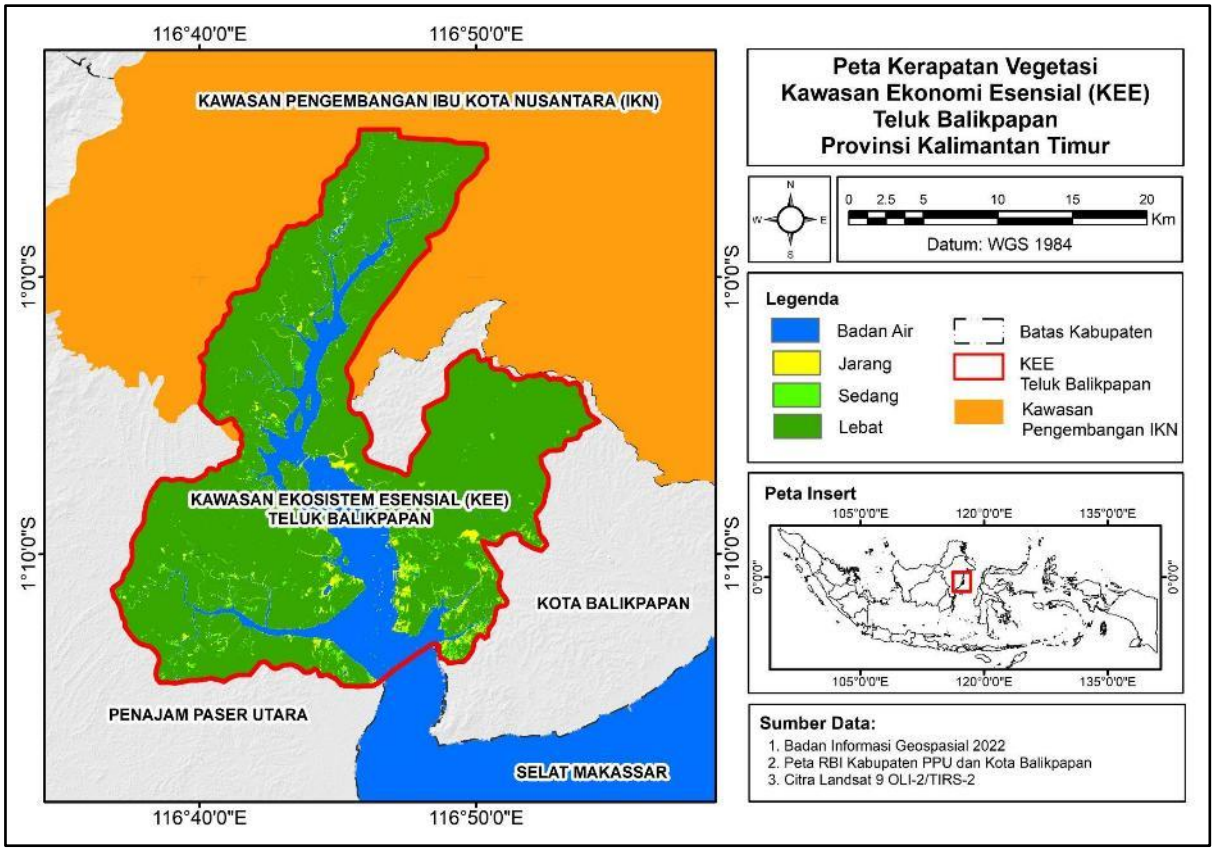
Tabel 2. Luas kelas penutup lahan ekosistem mangrove pada tahun 2022.

Kelas Penutup Lahan	Luas (hektare)	Persentase (%)
Vegetasi Mangrove	12.225,94	19,72
Vegetasi Non-Mangrove	35.614,55	57,44
Badan Air	14.159,51	22,84
Total	62.000,00	100,00

Kenampakan jenis tutupan lahan pada citra Landsat 9 ditampilkan dengan warna yang berbeda-beda. Badan air diwakili dengan warna biru. Vegetasi non-mangrove diwakili dengan warna hijau terang. Vegetasi mangrove diwakili dengan warna hijau gelap. Berdasarkan kelas tutupan lahan pada **Gambar 3**, dapat diketahui distribusi spasial dari objek vegetasi mangrove yang terdapat pada muara-muara sungai pada Teluk Balikpapan. Objek vegetasi mangrove menunjukkan distribusi spasial yang lebih merata dan dominan di seluruh area penelitian. Objek badan air merupakan muara-muara sungai yang mengalir menuju Teluk Balikpapan dan Selat Makassar.

Klasifikasi Kerapatan Vegetasi Mangrove

Klasifikasi kerapatan vegetasi di daerah penelitian diperoleh dari klasifikasi kerapatan vegetasi citra Landsat 9 pada tahun 2022. Berdasarkan hasil pengolahan klasifikasi kerapatan vegetasi menggunakan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) maka diperoleh kelas kerapatan vegetasi di KEE Teluk Balikpapan (**Gambar 4**). Kelas kerapatan tersebut terdiri dari non-vegetasi atau badan air, vegetasi jarang, vegetasi sedang, dan vegetasi lebat.



Gambar 4. Peta kelas kerapatan vegetasi KEE Teluk Balikpapan menggunakan metode NDVI.

Tabel 3. Luas kelas kerapatan vegetasi pada tahun 2022.

Kelas Kerapatan Vegetasi	Luas (hektare)	Persentase (%)
Non-Vegetasi / Badan Air	8.855,57	14,28
Vegetasi Jarang	1.924,89	3,10
Vegetasi Sedang	2.072,66	3,34
Vegetasi Lebat	49.146,52	79,28
Total	62.000,00	100,00

Berdasarkan hasil pengolahan NDVI, dipeoleh luasan masing-masing kelas kerapatan vegetasi di KEE Teluk Balikpapan (lihat **Tabel 3**). Kelas non-vegetasi atau badan air mempunyai luasan 8.855,57 hektare atau 14,28% dari luas total wilayah. Kelas ini tersebar pada muara-muara sungai yang mengalir menuju Teluk Balikpapan dan Selat Makassar. Vegetasi dengan kehijauan jarang mempunyai luasan 1.924,89 hektare atau sebesar 3,10% dari luas total wilayah. Kelas kehijauan sedang memiliki luasan 2.071,66 hektare atau sebesar 3,34% dari total luas wilayah. Kelas kehijauan lebat memiliki luasan 49.146,52 hektare atau sebesar 79,28% dari total luas wilayah. Kelas kehijauan lebat merupakan vegetasi terbesar di antara kelas yang lain. Kehijauan lebat adalah tanaman yang berwarna hijau dan memiliki kerapatan yang tinggi, seperti mangrove dan hutan darat lainnya. Hal ini terjadi karena sebagian besar wilayah penelitian merupakan kawasan dengan keanekaragaman hayati yang melimpah. Vegetasi ini tersebar ke seluruh area penelitian.

KESIMPULAN

Distribusi sebaran kelas penutup lahan di ekosistem mangrove KEE Teluk Balikpapan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* terbagi menjadi 3 kelas yaitu, vegetasi mangrove, vegetasi non-mangrove, dan badan air. Secara kuantitatif, luas mangrove sebesar 12.225,94 hektare dengan persentase 19,72%, non-mangrove sebesar 35.614,55 dengan persentase 57,44%, dan badan air 14.159,51 dengan persentase 22,84%. Sebaran kelas penutup lahan menunjukkan vegetasi non-mangrove melingkupi tersebar hampir di area kajian, vegetasi mangrove tersebar di muara sungai hingga ke teluk perairan, sedangkan badan air yang mendominasi pada perairan Teluk Balikpapan. Kerapatan vegetasi mangrove hasil pengolahan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dibagi menjadi 4 kelas, yaitu non-vegetasi atau badan air, kerapatan jarang, kerapatan sedang, dan kerapatan lebat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur atas rahmat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kami kelancaran dalam menyelesaikan penulisan makalah penelitian ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro atas dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Febrianti, N., & Sofan, P. (2014). Ruang terbuka hijau di DKI Jakarta berdasarkan analisis spasial dan spektral data Landsat 8. In *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014* (pp. 498-504). LAPAN.

Herr, D., Pidgeon, E., & Laffoley, D. D. A. (2012). *Blue carbon policy framework 2.0: based on the discussion of the International Blue Carbon Policy Working Group*. IUCN.

Howard, J. L., Creed, J. C., Aguiar, M. V., & Fourqurean, J. W. (2018). CO2 released by carbonate sediment production in some coastal areas may offset the benefits of seagrass "Blue Carbon" storage. *Limnology and Oceanography*, *63*(1), 160-172.

Marwoto Ginting, R. (2009). Penyusunan Data dan Karakteristik Daerah Tangkapan Air Danau Sentani, Kabupaten Jayapura serta perubahan Penutupan Lahannya Menggunakan Data Penginderaan Jauh. dalam *Berita Inderaja*, *8*.

Novareka, A. R., Hadibasyir, H. Z., & GIS, M. (2023). *Pemetaan Ekosistem Mangrove Menggunakan Citra Multisumber (Sentinel-2A dan Sentinel-1) Berbasis Cloud Computing di Teluk Balikpapan* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., ... & Baldera, A. (2012). Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems.

Purwadhi, FSH. (2001). Interpretasi Citra Digital. Grasindo. Jakarta.

Rini, M.S., & Jajang, S. (2019). Pemanfaatan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk identifikasi ruang terbuka hijau di Kabupaten Klaten. Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS X, 280-300. Universitas Muhammadiyah Surakarta 2019. Surakarta.

Saraswati, G. P., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2019). Analisis Estimasi Energi Panas Bumi dan Rekomendasi Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Kawasan Gunung Ungaran, Jawa Tengah). Jurnal Geodesi UNDIP, 8(1), 170-179.

Tran, T.V., Reef, R., & Zhu, X. (2022). A Review of Spectral Indices for Mangrove Remote Sensing. Remote Sensing, 14(4868), 1-29.

Waas, H.J.D., Nababan. B. (2005). Pemetaan dan Analisis Index Vegetasi Mangrove di Pulau Saparua, Maluku Tengah. E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 2, No. 1, Hal. 50-58, Juni 2010.

PREDIKSI DISTRIBUSI KARBON BIRU PADA PADANG LAMUN PULAU SATONDA MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2: PERBANDINGAN MODEL REGRESI LINEAR DAN KLASIFIKASI RANDOM FOREST

(*Prediction of Blue Carbon Distribution in Satonda Island Seagrass Fields Using Sentinel-2 Imagery: Comparison of Linear Regression Models and Random Forest Classification*)

Anisya Feby Efriana, Masita Dwi Mandini Manessa, Farida Ayu

Departemen Geografi, Universitas Indonesia

Depok, Jawa Barat, Indonesia
E-mail: manessa@ui.ac.id

ABSTRAK

Lamun memiliki peran penting terhadap iklim bumi yaitu sebagai tumbuhan yang mampu menyimpan karbon dalam bentuk biomassa dan juga di endapan yang disebut karbon biru. Salah satu wilayah pesisir yang memiliki padang lamun yaitu Pulau Satonda. Tujuan dari penelitian ini adalah distribusi padang lamun untuk prediksi blue carbon dengan citra Sentinel-2 dan akan diuji dengan data lapangan. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu tiga model prediksi dengan menggunakan regresi linear dan klasifikasi random forest pada empat data yang terkait pada blue carbon. Data yang terkait yaitu Biomassa, *Above-ground Carbon (AGC), Below-ground Carbon (BGC), Standing Stock Carbon (SSC), Carbon Sequestration (CSeq).* Uji validasi akan menggunakan *Mean Root Error (MRE)* untuk melihat kinerja model regresi atau prediksi. Hasil pengolahan menunjukan bahwa hasil prediksi terbaik menggunakan klasifikasi random forest. Persebaran prediksi pada semua model menunjukan kelas rendah dan menengah pada pemetaan blue carbon dengan menggunakn citra Sentinel-2.

Kata Kunci: Karbon Biru, Sentinel-2, Prediksi, Regresi Linear, *Random Forest*, Pulau Satonda

ABSTRACT

Seagrass plays a crucial role in the Earth's climate by serving as a plant capable of storing carbon in the form of biomass and also in the sediment, known as blue carbon. One of the coastal areas that harbors seagrass meadows is Satonda Island. The objective of this research is to assess the distribution of seagrass meadows to predict blue carbon using Sentinel-2 imagery, which will be validated with field data. The methods employed in this study involve three prediction models utilizing linear regression and random forest classification on four related datasets concerning blue carbon. The associated data include Biomass, Above-ground Carbon (AGC), Below-ground Carbon (BGC), Standing Stock Carbon (SSC), and Carbon Sequestration (CSeq). Validation testing will employ Mean Root Error (MRE) to evaluate the performance of regression or prediction models. The processing results demonstrate that the best prediction outcomes are achieved using random forest classification. The predicted distribution across all models indicates low and moderate classes in blue carbon mapping using Sentinel-2 imagery.

