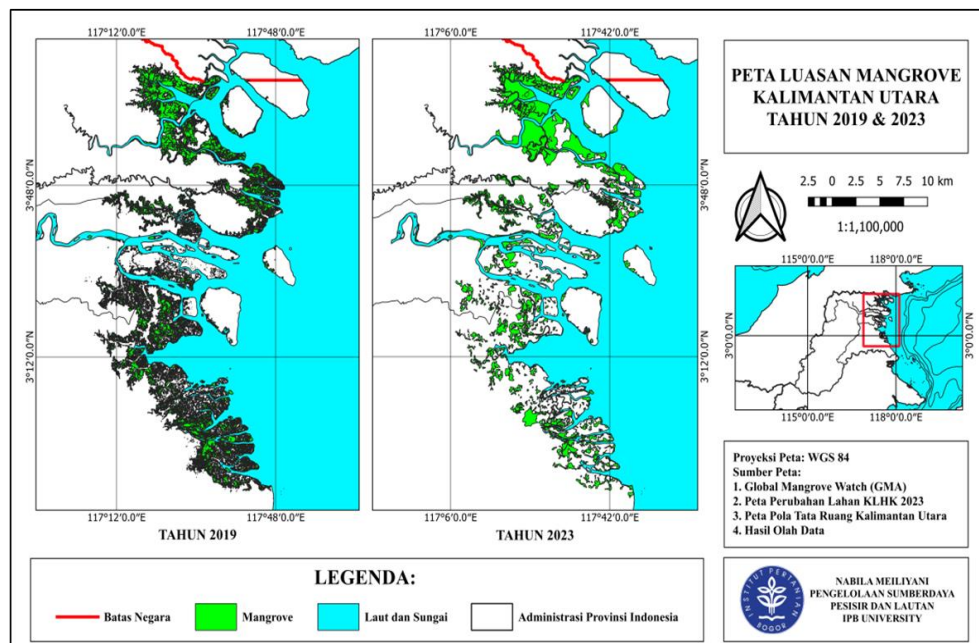




Peta sebaran mangrove di Kalimantan Utara pada tahun 2019 hingga 2023



Nomor Akreditasi: 10/E/KPT/2019

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial Tematik

Vol. 27 No. 2 Oktober 2025

Majalah Ilmiah Globè diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN). Majalah Ilmiah Globè sebagai media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data menghasilkan Informasi Geospasial Tematik, antara lain Analisis Tematik Kebumihan, Aplikasi Sistem Informasi Geografis dan Analisis Tematik Penginderaan Jauh. Pernyataan penulis dalam artikel yang dimuat pada jurnal ini merupakan pendapat individu penulis bukan pendapat penerbit.

Jurnal terbit 2 kali setiap tahun, 1 volume 2 nomor, bulan **April** dan **Oktober**

Pengarah:

Kepala Badan Informasi Geospasial

Penanggung Jawab:

Kepala Biro Hukum, Hubungan Masyarakat dan Kerjasama

Mitra Bestari:**Nama:**

Dr. Ir. Bambang Riadi, S.T., M.Tech

Kepakaran:Environment,
Geography, GIS**Instansi:**

Boundary, Universitas Pakuan

Dr. rer. nat. Djati Mardianto, M.Si

GIS, Kebencanaan,

Universitas Gajah Mada

Dr. Lalitya Narieswari, S.Si., M.Sc

GIS

Badan Informasi
Geospasial

Prof. Dr. Ir. Sam Wouthuyzen., M.Sc

Remote Sensing Kelautan

Badan Riset dan Inovasi
Nasional

Prof. Dr. Junun Sartohadi

Aplikasi Remote Sensing dan
GIS, Geomorfologi Tanah,
Geografi Tanah

Universitas Gajah Mada

Dr. rer. nat. Anang Widhi Nirwansyah,
M.Sc

GIS Hidrologi

Universitas Muhamadiyah
Purwokerto

Dr. Yudo Prasetyo, ST, M.T

Penginderaan Jauh, Fotogrametri,
SIG, GeodesiUniversitas Negeri
Diponegoro

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar

Aplikasi Teknologi Geospasial,
Geoinformatika, Fotogrametri,
Geospasial Multidisiplin
(Pemetaan Topografi, Bencana,
Perencanaan Spasial),
Geoinformation (Geodatabase),
System Of Spatial Information
(NSDI, Geo-Standards, Geo-Law,
Geo-HRD, Geo-Communication)Badan Riset dan Inovasi
Nasional

Dadan Ramdhani, M.T

Geodesi Fisik, GPS

Badan Riset dan Inovasi
Nasional

Ir. Irmadi Nahib, M.Si.

Aplikasi Remote sensing dan GIS
dalam KehutananBadan Riset dan Inovasi
Nasional

Dewan Editor:

Nama:

Dr. Ibnu Sofian, M.Eng
Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar

Jabatan:

Ketua Dewan Editor
Anggota

Instansi:

Badan Informasi Geospasial
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Institut Pertanian Bogor
Badan Informasi Geospasial
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Universitas Gadjah Mada

Prof. Dr. Jonson Lumban-Gaol, M.Si
Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi., M.Sc
Ir. Yatin Suwarno, M.Sc

Anggota
Anggota
Anggota

Ir. Irmadi Nahib, M.Si

Anggota

Ahmad Cahyadi, S.Si., M.Sc

Anggota



Alamat Redaksi:

Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah Globë
Gedung C, Lt. 1 Badan Informasi Geospasial (BIG)
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911
Telp/fax: +62-21- 87906041, E-mail: majalah.globe@big.go.id
Website: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL>



Nomor Akreditasi: 10/E/KPT/2019

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial Tematik

Vol. 27 No. 2 Oktober 2025

Redaktur Pelaksana:

Nama:	Jabatan:	Instansi:
Dr. Ir. Sri Lestari, M.Agr	Managing Editor	Badan Informasi Geospasial
Mone Iye Cornelia M., M.Si., M.Sc	Editor	Badan Informasi Geospasial
Dr. Lalitya Narieswari, S.Si., M.Sc	Editor	Badan Informasi Geospasial
Muchamad Wildan Burhani, SIP	Editor	Badan Informasi Geospasial
Hanik Nurdina Sabita, SIP	Editor	Badan Informasi Geospasial
Nadya Oktaviani, S.T., M.T	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Intan Pujawati, S.Si	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Tia Rizka Nuzula Rachma, ST, M.Si	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Munawaroh, S.Si., M.Sc.	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Ellen Suryanegara, S.Sos., M.Si	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Risa Krisadhi, S.I.Kom., M.Si.	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Prayudha Hartanto, S.T., M.T.	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Luciana Retno Prastiwi., M.Med.Kom	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Fahrul Hidayat, S.T., M.P.W.K.	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Bodan Vitorini, S.Kom	Pendukung TI	Badan Informasi Geospasial
Fajar Maulana, S.Kom	Pendukung TI	Badan Informasi Geospasial
Hibatur Rahman, S.Kom	Pendukung TI	Badan Informasi Geospasial
Huswantoro Anggit PM, S.T.	Pendukung TI/Layout	Badan Informasi Geospasial
Arik Sukaryanti, A.Md.	Sirkulasi	Badan Informasi Geospasial
Provina Pasha Hutami, S.E.	Sirkulasi	Badan Informasi Geospasial



Nomor Akreditasi: 10/E/KPT/2019

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial Tematik

Vol. 27 No. 2 Oktober 2025

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	iv
DAFTAR ISI	v
LEMBAR ABSTRAK (ID)	vi
LEMBAR ABSTRAK (EN)	viii
PENGANTAR REDAKSI	x
APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR ENVIRONMENTAL DAMAGE ASSESSMENT IN POST-DISASTER RECOVERY	57-70
<i>(Penerapan Penginderaan Jauh untuk Penilaian Kerusakan Lingkungan dalam Pemulihan Pasca Bencana)</i>	
Ire Pratiwi, Asep Adang Supriyadi, Syachrul Arief	
Sensing Technology Study Program, Faculty of Defense Engineering and Technology, Indonesian Defense University, Bogor, Indonesia	
GIS-BASED LANDSLIDE HAZARD ZONATION MODEL IN HIGHLAND CITY (CASE OF PADANG PANJANG CITY, INDONESIA)	71-84
<i>(Model Zonasi Bahaya Longsor Berbasis GIS di Kota Dataran Tinggi Kasus di Kota Padang Panjang, Indonesia)</i>	
Dhanu Sekarjati, Andri NR Mardiah, Eggy Arya Giofandi	
Amcolabora Institute Indonesia	
KONDISI EKOSISTEM MANGROVE UNTUK PRIORITAS REHABILITASI DI KALIMANTAN UTARA	85-94
<i>(Mangrove Ecosystem Conditions for Rehabilitation Priority in North Kalimantan)</i>	
Nabila Meiliyani, Fredinan Yulianda, Fery Kurniawan, Dori Rachmawani	
Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Departemen Manajemen Sumberdaya	
PEMODELAN SPASIAL GENANGAN BANJIR ROB PADA PENGGUNAAN LAHAN AKIBAT KENAIKAN AIR LAUT Studi Kasus di Jakarta Utara	95-108
<i>(Spatial modeling of tidal flood inundation on land use due to sea level rise Identification : A Case Study in North Jakarta)</i>	
Arip Priatna, Vita Elysia	
Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka	
ANALISIS SPASIAL-TEMATIK KASUS BUNUH DIRI DI KABUPATEN GUNUNGKIDUL: INTEGRASI KLUSTER HIERARKI, PEMETAAN GIS, DAN FAKTOR GEOSOSIAL	108-120
<i>(Spatial-Thematic Analysis of Suicide Cases in Gunungkidul Regency: Integration of Hierarchical Clustering, GIS Mapping, and Geosocial Factors)</i>	
Darvpa Nusantara Yogya, Alfian Fakhru Rozi Agus Joko Pitoyo	
Kartografi dan Penginderaan Jauh Universitas Gadjah Mada	
PEMETAAN MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2A DENGAN METODE OBJECT BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA) DI DESA KAHYAPU PULAU ENGGANO	123-134
<i>(Mangrove Mapping Using Sentinel-2A Satellite Imagery and the Object-Based Image Analysis (OBIA) Method in Kahyapu Village, Enggano Island)</i>	
Muhammad Nashiruddin Kamal, Ayub Sugara, Ari Anggoro, Ana Ariasari, Akbar Abdurahman Mahfudz, Nella Tri Agustini, Silvy Syukhrani, Feri Nugroho	
Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Bengkulu	



Nomor Akreditasi: 10/E/KPT/2019

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial Tematik

Vol. 27 No. 2 Oktober 2025

LEMBAR ABSTRAK (ID)

MAJALAH ILMIAH GLOBë (Globë Scientific Magazine)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, Oktober 2025
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
DDC 551.46 Pratiwi (Universitas Pertahanan Republik Indonesia) Penerapan Penginderaan Jauh untuk Penilaian Kerusakan Lingkungan dalam Pemulihan Pasca Bencana <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, Hal 57 - 70</i> Studi ini membahas pemanfaatan teknologi penginderaan dalam penanganan pascabencana untuk mendeteksi kerusakan lingkungan di Indonesia. Penginderaan jauh mampu mengumpulkan data dalam jumlah besar dan berperan penting dalam pemantauan kondisi lingkungan pascabencana sekaligus mendukung persiapan mitigasi. (Pratiwi) Kata kunci: Remote sensing, Bencana alam, Lingkungan	DDC 551.307 Sekarjati (Amcolabora Institute) Model Zonasi Bahaya Longsor Berbasis GIS di Kota Dataran Tinggi Kasus di Kota Padang Panjang, Indonesia <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, Hal 71 - 84</i> Penelitian ini membahas model zonasi bahaya longsor berbasis SIG, yang mengintegrasikan data penginderaan jauh serta parameter fisik utama yang mempengaruhi terjadinya longsor di Kota Padang Panjang, Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan analisis spasial untuk mengevaluasi faktor lingkungan utama, yaitu kemiringan, jenis tanah, curah hujan, dan perubahan penggunaan lahan. (Sekarjati) Kata kunci: Model bahaya longsor, GIS, penginderaan jauh, factor fisik
DDC 577.68 Meiliyani (Institut Pertanian Bogor) Kondisi Ekosistem Mangrove Untuk Prioritas Rehabilitasi Di Kalimantan Utara <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, Hal 85-94</i> Tujuan penelitian ini adalah menghitung luasan mangrove terkini, kepadatan, serta mengamati kondisi ekosistem mangrove dan tingkat kerusakannya. Penelitian ini berbasis spasial, menggunakan data multi-temporal citra Satelit Landsat 8 OLI tahun 2019 dan 2023, melalui analisis indeks vegetasi NDVI yang ditujukan untuk mengkaji kepadatan serta kerusakan mangrove. (Meiliyani) Kata kunci: Kalimantan utara, luasan mangrove, kepadatan, kerusakan, mangrove, NDVI	DDC 551.483 Priatna (Universitas Terbuka) Pemodelan Spasial Genangan Banjir Rob Pada Penggunaan Lahan Akibat Kenaikan Air Laut Studi Kasus Di Jakarta Utara <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, Hal 95-108</i> Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan secara spasial genangan banjir rob serta mengidentifikasi luas wilayah terdampak berdasarkan penggunaan lahan di enam kecamatan di Jakarta Utara. Data yang digunakan meliputi Digital Elevation Model (DEM) dan data pasang-surut terkini, yang diolah menggunakan perangkat Geographic Information System (GIS). (Priatna) Kata kunci: Banjir Rob, Geospasial, Digital Elevation Model, Pasang-Surut, Perencanaan Wilayah dan Kota

DDC 551.3 Yogya (Universitas Gadjah Mada) Analisis Spasial-Tematik Kasus Bunuh Diri Di Kabupaten Gunungkidul: Integrasi Kluster Hierarki, Pemetaan Gis, Dan Faktor Geososial <i>Majalah Ilmiah Globè , Vol 27 No 2, Hal 109-122</i> Penelitian ini mengkaji pola spasial kasus bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul dengan pendekatan analisis spasial-tematik menggunakan metode kluster hierarki. Analisis terhadap 48 kasus bunuh diri berbasis kluster hierarki menghasilkan klasifikasi 18 kapanewon ke dalam tiga tingkat kerentanan. Tujuannya adalah mengidentifikasi pola geografis, hubungan antarindikator sosial-ekonomi, serta wilayah prioritas intervensi pencegahan bunuh diri. (Yogya) Kata kunci: analisis spasial, kluster hierarki, SIG, geososial, bunuh diri	DDC 910.285 Kamal (Universitas Bengkulu) Pemetaan Mangrove Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2a Dengan Metode Object Based Image Analysis (Obia) Di Desa Kahyapu Pulau Enggano <i>Majalah Ilmiah Globè , Vol 27 No 2, Hal 123-132</i> Penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi spasial mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano, menggunakan citra satelit Sentinel-2A dengan metode Object Based Image Analysis (OBIA). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam meningkatkan akurasi pemetaan dengan mempertimbangkan karakteristik spasial dan spektral objek. (Kamal) Kata Kunci: Klasifikasi, mangrove, metode OBIA, Desa Kahyapu, sentinel-2A
---	--



Nomor Akreditasi: 10/E/KPT/2019

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial Tematik

Vol. 27 No. 2 Oktober 2025

LEMBAR ABSTRAK (EN)

Globë Scientific Magazine (MAJALAH ILMIAH GLOBë)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, Oktober 2025
<i>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</i>	
DDC 551.46 Pratiwi (Universitas Pertahanan Republik Indonesia) <i>Application Of Remote Sensing For Environmental Damage Assessment In Post-Disaster Recovery</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, pp. 57-70</i> <i>This study discusses using sensing technology in post-disaster handling to detect environmental damage in Indonesia. Remote sensing can collect large amounts of data and be utilized in environmental monitoring after disasters and mitigation preparations.</i> (Pratiwi) Keywords: Disaster, Environment, Remote sensing	DDC 551.307 Sekarjati (Amcolabora Institute) <i>Gis-Based Landslide Hazard Zonation Model In Highland City (Case Of Padang Panjang City, Indonesia)</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, pp. 71 - 84</i> <i>This study presents a GIS-based landslide hazard zonation model that integrates remote sensing data with key physical parameters influencing landslide occurrence in Padang Panjang City, Indonesia. The methodology involves spatial analysis to assess critical environmental factors, including slope, soil type, rainfall, and land use changes.</i> (Sekarjati) Keywords: landslide hazard model, GIS, remote sensing, physical factor
DDC 577.68 Meiliyani (Institute Pertanian Bogor) <i>Mangrove Ecosystem Conditions for Rehabilitation Priority in North Kalimantan</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, pp. 85-94</i> <i>This research is spatially based, utilizing multi-temporal data from Landsat 8 OLI satellite imagery from the years 2019 and 2023, through an analysis of the NDVI vegetation index aimed at assessing the density and damage of mangroves. From this study, five categories of density groups were identified: Very Sparse, Sparse, Moderate, Dense, and Very Dense</i> (Meiliyani) Keywords: North Kalimantan, mangrove area, density level, damage level, mangroves, NDVI	DDC 551.483 Priatna (Universitas Terbuka) <i>Spatial modeling of tidal flood inundation on land use due to sea level rise Identification: A Case Study in North Jakarta</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 27 No 2, pp. 95-108</i> <i>This study aims to develop a spatial model of tidal flood inundation and to identify the extent of affected areas based on land use across six sub-districts in North Jakarta. The data utilized include a Digital Elevation Model (DEM) and the latest tidal data, both processed using Geographic Information System (GIS).</i> (Priatna) Keywords: Tidal Flood, Geospasial, Digital Elevation Model, Tides, Urban and Regional Planning

DDC 551.3 Yogya (Universitas Gadjah Mada) <i>Spatial-Thematic Analysis of Suicide Cases in Gunungkidul Regency: Integration of Hierarchical Clustering, GIS Mapping, and Geosocial Factors</i> Majalah Ilmiah Globè , Vol 27 No 2, pp. 109-122 <i>This study examines the spatial patterns of suicide cases in Gunungkidul Regency using a spatial-thematic analysis approach with the hierarchical clustering method. The analysis of 48 suicide cases using hierarchical clustering resulted in the classification of 18 districts (kapanewon) into three levels of vulnerability. The objectives are to identify geographical patterns, the relationships between socio-economic indicators, and priority areas for suicide prevention interventions</i> (Yogya) Keywords: spatial analysis, hierarchical clustering, GIS, geosocial, suicide	DDC 910.285 Kamal (Universitas Bengkulu) <i>Mangrove Mapping Using Sentinel-2A Satellite Imagery and the Object-Based Image Analysis (OBIA) Method in Kahyapu Village, Enggano Island</i> Majalah Ilmiah Globè , Vol 27 No 2, pp. 123-132 <i>This research aims to map the spatial distribution of mangrove ecosystems in Kahyapu Village, Enggano Island, using Sentinel-2A satellite imagery with the Object Based Image Analysis (OBIA) method. This method was chosen because of its ability to increase mapping accuracy by considering the spatial and spectral characteristics of objects</i> (Kamal) Keywords: Classification, Mangroves, OBIA Method, Kahyapu Village, Sentinel-2A
--	---

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Majalah Ilmiah Globe Volume 27 No. 2 Oktober 2025 dapat kembali terbit. Dengan semangat untuk selalu memberikan yang terbaik, redaksi berharap agar setiap edisinya semakin berkualitas dengan memuat hasil penelitian yang berguna dan sesuai perkembangan di bidang Informasi Geospasial Tematik, antara lain mencakup Analisis Tematik Kebumihan, Aplikasi Sistem Informasi Geografis dan Analisis Tematik Penginderaan Jauh.