Keyword: *Blue Carbon, Sentine-2, Prediction, Linear Regression, Random Forest, Satonda Island*

PENDAHULUAN

Pemanasan global saat ini menjadi topik pembicaraan di seluruh dunia (WEF 2024). Fenomena pemenasan global sangat berdampak bagi bumi dan manusia, sehingga pencarian solusi untuk masalah ini sangatlah dibutuhkan. Salah satu solusi pada masalah ini adalah "*Blue Carbon*" merupakan carbon yang tersimpan di ekosistem perairan seperti padang lamun dan hutan mangrove(Bennett *et al.* 2024). Karbon ditemukan di seluruh dunia, termasuk di atmosfer udara maupun di permukaan bumi, di bawah tanah, dan di lautan. Namun sebagian besar karbon tersimpan di lautan. Karbon di wilayah pesisir berasal dari proses fotosintesis yang dilakukan oleh organisme hidup seperti tumbuhan dan hewan laut(Thompson *et al.* 2017). Mereka menyerap karbon dioksida dari udara dan air laut, termasuk di habitat lamun. Indonesia merupakan salah

satu negara dengan luas perairan pantai yang sangat besar, sehingga lamun tersebar luas di berbagai wilayah pesisir(Tis'In *et al.* 2023). Lamun di Indonesia banyak ditemukan di berbagai lokasi, termasuk di sekitar Taman Nasional Laut dan Kawasan Konservasi Perairan. Lamun menggunakan karbon tersebut untuk pertumbuhan dan menyimpannya di endapan sedimen terdekat, membentuk komunitas dan berinteraksi dengan biota laut lainnya untuk membentuk ekosistem padang lamun pesisir dan laut. Kandungan karbon dalam sedimen lamun dipengaruhi oleh keberadaan mangrove di sekitarnya, yang berkontribusi sekitar 34-83% terhadap kandungan karbon lamun yang berdekatan(Huxham *et al.* 2018). Ekosistem pantai memegang peranan penting dalam penyerapan karbon, membantu mengurangi kadar karbon di atmosfer dan meredakan dampak perubahan iklim.

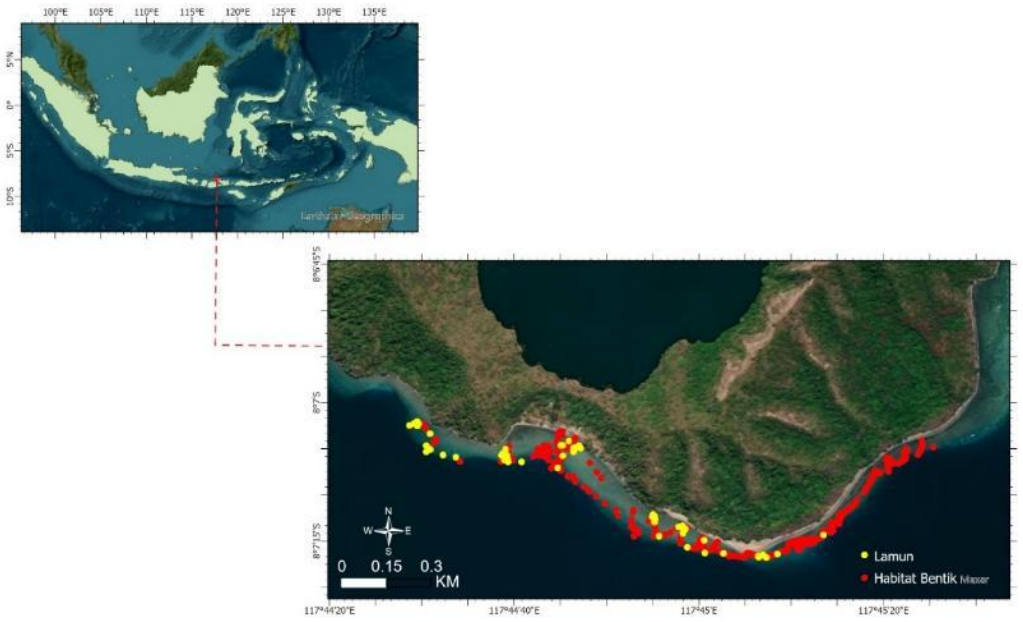
Fokus penelitian ini adalah pada karbon biru yang dihasilkan oleh padang lamun di Pulau Satonda, Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat. Pulau Satonda merupakan Kawasan Konservasi sebagai Taman Wisata Alam(Pemerintahan Provinsi Nusa Tenggara Barat, 2022). Lingkungan yang kaya akan sumber daya yang indah membuat pulau ini menjadi tempat wisata yang patut di kunjungi. Pengunjung dapat menyelam dan menyaksikan sendiri kekayaan dan keanekaragaman kehidupan laut di pulau ini, menikmati pesona bawah laut yang menakjubkan di Pulau Satonda. Namun, seperti yang terjadi pada kebanyakan ekosistem lamun di seluruh dunia, pada ekosistem lamun di Pulau Satonda juga mengalami ancaman yang cukup serius seperti perubahan iklim, kerusakan habitat akibat manusia, polusi laut dan penangkapan ikan yang berlebihan(Kusnadi *et al.* 2024), sehingga perlu adanya pemantauan lebih lanjut mengenai ekosistem lamun. Berkurangnya ekosistem lamun tentu akan mengurangi cadangan karbon yang sangat bermanfaat bagi lingkungan. Pemantauan ini dapat dilakukan dengan penginderaan jauh menggunakan citra satelit.

Penginderaan jauh adalah teknologi yang dapat dimanfaatkan dalam pemantauan suatu ekosistem seperti ekosistem lamun. Keuntungan menggunakan penginderaan jauh yaitu lebih efisien, hemat, serta data selalu tersedia. Salah satunya adalah Citra Sentinel-2. Citra Sentinel-2 meupakan citra dengan temporal waktu 5 – 10 hari serta memiliki resolusi spasial yang cukup baik yaitu 10 x 10 meter. Hal ini dapat membantu pemantauan ekosistem lamun di Pulau Satonda menjadi lebih efesien. Penelitian seperti ini sebelumnya telah banyak dilakukan namun dengan menggunakan citra yang berbeda serta metode yang berbeda. Seperti pada penelitian (Hejnowicz *et al.* 2015; Hossain *et al.* 2015; Petus *et al.* 2014) yang menggunakan citra MODIS dengan resolusi spasial 250 x 250 meter, kemudian pada penelitian (Pham *et al.* 2019; Sani, Hashim, and Hossain 2018; Tamondong *et al.* 2018) dengan menggunakan citra Landsat-8 yang memiliki resolusi spasial 30 x 30 meter. Dilihat pada penelitian sebelumnya terlihat dari penggunaan citra satelit penelitian ini memiliki novelti dengan penggunaan citra Sentinel-2 dengan resolusi spasial yang lebih baik pada pemantauan Karbon Biru yang dihsilkan oleh ekosistem lamun.

METODE

Data dan Lokasi Penelitan

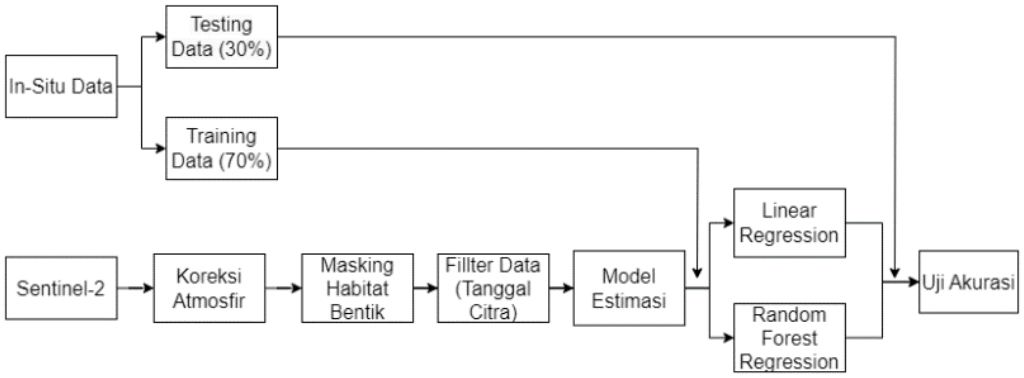
Penelitian ini merupakan pengestimasian karbon biru hasil dari komunitas padang lamun di Pulau Satonda. Pulau Satonda terletak di perairan timur Indonesia, di lepas pantai barat laut Pulau Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Terletak pada koordinat geografis sekitar 8°47' Lintang Selatan dan 117°28' Bujur Timur. Pulau satonda merupakan sebuah pulau vulkanik yang terbentuk dari letusan gunung berapi. Kemudian akibat letusan berapi yang tejadi dimasa lalu membuat karakteristik untik yaitu kawah besar yang terletak di pusat pulau yang dikenal sebagai Danau Satonda. Data insitu yang digunakan pada penelitian ini adalah merupakan data tutupan lahan dari titik habitat lamun pada laut dangkal yang diambil pada tanggal 28 April 2023 hingga 3 Mei 2023 dengan metode data *Underwater Photo Transect* (UPT). Pengambilan data habitat bentik dilakukan sebanyak 400 sampel (Gamabr 1), kemudian difilter atau dipisahkan dengan hanya habitat lamun saja dengan jumlah titik sampel sebanyak 54 titik. Kemudian, pada penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu citra sateliti Sentinel-2 pada tanggal hari pengambilan data.



Gambar 36. Lokasi Tititk Sampel di Pulau Satonda, Kabupaten Dompu, Provinsi NTB.

Pengolahan Data

Pada penelitian ini melakukan pengolahan data pada Google Earth Engine (GEE) (Gorelick *et al.* 2017) yang digambarkan dengan alur pada Gambar 2. Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-2 sebagai data sekunder dan data persen cover lamun yang menjadi data insitu pada penelitian ini. Pertama, dilakukan persiapan data citra Sentinel-2 dengan memanggil data, kemudian melakukan koreksi atmosfer, filtering data (tanggal citra) serta melakukan masking area pada habitat bentik perairan dangkal. Masking area habitat bentik berdasarkan base data Allen Coral Atlas (Atlas 2020).



Gambar 2. Diagram Alur Proses Pengolahan Data.

Langkah selanjutnya adalah membagi dan memfilter data insitu agar hanya pada habitat Lamun. Data titik habitat bentik dilakukan pengambilan data dengan metode UPT dengan penggambilan gambar menggunakan Kamera GoPro dan GPS yang mana hasil foto habitat bentik memiliki grid 50 x 50 cm. Kemudian data difilter hingga hanya data lamun saja. Data titik lamun dihitung persen tutupan lahannya dengan menggunakan website CorallNet. Perhitungan tutupan lahan menggunakan metode analisis 10 x 10 grid dengan total 100 point pada setiap gambar. Hasil Perhitungan persencover kemudian dilakukan filterisasi menggunakan Rstudio untuk memfilter data menjadi per 1 pixel citra sentinel. Data ini kemudian di masukan ke GEE dan di bagi menjadi dua data yaitu Training Data (70%) dan Testing Data (30%). Setelah melakukan persiapan data, mulai menghitung model. Pada penelitian ini akan menghitung Biomassa, *Above-ground Carbon (AGC), Below-ground Carbon (BGC), Standing Stock Carbon (SSC), Carbon Sequestration (CSeq).* Penghitungan model selanjutnya masuk ketahap *regression*. Pada penelitian

ini membandingkan penggunaan Regresi Linear dengan *Machine Learning Regression (Random Forest)* Hasil estimasi model regresi akan di uji validasi akan menggunakan *Mean Root Error (MRE)*

Model

Dalam perhitungan estimasi biomassa lamun hanya menggunakan organ daun. Perhitungan biomasa dari publikasi (Mardiansyah Assuyuti *et al.*, 2016) menggunakan rumus:

$$T = A \times Ci/100 \quad \text{.....(1)}$$
$$Eb = T \times 1\ 0.000 \times Cs \quad \text{.....(2)}$$

Di mana T adalah total tutupan lamun (m^2) dan Ci merupakan persen cover jenis i (%). Sedangkan Eb merupakan estimasi biomassa tiap Ha (g/Ha), dan Cs adalah standart biomassa lamun ke i (m^2). Adapun yang menjadi acuan nilai Cs sebesar 550. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini tidak diketahui jenis lamunnya, Namun disimpulkan dengan jenis lamun Enhalus acoroides, merupakan jenis lamun yang terbanyak di Indonesia (Orth *et al.*, 2006). A merupakan luas total pengambilan sampel.

Tahap selanjutnya setelah estimasi biomassa adalah mengonversinya menjadi stok karbon. Biasanya, sebagian dari biomassa tersebut (misalnya, sekitar 50%) dianggap sebagai karbon, mengikuti standar konversi yang umum dalam penelitian ekologi. Formula yang bisa digunakan untuk memprediksi karbon berdasarkan persentase tutupan lamun *Above-ground Carbon (AGC), Below-ground Carbon (BGC), Standing Stock Carbon (SSC), Carbon Sequestration (CSeq)* adalah sebagai berikut.

Tabel 33. Model prediksi karbon berdasarkan Tutupan Lamun

Prediksi Karbon	Model Prediksi		
	Model 1	Model 2	Model 3
Above-ground Carbon (AGC)	21.337810 + 0.13514 [Tutupan Lahan]	14.269650 + 0.062445[Biomassa] – 0.044118 [Tutupan Lahan]	12.630860 + 0.061001[Biomassa]
Below-ground Carbon (BGC)	53.201 + 0.3055 [Tutupan Lahan]	-4.365552 + 0.216220Biomassa] – 0.218579 [Tutupan Lahan]	6.003880 + 0.21421[Biomassa]
Standing Stock Carbon (SSC)	78.7965+ 0.4117 [Tutupan Lahan	6.862504 + 0.295653[Biomassa] – 0.080054 [Tutupan Lahan]	10.232724 + 0.297451[Biomassa]
Carbon Sequestration (CSeq)	1.74315 + 0.08654 [Tutupan Lahan]	1.184127 + 0.001462[Biomassa] – 0.08654 [Tutupan Lahan]	6.813338 + 0.001579[Biomassa]

Sumber: Bahan Ajar dan Mardiansyah Assuyuti et al. (2016).

Regresi

Regresi merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu atau lebih variabel independen dan satu variabel dependen. Pada penelitian ini akan menggunakan dua regresi yaitu *Linear Regression* dan *Machine Learning Regression (Random Forest).* Regresi Linear merupakan regresi sederhana untuk memahami untuk memahami dan memprediksi bagaimana perubahan dalam variabel independen akan mempengaruhi variabel dependen secara sederhana. Sedangkan Machine Learning Regression (Random Forest) untuk memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen. Algoritma Random Forest adalah jenis algoritma ensemble yang menggunakan gabungan dari banyak pohon keputusan (decision trees) untuk membuat prediksi. Setiap pohon keputusan dalam Random Forest dibangun secara acak menggunakan subset dari data latih, dan prediksi akhir diperoleh dengan menggabungkan hasil prediksi dari semua pohon keputusan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Stok karbon pada lautan lebih banyak dibanyak dibandingkan daratan.Hasil karbon pada perairan dihasilkan oleh padang lamun suatu perairan. Seperti pada penelitian ini yang

mengestimasikan stok karbon biru pada ekosistem lamun di Perairan Satonda menggunakan citra Sentinel 2 dan membandingkan dua regresi linear. Pada ekosistem lamun, Biomassa yang terus bertambah dapat menyimpan karbon dalam jangka waktu yang lama, membantu mengurangi jumlah CO2 di atmosfer dan menangkap karbon sebagai bagian dari siklus karbon, serta sebagai pengikat dan menstabilkan sedimen di dasar laut, mencegah erosi dan pencemaran lautan, serta mempertahankan kualitas air laut yang baik. Pada penelitian ini menggunakan rumus algoritma terdahulu (Mardiansyah Assuyuti *et al.* 2016), untuk mengesitimasika biomassa lamun di perairan dangkal Pulau Satonda.

Tabel 2. Validasi data dengan Estimasi biomassa pada kedua metode regresi menggunakan MSE

Metode	Linear Regression		Random Forest		
	Training	Testing	Training	Testing	Luas (Ha)
Biomassa	1285688022	956019347	794877020	1429344706	32

Hasil pengolahan biomassa dengan menggunakan regresi linear dapat di lihat pada Tabel 2. Terlihat bahwa hasil Random Forest lebih baik di bandingkan dengan hasil regresi linear yaitu dengan nilai *Mean Root Error* (MRE) yang lebih baik pada pengolah data training maupun data testing. Sehingga direkomendasikan untuk menggunakan metode machine learning regression (Random Forest) dalam mengestimasi nilai biomasa pada ekosistem lamun di Perairan Pulau Satonda. Adapun perhitungan luas Karbon yang dilakukan di selatan pulau satonda sekitar 32 Ha. Nilai dari estimasi biomassa ini juga digunakan dalam beberapa model estimasi karbon yaitu pada model 2 dan 3.

Tabel 3. Validasi data dengan Estimasi karbon dengan tiga model yang berbeda menggunakan MSE

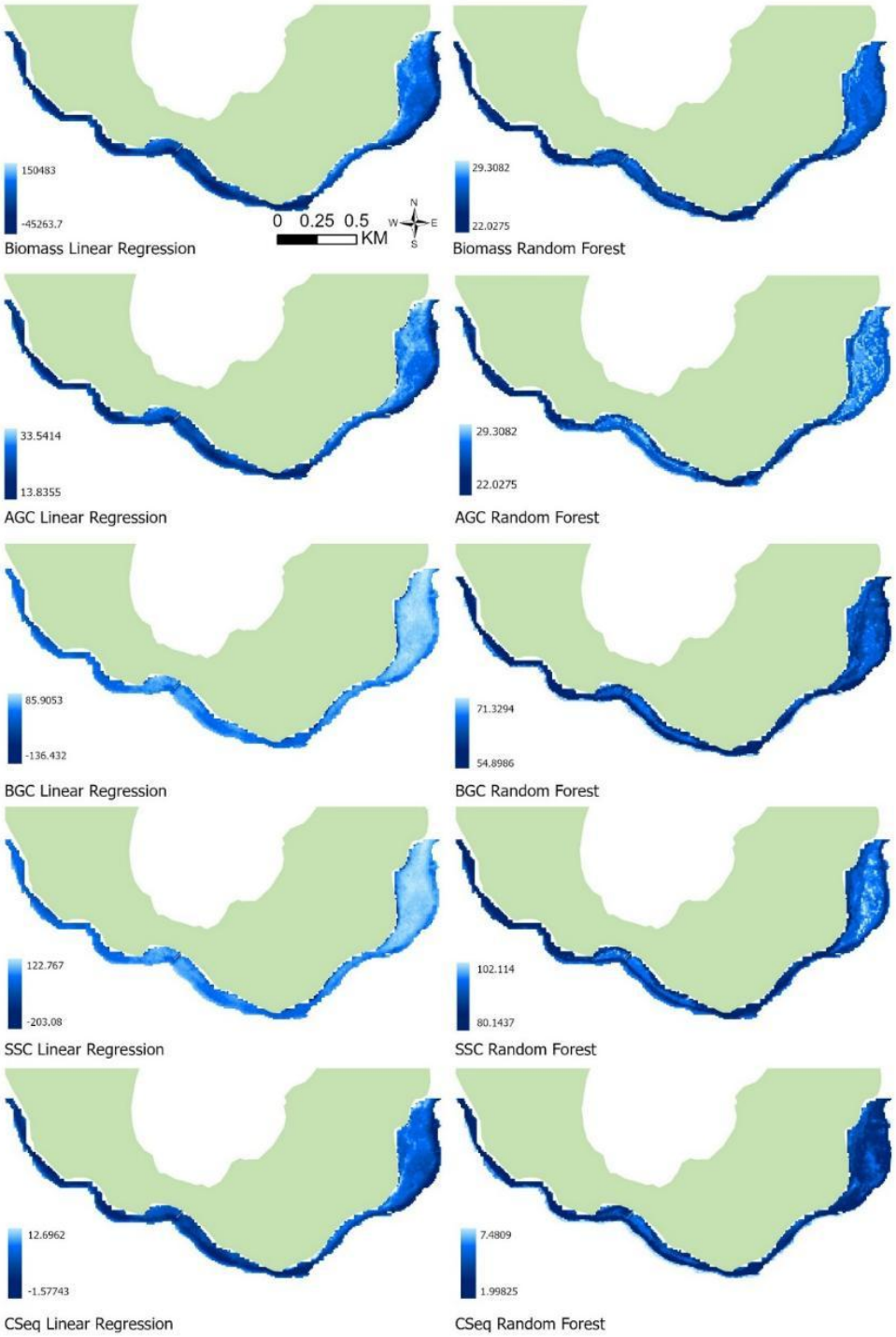
Metode		*Linear Regression*		*Random Forest*	
		Training	*Testing*	*Training*	*Testing*
AGC	Model 1	11.6	14.37	7.30	16.5
	Model 2	4294524.01	6261782.58	2897020.32	5427361.14
	Model 3	4495764.78	6786319.50	2747580.92	5552422.30
BGC	Model 1	57.69	149.27	41.63	61.62
	Model 2	61077313.44	48591563.25	38899832.42	35937243.00
	Model 3	58450318.89	55532958.80	37542579.99	46104770.50
SSC	Model 1	77.20	267.20	58.39	181.75
	Model 2	85984358.81	218435083.88	60151994.03	203383855.28
	Model 3	104380701.14	117054555.97	65239601.27	143961723.89
CSeq	Model 1	4.15	6.87	2.4	8.2
	Model 2	1687.87	7200.78	1018.88	6079.69
	Model 3	2628.16	4216.90	1691.91	4802.13

Sumber : Pengolahan Data (2024)

Perhitungan estimasi karbon yang ada di Pulau Satonda dilakukan dengan tiga model algoirtma serta penggunaan data insitu yang telah dihitung tutupan lahannya (%). Dari Table 3, dapat diketahui bahwa estimasi karbon juga menunjukan nilai yang cukup baik pada Random Forest dibandingkan dengan hasil estimasi regresi linear. Pada model pertama, perhitungan algoritma dengan tutupan lahan, hasil dari model ini menunjukan hasil terbaik dari kedua modelnya. Hal ini dapat dilihat dari nilai testing dan training pada metode regresi linear maupun random forest.

Penggunaan data tutupan lahan dengan data in-situ dapat secara langsung menggambarkan struktur lahan di suatu area, sehingga dapat merespresentasikan dengan baik. Pada estimasi *Above-ground Carbon (AGC)* terlihat data training random forest memiliki nilai MSE 7.30 dan data testing 16.5. Kemudian data *Below-ground Carbon (BGC)* dengan model 1 juga menunjukan nilai yang cukup baik dengan nilai training pada random forest adalah 41.63 dan 61.62 pada data testing. Selanjutnya estimasi data *Standing Stock Carbon (SSC)* menunjukan hal serupa dengan nilai pada data training dan data testing dengan metode random forest adalah 58.39 dan 181.75. dan terakhir adalah pengestimasian data Carbon Sequestration (CSeq), hasil estimasi pada data ini dengan menggunakan model 1 menunjukan hasil yang sangat baik yaitu dengan nilai pada data training (MAE =2.4) dan pada data testing (MAE= 8.2)

Sementara itu, pengestimasian data menggunakan model dua dan tiga menunjukan hasil yang cukup sama pada metode regresi linear maupun random forest. Pada model kedua menggunakan algoritma dengan data tutupan lahan serta biomassa. Sedangkan pada model tiga estimasi karbn menggunakan algoritma serta data biomassa. Dari kedua model ini menunjukan tidak lebih baik dibandingkan model pertama. Estimasi menggunakan tiga model dengan dua metode regersi dapat di representarikan pada Gambar 3. Hasil yang kurang baik dapat disebabkan data biomassa yang digunakan merupakan perhitungan dari penelitian terdahulu. Pembangunan algoritma pada wilayah dan cara pengukuran yang berbeda tentu dapat mengurangi keakurasian data estimasi. Adapun perhitungan standart biomassa lamun yang dilakukan hanya dengan mengestimasi jenis lamun terbanyak di Indonesia terutama di Perairan Satonda. Sedangkan data tutupan lahan pada penelitian ini merupakan data lapangan yang diukur dan di ambil langsung oleh penulis.