Majalah Ilmiah Globe Volume 27 No. 2 Oktober 2025 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Universitas Pertahanan Indonesia, Amcolabora Institute, Institute Pertanian Bogor, Universitas Terbuka, Universitas Bengkulu

Penelitian pertama Penelitian ini bertujuan pemanfaatan teknologi penginderaan dalam penanganan pascabencana untuk mendeteksi kerusakan lingkungan di Indonesia. Penginderaan jauh mampu mengumpulkan data dalam jumlah besar dan berperan penting dalam pemantauan kondisi lingkungan pascabencana sekaligus mendukung persiapan mitigasi. Penelitian kedua Penelitian ini bertujuan model zonasi bahaya longsor berbasis SIG, yang mengintegrasikan data penginderaan jauh serta parameter fisik utama yang mempengaruhi terjadinya longsor di Kota Padang Panjang, Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan analisis spasial untuk mengevaluasi faktor lingkungan utama, yaitu kemiringan, jenis tanah, curah hujan, dan perubahan penggunaan lahan. Penelitian ketiga Penelitian ini Tujuan penelitian ini adalah menghitung luasan mangrove terkini, kepadatan, serta mengamati kondisi ekosistem mangrove dan tingkat kerusakannya. Penelitian ini berbasis spasial, menggunakan data multi-temporal citra Satelit Landsat 8 OLI tahun 2019 dan 2023, melalui analisis indeks vegetasi NDVI yang ditujukan untuk mengkaji kepadatan serta kerusakan mangrove. Penelitian keempat Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan secara spasial genangan banjir rob serta mengidentifikasi luas wilayah terdampak berdasarkan penggunaan lahan di enam kecamatan di Jakarta Utara. Data yang digunakan meliputi Digital Elevation Model (DEM) dan data pasang-surut terkini, yang diolah menggunakan perangkat Geographic Information System (GIS). Penelitian kelima Penelitian ini mengkaji pola spasial kasus bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul dengan pendekatan analisis spasial-tematik menggunakan metode kluster hierarki. Analisis terhadap 48 kasus bunuh diri berbasis kluster hierarki menghasilkan klasifikasi 18 kapanewon ke dalam tiga tingkat kerentanan. Tujuannya adalah mengidentifikasi pola geografis, hubungan antarindikator sosial-ekonomi, serta wilayah prioritas intervensi pencegahan bunuh diri. Penelitian ke enam Penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi spasial mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano, menggunakan citra satelit Sentinel-2A dengan metode Object Based Image Analysis (OBIA). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam meningkatkan akurasi pemetaan dengan mempertimbangkan karakteristik spasial dan spektral objek.

Redaksi mengucapkan terima kasih atas kontribusi para penulis, editor, mitra bestari, dan berbagai pihak sehingga edisi ini dapat diterbitkan. Juga kepada pembaca yang budiman, kami harapkan saran dan kritik serta sumbangan pemikiran untuk perbaikan dan kemajuan Majalah Ilmiah Globe ini ke depan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, 31 Oktober 2025

Redaksi

APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR ENVIRONMENTAL DAMAGE ASSESSMENT IN POST-DISASTER RECOVERY

(Penerapan Penginderaan Jauh untuk Penilaian Kerusakan Lingkungan dalam Pemulihan Pasca Bencana)

Ire Pratiwi¹, Asep Adang Supriyadi², Syachrul Arief³

^{1,2}Sensing Technology Study Program, Faculty of Defense Engineering and Technology, Indonesian Defense University, Bogor, Indonesia

³Geospatial Information Authority of Indonesia, Bogor, Indonesia
Universitas Pertahanan RI Sentul, Kawasan IPSC Sentul, Kab. Bogor, Jawa Barat
E-mail: ire.pratiwi@tp.idu.ac.id

Diterima: 26 Februari 2025; Direvisi: 26 Agustus Disetujui untuk Dipublikasikan: 16 September 2025

ABSTRACT

This study discusses using sensing technology in post-disaster handling to detect environmental damage in Indonesia. Remote sensing can collect large amounts of data and be utilized in environmental monitoring after disasters and mitigation preparations. With technology that can take a wide range of surface and temporal data, sensing technology is important in comparing conditions before and after a disaster. Using satellites, radar and lidar sensors, remote sensing provides accurate information on land cover classification, weather analysis and natural disaster monitoring. This paper discusses of current trends and advancements in Indonesia's use of remote sensing technologies for managing natural disasters. It emphasizes how crucial quick damage assessment is becoming to enabling prompt and efficient disasters response. Remote sensing technology using satellite imagery and synthetic aperture radar (SAR) is important for mapping disaster-affected areas, improving disaster management and faster recovery efforts. The combination of remote sensing technology with advanced algorithms and artificial intelligence (AI) improves the accuracy of environmental damage detection and supports the preparation of effective disaster mitigation strategies. This discovery emphasizes the importance of continuous development and cooperation in using remote sensing technology to manage and reduce environmental damage risks and ensure sustainable resource management and disaster preparedness.

Keywords : Disaster, Environment, Remote sensing

ABSTRAK

Studi ini membahas pemanfaatan teknologi penginderaan dalam penanganan pascabencana untuk mendeteksi kerusakan lingkungan di Indonesia. Penginderaan jauh mampu mengumpulkan data dalam jumlah besar dan berperan penting dalam pemantauan kondisi lingkungan pascabencana sekaligus mendukung persiapan mitigasi. Dengan kemampuan menangkap data permukaan dan temporal, teknologi ini memungkinkan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah bencana. Melalui pemanfaatan satelit, radar, dan sensor LiDAR, penginderaan jauh dapat memberikan informasi akurat terkait klasifikasi tutupan lahan, analisis cuaca, serta pemantauan bencana alam. Teknologi ini sangat relevan untuk menangani bencana yang sering terjadi di Indonesia, seperti kebakaran hutan, banjir, dan gempa bumi, dengan penekanan pada pentingnya penilaian dampak kerusakan secara cepat. Selain itu, tren terkini menunjukkan bahwa integrasi penginderaan jauh dengan algoritma canggih dan kecerdasan buatan (AI) mampu meningkatkan akurasi deteksi kerusakan lingkungan. Pendekatan ini mendukung perumusan strategi mitigasi bencana yang lebih efektif, memperkuat manajemen bencana, dan mempercepat proses pemulihan. Hasil kajian ini menekankan pentingnya pengembangan serta kerja sama berkelanjutan dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk mengurangi risiko kerusakan lingkungan, memastikan pengelolaan sumber daya yang lebih baik, serta meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana di Indonesia.

Kata Kunci : Bencana alam, Lingkungan, Remote sensing

INTRODUCTION

The use of remote sensing for environmental observation plays an important role in Indonesia. Remote sensing systems can take data on a large scale and then manage and analyze it using software (Amani et al., 2020). Remote sensing systems make it possible to make indirect

observations over a large area and for a long period in each area. So, the benefits are great for comparing the area or surface topography in events before and after an event. Technologies used in remote sensing in Indonesia include satellites, radar, and other devices that utilize sensors with different characteristics – different from spectrum and spatial and temporal resolutions. Satellites like

Landsat and Sentinel are examples of remote sensing technology that are frequently utilized in Indonesia. These platforms serve several disaster-related applications, like mapping floods, detecting forest fires, and assessing the effects of earthquakes, by using sensors with diverse spectral, geographical, and temporal resolutions. Sensing systems make it possible to obtain accurate information processed with unique algorithms and used for various applications such as land cover classification processes, hydrological land use, urban planning, weather and climate analysis, and natural disasters.

Indonesia is a region that has a high potential for natural disasters. Natural disasters that threaten Indonesian territory include volcanic eruptions, earthquakes, tsunamis, and forest fires. Natural disasters such as earthquakes, tsunamis, forest fires, and volcanic eruptions pose a serious threat to Indonesia. El Niño caused 1.16 million hectares of woodland to burn in 2023, and BMKG recorded 10,789 earthquakes, 219 of which were stronger than magnitude 5. Furthermore, escape windows in tsunami-prone regions like Aceh are as short as eight minutes, highlighting the importance of having a strong emergency plan. This natural disaster resulted in significant losses both in the economic and social context. To face and assess the impact of natural disasters that occur in Indonesia, a remote sensing system can be used. Rapid identification of natural disasters plays an important role in emergency rescue efforts and post-disaster analysis to assess the resulting impact (Liang et al., 2024). The disaster mitigation steps that must be developed are the development of a disaster warning system that supports community preparedness and recovery after a disaster. The remote sensing system method used in post-disaster management is satellite image mapping at locations affected by natural disasters. The disadvantage of satellite imagery is weather conditions. Continuous cloud cover will have an impact on the image results obtained. Satellites can produce high-resolution data for post-disaster identification compared to manual observations, which require a lot of time and effort (Casagli et al., 2017). In addition to the use of satellites, radar can make it possible to carry out an inventory in mapping. Radar can make observations on the earth's surface without being obstructed by weather conditions by receiving microwaves for coverage of a specific area (Gupta et al., 2022). Compared to satellites, the radar coverage area is narrower (Wakayama et al., 1998).

Remote sensing technology allows easy and fast access to data that can improve the ability to detect, monitor, and map disaster areas to minimize the risk to researchers and optimize work in the field in assessing the consequences of natural disasters (Casagli et al., 2017). Natural disasters that often occur in Indonesia include disasters on the ground surface, such as earthquakes, tsunamis, forest fires, and volcanic eruptions. High-resolution data

obtained from satellite sensing analyzes soil movement on the surface, which is helpful for post-disaster management. Sensing allows the study of the earth's surface structure by analyzing curves seen from the surface that can identify shifts or faults (Nekuie Mouafo et al., 2024). Soil typology and geomorphology can show the characteristics and predictions of soil movement obtained from data processing techniques from satellite or radar sensing results. Using remote sensing technology is essential for detecting and tracking environmental damage in addition to easing public anxiety about the effects of natural disasters. In Indonesia, where regular disasters can hasten ecosystem deterioration, this is especially critical. Timely information is crucial for policymakers to lower disaster risk and long-term environmental damage.

Recent research on remote sensing in post-disaster recovery shows a trend in using advanced computing techniques. Many studies (e.g. narrative or bibliometric) report on the integration of cloud computing platforms such as Google Earth Engine (GEE), machine learning/deep learning methods, as well as the incorporation of multisensory data (optics, SAR, drones) to improve the accuracy of damage detection. However, there is a significant global gap. For example, most research focuses on assessing the physical damage of infrastructure (buildings, roads) after an earthquake or tsunami, while monitoring environmental damage (vegetation, water quality) is still relatively limited. Research is generally based on one type of disaster or emergency response stage alone, so a multi-disaster approach and long-term recovery are inadequate.

Some key findings are that the study highlights the need for more field validation and large-scale models that can be applied to different regions/disasters. Future research recommendations include developing adaptive algorithms responsive to local conditions, integrating multiple data sources (e.g. satellites, UAVs, socio-economic data), and implementing remote sensing-based early warning systems. In addition, it stated the urgency of long-term environmental impact monitoring, inclusivity of climate change data, and local community participation in the analysis and validation process. This approach is expected to improve the resilience and sustainability of the post-disaster environment in the future.

Remote sensing in Indonesia faces challenges typical of the tropics, especially thick cloud cover that interferes with optical imagery. Majorly used satellites include Sentinel-2, Landsat-8/9, MODIS (Terra/Aqua), and Himawari-8/9. Sentinel-2 produces multispectral images with a spatial resolution of 10 meters (visible-band-NIR) and 20 meters (SWIR) with a revisit frequency of about five days, while Landsat-8/9 provides 30-meter (spectral and 15-meter (panchromatic) imagery every 16 days. MODIS can cover the global surface every 1–2 days with a spatial resolution of 250 m to 1 km,

which is suitable for large-scale monitoring, such as regional forest fires, but less accurate for detecting minor damage. Meanwhile, Himawari-8/9 monitors the horizon every 10 minutes with a resolution of 0.5–2 km per channel, which is ideal for extreme weather prediction but unsuitable for detailed mapping. These spatial and temporal resolution characteristics significantly affect operational performance, where high-resolution imagery, such as Sentinel and Landsat, is more thorough but susceptible to weather disturbances. In contrast, radars, such as Sentinel-1, can penetrate clouds and operate day and night, making them ideal for monitoring floods and vegetation during the rainy season. Data access is relatively open through Copernicus, USGS, and NASA and supported by platforms such as Google Earth Engine. However, processing large amounts of data still requires adequate information technology infrastructure. Field disturbances and processing algorithms greatly influence the detection accuracy; for example, cloud-covered imagery needs correction before classification, and land cover classification requires field validation.

METHODS

This research reviews scientific research literature that provides an overview of the use of

remote sensing technology for post-disaster recovery. The findings of recent and varied studies on the application of remote sensing for environmental monitoring and disaster management in Indonesia are summarized in this article using a narrative literature review methodology. The review is predicated on a thorough selection of peer-reviewed journal publications that were released in the 2019–2024 timeframe. The inclusion of only papers ranked as Q1 or Q2 in Scopus rankings and indexed in reliable databases ensured quality and relevance. These studies were chosen due to their direct importance to the use of remote sensing technology, such as radar and satellite imaging, in evaluating or responding to natural disasters, including earthquakes, floods, and wilderness fires. To ascertain eligibility, the review approach entailed a methodical screening of complete texts, abstracts, and titles. Key findings were then extracted and thematically synthesized. The findings of several studies are combined in this synthesis to show the most recent developments in the subject, including research trends, and technology. The strategy seeks to give a thorough and current summary of the subject while remaining adaptable enough to take into account various research designs and techniques (**Figure 1**).

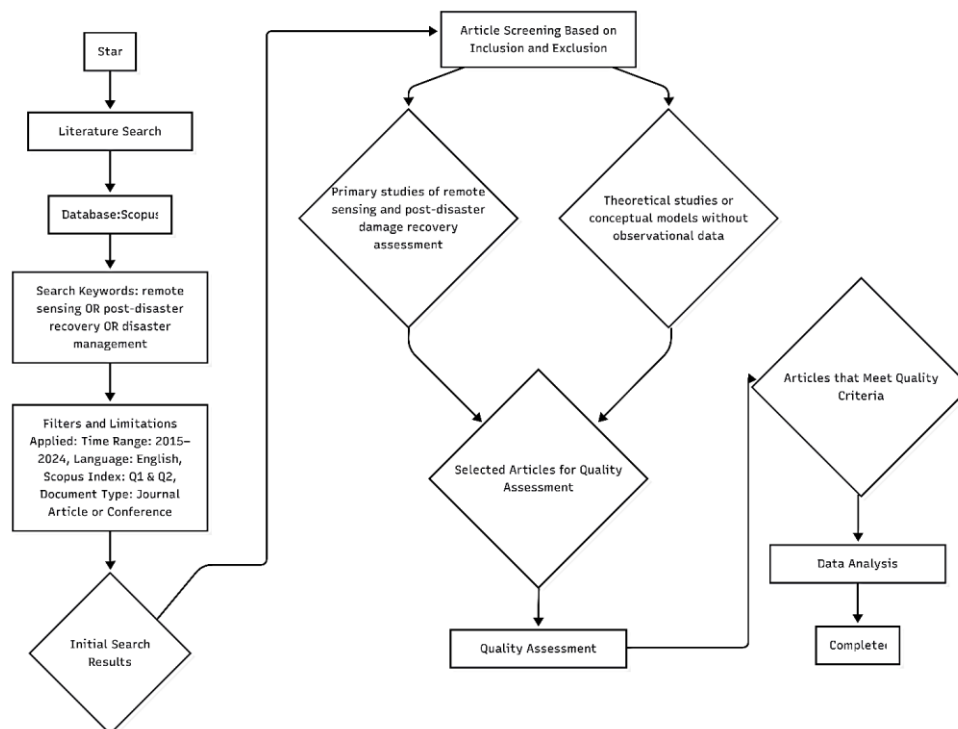


Figure 1. Research flowchart.

The first part explains the essential aspects of remote sensing in the form of a basic definition that refers to the concept and resolution that describes the details of remote sensing images. In addition, the integration of remote sensing data with other data was also explained. The resulting data will be processed using geometric correction and spectral

analysis, and the required information will be extracted using classification and object recognition methods. Because the data produced is extensive, the images obtained require ample storage space before being analyzed. Remote sensing applications can be used for vegetation, seabed, water level monitoring, and other commercial uses.