Gambar 3. Hasil Estimasi Karbon dan Biomassa menggunakan Model 1 pada Linear Regression dan Random Forest

KESIMPULAN

Estimasi Karbon Biru Pada Pulau Satonda menggunaka Citra Sentinel-2 Menggunakan Tiga Model. Pada Data Biomassa menunjukan nilai Random Forest lebih baik di bandingkan Regresi Linear. Begitupula dengan empat estimasi karbon menunjukan nilai yang cukup signifikan pada metode Random forest dibandingkan Regresi linear. Dari Ketiga model yang dilakukan, menunjukan bahwa model 1 memiliki hasil estimasi yang paling baik dibandingkan dengan model algoritma lainnya. Pada model 1 menggunakan algoritma serta tutupan lahan. Pada model 2 menggunakan algortimas serta data biomassa dan tutupan lahan. Sedangkan pada model 3 menggunakan algoritma dengan data biomassa. Model 1 dapat menunjukan hasil yang cukup baik dikarenakan Penggunaan data tutupan lahan dengan data in-situ dapat secara langsung menggambarkan struktur lahan di suatu area tersebut. Sedangkan data biomassa pada penelitian ini menggunakan algortima terdahulu, sehingga kemungkinan terjadinya kurang keakuratan data sangat lah mungkin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ini ditujukan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam menjalankan penelitian ini. Khususnya kepada tim Pushidrosal yang telah bekerjasama dengan penelitian Dr. Eng. Masita Dwi Mandini Manessa, Bapak Kuncoro Teguh Setiawan, dan Bapak Dino Gunawan dari BRIN yang telah membantu dalam proses pengambilan data. Selain itu, juga ucapan terima kasih kepada RISPRO LPDP dengan nomor grant PRJ-41/LPDP/2020, yang telah membiayai kegiatan konferensi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Atlas, Allen Coral. 2020. "Imagery, Maps and Monitoring of the World's Tropical Coral Reefs."

Bennett, Michael, Antaya March, Jeremy Raguain, and Pierre Failler. 2024. "Blueprint for Blue Carbon: Lessons from Seychelles for Small Island States." *Oceans* 5(1):81–108. doi: 10.3390/oceans5010006.

Gorelick, Noel, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca Moore. 2017. "Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone." *Remote Sensing of Environment* 202:18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

Hejnowicz, Adam P., Hilary Kennedy, Murray A. Rudd, and Mark R. Huxham. 2015. "Harnessing the Climate Mitigation, Conservation and Poverty Alleviation Potential of Seagrasses: Prospects for Developing Blue Carbon Initiatives and Payment for Ecosystem Service Programmes." *Frontiers in Marine Science* 2. doi: 10.3389/fmars.2015.00032.

Hossain, M. S., J. S. Bujang, M. H. Zakaria, and M. Hashim. 2015. "The Application of Remote Sensing to Seagrass Ecosystems: An Overview and Future Research Prospects." *International Journal of Remote Sensing* 36(1):61–114. doi: 10.1080/01431161.2014.990649.

Huxham, M., D. Whitlock, M. Githaiga, and A. Dencer-Brown. 2018. "Carbon in the Coastal Seascape: How Interactions Between Mangrove Forests, Seagrass Meadows and Tidal Marshes Influence Carbon Storage." *Current Forestry Reports* 4(2):101–10. doi: 10.1007/s40725-018-0077-4.

Kusnadi, Agus, La Ode Alifatri, Ardian Nurrasyid Chamidy, and Asep Rasyidin. 2024. "Evaluating the Seagrass Ecological Condition and Habitat Extent in Karimunjawa National Park , Jepara Indonesia." 27(1):161–69.

Mardiansyah Assuyuti, Yayan, Alfan Farhan Rijaluddin, Firdaus Ramadhan, and Reza Bayu Zikrillah. 2016. "Estimasi Jumlah Biomassa Lamun di Pulau Pramuka, Karya dan Kotok Besar, Kepulauan Seribu, Jakarta." *Depik* 5(2). doi: 10.13170/depik.5.2.4914.

Orth, Robert J., William C. Dennison, Carlos M. Duarte, James W. Fourqurean, Kenneth L. Heck, A. Randall Hughes, Gary A. Kendrick, W. Judson Kenworthy, Frederick T. Short, Michelle Waycott, and Susan L. Williams. 2006. "A Global Crisis for Seagrass Ecosystems." *BioScience* 56(12):987–96.

Pemerintahan Provinsi Nusa Tenggara Barat. 2022. "Pulau Moyo dan Satonda Ditetapkan Sebagai Taman Nasional." Retrieved (https://ntbprov.go.id/post/pulau-moyo-dan-satonda-ditetapkan-sebagai-taman-nasional).

Petus, Caroline, Catherine Collier, Michelle Devlin, Michael Rasheed, and Skye McKenna. 2014. "Using MODIS Data for Understanding Changes in Seagrass Meadow Health: A Case Study in the Great Barrier Reef (Australia)." *Marine Environmental Research* 98:68–85. doi: 10.1016/j.marenvres.2014.03.006.

Pham, Tien Dat, Junshi Xia, Nam Thang Ha, Dieu Tien Bui, Nga Nhu Le, and Wataru Tekeuchi. 2019. "A

Review of Remote Sensing Approaches for Monitoring Blue Carbon Ecosystems: Mangroves, Seagrassesand Salt Marshes during 2010–2018." *Sensors* 19(8):1933. doi: 10.3390/s19081933.

Sani, Dalhatu Aliyu., Mazlan. Hashim, and Mohamad Shawkat. Hossain. 2018. "Remote Sensing Models Used for Mapping and Estimation of Blue Carbon Biomass in Seagrass-Mangrove Habitats: A Review." *Proceedings - 39th Asian Conference on Remote Sensing: Remote Sensing Enabling Prosperity, ACRS 2018* 1(November):399–408.

Tamondong, Ayin M., Charmaine A. Cruz, Jaime Guihawan, Mikko Garcia, Rey Rusty Quides, John Andrew Cruz, and Ariel C. Blanco. 2018. "Remote Sensing-Based Estimation of Seagrass Percent Cover and LAI for above Ground Carbon Sequestration Mapping." P. 2 in *Remote Sensing of the Open and Coastal Ocean and Inland Waters*, edited by R. J. Frouin and H. Murakami. SPIE.

Thompson, K., K. Miller, P. Johnston, and others. 2017. "Storage of Carbon by Marine Ecosystems and Their Contribution to Climate Change Mitigation." *Greenpeace Research* (March).

Tis'In, Musayyadah, Rohani Ambo-Rappe, Supriadi Mashoreng, and Ahmad Faizal. 2023. "Decadal Remote Sensing Analysis of Seagrass Changes in Palu Bay, Central Sulawesi." *Indonesian Journal of Geography* 55(2):289–99. doi: 10.22146/ijg.78701.

WEF. 2024. *Global Risk Report 2024*.

SEAGRASS MAPPING USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) WITH OBIA (OBJECT BASED IMAGE ANALYSIS) METHOD AT BARRANG LOMPO ISLAND

(*Pemetaan Lamun Menggunakan UAV dengan Metode Object Based Image Analysis di Pulau Barrang Lompo*)

Muhammad Alif Muqorrabin[1], Nurjannah Nurdin[1, 2], Supriadi Mashoreng[1], Ahmad Bahar[1], Muhammad Banda Selamat[1]

[1]Faculty of Marine Science and Fisheries, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia
[2] Center for Region, Spatial Planning and Information, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia

Jl. Perintis Kemerdekaan KM 10, Tamalanrea Indah, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan
E-mail: alif.muqorrabin@outlook.com

ABSTRACT

One advances of remote sensing is its high resolution at a low cost. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) are a prime example of this technology. Seagrass, found in estuaries and shallow seas worldwide, is a common object of study in remote sensing. This study aimed to examine the results of UAV at different altitudes at Barrang Lompo Island, identify objects in the field from UAV imagery, extracted Digital Number (DN) values from images and determine their relationship with seagrass cover, and perform Object-Based Image Analysis (OBIA) from UAV data. This study was divided into five stages: station determination, aerial photography, in situ seagrass data collection, UAV data processing, and statistical analysis. At an altitude of 30 meters, the Ground Sampling Distance (GSD) was 1.3 cm/px and 2.3 cm/px at 50 meters. The results of UAV at a altitude of 30 meters and 50 meters can both identify benthic classes, but for greater accuracy, it is advisable to fly at a low altitude. There is an inverse relationship and a strong correlation between DN values and seagrass cover. The best seagrass cover OBIA results were achieved at 30 meters with neighbourhood four IteReklas1_IteTut4 (77,5%), while the best seagrass species were also at 30 meters with neighbourhood four IteReklas1_IteSpes2 (47,5%). The UAV was able to distinguish between seagrass cover classes and even identify various objects in the field. A lower flying altitude, such as 30 meters in this study, is necessary to achieve the required high GSD for accurate image analysis.

Keywords: seagrass mapping, UAV, segmentation, object based image analysis, digital number

ABSTRAK

Salah satu kemajuan dari penginderaan jauh adalah citra dengan resolusi tinggi dan berbiaya murah. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah salah satu penerapan teknologi ini. Lamun merupakan satu objek yang ditemukan di laut dangkal dan dapat diteliti melalui penginderaan jauh. Penelitian ini menguji hasil pemotretan UAV dengan perbedaan tinggi terbang di Pulau Barrang Lompo, mengidentifikasi objek di lapangan dari hasil pemotretan UAV, mengekstrak nilai Digital Number (DN) dari citra dan mencari kaitan nilai DN dengan tutupan lamun dan melakukan OBIA dari hasil pemotretan UAV. Penelitian ini secara besar dibagi menjadi lima tahap penentuan stasiun, pengambilan foto udara, pengambilan data lamun secara in situ, pengolahan data UAV, dan analisis statistik. Pada tinggi terbang 30 meter menghasilkan Ground Sampling Distance (GSD) 1,3 cm/px dan 50 meter 2,3 cm/px. Hasil pemotretan UAV pada tinggi terbang 30 meter dan 50 meter sama-sama dapat mengidentifikasi kelas-kelas bentik, namun untuk ketelitian yang lebih tajam, lebih baIKNya tinggi terbang rendah yang digunakan. Adanya hubungan berbanding terbalik dengan koefisien korelasi sangat kuat antar-nilai DN dengan tutupan lamun. Hasil OBIA tutupan lamun terbaik berada pada tinggi terbang 30 m dengan iterasi ketetanggaan empat IteReklas1_IteTut4 (77,5%), sedangkan spesies lamun yang paling baik adalah tinggi terbang 30 m ketetanggaan empat IteReklas1_IteSpes2 (47,5%). UAV mampu membedakan antar-kelas tutupan lamun dan bahkan dapat identifikasi berbagai objek di lapangan. Ketelitian tinggi yang dibutuhkan didukung dengan GSD yang lebih tajam sehingga perlunya tinggi terbang rendah seperti dalam penelitian ini adalah 30 m.

Kata kunci: *pemetaan lamun*, *UAV*, *segmentasi*, *object based image analysis*, *digital number*

INTRODUCTION

The development of sensing technology has advanced rapidly in recent decades. Some of the many changes in remote sensing include accessibility, low cost of aerial imagery, and high spatial image resolution (Veettil *et al.*, 2020). One of the changes studied in remote sensing is seagrass, which could be found both in estuaries and seas in various parts of the world (Mashoreng *et al.*, 2018; Veettil *et al.*, 2020) Various techniques can be used to map the distribution of seagrass beds, namely, accoustics, field surveys, satellites, and Unmanned Aerial Vehicles (UAV) (Carpenter *et al.*, 2022). One of the techniques and technology used is a UAV, which has a medium spatial resolution (Sentinel-2 and Landsat-8), so a new method of mapping seagrass by using an UAV.

In recent years, UAV have enabled various applications in high-resolution mapping, even reaching centimeter-level capabilities. The resolution of the images produced by UAVs is far superior to satellite imagery and as in research conducted by Carpenter *et al.*, (2022) it is explained that UAVs can be an option for recognizing and observing the condition of seagrass beds because of their high resolution.

There is limited research in exploring the capacity of UAV images in differentiating seagrass species. Tahara *et al.* (2022) found that mapping seagrass beds can be done through RGB cameras mounted on UAVs with various types of classification, which was conducted in Japan. In Indonesia, similar research was carried out by Karang *et al.* (2024) where the mapped distribution of seagrass per species obtained an accuracy that covered (65%) of the standard of Green *et al.* (2000) regarding benthic class mapping. Wicaksono *et al.* (2024) argued that mapping seagrass species using UAVs lacks in addressing this issue. Nonetheless i effective for mapping seagrass.

One of the coastal areas with a wide distribution of seagrass in the western part of South Sulawesi is the Spermonde Islands, commonly known as the Sangkarang Islands. In this research area, Barrang Lompo Island is a collection of around 120 islands off the coast (Gunawan *et al.*, 2022). So far, no researchers have specifically examined differences in mapping seagrass species and their coverage with different flying UAV altitudes. This paper will have various aims such testing the results of UAV photography with variations in flying height on Barrang Lompo Island, identifying objects in the field from the results of UAV photography, extracting DN values from photographs, and examining the relationship between DN values and seagrass coverage, as well as conducting OBIA from the results of UAV imaging.

METHODS

This research consist broadly of five stages: research area designation, aerial photo recording using UAV, in situ seagrass data collection (fieldwork), UAV data processing, and statistical analysis.

Research Area Designation

This study examines the usefulness of a UAV-mounted with an RGB camera for comparing the results of UAV photography with variations in flying height on Barrang Lompo Island, identifying objects in the field from the results of UAV photography, extracting DN values from photographs, and examining the relationship between DN values and seagrass coverage, as well as conducting OBIA from the results of UAV orthomosaic. The island was located in Spermonde Archipelago also known as Sangkarang Archipelago. Barrang Lompo is part of a approximately 120 islands located in the western side of Makassar Strait.

Barrang Lompo has been researched many times with different types of biotas such as coral, fish, seaweed, and seagrass. Currently to date, there are 8 types of seagrass species found around the island (Supriadi *et al.*, 2012) The type of seagrass beds found here are mixed species with some monospecific areas in Barrang Lompo (Supriadi *et al.* (2012). This research focused on seagrass species and coverage delineation, so the area focused on finding mixed species seagrass beds. The specific area of the research was done in the northern side of the island and with an area around 100×100 m.

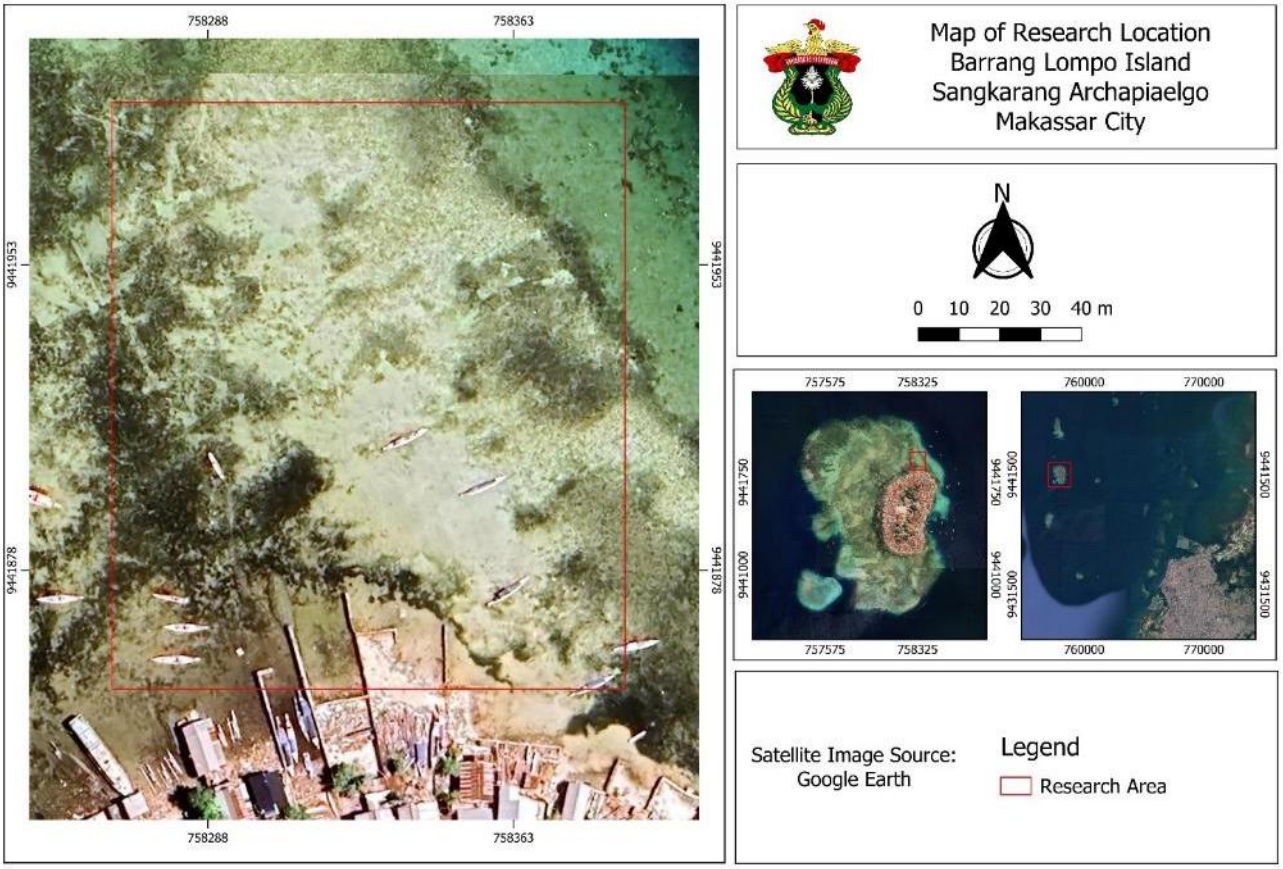


Figure 37. Location of the surveyed area where there are mixed species of and also monospecific species of seagrass beds in Barrang Lompo Island.

Preprocessing

The UAV used to capture the aerial photography in the field was DJI Phantom 4. This type of UAV used an RGB sensor camera. Full specifications of the DJI Phantom 4 can be found in the first Table (DJI, 2018). The UAV flew with DJI GS Pro 2 app which has the capabilities for detailed mapping such as Course Angel, Capture Mode and many more. Different from mainstream apps such as Pix4DMapper which have limited features (*Choosing the Right Mission Planning App for Your Drone Mapping Project*, 2024)

The flight settings were tuned before collecting in-situ data. The camera of the UAV was oriented -90° (downwards), altitude was set at 30 m and 50 m, course angel was set automatically by the app so that the backside of the UAV was behind the sun to reduce sun glint, front overlap and side overlap of 30 m and 50 m respectively was set as front overlap (90% and 85%) and side overlap (80% for both altitudes), shooting angel was set to Parallel to Main Parth, flight speed was set 2 m/s, capture mode was set to Capture at Equal Dist. Interval. The spatial resolution or Ground Sampled Distance (GSD) for altitude 30 m and 50 m respectively was 1.1 cm and 2.2 cm.

Before flying the drone, such precautions were taken such as flying at specific times (8.00-10.00 or 14-16.00) for maximum results in which the sun glean effect was minimum. Besides that, weather conditions must be considered. Also, before flying the UAV we also considered any obstacles and wildlife (birds) that might hinder the aerial photography.

Fieldwork

Fieldwork was carried out on 29th October and 23rd December 2023. The research area had a maximum depth of around 2-3 m when mean sea levels are considered. Eight species of seagrass (*Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea rotundata*, C. *serrulata*, *Halodule uninervis*, H. *pinifolia* and *Syringodium isoetifolium*) were found with mostly mixed specific species beds.

Seagrass in-situ data consisting of seagrass percentage coverage (SPC) and shoot density was gathered by transect survey which was modified from McKenzie (2003). This method used a roll meter which was rolled out around 100 meters perpendicular to the shoreline, using a quadrant with an area of 0.25 m^2 the SPC and shoot density along with the coordinates of every 5 m of the roll meter was recorded. To reduce human bias for recording SPC, we used McKenzie (2003) of SPC standard as a general guide.

Segmentation and OBIA

Segmentation and OBIA algorithm were done on System for Automated Geoscientific Analysis or known as SAGA, the version of the app used was 9.0.2 because of the OBIA toolbox which had the necessary parameters needed. This application is deemed Free Open-Source Software (FOSS); therefore, any changes to the procedure can be easily implemented.

The segmentation algorithm we chose was Seeded Region Growing due to its availability in SAGA and its proven ability to detect objects with high accuracy mentioned in (Böhner *et al.*, 2006). SRG, originally introduced by Adams & Bischof (1994) and then modified for remote sensing purposes was done by Böhner *et al.* (2006). Simply put, this segmentation algorithm uses seeds that are spread around the image and those seeds are used to build border points considering the spectral values of each pixel. A clustering process is done with minimum maximal Euclidean distance, and then the property is updated the border point is deleted. Every new cluster created also creates new border points which also calculates the membership its attribute distance (Böhner *et al.*, 2006).

Both orthomosaics of two different altitudes in SAGA, we can then tweak specific parameters to maximise the OBIA. To achieve maximum accuracy of OBIA, we divided the segmentation process with 3 different parameters focusing solely on Distance Clustering Parameters. Given the uncertainty about the number of seagrass species and SPC variations in the field, we selected 20 clusters for unsupervised classification. The full iteration with the parameters inputted in SAGA OBIA toolbox that was used can be seen in **Table 2**.

Table 2. SAGA iteration parameters.

SAGA Parameters	1st Iteration	2nd Iteration	3rd Iteration
Band Width for Seed Point Generation & Neighborhood (4 Neumman (4N)/ 8 Van Moore (8M))	2 & (4 Neumman & 8 Van Moore)	2 & (4 Neumman & Van Moore)	2 & (4 Neumman & 8 Van Moore)
Variance in Feature Space	1	2	2
Variance in Position Space	1	2	3
Similarity Threshold	0	0	0
Number of Clusters	20	20	20

Three iterations were chosen because to maximise time, the author through trial and error of trying different parameters of OBIA to see which results were maximum. Due to the authors knowledge and extensive reading, there is not a single research that explains the different parameters in detail. Only (Muqorrabin & Wichmann, 2023) somewhat explains it in small detail. A total of six processes with each of the three iterations with both neighborhoods (4N/8M). We focused more on neighborhoods and the distance parameters because through manual iterations, we found the perfect value for Band Width for Seed Point Generation was 2. Post processing was done through unsupervised classification which used the k-means cluster analysis tools, the algorithm was based on zonal feature grid statistics for each polygon (Böhner *et al.*, 2006). The the segmentation process resulted in a shapefile format (*.shp).

Digital Number (DN) Extraction

To determine the DN value, using the orthomosaic image we can choose points where is that similar to the SPC value. This research used 4 classes of SPC which was modified from Roelfsema *et al.* (2014) whose research used 5 classes because SPC in the research location was greatly varied compared to Roelfsema *et al.* (2014). Namely, very sparse (1-10%), sparse (11-40%), moderately dense (41-70%), and very dense (71-100%) were used for the classes. From those

four classes around eight points were chosen around the research area. The points chosen were done from the orthomosaic UAV image. For further accuracy and reliability, the visual interpretation for choosing points was compared with the ground-truth images that were taken from the in-situ data. After choosing the points, the pixels around the chosen points in a 3×3 were used to extract the DN values. Specifically, Band 2 values were extracted because it contained the green values. After extracting the values, we can make a scatter graph based on the SPC class and DN Band 2 Values, we also extracted the correlation value. The method used to find the correlation was simple linear regression.

Accuracy Assesment

Accuracy assessment was performed by comparing the mapping results of each iteration in the validation area with ground truth data. A mobile phone was used due to the Avenza Map application which can be used to record field data with coordinates. The recorded field data was 90 but only 80 was used due to the other 10 data that the GPS used (mobile phone) was scrambled around due to many factors. Due to the initial accuracy assessment having low thematic accuracy (TA), we created an iteration scheme for the ratio of training and validation to see if we could increase the TA. Also, another iteration scheme was made for different amounts of SPC classes and seagrass species.

Different ratios used for training and validation data used comparatively give different results. One major difference in mapping seagrass is the amount of data needed to train and the number of classes after reclassification (Dang Nguyen *et al.*, 2023), one type of class that varies from one research to another is the sand/sediment class. For ratio data used in reclassification with training and validation there are three iterations: 50/50 (IteReclas1) was modified from Badan Standardisasi Nasional (2019) geometric accuracy assessment due to the unavailability of an outline for the ideal data distribution; 70/30 (IteReclas2) was based on research done by Nahirnick *et al.* (2019); 80/20 (IteReclas3) was based on research done by Price *et al.* (2022). Some research uses one specific class for sand (Hamad *et al.* 2022; Tahara *et al.* 2022), and some combine it with very low SPC (Nahirnick *et al.* 2019; Price *et al.* 2022).

The process to determine a SPC/species class was done by inserting every data as points with the corresponding class/cluster number of the segmentation iteration. We then used Microsoft Excel using PivotTable to automatically find out which cluster from the segmentation process goes to which class. The species of seagrass was written in code for the table for easier understanding E*nhalus acoroides* (Ea), *Thalassia hemprichii* (Th), *Halophila ovalis* (Ho), *Cymodocea rotundata* (Cr), *Cymodocea serrulate* (Cs), *Halodule uninervis* (Hu), *Halodule pinifolia* (Hp), and *Syringodium isoetifolium* (Si). (For the full detail read on **Table 3** for SPC Classes and Species Classes in **Table 4**.

Table 3. Class iteration parameters for SPC.