In the context of implementation for post-disaster handling, remote sensing technology helps with early detection and recovery after forest fires, floods, landslides, and earthquakes, which assist in mapping damage and providing data for reconstruction planning. This technology is essential for environmental management and aids in strategically responding to disaster situations (Figure 2).

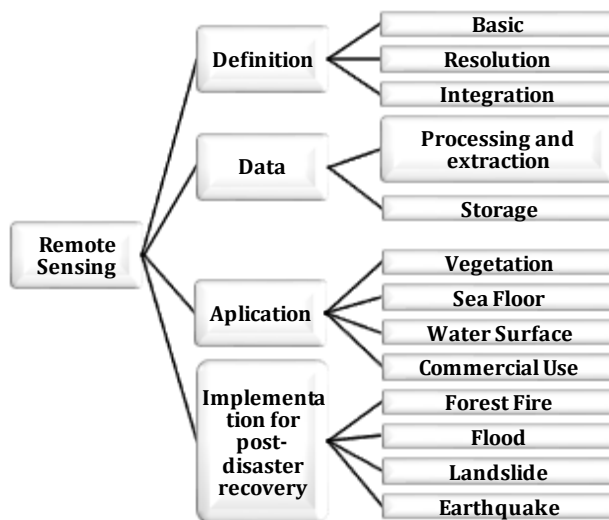


Figure 2. Research framework.

RESULTS AND DISCUSSION

Remote sensing in environmental observation

Remote sensing is a field of data analysis that can detect, map, and monitor areas for certain purposes related to the observation of environmental conditions. Advances in remote sensing technology significantly improve the temporal resolution of data (Cheng et al., 2023). Observations with remote sensing technology are carried out based on physical signals from instruments outside the earth's surface. Currently, there are several types of sensor characteristics, namely sensors from multi-spectral images with medium and high resolution to hyperspectral images that have a spectrum of electromagnetic waves with a high level of resolution (Romero et al., 2016). These various sensors allow for different purposes with a specific focus. From these multiple sensors, it is possible to classify results that can be mapped with particular objectives. In observation using sensing technology for the surface, Synthetic Aperture Radar (SAR) equipment attached to the satellite is used with the ability to make continuous observations without being affected by weather constraints (Romero et al., 2016). This system is an active system that directs electromagnetic waves at a target surface that will re-emit those waves in various directions and to the sensor.

Natural disasters cause both social and economic losses in the affected areas. The use of sensing technology helps save disaster victims by

combining the results of surface observations for various needs to detect damage to buildings or areas and determine areas for evacuation (Ashifa et al., 2024). To improve the level of urban natural disaster risk assessment and provide a scientific basis for disaster prevention and reduction decision making, it is therefore necessary to gather data and create databases about the value and vulnerability (e.g., depth-damage curves) of buildings, infrastructure, human society, economy, and other prone areas in each city (X. Zhang et al., 2023). The approach to disaster management based on geographical data analysis requires the input of geospatial images on the surface area, which are then reprocessed by eliminating disturbances or noise. High spatial and temporal resolution is required in observation to produce good data. These two parameters significantly impact the processing of digital image data. Spatial resolution is the level of accuracy of the image based on the area or area size. The observed area will be grouped into pixels so that the smaller the pixel size, the higher the spatial accuracy. Temporal resolution is the level of accuracy based on the period of capture. The more often a satellite or sensing device takes images, the higher the temporal resolution. Satellites commonly used in Indonesian territory for observation are MODIS, Sentinel, Landsat, and Himawari (Kadam et al., 2024). The satellite has different temporal resolution and spatial resolution. For example, the Himawari satellite, with a resolution every 10 minutes, is suitable for weather observation. Meanwhile, a Sentinel with lower temporal resolution is ideal for land surface observation (Gibson et al., 2020). Meanwhile, Landsat with a short wavelength of about 2.15 μm is essential for forest fire detection, producing data with medium to high resolution (Jin et al., 2024). Drones can be used to produce higher data resolution and sharper images, but these sensing devices have a narrower range than radar or satellites.

The rapidly increasing use of remote sensing technology in natural disaster management has made detecting, mapping, and monitoring surfaces easier. The tool used for sensing techniques is a combination of very high-resolution imagery (VHR) and synthetic aperture radar (SAR) is a very effective tool because it has a very high spatial resolution (Casagli et al., 2017). Active optical sensors generated from the sensing process are used for disaster detection through visual analysis with analysis methods. For example, optical degradation (sharpening, grouping) can provide input to visual image interpretation. This procedure results in a rougher resolution compared to analytical processing. The use of hyperspectral data for identifying and grouping surface types based on their characteristics is still being developed (Scaioni et al., 2014).

Remote sensing technology uses four main types of data with different characteristics: optical, thermal, microwave, and laser scanning (Scaioni et

al., 2014). Optical sensors use light and infrared rays to capture observed surface details and produce high-quality images. In its use for post-disaster observations, optical imagery can observe changes in soil surface and vegetation. Thermal sensors can detect changes in surface temperature, soil activity, and surface moisture that can identify strong or landslide-prone soil structures. Microwave sensors have the advantage of being able to penetrate clouds so that monitoring the condition of the earth's surface is not affected by weather conditions. The development of technology and the improvement of data quality, observation time, processing time, and cost-effectiveness can match the capabilities of direct observation devices on the surface, such as unmanned aerial vehicles (drones). The effectiveness of the use of this integration continues to be explored in researching various cases of natural disasters that facilitate risk management and as a better effort to improve community safety.

Data processing on remote sensing technology in environmental observation

Data processing from remote sensing technology requires excellent technical expertise and has major obstacles in information management, data storage, networking, and geospatial data processing (Gorelick et al., 2017). The Google machine applications have cloud-based storage that can help access data and process data at scale (Dong et al., 2016). The first step in utilizing the results of sensing technology is data collection. Data collection can be obtained from the results of satellite imagery producing large data because of the ability of satellites to collect data over a wide area consistently (Ma et al., 2015). The type of data collected can come from optical sensors, thermal sensors, and microwaves. After the data collection process, it is necessary to correct the image results to eliminate cloud-like disturbances due to weather conditions. The next stage is geometric correction which occurs due to distortion during image acquisition due to angle, tool movement, and topographic conditions. This correction should be integrated with other data, such as region topographic maps. The processing of the acquired images must be corrected again to improve the observation results. Image processing with unique algorithms can enhance the sharpness of images to facilitate analysis and interpretation. This correction is rough because it still relies on visual techniques. Understanding sensors and devices is essential for the correction process. Expertise helps to maximize data and adjust to the limitations of each tool. Image processing expertise can use software that allows image analysis and interpretation. Constraints that often arise in geospatial data processes require high computing systems as well as significant time analysis. With the development of technology, it is hoped that the obstacles that have arisen before can be overcome so that the use of data from

sensing technology will be more effective and valuable for policymaking for disaster management.

The second stage after the data processing process is the extraction and classification of the mind based on needs. The segmentation process is an important issue in the field of classification of image results such as land cover (Wang et al., 2024). Land cover is related to the earth's surface cover, identifying vegetation, water, and other types of surfaces (Gómez et al., 2016). Extraction aims to identify surface types such as vegetation, rocks, water surfaces, and urban areas from the images obtained. After extraction, the image data will be classified according to the needs. The classification includes the analysis of images at high pixel dimensions with a level of noise that must be eliminated. Classification analysis allows in-depth observation of surface conditions from period to period. In the classification process, segmentation is required, namely, the results of the image data will be converted into a smaller and uniform area so that noise will be easier to remove. Segmentation can be in pixel division or division based on larger objects according to shape. The challenges of the classification process are different lighting levels, surface textures, and noise, so an algorithm that matches the parameters is needed for the accuracy of the results.

The high data dimensions of remote sensing results have led to many technologies developed to reduce data dimensions (Romero et al., 2016). The problem caused by the large data dimension is that processing the image data will take longer and slower time and require significant resources. Along with the oversized dimensions, the process of producing new data will also be hampered. Data also tends to carry inappropriate information or noise, so data analysis will be disrupted. The technique developed is a statistical engineering method with a linear combination of the main component as a source. The information will be summarized well so that the reduction in dimensions will not reduce the information (K & K, 2024). Extraction techniques can provide faster data analysis and accurate results. Changes in land surface cover can be identified for environmental monitoring. The results obtained will improve natural resource management and risk analysis against disaster impacts. The feature extraction technique will reduce the data dimension so that researchers utilizing remote sensing imagery can adequately analyze and interpret the data. Reducing the dimensions can speed up the analysis and increase the accuracy of the results so that a good result is produced.

Remote sensing can collect large amounts of data by managing and analyzing it using specific software and computing (Amani et al., 2020). Large quantities of data contain information from various aspects observed from the earth's surface. Large volumes of data from remote sensing results include multiple data with different formats and specific characteristics that require integration for

processing. The challenges of extensive data processing and data analysis are divided into general and individual. General aspects related to data processing include computing, collaboration, and big data working methodologies. Meanwhile, challenges in individual elements relate to various applications' data cycles. The data cycle concerns aspects of accurate data identification, data dissemination, data visualization, and interpretation. Solutions that can be drawn from this problem in remote sensing need to be further developed.

Cloud computing platforms make it possible to store data in an efficient way that is accessible and visualize it for users. The infrastructure of this platform has open access with further processing. Users do not need to download the available data and process it directly. In this way, users can collaborate between researchers without regional restrictions. Data updates are also possible in real-time so that the latest data can be analyzed. Developing processing algorithms and applying analysis techniques will improve the quality of data from remote-sensing images more efficiently. The sophisticated classification process will speed up the interpretation and analysis process, making it easier to formulate results.

Application of remote sensing technology in environmental observation

Remote sensing applications can be used to observe vegetation in the area to be studied. Remote sensing using satellites is an important technology to monitor the earth's surface, such as in cases of vegetation damage, deforestation, and forest fires (Zhao et al., 2024). Remote sensing technology enables continuous observation with accurate and fast data results related to environmental conditions. With satellite imagery, users can detect surface cover changes more practically. An example is the observation of vegetation damage carried out with satellite imagery. Vegetation is one of the ecosystem indicators that plays a role in maintaining environmental balance, water cycle, and energy and material flow (Leppä et al., 2020).

Vegetation damage events such as forest fires, deforestation, and landslides often occur due to natural factors and Anthropogenic force. Changes in vegetation have a long-term impact on environmental stability. Conventional methods of observing vegetation changes such as repeat photography and canopy survey require expensive costs and a long time, with the presence of remote sensing by satellite, these conventional activities can be replaced. The following **Table 1** provides a brief overview of remote sensing (RS) applications in disaster management, highlighting the benefits and drawbacks of various imagery and resolution types.

Table 1. Remote sensing (RS) applications in disaster management.

Application	Image Type Resolution	Advantages	Disadvantages
Vegetation Mapping	Landsat TM (30 m)	Effective for monitoring land cover changes and vegetation post-disaster.	Low resolution may reduce detail of information.
Flood Monitoring	Sentinel-1 (10 m)	Accurately detects water inundation quickly in near real-time.	Limited by weather conditions; not effective when cloud cover exists.
Earthquake Hazard Analysis	Landsat 8 and SRTM	Enables comprehensive geological analysis and risk mapping.	Requires additional field survey and data validation.
Tropical Disaster Management	MODIS (250 m)	Provides rapid temporal data for continuous disaster monitoring.	Lower resolution for in-depth analysis.

Remote sensing for observation of agricultural land is also rampant in Europe. Heterogeneous planting systems with small to medium agricultural land ownership and diversity of plant species require intensive monitoring (Bazzi et al., 2024). Vegetation regulates the exchange of carbon, water, and energy on regional and global ecosystems' surface and atmosphere. Remote sensing can also be used to observe drought propagation (Palagiri et al., 2024). Weather and climatic factors such as temperature and rainfall are significantly related to reforestation. The current research examines temporal and spatial variations in vegetation that affect global warming. One example of research that examines vegetation change is the discussion of correlations between dynamic changes in vegetation cover.

Remote sensing technology can also be used for seabed observation. High-accuracy seafloor mapping, such as coral reef ecosystems, is essential for coral reef habitats (Liu et al., 2024). Remote sensing data with optical sensors is an important tool for basic mapping because it can provide detailed visual information about sea surface conditions up to the seabed and its elements. Sensors from satellites can detect light reflections coming from the surface of the water and the ocean floor that produce images with spectral information. Image data analysis techniques can identify coral reef types and water conditions such as pollution. Remote sensing technology allows continuous observation on a large area scale

compared to conventional direct observation. Remote sensing can increase knowledge about marine ecosystems that can support conservation efforts and more effective management of natural resources in the ocean so that it can be used to support the sustainability of marine ecosystem habitats for the future. Evaluation of the impact of combining topographic data with coral reef classification provides spectral and topographic information derived from satellite imagery. Researchers can obtain information about marine ecosystems and assess marine habitats more accurately. The incorporation of topography can improve the accuracy of the classification process, especially for some categories of clear slope slopes, such as in the study of coral reefs in deep ocean areas. This merger provides limitations in remote sensing-based seafloor mapping with optical sensors.

Global climate change can affect the water level in the lake area (Bai et al., 2024). In the global era, climate change will experience a tendency to continue to increase, resulting in extreme climate events occurring frequently. The cause of climate change is global warming, which has resulted in prolonged droughts and high rainfall in several regions. Remote sensing technology is useful for detecting global water level changes in lake areas. Studies on the occurrence of lake water level subsidence quantitatively using satellite data have been conducted. The lakes studied are categorized as reservoir lakes, endorheic lakes, and lakes with frozen soil layers. The research focuses on spatial and temporal differences in the occurrence of water level differences in lakes. The analysis correlates the relationship between extreme events in water level subsidence associated with meteorological variables and the global climate cycle to determine the event's cause. The temporal-spatial distribution of different types of lakes experiences differences that are closely related to evaporation and air temperature. The implications include ecological forecasts of the area, understanding the effects of climate change, and facilitating water management as a sustainable resource.

Remote sensing by satellite of the water level height allows for wide spatial coverage (Bjerkli et al., 2023). As a follow-up to the lake water level study, further integration is needed to create policies in water resource management. By studying changes in water level patterns, policymakers can develop effective strategic plans to deal with the risks of climate change impacts such as drought. Periodic monitoring with remote sensing technology helps to better plan the use of water resources and can be an early warning in anticipation of disaster impacts. Supported by collaboration between scientists, policy makers, and the community will create a good approach to water resource management. This is useful in maintaining the environment and the sustainability of water sources for the future. Therefore, continuous research and policy formulation with remote sensing

results play a major role in dealing with natural disasters due to global climate change.

The expansion of coastal land-based aquaculture has substantially reduced wetlands (Jiang et al., 2024). The increase in population encourages increasing public demand for aquatic products. Coastal aquaculture activities are an important means of supporting the availability of marine resources that ensure world food security. The Asian region plays an important role in the production of aquaculture in the world. The construction of aquaculture ponds on land is an important route for carbon sequestration greater than aquaculture in the ocean or lakes. The large-scale use of coastal land vegetation has significantly changed the pattern of temporal spacing of land planning in coastal areas. Remote sensing technology is used to effectively monitor the dynamics of coastal aquaculture based on periods. The data used is Landsat images with a long-time duration with a classification method. Data extraction identifies water bodies with a specific algorithm by combining them with the inundation frequency index to eliminate disturbance data. Mapping of the results of satellite imagery allows researchers to identify the distribution area of the aquaculture area.

Sensing technology used to identify area changes in coastal areas for aquaculture uses Landsat data (Jiang et al., 2024). Data processing is currently supported by the Google Earth Engine, allowing researchers to work more effectively and efficiently and supports a wide range of remote sensing analyses across various fields. Further analysis is required for accuracy with actual conditions on the surface. In the process of taking images, satellite images often have cloud covers due to weather conditions. This results in the loss of imagery of the observed area. The process of eliminating cloud interference is an important factor before analysis because the distortion caused will result in less accurate data. The method used in reducing cloud distortion is the use of a special algorithm (image fusion, wavelet transform) that can erase the cloud image due to weather conditions. In addition to this method, a technique is also used to combine several images obtained to fill in gaps or missing surface images so that a perfect surface image is produced. The above approach allows researchers to obtain a complete description of the dynamics of changes in the area of aquaculture land and its impacts. Sensing technology also improves the efficiency of data collection and decision-making capabilities for managing coastal aquatic resources.

Utilization of Remote Sensing in Post-Disaster Recovery for Environmental Damage Assessment

Climate change and worsening weather conditions due to forest fires encourage the need for disaster mitigation and recovery plans for environmental damage. Remote sensing can

provide information about the condition of vegetation in an area on a spatial and temporal scale to overcome the impact of disasters. The approach is carried out using remote sensing data to explore the level of forest land damage in situ (Chatzopoulos-Vouzoglani et al., 2024). Geostationary satellite data provides fire information on an ongoing basis and is used to detect and monitor the impact of forest fires, create variable maps for forest damage observation, and generally use combined satellite imagery to obtain comprehensive coverage (Pitkänen et al., 2024). A model is built to predict variables based on the reflectivity values used to create thematic maps. The main challenge in mapping forest land in the tropics is weather conditions, so clouds will easily cover the image, so further correction is needed before analysis.

In disaster and environmental management, remote sensing can be used for a variety of things, such as monitoring floods, landslides, wildfires, and land cover change. This type of remote sensing application is indicated in the literature reviewed. To improve the accuracy and efficiency of data processing, technologies such as Google Earth Engine (GEE), machine learning, and deep learning are widely used. The use of cloud computing platforms and the integration of data from various sources is the current trend. Nonetheless, there are still some problems. These include a lack of field validation, limited model scalability, and lack of integration of shared risk analysis between disaster types and socio-economic data. In addition, there is still little effort to monitor environmental impacts in the long term. The development of more responsive algorithms, the integration of data from multiple sources, remote sensing-based early warning systems, and easy-to-use cloud applications are upcoming research topics. Weaknesses in feature selection, data validation, and lack of consideration for uncertainty are criticisms of previous research. The impact of climate change, local community participation, and ethical issues of data use are areas that are still underexplored. Future research is expected to answer these issues with the aim of improving environmental resilience and sustainability (Table 2).

Table 2. Literature mapping table.

Topic	Journal
Disaster Mapping	Ashifa et al. (2024), Bjerklie et al. (2023), Casagli et al. (2017), Chatzopoulos-V. et al. (2024), Giardina et al. (2023), Gibson et al. (2020), Jamali et al. (2024), Jin et al. (2024), Kadam et al. (2024), Kumar & Anbalagan (2019), Liang et al. (2024), Mi et al. (2023), Marano et al. (2009), Mason et al. (2021), Nauman et al. (2021), Scaioni et al. (2014), Sharma et al. (2017), Tang et al. (2024), Tamkuan & Nagai (2019), Uehara et al. (2022), Vanama et al.

	(2020), Wang et al. (2024), Welikanna & Jin (2023), Yao & Qiang (2015), Zhang et al. (2023), Zhao et al. (2016)
Environmental Monitoring	Bai et al. (2024), Gao et al. (2021), Nekuie Mouafo et al. (2024), Palagiri et al. (2024), Zhao et al. (2024)
Agriculture & Forestry	Bazzi et al. (2024), Dong et al. (2016), Leppä et al. (2020), Li et al. (2014)
Disaster Risk Reduction	Dube (2019), He (2019), Hinzpeter & Sandholz (2018), Shi et al. (2021)
Land Use & Land Cover	Gómez et al. (2016), Jiang et al. (2024), Li et al. (2024), Liu et al. (2024), Pitkänen et al. (2024)
Technology & Methods	Amani et al. (2020), Cheng et al. (2023), Gorelick et al. (2017), Gupta et al. (2022), Ma et al. (2015)

Forest mapping relies on the area on the surface, with satellite imagery allowing observation over a wider area (Pitkänen et al., 2024). Further spectral analysis is needed to estimate the severity of forest fires. Adaptive algorithms developed with the advantage of distinguishing vegetation with effectiveness, generality, and stability even in areas that experience extreme damage (Jin et al., 2024). The use of Sentinel-2A, WorldView-3, and SPOT-4 satellites provides good spatial resolution for forest fire detection. In addition, detecting image changes in remote sensing for forest fires requires manual steps prone to errors. Currently, more modern methods use AI as a framework for forest estimation and analysis of changes (Zulfiqar et al., 2021). The approach carried out is semantic segmentation in processing satellite images. Automatic feature extraction on forest land cover patterns makes it easier to identify land damage. With the use of Landsat-8, it is possible to distinguish the vegetation index by combining linear and multi-variable regression models so that the estimated age of the forest can be detected (D. Li et al., 2014). Shortwave infrared canals that can detect wetness levels correlated with leaf lifespan can identify forest damage. Observations contain important information indicating changes and potential due to forest fires. Further analysis of changes in vegetation indices from the period before and after a disaster event provides a deep understanding of forest management so that policymakers can decide on strategies for restoring forest ecosystems. In general, integrating satellite data with analysis models will improve the accuracy of forest damage detection and provide information about changes that occur so that impact mitigation efforts can be carried out faster. The Government can

respond quickly and appropriately and formulate countermeasures using accurate data sources. Identifying areas that have suffered severe damage will be easier to find so they can be tackled faster. The integration of remote sensing technology with AI also greatly improves the effectiveness of data processing. This approach encourages opportunities for the Government and communities to restore forest damage to rehabilitate the environment. The use of this technology is not only applicable in the aftermath of a disaster but can be used to mitigate fire disasters in the future.

Floods are natural disasters that occur frequently and their frequency increases from year to year. The impact of floods, including economic and social aspects, is expected to increase along with climate change and global warming. Acquiring accurate and fast data on the extent of flood-affected areas is essential for disaster preparedness and disaster mitigation efforts (Jamali et al., 2024). The remote sensing feature allows observations in flooded areas and assesses the impact without conventional observations. The increasing severity, duration, and frequency of destructive floods and affected infrastructure will be more accessible to assess using remote sensing data. Another developing research is the study of temporal spacing (H. Li et al., 2024), which combines the possibility of urban flooding with urban heat islands that help urban development in developing countries sustainably with limited resources (Jamali et al., 2024). Urban heat islands are related to the number of people in urban areas, which impacts the lack of drainage, so if there is heavy rain for a long period, it will trigger flood disasters in urban areas. Rainfall is a driving factor for runoff (Gao et al., 2021).

Remote sensing using synthetic aperture radar is a tool that can detect flood emergencies (Mason et al., 2021). This technology aims to map flooded areas in rural areas that mostly use open-access Sentinel-1 data and surface models. This data can be used in real-time in global regions. The results obtained from the use of satellite data show an accuracy of 78.5% to 82% for flood detection alone (Vanama et al., 2020). This technology can quickly respond to flood disaster management because its curation is high enough to help the Government plan post-disaster recovery actions. Evacuations can be carried out quickly, and information about the duration and spread of flood disasters can be used to prevent them in the future.

The readiness of various parties to monitor flood events and forecast floods using a forecast-based approach can shift disaster response to pre-disaster preventive measures, thereby minimizing the impact at risk (Nauman et al., 2021). This approach is very beneficial for post-flood recovery. When a disaster occurs, the impact can be minimized, and prevention can reduce physical damage to the environment and maintain the quality of water resources and living things in the affected area. At the time of the event after the disaster, the

observation phase can be used to plan more effective environmental recovery to preserve natural resources in the future. By involving researchers in assessing the impact of floods with remote sensing, the Government can advance disaster preparedness and minimize the impact of flood disasters to create sustainable social and environmental resilience.

Strong earthquakes often trigger seismic landslides in various regions (Wang et al., 2024). The use of remote sensing technology can focus on detecting landslides using satellite image digital data collection techniques. Differences in vegetation index, building index, and soil can be extracted from sentinel-2 imagery and integrated with a digital elevation model to produce an information map of landslide-prone areas in an area (Uehara et al., 2022). This mapping also provides information about areas at risk of landslides so that the Government can set prohibitions for developing these areas. Synthetic aperture radar techniques can detect landslides in smaller spatial areas (Zhao et al., 2016). Synthetic aperture radar has a high resolution so it can be used to identify changes in a limited area in more detail. In addition, landslide vulnerability mapping can also be used to identify slopes that can potentially be unstable (Kumar & Anbalagan, 2019).

This technique is not only used to create a landslide disaster risk map but can also be used as information to monitor the condition of slope changes in each period. The information obtained will be more beneficial for Government decision-making in quick mitigation efforts. In addition, this information is also helpful for environmental recovery after landslide disasters. Identification of affected areas and restoration of areas can be done faster to help restore ecosystems and the environment to reduce future impacts.

Sentinel 1 imagery is used to detect areas damaged by earthquakes by utilizing interferometry coherence (Tamkuan & Nagai, 2019). Detection analysis compares the coherence between events before and after the earthquake and the damaged area. The analysis process using satellite images can describe the visual process of the sequence of earthquake events that migrate progressively (Yao & Qiang, 2015). Remote sensing technology helps to map damage and add insight into the impact of earthquakes for future mitigation. Identifying this earthquake event is difficult even through physical and geological research (Sharma et al., 2017). With the use of radar data, the level of deformation due to low-level earthquake disasters can be known (Welikanna & Jin, 2023). In addition, amplitude and decomposition analysis can identify soil categories and identify soils due to earthquakes (Liang et al., 2024). The analysis helps repair environmental damage due to earthquakes and provides Government input in determining earthquake-prone zones so that the risk of earthquake disasters can be reduced.

Texture-based environmental damage classification methods using SAR data can be used to assess building damage in a high-resolution manner (Giardina et al., 2024). These uneven surface maps are essential for environmental studies (H. Li et al., 2024). The need for rapid evaluation of a large area for areas that have been damaged by soil movement is the main impact that must be considered (Marano et al., 2010). Photogrammetry techniques can also be combined to check field conditions by utilizing unmanned vehicles (UAVs) with lower usual compared to direct field surveys (M. Zhang et al., 2024). The collection and analysis of sensing image data can improve information transfer (Schroeder et al., 2016). The rate of recovery and reconstruction after natural disasters can reflect a country's economic level and its ability to manage disasters (Shi et al., 2021). Rushed impact recovery will give less than optimal results.

The recovery and reconstruction process after an earthquake disaster will improve an accurate understanding of the changes in the affected land cover (Mi et al., 2023). Post-disaster recovery is an important social process. Post-disaster reconstruction can effectively reduce risks and maintain national resilience to achieve long-term stability (Dube, 2020). Research suggests that developing policies and reconstruction plans can increase community satisfaction and support sustainable development (Hinzpeter & Sandholz, 2018). The rebuilding of the affected areas can improve the community's living standards (He, 2019). The redevelopment concept emphasizes the role of non-physical facilities in regional spatial planning, policies, and assessment of damage due to disasters and their mitigation.

CONCLUSIONS

Remote sensing is a field of data analysis that can detect, map, and monitor areas for certain purposes related to the observation of environmental conditions. The use of this technology is rapidly increasing in the handling of natural disasters because it makes it easier to detect, map, and monitor surfaces. Data processing from remote sensing technology requires special technical expertise and has major obstacles in information management, data storage, networking, and geospatial data processing. Along with the advancement of technology, cloud computing platforms make it possible to store data in an efficient way that is re-accessible and visualize it for users. This literature review emphasizes how remote sensing technology is becoming increasingly important in managing environmental damage brought on by Indonesia's natural catastrophes. Climate change has made disasters like forest fires, floods, landslides, and earthquakes more frequent and intense, necessitating the use of efficient monitoring, mitigation, and recovery measures. Remote sensing offers an effective way

to quickly and precisely identify, map, and evaluate impacted areas.

Remote sensing applications can be used for vegetation, disasters, seabed observations, water level observations, and the utilization of cultivated land. Along with the global warming process, climate change will encourage natural disasters due to environmental anomalies. Therefore, there is a need for disaster mitigation and a plan to recover from environmental damage caused by natural disasters. Summarizing current trends and advancements in remote sensing applications for disaster management, with an emphasis on how these technologies aid in environmental recovery, was the aim of this review. Through the use of cloud computing platforms, and satellite imaging, remote sensing innovations have improved data accessibility, collaboration, and actionability beyond geographical boundaries.

In Indonesia, natural disasters that often occur, such as forest fires, floods, landslides, and earthquakes, can cause social and economic losses. Remote sensing technology can be used to compile information related to impacts and efforts that must be made to improve the environment for the preservation of resources in the future. In the case of forest fires, satellite data integration with analysis models will improve the accuracy of environmental damage detection and provide information about changes that occur so that impact mitigation efforts can be carried out faster. The Government can respond properly and appropriately and formulate countermeasures using accurate data sources. Identifying areas that have suffered severe damage will be easier to determine so they can be overcome faster. The integration of remote sensing technology with AI also greatly improves the effectiveness of data processing (Cheng et al., 2023). Furthermore, the review emphasizes the role of remote sensing in shifting disaster management from reactive to proactive through forecast-based monitoring and mitigation strategies. The application of this technology not only aids in post-disaster assessment but also enhances preparedness and reduces future risks.

The readiness of various parties to monitor disaster events and forecast disaster occurrences using a forecast-based approach can shift disaster response to pre-event preventive measures, thereby minimizing risky impacts. This approach is particularly beneficial for post-disaster recovery. When the incident occurs, the impact can be minimized, and prevention can reduce physical damage to the environment and maintain the quality of resources and living things in the affected area. After a disaster, the observation phase can be used to plan environmental recovery. The Government, by involving researchers, can assess the impact of disasters and minimize the effects caused by remote sensing so as to create sustainable social, economic and environmental resilience.

THANK-YOU NOTE

The author would like to thank all parties who have participated in this.

REFERENCE

- 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>
- Ashifa, K. M., Babu, J., Safaei, M., & Arumugam, T. (2024). Environmental Impact Assessment for Spatial Data Analysis in Disaster Management Using Machine Learning Multi-Criteria Resources. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 7(4), 824–834. <https://doi.org/10.1007/s41976-024-00115-1>
- Bai, B., Mu, L., Ma, C., Chen, G., & Tan, Y. (2024). Extreme water level changes in global lakes revealed by altimetry satellites since the 2000s. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103694. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103694>
- Bazzi, H., Ciais, P., Abbessi, E., Makowski, D., Santaren, D., Ceschia, E., Brut, A., Tallec, T., Buchmann, N., Maier, R., Acosta, M., Loubet, B., Buysse, P., Léonard, J., Bornet, F., Fayad, I., Lian, J., Baghdadi, N., Segura Barrero, R., ... Gruenwald, T. (2024). Assimilating Sentinel-2 data in a modified vegetation photosynthesis and respiration model (VPRM) to improve the simulation of croplands CO₂ fluxes in Europe. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103666. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103666>
- Bjerklie, D., Durand, M., Lenoir, J., Dudley, R. W., Birkett, C., Jones, J. W., & Harlan, M. (2023). Satellite remote sensing of river discharge: a framework for assessing the accuracy of discharge estimates made from satellite remote sensing observations. *Journal of Applied Remote Sensing*, 17(01). <https://doi.org/10.1117/1.JRS.17.014520>
- Casagli, N., Frodella, W., Morelli, S., Tofani, V., Ciampalini, A., Intrieri, E., Raspini, F., Rossi, G., Tanteri, L., & Lu, P. (2017). Spaceborne, UAV and ground-based remote sensing techniques for landslide mapping, monitoring and early warning. *Geoenvironmental Disasters*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0073-1>
- Chatzopoulos-Vouzoglani, K., Reinke, K. J., Soto-Berelov, M., & Jones, S. D. (2024). Are fire intensity and burn severity associated? Advancing our understanding of FRP and NBR metrics from Himawari-8/9 and Sentinel-2. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103673. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103673>
- Cheng, X., Sun, Y., Zhang, W., Wang, Y., Cao, X., & Wang, Y. (2023). Application of Deep Learning in Multitemporal Remote Sensing Image Classification. *Remote Sensing*, 15(15), 3859. <https://doi.org/10.3390/rs15153859>
- Dong, J., Xiao, X., Menarguez, M. A., Zhang, G., Qin, Y., Thau, D., Biradar, C., & Moore, B. (2016). Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 185, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.016>
- Dube, E. (2020). The build-back-better concept as a disaster risk reduction strategy for positive reconstruction and sustainable development in Zimbabwe: A literature study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 43, 101401. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101401>
- Gao, J., Jiang, Y., & Anker, Y. (2021). Contribution analysis on spatial tradeoff/synergy of Karst soil conservation and water retention for various geomorphological types: Geographical detector application. *Ecological Indicators*, 125, 107470. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107470>
- Giardina, G., Macchiarulo, V., Foroughnia, F., Jones, J. N., Whitworth, M. R. Z., Voelker, B., Milillo, P., Penney, C., Adams, K., & Kijewski-Correa, T. (2024). Combining remote sensing techniques and field surveys for post-earthquake reconnaissance missions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 22(7), 3415–3439. <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01716-9>
- Gibson, R., Danaher, T., Hehir, W., & Collins, L. (2020). A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using sentinel 2 and random forest. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111702. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111702>
- Gómez, C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
- 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>
- Gupta, D. K., Prashar, S., Singh, S., Srivastava, P. K., & Prasad, R. (2022). Introduction to RADAR remote sensing. In *Radar Remote Sensing* (pp. 3–27). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823457-0.00018-5>
- He, L. (2019). Identifying local needs for post-disaster recovery in Nepal. *World Development*, 118, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.02.005>
- Hinzpeter, K., & Sandholz, S. (2018). Squaring the circle? Integrating environment, infrastructure and risk reduction in Post Disaster Needs Assessments. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 32, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.05.016>
- Jamali, A., Roy, S. K., Hashemi Beni, L., Pradhan, B., Li, J., & Ghamisi, P. (2024). Residual wave vision U-Net for flood mapping using dual polarization Sentinel-1 SAR imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103662. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103662>
- Jiang, Y., Li, J., Zhang, Z., & Li, Y. (2024). Dynamics of coastal land-based aquaculture pond in China and Southeast Asia from 1990 to 2020. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103654. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103654>
- Jin, S., Wang, T., Huang, H., Zheng, X., Li, T., & Guo, Z. (2024). A self-adaptive wildfire detection algorithm by fusing physical and deep learning schemes. *International Journal of Applied Earth Observation*