1st Iteration (IteSPC1)		2nd Iteration (IteSPC1)		3rd Iteration (IteSPC3)		4th Iteration (IteSPC4)	
SPC (%)	Class	SPC (%)	Class	SPC (%)	Class	SPC (%)	Class
0 (Sand)	1	0 (Sand)	1	0 (Sand)	1	0 (Sand)	1
1-10	2	1-17	2	1-20	2	1-33	2
11-20	3	18-34	3	21-40	3	34-66	3
21-30	4	35-51	4	41-60	4	67-100	4
31-40	5	52-68	5	61-80	5	No Dominant Class	5
41-50	6	69-85	6	81-100	6	Not Identified	6
51-60	7	86-100	7	No Dominant Class	7		
61-70	8	No Dominant Class	8	Not Identified	8		
71-80	9	Not Identified	9				
81-90	10						
91-100	11						
No Dominant Class	12						
Not Identified	13						

Table 4. Class iteration parameters for seagrass species.

1st Iteration (IteSpe1)		2nd Iteration (IterSpe2)	
Seagrass Species	Class	Seagrass Species	Class
Cr	1	Cr Mixed	1
Cr, Cs	2	Cs Mixed	2
Cr, Hu	3	Ea	3
Cr, Si	4	Ho Mixed	4
Cr, Th	5	Hp Mixed	5
Cs	6	Hu Mixed	6
Cs, Hu	7	Sand	7
Ea	8	Th	8
Ho	9	No Dominant Class	9
Ho, Hu	10	Not Identified	10
Hp	11		
Hp, Hu	12		
Hu	13		
Hu, Si	14		
Hu, Th	15		
Sand	16		
Th	17		
No Dominant Class	18		
Not Identified	19		

RESULTS AND DISCUSSION

UAV Image Orthomosaic

For the flight altitudes of 30 m and 50 m, 479 images and 131 images were obtained, respectively. Flight for the UAV was done around 07.00-08.00 Eastern Indonesian Time and the time it took to take the images was around 5-20 minutes with clear weather.The area covered was 0,029 km^2 – 0,038 km^2, clearly we can see that the resulting orthomosaic has a high resolution. Compared to the lower altitude (30 m), we can see a higher detail which is preferable for object identification, ground truthing, and OBIA. The resulting image can be seen in **Figure 2**.

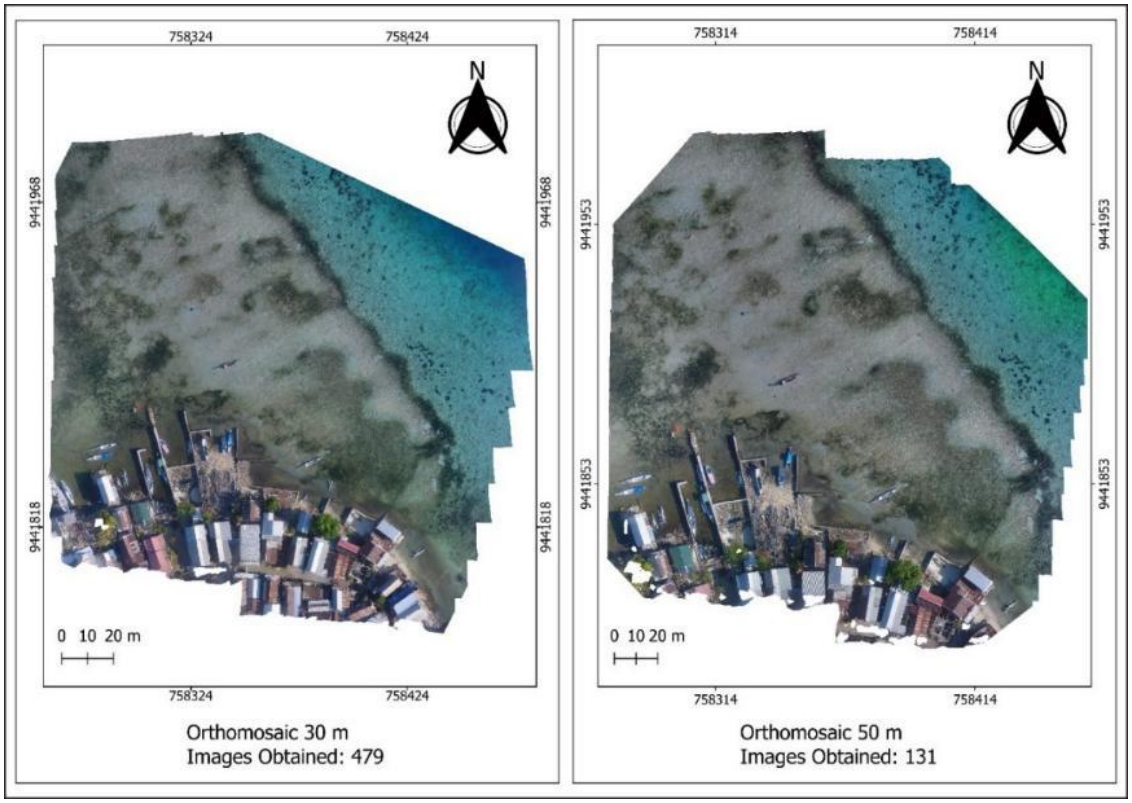


Figure 2. Orthomosaic results of altitude of 30 m (left) and 50 m (right).

Object Identification With UAV

In both orthomosaic's results, the images are clearly visible with many recognizable objects. From **Figure 3** we can see the difference in quality and resolution of the orthomosaic image. Fieldwork data shows that we can compare UAV images and the actual condition and found objects such as trash, seagrass, and rubble. There is also quite a bit of sun glean which is the white strokes seen across the image.

It is possible to manually interpret the SPC class from the image but to differentiate species from the image is not possible even with expert knowledge of the area. This is due to the fact that the varying sparse and dense seagrass meadows are not the same when compared to fieldwork data. Also due to the seagrass meadows being mixed species where there can be up to 5 seagrass species in one meadow, it is not possible to do ground truthing for seagrass species. In some cases such as Wicaksono *et al.* (2024), ground truthing for SPC can be done with high accuracy.

Visually, ground truthing from the orthomosaic image has also been done in research papers such as Duffy *et al.* (2018) and Nahirnick *et al.* (2019). Research done by Ventura *et al.* (2023) with a GSD ~3 cm identified 8 classes of benthic in the research area. The classes that were identified are live *Posidonia oceanica*, dead seagrass beds from *P. oceanica*, sand, and other dead seagrass leaves. Duffy *et al.* (2018) showed that orthomosaic of a GSD 4.3 mm can identify objects such as clams (*Cerastoderma edule*), and lugworm (*Arenicola* sp.) mounds were found. Even with resampling to a lower resolution, as much as ×10, you can still see the clams. Aerial photography with a UAV and the right flight settings, you can have very clear pictures that can be used as an alternative to manually do field transects. UAV can be used alternatively for ground truthing if the orthomosaic result is fine.

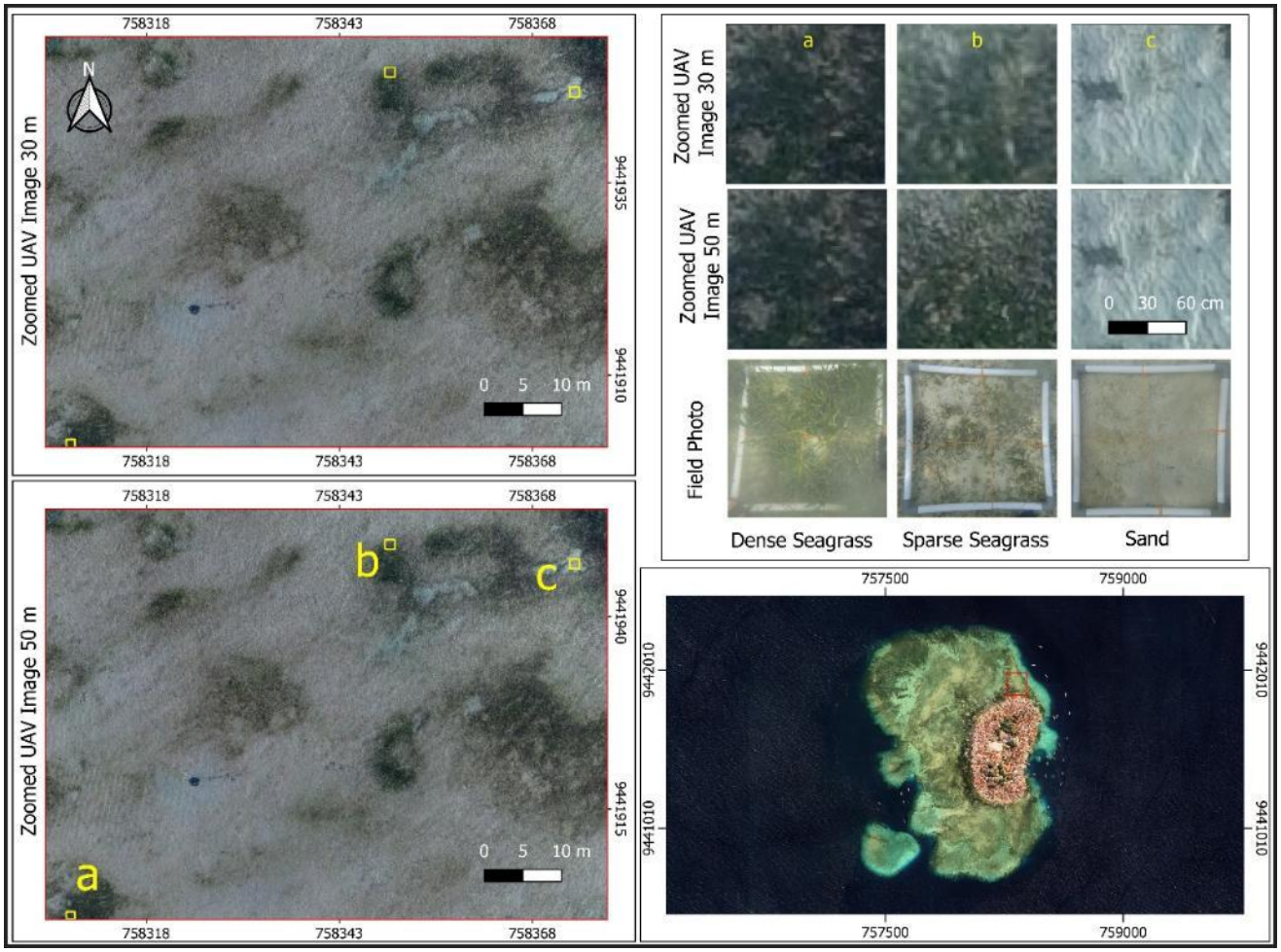


Figure 3. Identified objects with different altitudes.

Correlation Between SPC

The correlation between DN Band 2 and the SPC class was calculated using simple linear regression. The graph shows a correlation value (R) of respectively each altitude of 30 m & 50 m of 0.9131 dan 0.9173. According to Zou *et al.* (2003), correlation values above 0.8 have a very strong relationship. The linear line on the graph negative slope which means that the higher the seagrass cover class, the lower the DN value. The linear regression can be seen in **Figure 3**.

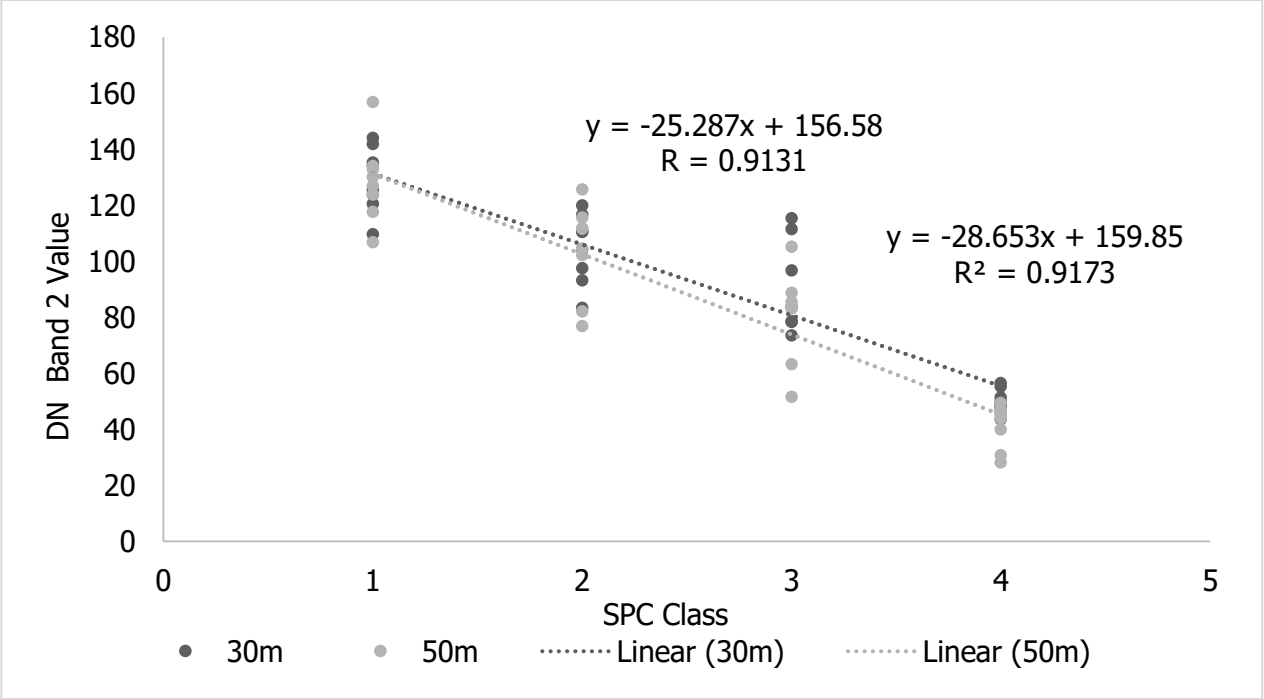


Figure 4. Linear regression between DN Values and SPC between two altitudes.