- and *Geoinformation*, 127, 103671. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103671>
- K, G. B., & K, G. S. (2024). Optomechanics and Sensing Phenomena: An Analysis in Classical-Quantum Relationship. *Comp Opt Photonics*. <https://doi.org/10.17352/cop.000002>
- Kadam, S., Kadam, A., Devale, P., Bandgar, A., Manepatil, R., Kale, R., Gujar, J., Bundeale, C., & Chavan, T. (2024). Improving Earth Observations by correlating Multiple Satellite Data: A Comparative Analysis of Landsat, MODIS and Sentinel Satellite Data for Flood Mapping. *2024 11th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 1581–1587. <https://doi.org/10.23919/INDIACom61295.2024.10498948>
- Kumar, R., & Anbalagan, R. (2019). Landslide susceptibility mapping of the Tehri reservoir rim area using the weights of evidence method. *Journal of Earth System Science*, 128(6), 153. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1159-9>
- Leppä, K., Korkiakoski, M., Nieminen, M., Laiho, R., Hotanen, J.-P., Kieloaho, A.-J., Korpela, L., Laurila, T., Lohila, A., Minkkinen, K., Mäkipää, R., Ojanen, P., Pearson, M., Penttilä, T., Tuovinen, J.-P., & Launiainen, S. (2020). Vegetation controls of water and energy balance of a drained peatland forest: Responses to alternative harvesting practices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295, 108198. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108198>
- Li, D., Ju, W., Fan, W., & Gu, Z. (2014). Estimating the age of deciduous forests in northeast China with Enhanced Thematic Mapper Plus data acquired in different phenological seasons. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083670. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083670>
- Li, H., Yang, D., Zhu, Z., Wei, Y., Zhou, Y., Ishidaira, H., Commey, N. A., & Cheng, H. (2024). Flood Risk Analysis of Urban Agglomerations in the Yangtze River Basin Under Extreme Precipitation Based on Remote Sensing Technology. *Remote Sensing*, 16(22), 4289. <https://doi.org/10.3390/rs16224289>
- Liang, R., Dai, K., Xu, Q., Pirasteh, S., Li, Z., Li, T., Wen, N., Deng, J., & Fan, X. (2024). Utilizing a single-temporal full polarimetric Gaofen-3 SAR image to map coseismic landslide inventory following the 2017 Mw 7.0 Jiuzhaigou earthquake (China). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103657. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103657>
- Liu, Y., Zhou, Y., & Yang, X. (2024). Bathymetry derivation and slope-assisted benthic mapping using optical satellite imagery in combination with ICESat-2. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103700. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103700>
- Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A., & Jie, W. (2015). Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 51, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.future.2014.10.029>
- Marano, K. D., Wald, D. J., & Allen, T. I. (2010). Global earthquake casualties due to secondary effects: a quantitative analysis for improving rapid loss analyses. *Natural Hazards*, 52(2), 319–328. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9372-5>
- Mason, D. C., Dance, S. L., & Cloke, H. L. (2021). Floodwater detection in urban areas using Sentinel-1 and WorldDEM data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15(03). <https://doi.org/10.1117/1.JRS.15.032003>
- Mi, H., Cui, J., Ning, Y., Liu, Y., & Zhu, M. (2023). Post-earthquake recovery monitoring and driving factors analysis of the 2014 Ludian Ms6.5 earthquake in Yunnan, China based on LUCC. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(12), 4991–5007. <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02555-5>
- Nauman, C., Anderson, E., Coughlan de Perez, E., Kruczkiewicz, A., McClain, S., Markert, A., Griffin, R., & Suarez, P. (2021). Perspectives on flood forecast-based early action and opportunities for Earth observations. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15(03). <https://doi.org/10.1117/1.JRS.15.032002>
- Nekuie Mouafo, C. A., Basseka, C. A., Boum Nkot, S. N., Som Mbang, C. M., Njiteu Tchoukeu, C. D., Kengne, Y. S., Tsopkeng, P. B., & Etame, J. (2024). Lineament mapping in the Edea area (Littoral, Cameroon) using remote sensing and gravimetric data: hydrogeological implications. *Journal of Applied Remote Sensing*, 18(03). <https://doi.org/10.1117/1.JRS.18.032402>
- Palagiri, H., Sudardeva, N., & Pal, M. (2024). Application of ESACCI SM product-assimilated to a statistical model to assess the drought propagation for different Agro-Climatic zones of India using copula. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103701. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103701>
- Pitkänen, T. P., Balazs, A., & Tuominen, S. (2024). Automated Sentinel-2 mosaicking for large area forest mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103659. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103659>
- Romero, A., Gatta, C., & Camps-Valls, G. (2016). Unsupervised Deep Feature Extraction for Remote Sensing Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(3), 1349–1362. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2015.2478379>
- Scaioni, M., Longoni, L., Melillo, V., & Papini, M. (2014). Remote Sensing for Landslide Investigations: An Overview of Recent Achievements and Perspectives. *Remote Sensing*, 6(10), 9600–9652. <https://doi.org/10.3390/rs6109600>
- Schroeder, G. N., Steinmetz, C., Pereira, C. E., & Espindola, D. B. (2016). Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange. *IFAC-PapersOnLine*, 49(30), 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.115>
- Sharma, G., Champati ray, P. K., Mohanty, S., & Kannaujiya, S. (2017). Ionospheric TEC modelling for earthquakes precursors from GNSS data. *Quaternary International*, 462, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.007>
- Shi, M., Cao, Q., Ran, B., & Wei, L. (2021). A Conceptual Framework Integrating “Building Back Better” and Post-Earthquake Needs for Recovery and Reconstruction. *Sustainability*, 13(10), 5608. <https://doi.org/10.3390/su13105608>
- Tamkuan, N., & Nagai, M. (2019). SENTINEL-1A ANALYSIS FOR DAMAGE ASSESSMENT: A CASE STUDY OF KUMAMOTO EARTHQUAKE IN 2016. *MATTER: International Journal of Science and Technology*, 5(1), 23–35. <https://doi.org/10.20319/mijst.2019.51.2335>
- Uehara, T. D. T., Sehn Körting, T., Soares, A. dos R., & Quevedo, R. P. (2022). Time-series metrics applied

- to land use and land cover mapping with focus on landslide detection. *Journal of Applied Remote Sensing*, 16(03).
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.16.034518>
- Vanama, V. S. K., Mandal, D., & Rao, Y. S. (2020). GEE4FLOOD: rapid mapping of flood areas using temporal Sentinel-1 SAR images with Google Earth Engine cloud platform. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(03), 1.
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.14.034505>
- Wakayama, T., Hata, K., & Tanaka, H. (1998). *METEOROLOGICAL RADAR SYSTEM*. 19.
<https://patents.google.com/patent/US6018307A/en>
- Wang, X., Wang, X., Zheng, Y., Liu, Z., Xia, W., Guo, H., & Li, D. (2024). GDSNet: A gated dual-stream convolutional neural network for automatic recognition of coseismic landslides. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103677.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103677>
- Welikanna, D. R., & Jin, S. (2023). Investigating ground deformation due to a series of collapse earthquakes by means of the PS-InSAR technique and Sentinel 1 data in Kandy, Sri Lanka. *Journal of Applied Remote Sensing*, 17(01).
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.17.014507>
- Yao, Q., & Qiang, Z. (2015). Thermal infrared anomaly indicating unformed strong earthquake sequences. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 096089.
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.096089>
- Zhang, M., Ren, Y., & Zhou, L. (2024). Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of urban ecological resilience in the Yellow River Basin. *Arid Land Geography*, 47(3), 445–454.
<https://doi.org/10.12118/j.issn.1000-6060.2023.381>
- Zhang, X., Mao, F., Gong, Z., Hannah, D. M., Cai, Y., & Wu, J. (2023). A disaster-damage-based framework for assessing urban resilience to intense rainfall-induced flooding. *Urban Climate*, 48, 101402.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101402>
- Zhao, C., Pan, Y., Ren, S., Gao, Y., Wu, H., & Ma, G. (2024). Accurate vegetation destruction detection using remote sensing imagery based on the three-band difference vegetation index (TBDVI) and dual-temporal detection method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103669.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103669>
- Zhao, C., Zhang, Q., He, Y., Peng, J., Yang, C., & Kang, Y. (2016). Small-scale loess landslide monitoring with small baseline subsets interferometric synthetic aperture radar technique—case study of Xingyuan landslide, Shaanxi, China. *Journal of Applied Remote Sensing*, 10(2), 026030.
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.10.026030>
- Zulfiqar, A., Ghaffar, M. M., Shahzad, M., Weis, C., Malik, M. I., Shafait, F., & Wehn, N. (2021). AI-ForestWatch: semantic segmentation based end-to-end framework for forest estimation and change detection using multi-spectral remote sensing imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 15(02).
<https://doi.org/10.1117/1.JRS.15.024518>

Halaman Ini Sengaja Kami Kosongkan

GIS-BASED LANDSLIDE HAZARD ZONATION MODEL IN HIGHLAND CITY (CASE OF PADANG PANJANG CITY, INDONESIA)

(Model Zonasi Bahaya Longsor Berbasis GIS di Kota Dataran Tinggi
Kasus di Kota Padang Panjang, Indonesia)

Dhanu Sekarjati^{1,2}, Andri NR Mardiah^{1,3}, Eggy Arya Giofandi⁴

¹Amcolabora Institute, Indonesia

²Department of Computer Science, College of Computing, Khon Kaen University, Thailand

³Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS), Indonesia

⁴Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, Fakultas Pertanian, IPB University, Indonesia

E-mail: dhanu.s@kkumail.com

Diterima: 7 Februari 2025; Direvisi :6 Maret 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan: 28 Agustus 2025

ABSTRACT

This study presents a GIS-based landslide hazard zonation model that integrates remote sensing data with key physical parameters influencing landslide occurrence in Padang Panjang City, Indonesia. The methodology involves spatial analysis to assess critical environmental factors, including slope, soil type, rainfall, and land use changes. The dataset comprises DEMNAS for topographic information, CHIRPS rainfall data from two periods (2002–2012 and 2013–2022), and Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI imagery from 2012 to 2022. The analysis begins with a spatial classification of land use changes to identify trends in land cover transformation. Landslide hazard zonation is determined using a multi-criteria weighting method that integrates various physical factors. The model's accuracy is evaluated using the area under the curve (AUC) metric, incorporating historical landslide occurrence data. The results indicate an expansion of cultivated land for community activities. Additionally, within the landslide hazard zones, both low hazard and high hazard categories have shown an increase in area. The accuracy assessment of the landslide hazard zonation model, based on AUC calculations, achieved 95% for the 2012 event data and approximately 92% for the 2022 event data. The analysis delineates three distinct landslide hazard zones, emphasizing the necessity for proactive disaster risk management policies and increased public awareness, particularly in high potential areas. GIS-based landslide hazard zonation serves as a valuable tool for enhancing risk management and spatial planning in upland urban areas, ultimately contributing to the development of safer and more resilient communities.

Kata kunci: landslide hazard model, GIS, remote sensing, physical factors

ABSTRAK

Penelitian ini membahas model zonasi bahaya longsor berbasis SIG, yang mengintegrasikan data penginderaan jauh serta parameter fisik utama yang mempengaruhi terjadinya longsor di Kota Padang Panjang, Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan analisis spasial untuk mengevaluasi faktor lingkungan utama, yaitu kemiringan, jenis tanah, curah hujan, dan perubahan penggunaan lahan. Data yang digunakan mencakup DEMNAS untuk topografi, data curah hujan CHIRPS dalam dua periode (2002-2012 dan 2013-2022), serta citra Landsat Landsat 7 ETM and 8 OLI untuk tahun 2012-2022. Proses analisis diawali dengan kajian perubahan penggunaan lahan yang diklasifikasikan secara spasial untuk mengidentifikasi tren perubahan tutupan lahan. Zonasi bahaya longsor ditentukan dengan metode pembobotan multi-kriteria yang menggabungkan berbagai faktor fisik. Akurasi model diuji menggunakan area under curve (AUC) dengan historis data kejadian longsor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan lahan budidaya yang dimanfaatkan untuk aktivitas masyarakat. Sebaliknya, pada zona bahaya longsor, kategori zona bahaya rendah dan tinggi mengalami peningkatan luasan. Selain itu, penilaian akurasi model zonasi bahaya longsor, yang menggunakan perhitungan area under curve (AUC) untuk data kejadian tahun 2012, mencapai 95%, sedangkan untuk data kejadian tahun 2022, akurasi tersebut berkisar 92%. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh tiga zona bahaya longsor yang berbeda. Perlunya kebijakan manajemen risiko bencana yang proaktif serta peningkatan kesadaran masyarakat terhadap bahaya longsor, terutama di zona dengan potensi tinggi. Zonasi bahaya longsor berbasis GIS memberikan informasi yang penting untuk meningkatkan manajemen risiko dan perencanaan di kawasan perkotaan dataran tinggi, serta berkontribusi pada terciptanya komunitas yang lebih aman dan tangguh.

Keywords: model bahaya longsor, GIS, penginderaan jauh, faktor fisik

INTRODUCTION

Landslides are ranked as the third most significant natural disaster globally regarding their potential to cause catastrophic impacts (Huang et al., 2023). Similar to many other developing countries, Indonesia frequently experiences various natural hazards, including landslides. Besides the extensive Indus alluvial plain, which renders much of the population vulnerable to major floods, Indonesia is characterized by geomorphologically active mountainous terrain (Kanwal et al., 2017). Landslides are particularly common in mountainous areas and are highly destructive to both the environment and human settlements (Gupta et al., 2022). The occurrence and frequency of landslides in a region depend on the interplay between triggering factors and natural conditions. Several phenomena influence slope stability and contribute to landslides, including rainfall, temperature fluctuations, seismic activity, volcanic eruptions, and various human activities (Malka, 2022). Comprehensive regional landslide occurrence data, along with an understanding of the relationship between landslide distribution and influencing factors, are essential for evaluating regional landslide hazard potential and elucidating the role of landslides in landscape evolution (Affandi et al., 2023). Landslide attribution data, which include details about the location, number of events, and spatial distribution of landslides, are critical for ensuring objectivity and accuracy in subsequent research (Regmi & Agrawal, 2022).

Over the past decades, numerous researchers have employed various methods for landslide hazard mapping (LSM) using GIS technology, utilizing both qualitative and quantitative approaches (El Jazouli, Barakat, & Khellouk, 2019; Devara et al., 2021). Landslide hazard maps are vital tools for land management, land-use planning, and reducing landslide-associated costs (Suprpto et al., 2022). Additionally, landslide hazard assessments serve as critical components of early warning system engineering and are foundational for comprehensive landslide hazard and risk assessments (Sharma & Mahajan, 2018). The literature provides extensive evidence of GIS being applied to mass debris research (Tewari & Misra, 2019). Various techniques are utilized to study landslide susceptibility, including empirical, statistical, and deterministic approaches, particularly in large-scale engineering geology projects (Mardiah et al., 2017; Saha et al., 2022).

The high hazard of landslides is not solely attributable to natural factors but is often exacerbated by anthropogenic activities such as rapid urbanization and unregulated land-use changes (Kohno et al., 2022). Urbanization has resulted in the encroachment of steep slopes previously serving as water catchment areas, thereby increasing the risk of erosion and landslides (Fang et al., 2023). Furthermore, deforestation in areas surrounding agricultural and built-up regions

has stripped away vegetation layers that act as natural soil stabilizers, rendering slopes more susceptible to land movement. Without appropriate science-based interventions, this risk will continue to escalate, threatening the safety and livelihoods of local communities (Mardiah, 2021). Geographic Information Systems (GIS) provide an effective solution to these challenges. GIS facilitates the integration of multiple spatial data sources to develop more accurate and detailed hazard zoning models. Addressing spatial problems often involves consideration of numerous criteria and is significantly influenced by the value judgments and uncertainties of investigators (Ullah et al., 2022). To mitigate decision-making imprecision and uncertainty, this study employs a multi-criteria decision-making approach that allows for the consistent representation of subjective perceptions and numerical analyses to mathematically formulate knowledge (Thanh et al., 2022). Landslide risk is influenced not only by physical and environmental factors but also by socio-economic conditions that determine a community's vulnerability and resilience (Pal & Karnjana, 2021). The researchers recognize that factors such as population mobility, population growth, livelihoods, and local community understanding were not included in determining vulnerability zones (Perera et al., 2020). These socio-economic aspects play a crucial role in disaster risk assessment, as they directly influence community resilience and adaptive capacity in landslide-prone areas (Xu et al., 2018).

Padang Panjang City, located in the highlands of West Sumatra, is highly susceptible to landslides due to its steep topography and high annual rainfall (Z. Umar, Pradhan, Ahmad, Jebur, & Tehrani, 2014). As a densely populated urban area situated within a volcanic mountainous landscape, Padang Panjang has experienced multiple landslide events in recent years, resulting in significant disruptions to infrastructure, agricultural productivity, and local livelihoods (Faris & Fawu, 2014). Historical records indicate that landslides frequently occur along major transportation routes, cutting off access between districts and causing economic losses (Purnawan & Khairah, 2021). Furthermore, the combination of rapid urbanization and land-use changes such as deforestation and slope modifications for settlement expansion has exacerbated the risk of slope failures (Johnston et al., 2021). The lack of comprehensive spatial assessments has led to inadequate mitigation measures, leaving many communities vulnerable to landslide hazards (Triyatno et al., 2020). Given these conditions, Padang Panjang is an important case study for developing a GIS-based landslide hazard zoning model, which can help inform sustainable urban planning and disaster preparedness efforts.

The primary objective of this research is to apply a spatial approach, leveraging GIS technology, to produce a landslide hazard map for the highlands of Padang Panjang City, West Sumatra. To achieve this objective, the study

examines key aspects such as land-use changes from 2012 to 2022 and a detailed landslide hazard assessment within the Padang Panjang City area, located in the highlands of Sumatra Island. The landslide hazard zonation model developed in this study has significant implications. Beyond providing a scientific basis for spatial planning, it serves as a decision-support tool for disaster risk mitigation, thereby enhancing preparedness for natural disasters.

METHOD

Study Area

Our case study focuses on one of the cities in the West Sumatra region, located in the highlands of West Sumatra (**Figure 1**). Padang Panjang City is characterized by mountainous topography and high rainfall, making it particularly susceptible to natural disasters, especially landslides. Various human activities, particularly in the land development sector, play a significant role in meeting daily needs. With an elevation of approximately 539 meters above sea level, the area supports thriving horticultural crops and a robust agricultural sector. However, the population size is relatively small compared to typical urbanized areas. Despite being administratively categorized as a city, the population, according to the 2022 census, was recorded at 57,850 people (BPS, 2021).

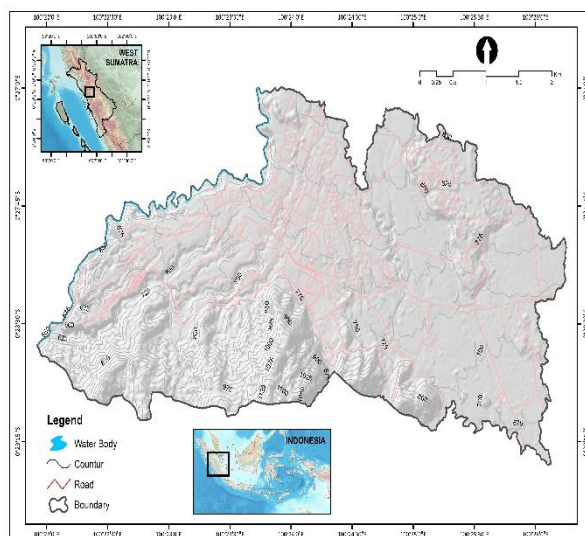


Figure 1. Research location.

Datasets

Measuring landslide movement hazards is crucial for managing hydrometeorology-related disasters and assessing damage risks. Landslide hazards, particularly in upland areas, have significant impacts on urban regions, including infrastructure damage, socio-economic disruption, threats to public safety, and extensive

environmental degradation. A landslide hazard analysis was conducted for the upland areas within the administrative boundaries of Padang Panjang City, Indonesia. This analysis employed four main criteria, encompassing various physical characteristics of landslide-prone environments. The datasets used include the Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) obtained from the Geospatial Information Agency (tanahair.indonesia.go.id), soil type data from the Indonesian Center for Agricultural Land Resources Research and Development (sdip.bsip.pertanian.go.id), and rainfall data categorized into two periods (2002–2012 and 2013–2022) sourced from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) website (www.chc.ucsb.edu). Additionally, Landsat 7 ETM and 8 OLI imagery was retrieved from the United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer platform (earthexplorer.usgs.gov), while event data were recorded by regional disaster management agencies.

Given the varying resolutions and scales of these datasets, the final landslide hazard zonation map was standardized to a spatial resolution of 30 meters, ensuring consistency across all raster-based analyses. The soil type data, initially available as a vector dataset at a scale of 1:50,000, were converted into a raster format within the GIS environment to align with other spatial datasets. To maintain consistency, a resampling process was applied, interpolating the vector data into a 30-meter raster grid. This transformation enabled seamless integration with other raster-based datasets, such as slope, rainfall, and land use. The resampling method was carefully selected to preserve the spatial integrity of the original dataset while minimizing potential distortions, ensuring accuracy in the landslide hazard modeling process.

Similarly, rainfall data, originally available as a raster dataset with a spatial resolution of 1 km, were processed to match the 30-meter resolution used in the final analysis. This adjustment was necessary to maintain consistency across all spatial datasets and facilitate accurate integration within the GIS-based landslide hazard zonation model. The resampling process was performed using bilinear interpolation, a technique that smooths transitions between adjacent pixel values while preserving the spatial gradient of precipitation distribution. This method was chosen to ensure precipitation variability across the study area was accurately represented, minimizing distortions in the downscaled data. By standardizing the resolution of all datasets to 30 meters, this study ensures that all contributing factors including topography, soil type, land use, and rainfall are analyzed at the same spatial scale, thereby enhancing the reliability and accuracy of the final landslide hazard zonation map. The detailed criteria and data sources utilized in the analysis are summarized in **Table 1**.

Table 1. Catalog of datasets applied in the research.

Datasets	Type	Resolution/ Scale	Sources
Incident	Vector	1:1.000	Regional Disaster Management Agency
Slope	Raster	8 meters	Geospatial Information Agency
Soil type	Vector	1:50.000	Indonesian Center for Agricultural Land Resources Research and Development
Rainfall	Raster	1km	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
Land use 2012 and 2022	Raster	30 meters	United States Geological Survey

In GIS-based spatial analysis, the choice of map scale plays a crucial role in determining accuracy and precision. Map-based studies should explicitly declare and discuss the scale used, as not all map scales allow for accurate area calculations. The selected map scale also affects the precision and reliability of spatial analysis, especially when integrating multiple datasets.

The overlay and combination of different maps must consider variations in boundary delineation methods. Climatic maps often rely on interpolation techniques, soil maps are typically interpretative based on landform characteristics, while slope maps are generated using pixel-based calculations. Since these datasets employ different boundary delineation approaches, their direct integration in GIS analysis may introduce inconsistencies. Furthermore, considering the accuracy assessment results based on the Area Under the Curve (AUC) method, it is possible that the obtained accuracy

levels may be coincidental rather than fully representative of actual hazard conditions.

Analysis

The distribution of landslide's potential hazard is the result of a combination of soil movement activities and the unstable hydrological cycle (Afzal et al., 2022). Generally, the disaster occurs bond to the topographical category that is steep to a very deep, and can also be rather steep with open surface cover without a barrier on the surface (Vojteková & Vojtek, 2020). In this study, statistical analysis of the physical characteristics of the potential for landslides was supported by a review of relevant literature and adapted to the conditions of the Padang Panjang City area, West Sumatra. The parameter information used in the study is as follows (**Table 2**):

Table 2. Parameters used in research.

No	Parameters	Sub-parameters	Score	Weight
1	Slope	0-8%	0.02	40%
		8-15%	0.07	
		15-25%	0.15	
		25-40%	0.32	
		>40%	0.45	
2	Type of Soil	Mediterranean	0.30	20%
		Cambisol	0.20	
3	Rainfall (mm/month)	0-100mm	0.40	10%
		100-200mm	0.30	
		>200mm	0.20	
4	Land Use	Forest	0.01	30%
		Paddy Field	0.06	
		Settlement	0.09	
		Mixed Plantation	0.21	
		Dryland farming	0.38	

Source: (Amaluddin et al., 2020)

Findings from landslide hazard zones with sub-parameter factors studied will produce relatively appropriate results in providing disaster spatial information. Where the slope > 25% is prone to landslides, and the mediterranean soil type has soil characteristics that have an influence on the occurrence of landslides in a land (Zhao et al., 2022). Differences in land use types have different impacts on landslides. While climatological factors help accelerate the occurrence of landslides by carrying out soil erosion on the characteristics of open land cover and land with weak tree roots. This will suggest in planning a land use that is safe and reducing the risk from various human activities on the land (Li et al., 2022).

Assessment of Accuracy

The accuracy assessment stage is an essential component of spatial data analysis. This research employs two primary methods for accuracy evaluation: the confusion matrix and the Area Under the Curve (AUC) approach. The AUC method, introduced by Swets (1988), is widely utilized for assessing accuracy in spatial modeling (Swets, 1988). Land use data requires an evaluation of classification accuracy to ensure its applicability for subsequent analysis, particularly in landslide hazard model assessments.

The process begins with the collection of geographical coordinates for land use across

various years, using a total of 400 samples derived from high-resolution imagery. The accuracy of the landslide hazard model is then evaluated using the Receiver Operating Characteristics (ROC) curve. Historical landslide event data was sourced from the archives of the regional disaster management agency, with 37 events recorded up to 2012 and 45 events recorded from 2013 to 2022. Geographical coordinates were collected through field surveys and supplemented with imagery from Google Earth. To enhance the analysis, external tools were incorporated into Python-based machine learning algorithms to generate the AUC values. Finally, the classification results of the landslide hazard model are calculated in this section, with the AUC graph serving as the output to represent the accuracy assessment.

RESULTS

Land use change in 2012-2022

Land use change reflects the dynamics of land utilization influenced by various factors, including population growth, urbanization, and shifts in agricultural practices. In the context of geography and sustainability, analyzing land use change is essential for understanding the environmental, social, and economic impacts of land conversion processes, as well as the implications of hydrometeorological natural disasters (Giofandi et al., 2024).

In 2012, the region was predominantly characterized by forest land and agricultural land, including dryland farming and mixed agriculture. Built-up areas were relatively limited, indicating that the majority of the land was utilized for agricultural activities and the preservation of forest ecosystems. This diverse land use pattern reflects traditional practices that support local sustainability and food security while highlighting potential conflicts between development needs and environmental conservation (Ambarwulan et al., 2023). However, by 2022, a significant transformation in land use distribution had occurred. The region experienced rapid urbanization, as evidenced by a notable increase in built-up areas (marked in red), particularly in the city center and surrounding regions (**Figure 2**). This transition not only signifies economic growth and infrastructure development but also introduces new challenges related to environmental sustainability, such as habitat loss, soil degradation, and increased pressure on water resources

The phenomenon of increasing land use is evident in the drastic reduction of forest areas during this period. In 2012, forests covered 535.58 hectares, but much of this land was converted into built-up areas and other agricultural land by 2022 (**Table 3**). Additionally, mixed agricultural land experienced a decline, while paddy fields showed significant expansion. This reduction in forest and mixed agricultural land highlights increasing pressure on land resources, which can have adverse effects on biodiversity and disrupt the balance of local ecosystems. The growth of paddy fields, attributed to the conversion of dryland and mixed-use areas, illustrates agricultural intensification but also underscores the trade-offs between land conservation and agricultural development. Built-up areas expanded rapidly, covering an additional 422 management to strike a balance between urban development and environmental preservation. These findings underscore the importance of sustainable land use planning to

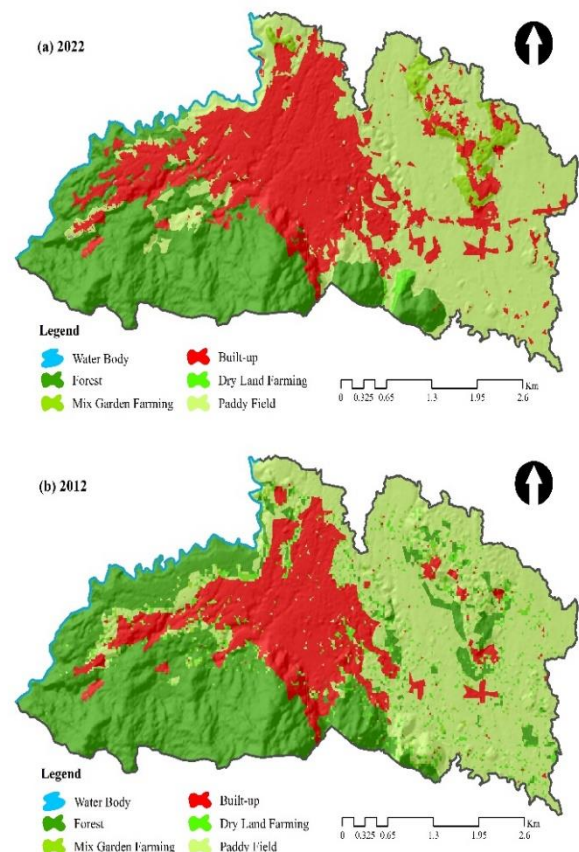


Figure 2. Land use of the research area in (a) 2022, and (b) 2012.

Table 3. Land use changes in the Padang Panjang City for the period 2012-2022.

Category	2012		2022		Change	
	Area (ha)	(%)	Area (ha)	(%)	Area (ha)	(%)
Forest	725	35.04	588	28.42	-137	-6.62
Mixed garden	16	0.77	55	2.66	39	1.88
Dry land farming	98	4.74	8	0.39	-90	-4.35
Paddy field	808	39.05	785	37.94	-23	-1.11
Built-up	422	20.40	633	30.59	211	10.20

Table 4. User accuracy (UA) and producer accuracy (PA) of LULC category for 2012-2022.

Category	2012		2022	
	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)
Forest	95.65	91.67	92.68	97.44
Mixed garden	86.47	88.36	80.00	82.28
Dry land farming	85.71	85.71	88.24	89.36
Paddy field	89.47	96.23	97.92	90.38
Built-up	92.31	85.71	92.86	95.12
Overall Accuracy	92.03	-	94.16	-
Kappa Coefficient	93.07	-	96.24	-

minimize environmental degradation while meeting the needs of the population.

The accuracy assessment stage plays a crucial role in evaluating land use mapping, as it provides insight into how well the classifications derived from remote sensing imagery align with actual ground conditions. For land use analysis in 2012 and 2022, the User Accuracy (UA) and Producer Accuracy (PA) metrics measure the reliability of the classifications and their effectiveness in identifying specific land use types (**Table 4**). These accuracy evaluations were based on 400 samples taken from high-resolution imagery (Google Earth), offering a robust foundation for analysis.

For forest areas, the high UA (95.65%) and PA (91.67%) in 2012 indicate strong classification accuracy, meaning most areas identified as forests were indeed forests in reality. However, by 2022, while the PA improved to 97.44%, the UA slightly declined to 92.68%, suggesting some misclassification between forests and other vegetated areas due to land cover transitions. This shift is consistent with the decreasing forest cover observed in the study, where small forest patches may have been misidentified as mixed agriculture or degraded land due to spectral similarities in satellite imagery.

The classification of mixed agricultural land posed a greater challenge, as indicated by lower UA (86.47%) and PA (88.36%) in 2012, which further declined in 2022 (UA: 80.00%, PA: 82.28%). This reduction highlights increasing classification ambiguity, likely due to overlapping spectral characteristics between different agricultural types (e.g., mixed cropping and dryland farming). The fragmentation of agricultural landscapes and seasonal land use variability may have contributed to classification inconsistencies, requiring more refined spectral differentiation techniques in future studies.

The paddy field classification exhibited consistent improvements, with UA increasing from 89.47% in 2012 to 97.92% in 2022, while PA slightly decreased from 96.23% to 90.38%. This indicates that the classification process became more

effective in correctly identifying paddy fields, but some areas may have been misclassified as wetlands or agricultural fields due to seasonal water fluctuations. Given that paddy fields expanded significantly during the study period, maintaining classification accuracy is essential for analyzing agricultural land use impacts on hydrological dynamics.

Built-up areas demonstrated reliable classification accuracy, with UA of 92.31% and PA of 85.71% in 2012, improving to UA of 92.86% and PA of 95.12% in 2022. The increase in PA suggests better identification of urbanized regions, while consistent UA values confirm that most built-up areas were accurately detected. However, slight misclassifications may have occurred between urban and industrial land uses, requiring further refinement in classification algorithms to distinguish between different types of built environments.

The overall classification accuracy improved from 92.03% in 2012 to 94.16% in 2022, with the Kappa coefficient increasing from 93.07 to 96.24, indicating a high level of agreement between classified land use types and reference data. These improvements reflect advancements in data processing techniques, the use of high-resolution reference samples, and refined classification methods, making the land use dataset a reliable basis for landslide hazard assessment.

Landslide Hazard Model

The parameters used in this assessment include slope, soil type, monthly rainfall, and land use (**Figure 3**). A thorough understanding of these parameters facilitates decision-making related to risk mitigation, spatial planning, and environmental preservation (Mersha & Meten, 2020). Data collected over different periods, such as rainfall data from 2002–2012 and 2013–2022, as well as land use data from 2012 and 2022, provide a comprehensive overview of the changes occurring in the study area.

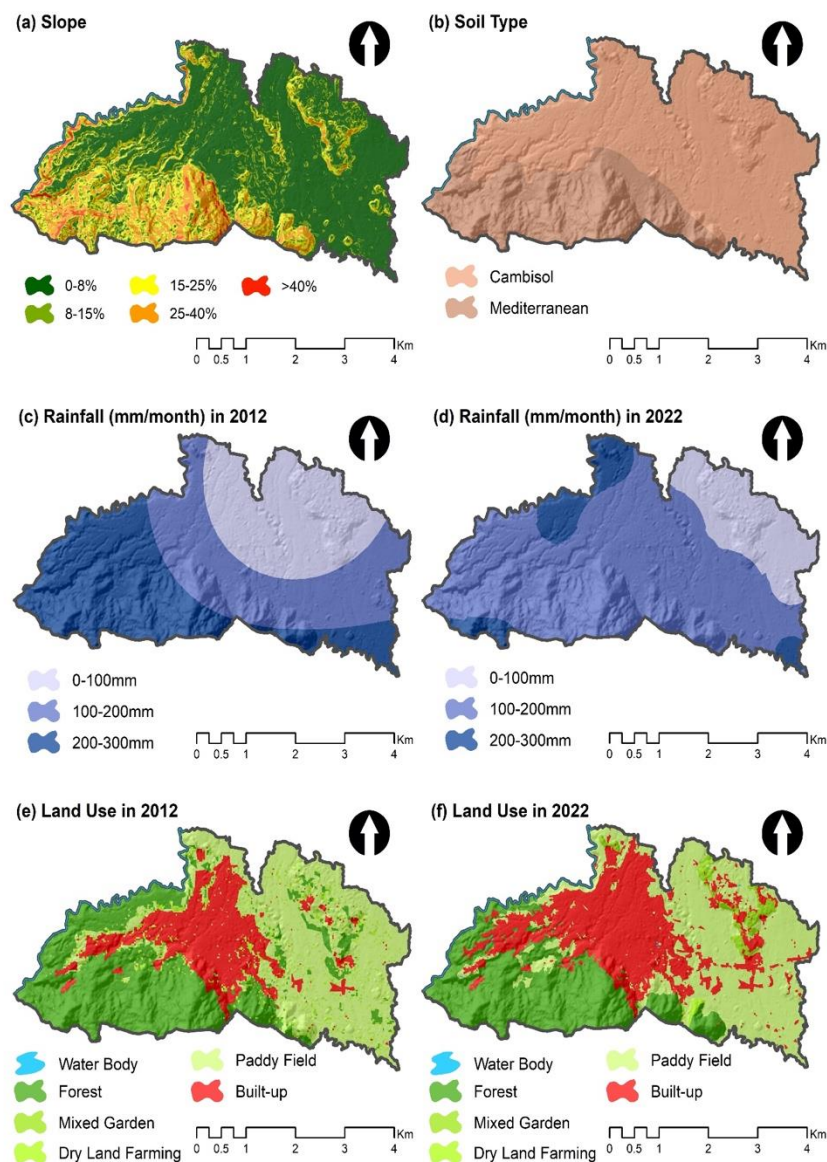


Figure 3. The parameters used in the study include (a) slope; (b) soil type; (c) rainfall in 2012; (d) rainfall in 2022, (e) land use in 2012, and (f) land use in 2022.

In landslide studies, hazard refers to the probability of landslide occurrence based on physical factors such as slope, soil type, and rainfall. However, landslide hazard potential is influenced by the interaction of these physical factors with environmental changes, particularly land use modifications. The slope parameter reveals that most of the area falls within the 0–8° slope category, which accounts for 54.57% of the total area (**Table 5**). This indicates that relatively flat slopes have a lower potential for landslide hazards. Conversely, the 8–15° and 15–25° slope categories account for 15.66% and 15.47%, respectively, suggesting a moderate hazard of landslides in these steeper areas. However, the more extreme slope categories, such as 25–40° and above 40°, represent smaller proportions of 12.71% and 1.59%, respectively. This finding indicates that although there are high-hazard areas, most of the region does not have sufficient slope steepness to significantly increase landslide hazard potential.