There is no research that specifically examines the relationship between SPC and DN value. However, research conducted by Zoffoli *et al.* (2020) using Sentinel-2 imagery found a strong relationship between NDVI values (R2=0.98/R=0.99) and seagrass cover. However, the linear line in the study was positive, meaning that the higher the NDVI value, the higher the percentage of seagrass cover. This study's results were different where the higher the SPC, the lower the DN value.

With the linear model proven with its high correlation between NDVI and SPC, Zoffoli *et al.* continues to map the seagrass meadows for monitoring purposes. Zoffoli *et al.* explain that seagrass mapping can be done with Sentinel-2 with also high accuracy.

Another study conducted by Afif Fauzan *et al.* (n.d.) using Sentinel-2 looked at the relationship between green channels in Sentinel-2 and seagrass cover. In it, the green channel (B3 - 560 nm) associated with seagrass cover has an inversely proportional relationship where the green channel reflectance value will show a high seagrass cover value. The R^2 value in the study was 0.61 which means it has a moderate relationship when referring to Zou *et al.* (2003). We can conclude that although different index values (NDVI and B3) are used, there is a correlation between the value of DN and SPC.

Segmentation and OBIA Results

The segmentation and OBIA process was done by using a laptop with CPU AMD Ryzen 7 4800H (16 CPU ~2.9GHz), GPU (NVIDIA RTX 2060), 24 GB RAM, and 1.5 TB storage. The SAGA application heavily relied on CPU power and even with modern specifications, the segmentation and OBIA process varied from 9 hours to 77 hours. The long duration of segmentation and OBIA workflow was due to the SAGA OBIA tool was not optimized for UAV imagery, more for satellite imagery Böhner *et al.* (2006).

AT

Due to the very little literature and resources available that explain in detail the workflow of the OBIA process in SAGA, using the available data from fieldwork, we created reclassification and accuracy assessment iterations. This was done to increase the thematic accuracy and to find which iteration was the best for SPC and seagrass species mapping. The following schemes are written in detail in **Table 3** and **Table 4**.

Accuracy Assessment of OBIA SPC

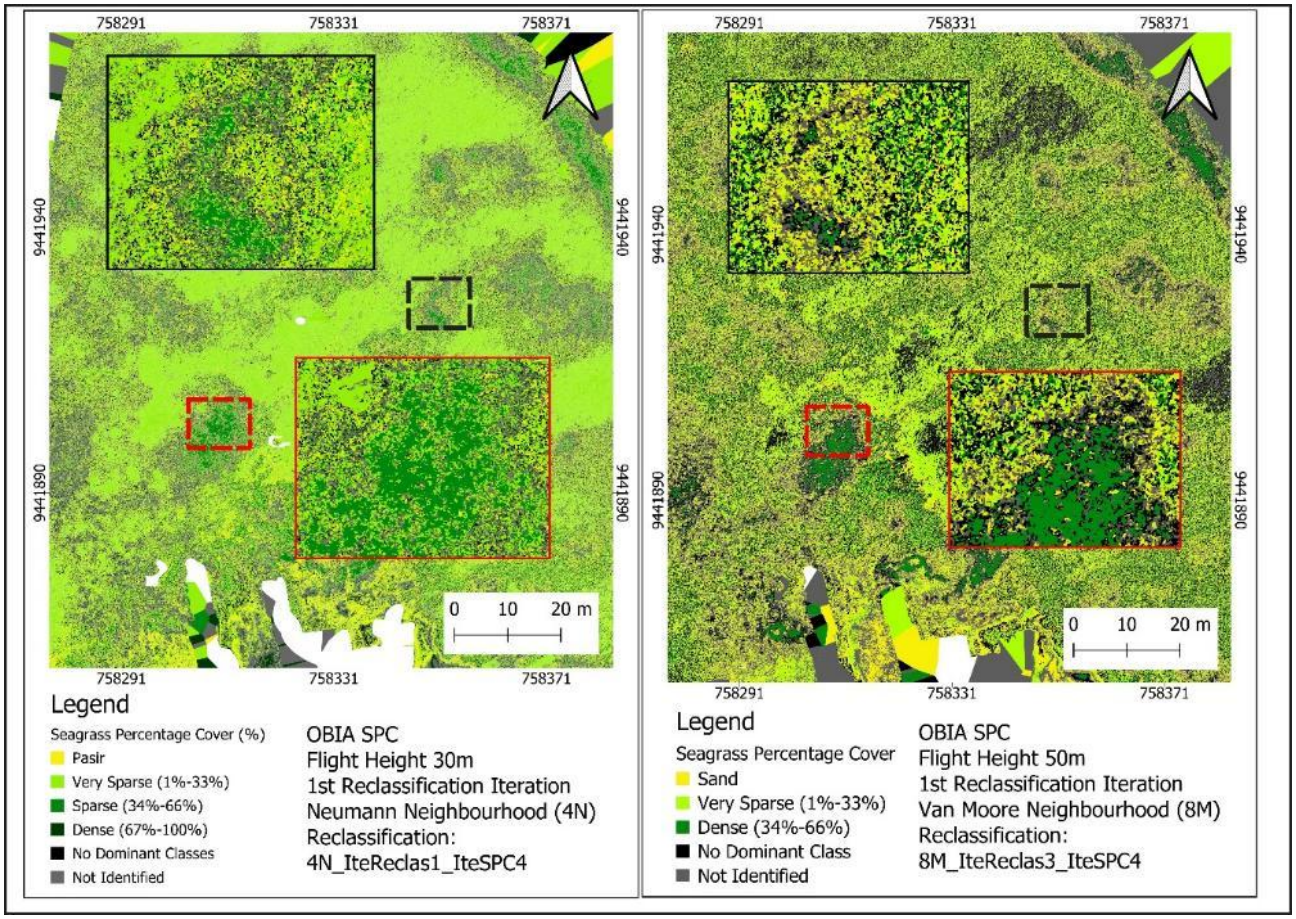


Figure 5. Results of mapping SPC for the highest OA in for each altitude.

Among the overall accuracy results from all iterations at 30 m with a four neighbourhood (Neumman), the highest accuracy was observed in Iteration IteReclas1 IteSPC4 with an accuracy of 77.5%. At 30 m with an eight neighbourhood, the iteration with the highest overall accuracy was found in IteReclas3 ItePC4 with an accuracy of 42.3%. Iteration IteReclas1 IteSPC4 at a flying height of 50 m with a four neighbourhood resulted in an overall accuracy of 37.5%, and for IteReclas3 IteSPC4 at the same flying height with an eight neighbourhood, it yielded an overall accuracy of 61.5%. According to Green *et al.* (2000) and BIG (2014), only 30m_4N_1stIteration_IteSPC4 and 50_8M_3rdIteration_IteSPC4 meet the thematic accuracy feasibility ($\geqslant$60%). Green *et al.* (2000) explained that a thematic accuracy of 60% is considered good for nine benthic classes. Furthermore, mapping objectives in benthic areas are conducted for inventory purposes in coastal management planning. However, if the objective is to map the degradation of seagrass cover due to anthropogenic activities, a 90% accuracy is required Green *et al.* (2000).

Accuracy Assessment of OBIA SPC

Among the overall accuracy results from all iterations at 30 m with a four neighbourhood, the highest accuracy was observed in Iteration IteReclas1 IteSpe2 with an accuracy of 47.5%. At 30 m with an eight neighbourhood, the iteration with the highest overall accuracy was found in Iteration IteReklas1 IteSpe1 with an accuracy of 23%. Iteration IteReclas3 IteSpe1 at a flying height of 50

m with a four-meter buffer resulted in an overall accuracy of 23.5%, and for IteReklas1 IteSpes2 at the same flying height with an eight neighbourhood, it yielded an overall accuracy of 37.5%. According to Green *et al.* (2000) and BIG (2014), none meet the thematic accuracy feasibility (⩾ 60%).

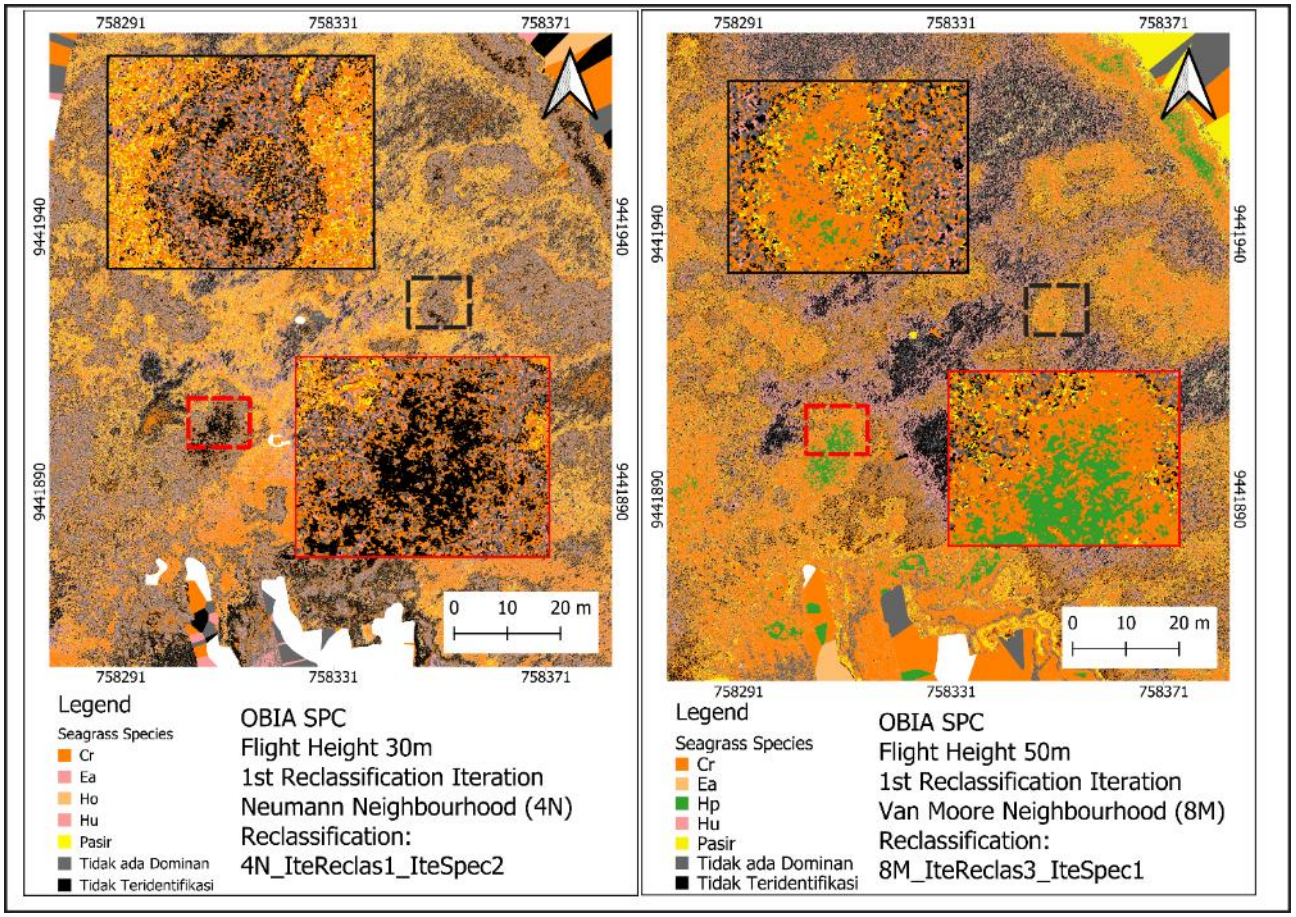


Figure 6. Results of mapping seagrass species for the highest OA in for each altitude.