The analysis of soil types is also critical in landslide hazard assessments. According to the data, Cambisols dominate, covering 67.86% of the area, while Mediterranean soils account for 32.14%. Cambisols, known for their favorable physical and chemical properties for agriculture, may contribute to landslide hazard potential if not managed appropriately, particularly on steep slopes. Thus, understanding these soil types is essential for planning effective mitigation measures.

Monthly rainfall data indicate significant differences between the 2002–2012 and 2013–2022 periods. During the 2002–2012 period, rainfall in the 200–300 mm range accounted for 42.19%, highlighting a high frequency of rainfall capable of triggering landslides. In contrast, during the 2013–2022 period, the 100–200 mm range dominated, comprising 71.77%, indicating a shift in rainfall patterns. The decrease in extreme rainfall events (0–100 mm) during the latter period suggests a potential reduction in landslide hazard potential.

Table 5. Area and percentage of parameters in research.

No	Parameters	Categories	Area (ha)	Percentage (%)
1	Slope (%)	0-8	1,129	54.57
		8-15	324	15.66
		15-25	320	15.47
		25-40	263	12.71
		>40	33	1.59
2	Type of Soil	Mediterranean	665	32.14
		Cambisol	1,404	67.86
3	Rainfall (mm/month) in 2002-2012	0-100mm	374	18.08
		100-200mm	1,485	71.77
		200-300mm	210	10.15
4	Rainfall (mm/month) in 2013-2022	0-100mm	374	18.08
		100-200mm	1,485	71.77
		200-300mm	210	10.15
5	Land Use in 2012	Forest	657	31.75
		Mixed Plantation	60	2.90
		Dryland Farming	433	20.93
		Paddy Fields	8	0.39
		Settlement	905	43.74
		Water Body	6	0.29
6	Land Use in 2022	Forest	657	31.75
		Mixed Plantation	60	2.90
		Dryland Farming	433	20.93
		Paddy Fields	8	0.39
		Settlement	905	43.74
		Water Body	6	0.29

In the context of landslide studies, risk is a function of hazard, vulnerability, and capacity. Hazard refers to the probability of landslide occurrence based on physical factors such as slope, rainfall, and soil type. Vulnerability, on the other hand, describes the susceptibility of elements at risk (e.g., populations, infrastructure, and ecosystems) to the impacts of a landslide (He et al., 2024). Capacity represents the ability to mitigate or adapt to these hazards through structural and non-structural measures (Broquet et al., 2024). When a region experiences increased hazard potential such as high rainfall variability without adequate mitigation measures to reduce vulnerability, the overall landslide risk increases (Ceccato et al., 2024). Therefore, although fluctuations in rainfall patterns may not directly translate to an immediate increase in hazard, they can influence the frequency and intensity of landslides over time, particularly in areas with high vulnerability and low adaptive capacity. However, significant fluctuations in rainfall still pose a hazard, emphasizing the importance of continuous monitoring. Land use changes between 2012 and 2022 have likely influenced landslide hazards. In 2012, forests covered 35.04% of the area, but by 2022, this had decreased to 28.42%.

Conversely, settlement areas increased significantly from 20.40% to 30.59% over the same period. The reduction in forest area heightens landslide hazard potential due to the loss of vegetation that stabilizes soil. Additionally, the decline in dry agricultural land and the increase in mixed land use reflect a shift in land use patterns that may affect soil stability.

Based on the analysis of parameters influencing landslide hazards, it is evident that the combination of slope, soil type, rainfall, and land use changes significantly contributes to the potential for landslides in the area. The reduction in forest cover and the expansion of settlement areas are particularly concerning in terms of landslide hazard mitigation. Furthermore, changes in rainfall patterns over time underscore the importance of data-driven mitigation planning. A comprehensive understanding of these environmental changes is crucial for identifying areas at high hazard of landslides (Dai et al., 2022). Considering these parameters, the next step is to conduct landslide hazard zonation, which will classify and map areas with varying degrees of landslide hazard across the study area.

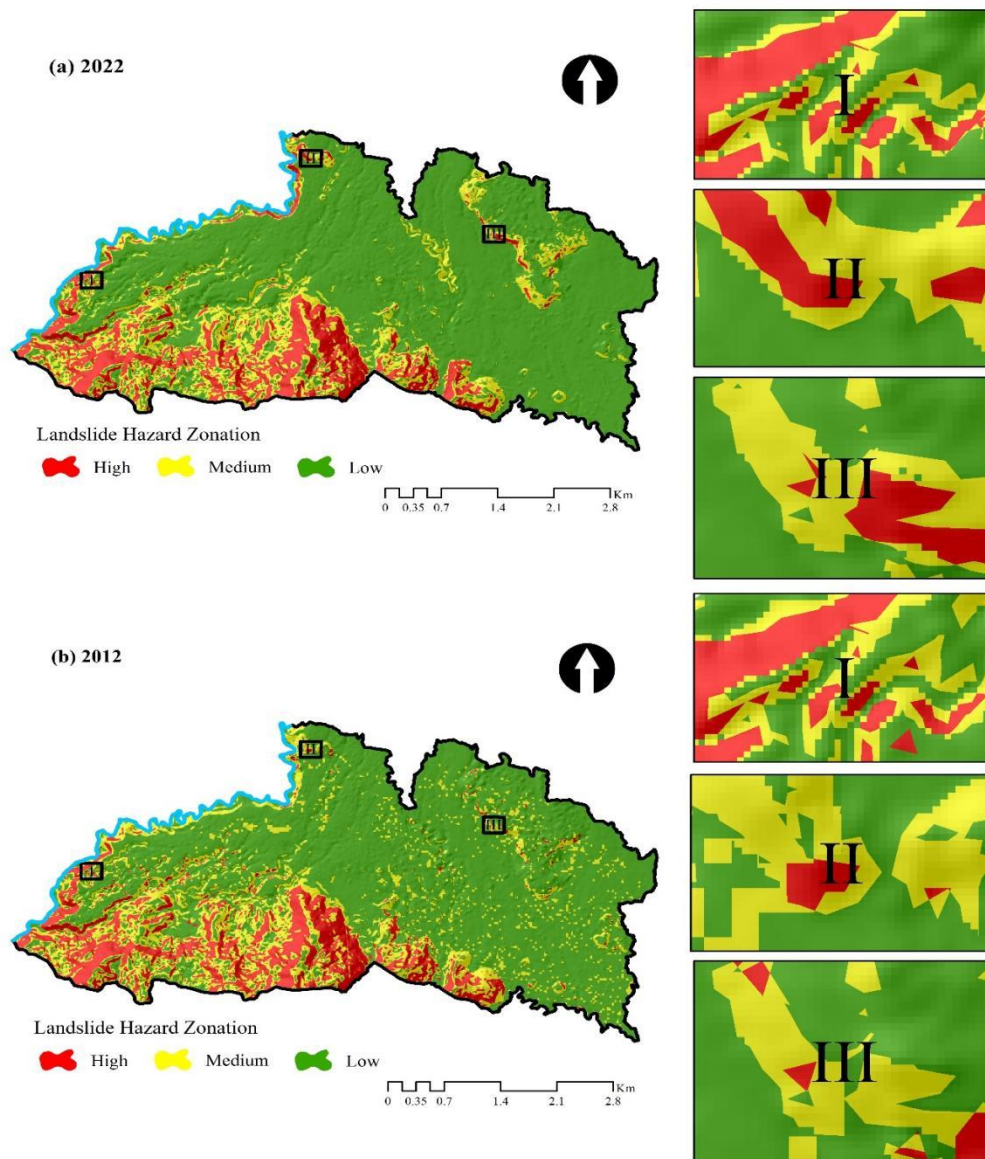


Figure 4. Landslide hazard zone in Padang Panjang City in (a) 2012, and (b) 2022

Table 6. Area and percentage of parameters in research.

Category	Area (ha)		Percentage (%)	
	2012	2022	2012	2022
High	281	301	13.58	14.55
Medium	406	341	19.62	16.48
Low	1,382	1,427	66.80	68.97

Landslide hazard zonation, based on parameters such as slope, soil type, rainfall, and land use, provides a systematic perspective on areas vulnerable to disasters. Data from 2012 and 2022 illustrate changes in landslide hazard zonation, reflecting environmental dynamics that may affect regional stability (**Figure 4**). The landslide hazard zonation mapping was conducted by integrating multiple spatial parameters, including slope, soil type, rainfall, and land use. Given the scale and resolution of the available data, a generalization process was applied to ensure consistency and accuracy in the delineation of hazard zones. This process involved smoothing and

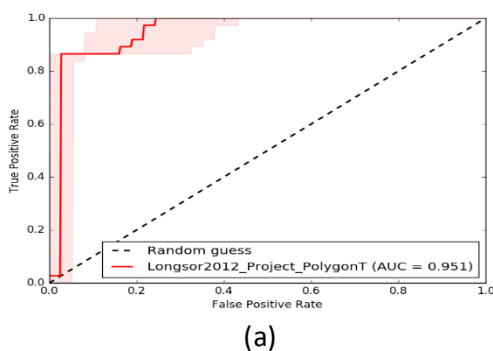
aggregating smaller hazard patches that may have resulted from high resolution spatial variations, preventing over fragmentation in hazard classification (Reichenbach et al., 2018).

Additionally, the mapping scale influenced the level of detail in hazard classification, where finer-resolution data would potentially yield more fragmented zonation (Shano et al., 2020). However, the adopted methodology ensures that the final hazard zonation represents a balanced interpretation between detail and practical usability, minimizing excessive complexity while maintaining spatial accuracy.

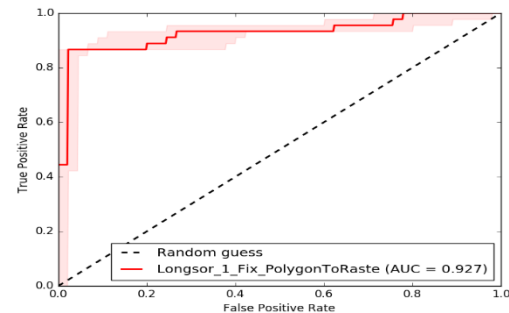
In 2012, areas classified as having a high landslide hazard accounted for 13.58% of the total area (**Table 6**). Although the overall change in landslide hazard zonation appears to be less than 5%, this variation still holds significance from a hazard management perspective. Even minor increases in high hazard zones may indicate localized environmental degradation, particularly in areas undergoing deforestation and urban expansion (Depicker et al., 2021). Additionally, small changes in hazard classification can have substantial implications for communities, infrastructure planning, and early warning systems. Therefore, while the numerical percentage change is relatively low, its spatial distribution and underlying causes warrant further attention in landslide hazard mitigation strategies.

These zones typically include regions with steep slopes, erosion-prone soil types, and high rainfall. The medium hazard zone covered 19.62%, while the low hazard zone dominated at 66.80%. In landslide studies, hazard and risk are distinct yet interconnected concepts. Landslide hazard refers to the probability of a landslide occurring in a specific area, based on physical and environmental factors such as slope, soil type, and rainfall. However, risk is a function of both hazard and vulnerability, where vulnerability encompasses exposure and the inability of affected elements (e.g., infrastructure, population, and ecosystems) to cope with or recover from landslide impacts (Shah et al., 2023). Thus, even in areas classified as low hazard zones, risk can still be significant if the vulnerability is high, such as in densely populated settlements or regions with inadequate mitigation measures. The large proportion of low hazard zones suggests that a substantial portion of the area experiences relatively low landslide hazard potential.

In 2022, the high landslide hazard zone expanded to 14.55%, reflecting an increase in high hazard areas. This growth is attributed to land use changes, such as reduced forest cover and increased settlement areas, which exacerbate the potential hazard of landslides. The medium hazard zone decreased to 16.48%, while the low hazard zone rose to 68.97%. The increase in low-hazard zones suggests that mitigation measures, such as vegetation restoration or erosion control, may have been implemented to reduce landslide potential.



(a)



(b)

Figure 5. Area under curve landslide hazard zone in (a) 2012, and (b) 2022.

The accuracy of landslide hazard zonation mapping is another important indicator of the reliability of zoning results. In 2012, the mapping accuracy reached 95%, indicating that most of the hazard classifications aligned with actual field conditions (**Figure 5**). This accuracy slightly decreased to 92% in 2022, remaining within the excellent category. The decline may be attributed to increasingly dynamic changes in rainfall patterns and land use, which could affect zonation classification results. The integration of landslide hazard parameter analysis—including slope, soil type, rainfall, and land use changes—with landslide hazard zonation offers a comprehensive view of landslide hazard potential within the area. The slight increase in high hazard zones by 2022 underscores the urgency for more intensive mitigation efforts.

DISCUSSION

Landslide hazard zoning is a highly important tool for planning and disaster mitigation in landslide-prone regions. By using a GIS approach, landslide hazard mapping enables the identification of areas most vulnerable to landslide threats (Aydin et al., 2022). The use of GIS also offers advantages in accurate and efficient spatial visualization, which greatly assists stakeholders in making data-driven decisions (Liu et al., 2022). This model can integrate various environmental parameters such as slope gradient, soil type, land use, and rainfall to produce comprehensive zoning maps. Its application allows for the integration of data from multiple sources, making it a highly effective tool for developing prevention and mitigation strategies (Nohani et al., 2019).

Landslide hazard zoning specifically focuses on identifying areas susceptible to landslides based on physical and environmental factors, without directly accounting for social vulnerability or coping capacity (Pourghasemi et al., 2018). Understanding this distinction is crucial for effective disaster reduction strategies, as risk assessment requires an integrated approach that includes vulnerability analysis and capacity building (Nanehkaran et al., 2023).

The results of landslide hazard zoning have significant implications for urban spatial planning.

Padang Panjang City, as a highland area, faces major challenges in disaster management. This zoning maps high hazard, medium hazard, and low hazard areas, providing critical input for local governments in regulating development. For example, high hazard areas should ideally be designated as conservation zones or allocated for low hazard uses, such as protected forests or green zones. Meanwhile, low hazard areas are more suitable for infrastructure development and residential expansion. In other words, this zoning helps align spatial plans with natural realities and potential disaster, enabling sustainable development.

Landslide hazard mapping also plays a crucial role in enhancing disaster preparedness. By delineating hazard prone areas, this mapping allows decision makers to prioritize mitigation efforts and allocate resources efficiently (Sun et al., 2022). High hazard zones can be targeted for early warning systems, slope stabilization projects, and community-based disaster risk reduction programs (Zeng et al., 2021). Additionally, hazard maps provide essential information for land use planning, ensuring that new developments do not encroach on unstable areas (Tjahjono et al., 2024). By integrating hazard zoning into policy frameworks, local governments can strengthen resilience and minimize potential losses.

Landslide hazard zoning models must also consider social and economic dimensions. Areas identified as high-risk zones require greater attention in the form of mitigation policies, such as restrictions on development, relocation of residents living in vulnerable areas, or stricter enforcement of environmental regulations (Firmansyah et al., 2019). Additionally, educating communities living in high-risk areas is crucial to raising awareness of potential disasters and preventive measures (Ahyuni et al., 2022). This will reduce material and non-material losses that may arise from disasters. On the other hand, governments can also use this zoning to design sustainable economic development policies while prioritizing community safety and well-being (Umar et al., 2019).

Furthermore, the GIS-based approach to landslide hazard modeling emphasizes the importance of environmental dynamics in the zoning process (Xiong et al., 2017). Changes in land use, forest degradation, or increased rainfall due to climate change can affect soil stability and increase landslide hazard potential. Therefore, it is essential to regularly update zoning data to reflect the latest conditions. This zoning provides a scientific basis for more adaptive and hazard-based spatial policies, which are crucial in disaster-prone areas. Additionally, it plays a vital role in supporting environmental conservation by designating conservation areas in high-risk zones (Diva et al., 2018). At the same time, it helps direct development to safer areas, ensuring a balance between development and environmental protection (Muzani et al., 2021). Through this approach, Padang

Panjang City can manage landslide zoning more effectively and achieve sustainable, disaster-resilient development. Thus, hazard is not static but evolves with environmental and anthropogenic changes (Berhane et al., 2021). While hazard zoning identifies areas with potential instability, risk can escalate over time if vulnerability factors such as population density, unplanned urbanization, and lack of mitigation infrastructure are not addressed (Zhang et al., 2021).

Researchers acknowledge that this study has limitations in the application of variables and other assessment elements. In terms of information, the insights drawn from this study focus on assessing landslide-prone zones in relation to human activities. This disaster assessment factor is one of the key points in determining high hazard characteristics in Padang Panjang City. This raises challenges in data resolution, socio-economic activities of the community, and the need for spatial data standardization to produce renewable information. It is hoped that future research will consider aspects not included in this study and incorporate environmentally friendly technological solutions to monitor ground movements in real time and with greater accuracy.

CONCLUSION

The conclusion of this study emphasizes the importance of applying a GIS-based landslide hazard zoning model in managing landslide potential in highland areas. This zoning serves as a hazard-based decision-making tool that helps minimize economic and social losses due to disasters. Furthermore, the study also highlights the need for disaster mitigation policies that are not only reactive but also proactive. Landslide hazard zoning should be considered in all spatial planning policies and infrastructure development. Public awareness of landslide zonation is also a crucial part of the mitigation strategy, where educating the community on preventive actions is essential. Through the integration of technology and data-driven policies, it is expected that landslide hazard potential can be managed more efficiently, creating a safer environment, and ensuring the welfare of the community in the future.