Variables Influencing Overall Accuracy

The most influential factor affecting thematic accuracy is image quality. Other variables include benthic complexity, analyst experience, temporal differences with captured images, and verification data, spatial precision level in field data, and relevance of classification systems (Finkbeiner *et al.* 2001). Lecours *et al.* (2015) explained that higher spatial resolution increases the likelihood of poor spatial (positional) accuracy affecting thematic accuracy. This is because field data results are merged to calculate thematic accuracy in that area. It is also important to consider data quality (accuracy & precision), sample size, and spatial scale (coverage and resolution).

Coordinate accuracy during ground truthing can fluctuate. When visiting locations in the field according to the sampling plan, the GPS on the Avenza Maps application often jumps and drops even when stationary. This is influenced by the aforementioned factors, especially when the smartphone is taken directly underwater with an underwater casing, affecting signal strength.

GPS influence is also found in the UAV itself. The Phantom 4 used in this study has a GPS accuracy of ±1 – 3 meters. Many factors affect the accuracy of the UAV's GPS, similar to GPS used in smartphones. Additionally, one factor affecting image accuracy is flying height. The lower the flying height, the lower the horizontal and vertical accuracy (QUOC LONG *et al.*, 2020). To improve horizontal and vertical accuracy, apart from using Differential GPS like RTK, which can increase horizontal accuracy by 1-3 cm, Ground Control Points (GCPs) can also be used.

Georeferencing in this study used coordinate points from Google Earth images that clearly show features such as buildings, roofs, and docks, which were then used in UAV orthomosaic. However, it should be noted that there will still be a shift of several centimeters, greatly affecting

thematic accuracy on the map. This is because even slight shifts affect the thematic accuracy when conducting accuracy tests, especially in areas with multispecies seagrass cover.

Karang *et al.* (2024) conducted a study that resulted in a thematic accuracy of 65%, where the study area was multispecies. In their study, it is explained that UAVs still face difficulties in distinguishing species. Mapping seagrass species can be challenging due to overlapping colors and shapes among classes (Tahara *et al.*, 2022).

Another influencing factor contributing to low thematic accuracy is the scarcity of ground truthing points. Resolution and spatial extent need to be considered when determining sample size and sampling strategies (Lecours *et al.*, 2015). In this study, out of 98 sampling points, only 80 points could be used because their coordinates were not recorded. The sampling point strategy employed in this study was transects taken at 5 m intervals. Karang *et al.* (2024) also use transect methods, other studies using OBIA methods employ different sampling strategies. Roelfsema *et al.* (2014) use transect methods with 2 - 4 m intervals. Karang *et al.* (2024) although the intervals are unknown, the data collected are extensive, with 1278 points. It cannot be denied that thematic accuracy may be low because the representation of each class may be low due to insufficient data for accuracy testing.

Several studies use UAV data as a replacement for manual ground truthing processes to add points from in-situ data collection (Tahara *et al.*, 2022; Dang Nguyen *et al.*, 2023; Ventura *et al.* 2023; Ellis *et al.* 2021). However, when considering the location of UAV-conducted studies, they can be used as a substitute for in-situ ground truthing due to the homogeneous conditions of seagrass meadows. These homogeneous conditions, compared to heterogeneous conditions in Indonesia (with more than one species), make ground-truthing processes for replacing or adding points for further processing impossible. Thus, in this study, the plan to add data for the reclassification and OBIA stages cannot be implemented.

CONCLUSION

This study reports the result of seagrass mapping using a UAV. Many approaches were used in this research and can be simplified into four points which are based on the aims of this research. The lower the altitude, the increase of photos taken by the UAV, and also the pilot needs to increase the front overlap and side overlap to make sure there are sufficient tie points for the orthomosaic process. Both altitudes of UAV can identify various objects such as trash, sand, and also SPC, but for more accurate ground truthing uses, a lower altitude is preferable due to the more detailed (higher resolution) GSD. There is a strong correlation with an inverse relationship between DN and SPC with both altitudes that were flown. With 144 iterations for the OBIA process, reclassification (training), and accuracy assessments, the best accuracy for SPC was with the 30-meter altitude iteration four neighbourhood IteReclas1_IteTut4 (77.5%). For seagrass species mapping using OBIA, the best accuracy was 30-meter altitude four neighbourhood IteReclas1_IteSpes2 (47.5%).

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Agus Aris S.Kel, M.Si for helping with recording the UAV data and also my friends who helped with supporting collecting the field data.

REFERENCES

Adams, R., & Bischof, L. (1994). Seeded Region Growing. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *16* (6). https://doi.org/10.1109/34.295913

Afif Fauzan, M., Wicaksono, P., Penataan Ruang, B., & Pekerjaan Umum Penataan Ruang dan Perumahan Rakyat Provinsi Kalimantan Timur, D. (n.d.). *Pantauan perubahan tutupan padang lamun menggunakan citra Sentinel-2 MSI time-series di wilayah pesisir Pulau Derawan*. https://doi.org/10.31230/osf.io/s2xgk

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Standar Nasional Indonesia Ketelitian peta dasar*.

BIG. (2014). *Peraturan BIG Nomor 8 Tahun 2014*.

Böhner, J., Selige, T., & Ringeler, A. (2006). Image segmentation using representativeness analysis and region growing. In *SAGA - Analyses and modelling applications* (Vol. 115).

Carpenter, S., Byfield, V., Felgate, S. L., Price, D. M., Andrade, V., Cobb, E., Strong, J., Lichtschlag, A., Brittain, H., Barry, C., Fitch, A., Young, A., Sanders, R., & Evans, C. (2022). Using Unoccupied Aerial Vehicles (UAVs) to Map Seagrass Cover from Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, *14*(3), 477. https://doi.org/10.3390/rs14030477

Choosing the Right Mission Planning App for Your Drone Mapping Project. (2024, April 11). https://geonadir.com/choosing-the-right-mission-planning-app-for-your-drone-mapping-project/

Dang Nguyen, H., Trung Ngo, D., & Viet Vu, D. (2023). Benthic habitat mapping and assessment of seagrass species diversity in Da Lon Reef, Truong Sa Islands, Vietnam, using very high-resolution satellite imagery and in situ data. *Vietnam Journal of Earth Sciences*. https://doi.org/10.15625/2615-9783/19026

DJI. (2018). *DJI GS PRO User Manual*. https://dl.djicdn.com/downloads/groundstation_pro/20181102/GS_Pro_User_Manual_v2.0_EN_201811.pdf

Duffy, J. P., Pratt, L., Anderson, K., Land, P. E., & Shutler, J. D. (2018). Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *200*, 169–180. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.11.001

Ellis, S. L., Taylor, M. L., Schiele, M., & Letessier, T. B. (2021). Influence of altitude on tropical marine habitat classification using imagery from fixed-wing, water-landing <scp>UAV</scp> s. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, *7*(1), 50–63. https://doi.org/10.1002/rse2.160

Finkbeiner, M., Stevenson, B., & Seaman, R. (2001). *GUIDANCE FOR BENTHIC HABITAT MAPPING: AN AERIAL PHOTOGRAPHIC APPROACH*.

Green, E., Mumby, P., Edwards, A., & Clark, C. (2000). *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*.

Gunawan, S. R., Ningsih, N. S., Beliyana, E., & Tarya, A. (2022). Marine Heatwaves Characteristics in Spermonde Islands, West Coast of South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, *2377*(1), 012040. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012040

Hamad, I. Y., Staehr, P. A. U., Rasmussen, M. B., & Sheikh, M. (2022). Drone-Based Characterization of Seagrass Habitats in the Tropical Waters of Zanzibar. *Remote Sensing*, *14*(3), 680. https://doi.org/10.3390/rs14030680

Karang, I. W. G. A., Pravitha, N. L. P. R., Nuarsa, I. W., K. K, B. A., & Wicaksono, P. (2024). High-Resolution Seagrass Species Mapping and Propeller Scars Detection in Tanjung Benoa, Bali through UAV Imagery. *Journal of Ecological Engineering*, *25*(1), 161–174. https://doi.org/10.12911/22998993/174943

Lecours, V., Devillers, R., Schneider, D., Lucieer, V., Brown, C., & Edinger, E. (2015). Spatial scale and geographic context in benthic habitat mapping: review and future directions. *Marine Ecology Progress Series*, *535*, 259–284. https://doi.org/10.3354/meps11378

Mashoreng, S., Banda Selamat, M., Amri, K., & La Nafie, Y. A. (2018). Hubungan Antara Persen Penutupan dan Simpanan Karbon Lamun. *Akuatika Indonesia*, *3*(1), 74. https://doi.org/10.24198/jaki.v3i1.23437

McKenzie, L. J. (2003). *Guidelines for the rapid assessment of seagrass habitats in the western Pacific*.

Muqorrabin, M. A., & Wichmann, V. (2023, December 19). *Need in-depth explanation for workflow of OBIA tools and its parameters*. https://sourceforge.net/p/saga-gis/discussion/354013/thread/d433735e80/

Nahirnick, N. K., Reshitnyk, L., Campbell, M., Hessing-Lewis, M., Costa, M., Yakimishyn, J., & Lee, L. (2019). Mapping with confidence; delineating seagrass habitats using Unoccupied Aerial Systems (UAS). *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, *5*(2), 121–135. https://doi.org/10.1002/rse2.98

Price, D. M., Felgate, S. L., Huvenne, V. A. I., Strong, J., Carpenter, S., Barry, C., Lichtschlag, A., Sanders, R., Carrias, A., Young, A., Andrade, V., Cobb, E., Le Bas, T., Brittain, H., & Evans, C. (2022). Quantifying the Intra-Habitat Variation of Seagrass Beds with Unoccupied Aerial Vehicles (UAVs). *Remote Sensing*, *14*(3), 480. https://doi.org/10.3390/rs14030480

QUOC LONG, N., GOYAL, R., KHAC LUYEN, B., VAN CANH, L., XUAN CUONG, C., VAN CHUNG, P., NGOC QUY, B., & BUI, X.-N. (2020). Influence of Flight Height on The Accuracy of UAV Derived Digital Elevation Model at Complex Terrain. *Inżynieria Mineralna*, *1*(1). https://doi.org/10.29227/IM-2020-01-27

Roelfsema, C. M., Lyons, M., Kovacs, E. M., Maxwell, P., Saunders, M. I., Samper-Villarreal, J., & Phinn, S. R. (2014). Multi-temporal mapping of seagrass cover, species and biomass: A semi-automated object based image analysis approach. *Remote Sensing of Environment*, *150*, 172–187. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.001

Supriadi, S., Kaswadji, R. F., Bengen, D. G., & Hutomo, M. (2012). Komunitas Lamun di Pulau Barranglompo Makassar: Kondisi dan Karakteristik Habitat. *Maspari Journal*, *4*(2), 148–158.

Tahara, S., Sudo, K., Yamakita, T., & Nakaoka, M. (2022). Species level mapping of a seagrass bed using an unmanned aerial vehicle and deep learning technique. *PeerJ*, *10*, e14017. https://doi.org/10.7717/peerj.14017

Veettil, B. K., Ward, R. D., Lima, M. D. A. C., Stankovic, M., Hoai, P. N., & Quang, N. X. (2020). Opportunities for seagrass research derived from remote sensing: A review of current methods. *Ecological Indicators*, *117*, 106560. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106560

Ventura, D., Grosso, L., Pensa, D., Casoli, E., Mancini, G., Valente, T., Scardi, M., & Rakaj, A. (2023). Coastal benthic habitat mapping and monitoring by integrating aerial and water surface low-cost drones. *Frontiers in Marine Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1096594

Wicaksono, P., Hafizt, M., Harahap, S. D., & Nandika, M. R. (2024). Integrating Sentinel-2 and PlanetScope Image with Drone-based Seagrass Data for Seagrass Percent Cover Mapping. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1291*(1), 012012. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1291/1/012012

Zoffoli, M. L., Gernez, P., Rosa, P., Le Bris, A., Brando, V. E., Barillé, A.-L., Harin, N., Peters, S., Poser, K., Spaias, L., Peralta, G., & Barillé, L. (2020). Sentinel-2 remote sensing of Zostera noltei-dominated intertidal seagrass meadows. *Remote Sensing of Environment*, *251*, 112020. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112020

Zou, K. H., Tuncali, K., & Silverman, S. G. (2003). Correlation and Simple Linear Regression. *Radiology*, *227*(3), 617–628. https://doi.org/10.1148/radiol.2273011499

Halaman ini sengaja dikosongkan.

SNG 2024

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

JL. RAYA JAKARTA-BOGOR NO.KM. 46, PAKANSARI, KEC. CIBINONG, KABUPATEN BOGOR, JAWA BARAT 16911