REFERENCES

- Affandi, E., Ng, T. F., & Pereira, J. J. (2023). Integration of Geoscience Information for Disaster Resilience in Kuala Lumpur, Malaysia. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/app13127004>
- Afzal, N., Ahmad, A., Shirazi, S. A., Younes, I., & Ha, L. T. T. (2022). GIS-based Landslide Susceptibility Mapping using Analytical Hierarchy Process: A Case Study of Astore Region, Pakistan. *EQA - International Journal of Environmental Quality*, 48(2), 27–40. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/12600>
- Ahyuni, Susetyo, B. B., Diva, I. H., Mar'ah, Z., Nur, H., Nofrizal, A. Y., & Aziz, A. (2022). Landslides

- Susceptibility Mapping in R Program (Case Study in Lima Pulu Kota Regency). *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 18(2), 271–282. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v18n2.2534>
- Amaluddin, L. O., Musyawah, R., Ili, L., & Tanjung, A. (2020). Utilization of Geographic Information Systems (GIS) for Mapping Landslide Prone Areas in Kendari City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 412(1), 1–14. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/412/1/012021>
- Ambarwulan, W., Yulianto, F., Widiatmaka, W., Rahadiati, A., Tarigan, S. D., Firmansyah, I., & Hasibuan, M. A. S. (2023). Modelling land use/land cover projection using different scenarios in the Cisadane Watershed, Indonesia: Implication on deforestation and food security. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26(2), 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.04.002>
- Aydin, M. C., Birincioğlu, E. S., & Aydin Büyüksaraç. (2022). Landslide Susceptibility Mapping in Bitlis Province using GIS-based AHP method. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(2), 160–171. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1119723>
- Berhane, G., Kebede, M., & Alfarrah, N. (2021). Landslide susceptibility mapping and rock slope stability assessment using frequency ratio and kinematic analysis in the mountains of Mgulat area, Northern Ethiopia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(1), 285–301. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01905-9>
- BPS. (2021). *Hasil Sensus Penduduk 2020 Kota Padang Panjang*.
- Broquet, M., Cabral, P., & Campos, F. S. (2024). What ecological factors to integrate in landslide susceptibility mapping? An exploratory review of current trends in support of eco-DRR. *Progress in Disaster Science*, 22(April). <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100328>
- Ceccato, F., Yerro, A., & Di Carluccio, G. (2024). Simulating landslides with the material point method: Best practices, potentialities, and challenges. *Engineering Geology*, 338(June), 107614. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107614>
- Dai, Y., Bai, X., Nie, G., & Huangfu, G. (2022). A rapid assessment method for earthquake-induced landslide casualties based on GIS and logistic regression model*. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 222–248. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.2017022>
- Depicker, A., Govers, G., Jacobs, L., Campforts, B., Uwihirwe, J., & Dewitte, O. (2021). Interactions between deforestation, landscape rejuvenation, and shallow landslides in the North Tanganyika-Kivu rift region, Africa. *Earth Surface Dynamics*, 9(3), 445–462. <https://doi.org/10.5194/esurf-9-445-2021>
- Devara, M., Tiwari, A., & Dwivedi, R. (2021). Landslide susceptibility mapping using MT-InSAR and AHP enabled GIS-based multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 675–693. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1887939>
- Diva, I. H., Irwanto, U., Nizam, K., Annur, L., Sekarjati, D., Putra, B. G., ... Abe, A. (2018). Investigation Volcanic Land Form and Mapping Landslide Potential at Mount Talang. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, 2(1), 16. <https://doi.org/10.24036/sjdgge.v2i1.130>
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0119-7>
- Fang, K., Tang, H., Li, C., Su, X., An, P., & Sun, S. (2023). Centrifuge modelling of landslides and landslide hazard mitigation: A review. *Geoscience Frontiers*, 14(1), 101493. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101493>
- Faris, F., & Fawu, W. (2014). Investigation of the initiation mechanism of an earthquake- induced landslide during rainfall: a case study of the Tandikat landslide, West Sumatra, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*, 1(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40677-014-0004-3>
- Firmansyah, Syarifudin, D., & Rohjan, J. (2019). The Risk Assessment of Multi Hazard Area: A Case of Mitigation Consider in Spatial Planning of Bukittinggi City. *Indonesian Journal of Geography*, 51(3), 304–323. <https://doi.org/10.22146/ijg.33298>
- Giofandi, E. A., Tjahjono, B., & Rachman, L. M. (2024). Understanding the impact of land use change on urban flood susceptibility mapping assessment: A review. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(3), 6025–6035. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.113.6025>
- Gupta, N., Pal, S. K., & Das, J. (2022). GIS-based evolution and comparisons of landslide susceptibility mapping of the East Sikkim Himalaya. *Annals of GIS*, 28(3), 359–384. <https://doi.org/10.1080/19475683.2022.2040587>
- He, R., Zhang, W., Dou, J., Jiang, N., Xiao, H., & Zhou, J. (2024). Application of artificial intelligence in three aspects of landslide risk assessment: A comprehensive review. *Rock Mechanics Bulletin*, 3(4), 100144. <https://doi.org/10.1016/j.rockmb.2024.100144>
- Huang, W., Ding, M., Li, Z., Yu, J., Ge, D., Liu, Q., & Yang, J. (2023). Landslide susceptibility mapping and dynamic response along the Sichuan-Tibet transportation corridor using deep learning algorithms. *Catena*, 222(December 2022), 106866. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106866>
- Johnston, E. C., Davenport, F. V., Wang, L., Caers, J. K., Muthukrishnan, S., Burke, M., & Diffenbaugh, N. S. (2021). Quantifying the Effect of Precipitation on Landslide Hazard in Urbanized and Non-Urbanized Areas. *Geophysical Research Letters*, 48(16), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2021GL094038>
- Kanwal, S., Atif, S., & Shafiq, M. (2017). GIS based landslide susceptibility mapping of northern areas of Pakistan, a case study of Shigar and Shyok Basins. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 348–366. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1220023>
- Kohn, M., Higuchi, Y., & Ono, Y. (2022). Evaluating earthquake-induced widespread slope failure hazards using an AHP-GIS combination. *Natural Hazards*, 112(1), 10123456789. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05725-w>
- Li, L., Xu, C., Yao, X., Shao, B., Ouyang, J., Zhang, Z., & Huang, Y. (2022). Large-scale landslides around the reservoir area of Baihetan hydropower station in Southwest China: Analysis of the spatial distribution. *Natural Hazards Research*, 2(3), 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.07.002>
- Liu, Y., Yuan, A., Bai, Z., & Zhu, J. (2022). GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and index of entropy models for She County of Anhui Province, China. *Applied Rheology*, 32(1),

- 22–33. <https://doi.org/10.1515/arh-2022-0122>
- Matka, A. (2022). GIS-based landslide susceptibility modelling in ur-banized areas : a case study of the Tri-City in Poland. *GeoHazards*, 3, 1–23.
- Mardiah, A. N. (2021). Planning Theory: Schools of Thought and Practices of Regional Development Planning. *The Journal of Indonesia Sustainable Development Planning*, 2(2), 214–216. <https://doi.org/10.46456/jisdep.v2i2.176>
- Mardiah, A. N. R., Lovett, J. C., & Evanty, N. (2017). Toward Integrated and Inclusive Disaster Risk Reduction in Indonesia: Review of Regulatory Frameworks and Institutional Networks. In *Disaster Risk Reduction in Indonesia*.
- Mersha, T., & Meten, M. (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00155-x>
- Muzani, Setianingsih, A. I., & Wahyudi, S. S. (2021). Analysis of the Cause Landslide Disaster in Sukabumi, Indonesia (Using Analytical Hierarchy Process). *Journal of Southwest Jiaotong University*, 56(1), 13–23.
- Nanehkaran, Y. A., Chen, B., Cemiloglu, A., Chen, J., Anwar, S., Azarafza, M., & Derakhshani, R. (2023). Riverside Landslide Susceptibility Overview: Leveraging Artificial Neural Networks and Machine Learning in Accordance with the United Nations (UN) Sustainable Development Goals. *Water (Switzerland)*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/w15152707>
- Nohani, E., Moharrami, M., Sharafi, S., Khosravi, K., Pradhan, B., Pham, B. T., ... Melesse, A. M. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Using Different GIS-Based Bivariate Models. *Water*, 11(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/w11071402>
- Pal, I., & Karnjana, J. (2021). Factoring multi-hazard risk perception in risk assessment and reduction measures in landslide and flash flood prone areas – a case study of sichon district, nakhon si thammarat province, thailand. *Journal of Disaster Research*, 16(4), 571–578. <https://doi.org/10.20965/JDR.2021.P0571>
- Perera, E. N. C., Jayawardana, D. T., Ranagalage, M., Dissanayake, D. M. S. L. B., & Wijenayaka, H. M. D. S. (2020). Introduce a framework for landslide risk assessment using geospatial analysis: a case study from Kegalle District, Sri Lanka. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2415–2431. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00811-z>
- Pourghasemi, H. R., Teimoori Yansari, Z., Panagos, P., & Pradhan, B. (2018). Analysis and evaluation of landslide susceptibility. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(9).
- Purnawan, & Khairah, M. (2021). Traffic management at landslide disaster in West Sumatera and its impact to passenger and drivers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 708(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/708/1/012047>
- Regmi, A. D., & Agrawal, N. (2022). A simple method for landslide risk assessment in the Rivière Aux Vases basin, Quebec, Canada. *Progress in Disaster Science*, 16(May), 100247. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100247>
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180(March), 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Saha, A., Villuri, V. G. K., & Bhardwaj, A. (2022). Development and Assessment of GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Models Using ANN, Fuzzy-AHP, and MCDA in Darjeeling Himalayas, West Bengal, India. *Land*, 11(10), 1–27. <https://doi.org/10.3390/land11101711>
- Shah, N. A., Shafique, M., Ishfaq, M., Faisal, K., & Van der Meijde, M. (2023). Integrated Approach for Landslide Risk Assessment Using Geoinformation Tools and Field Data in Hindukush Mountain Ranges, Northern Pakistan. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043102>
- Shano, L., Raghuvanshi, T. K., & Meten, M. (2020). Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0>
- Sharma, S., & Mahajan, A. K. (2018). Comparative evaluation of GIS-based landslide susceptibility mapping using statistical and heuristic approach for Dharamshala region of Kangra Valley, India. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s40677-018-0097-1>
- Sun, D., Gu, Q., Wen, H., Shi, S., Mi, C., & Zhang, F. (2022). A Hybrid Landslide Warning Model Coupling Susceptibility Zoning and Precipitation. *Forests*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/f13060827>
- Suprpto, F. A., Juanda, B., Rustiadi, E., & Munibah, K. (2022). Study of Disaster Susceptibility and Economic Vulnerability to Strengthen Disaster Risk Reduction Instruments in. *Land*, 11(2014), 1–23.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, 240, 1285–1293. <https://doi.org/10.1002/9781118341544.ch5>
- Tewari, N. K., & Misra, A. K. (2019). Landslide vulnerability assessment in Gangotri valley glacier Himalaya through GIS and remote sensing techniques. *Applied Water Science*, 9(4), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0992-y>
- Thanh, L. N., Fang, Y. M., Chou, T. Y., Hoang, T. Van, Nguyen, Q. D., Lee, C. Y., ... Lin, Y. C. (2022). Using Landslide Statistical Index Technique for Landslide Susceptibility Mapping: Case Study: Ban Khoang Commune, Lao Cai Province, Vietnam. *Water (Switzerland)*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/w14182814>
- Tjahjono, B., Firdania, I., & Trisasongko, B. H. (2024). Modeling Landslide Hazard Using Machine Learning: A Case Study of Bogor, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 14(2), 407–414. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.2.407>
- Triyatno, Bert, I., Idris, Hermon, D., & Putra, A. (2020). Hazards and Morphometry To Predict the Population Loss Due of Landslide Disasters in Kob Xi Tarusan - Pesisir Selatan. *International Journal of GEOMATE*, 19(76), 98–103. <https://doi.org/10.21660/2020.76.ICGeo12>
- Ullah, I., Aslam, B., Shah, S. H. I. A., Tariq, A., Qin, S., Majeed, M., & Havenith, H. B. (2022). An Integrated Approach of Machine Learning, Remote Sensing, and GIS Data for the Landslide Susceptibility Mapping. *Land*, 11(8), 1–20. <https://doi.org/10.3390/land11081265>
- Umar, I., Dewata, I., & Barlian, E. (2019). Dynamic model of land use change in landslide hazard zones in Tanah Datar District, West Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

- Science*, 314(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/314/1/012070>
- Umar, Z., Pradhan, B., Ahmad, A., Jebur, M. N., & Tehrany, M. S. (2014). Earthquake induced landslide susceptibility mapping using an integrated ensemble frequency ratio and logistic regression models in West Sumatera Province, Indonesia. *Catena*, 118(September 2009), 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.02.005>
- Vojteková, J., & Vojtek, M. (2020). Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 131–148. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1713233>
- Xiong, T., Indrawan, I. G. B., & Eka Putra, D. P. (2017). Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process, Statistical Index, Index of Entropy, and Logistic Regression Approaches in the Tinalah Watershed, Yogyakarta. *Journal of Applied Geology*, 2(2), 67. <https://doi.org/10.22146/jag.39983>
- Xu, D., Peng, L., Liu, S., & Wang, X. (2018). Influences of Risk Perception and Sense of Place on Landslide Disaster Preparedness in Southwestern China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(2), 167–180. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0170-0>
- Zeng, P., Sun, X., Xu, Q., Li, T., & Zhang, T. (2021). 3D probabilistic landslide run-out hazard evaluation for quantitative risk assessment purposes. *Engineering Geology*, 293(April), 106303. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106303>
- Zhang, F., Peng, J., Huang, X., & Lan, H. (2021). Hazard assessment and mitigation of non-seismically fatal landslides in China. *Natural Hazards*, 106(1), 785–804. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04491-x>
- Zhao, B., Zhu, J., Hu, Y., Liu, Q., & Liu, Y. (2022). Mapping Landslide Sensitivity Based on Machine Learning: A Case Study in Ankang City, Shaanxi Province, China. *Geofluids*, 2022, 1–32. <https://doi.org/10.1155/2022/2058442>

KONDISI EKOSISTEM MANGROVE UNTUK PRIORITAS REHABILITASI DI KALIMANTAN UTARA

(Mangrove Ecosystem Conditions for Rehabilitation Priority in North Kalimantan)

Nabila Meiliyani¹, Fredinan Yulianda², Fery Kurniawan², Dori Rachmawani³

¹Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

³Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo Tarakan

Jl. Raya Dramaga, Babakan, Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

E-mail: muriyanimisno2@gmail.com

Diterima : 13 Februari 2025; Direvisi: 22 Juli 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan: 16 September 2025

ABSTRAK

Mangrove berperan dalam kehidupan sebagai sumber bahan organik, karena itu mangrove dapat menjadi pendukung kehidupan berbagai keanekaragaman hayati. Berbagai pemanfaatan mangrove oleh manusia menyebabkan kerusakan hingga degradasi luasan mangrove. Provinsi Kalimantan Utara merupakan salah satu daerah yang vegetasi mangrovenya telah terdegradasi. Hal ini diakibatkan adanya pembukaan lahan untuk kegiatan tambak yang cukup banyak dilakukan oleh masyarakat Kalimantan Utara. Oleh karena itu, pemerintah harus merehabilitasi mangrove yang terdegradasi atau rusak. Agar rehabilitasi mangrove berhasil dilaksanakan, terlebih dahulu perlu mengidentifikasi kawasan target rehabilitasi dari sisi ekologi. Tujuan penelitian ini adalah menghitung luasan mangrove terkini, kepadatan, serta mengamati kondisi ekosistem mangrove dan tingkat kerusakannya. Penelitian ini berbasis spasial, menggunakan data multi-temporal citra Satelit Landsat 8 OLI tahun 2019 dan 2023, melalui analisis indeks vegetasi NDVI yang ditujukan untuk mengkaji kepadatan serta kerusakan mangrove. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa teridentifikasi lima kelas kelompok kepadatan, yakni Sangat Jarang, Jarang, Sedang, Rapat dan Sangat Rapat. Luas ekosistem mangrove telah mengalami penurunan dari tahun 2019 (172.607,8 ha) – ke tahun 2023 (153.651,4 ha), dengan selisih sebesar 18.965,4 ha. Kategori “Sangat Rapat” memiliki nilai luas terbesar di antara lima kategori yang lain, yaitu sebesar 102.987 ha (67%). Tingkat kerusakan ekosistem mangrove pada tahun 2023 masih terbilang rendah, dengan luasan mangrove yang termasuk kategori tingkat kerusakan “Tidak Rusak” adalah 102.987 ha (67%). Daerah dengan kondisi mangrove “Sangat Rapat” dan kondisi mangrove “Tidak Rusak” mendominasi pada Daerah Kabupaten Nunukan.

Kata Kunci: Kalimantan utara, luasan mangrove, kepadatan, kerusakan, mangrove, NDVI

ABSTRACT

Mangroves play a role in life as a source of organic material; therefore, mangroves can support the life of various biodiversity. Various uses of mangroves by humans have led to damage and degradation of mangrove areas. North Kalimantan Province is one of the areas where mangrove vegetation has been degraded. This is due to the opening for aquaculture activities which are quite widely carried out by the people of North Kalimantan. Therefore, the government must rehabilitate the degraded or damaged mangroves. In order for mangrove rehabilitation to be successfully implemented, it is necessary to first identify the target rehabilitation areas from an ecological perspective. The aim of this study is to measure the current mangrove area, density, as well as to observe the condition of the mangrove ecosystem and the level of its damage. This research is spatially based, utilizing multi-temporal data from Landsat 8 OLI satellite imagery from the years 2019 and 2023, through an analysis of the NDVI vegetation index aimed at assessing the density and damage of mangroves. From this study, five categories of density groups were identified: Very Sparse, Sparse, Moderate, Dense, and Very Dense. The area of the mangrove ecosystem has decreased from 2019 (172,607.8 ha) to 2023 (153,651.4 ha), with a difference of 18,965.4 ha. The "Very Dense" category has the largest area value among the other five categories, totaling 102,987 ha (67%). The level of damage to the mangrove ecosystem in 2023 is still considered low, with the area of mangrove classified as "Not Damaged" being 102,987 ha (67%). Areas with "Very Dense" mangrove and "Not Damaged" mangrove conditions are predominantly found in Nunukan Regency. In 2023 is still relatively low, with the area of mangroves that falls into the category of "Heavy" damage level is 9,371,713 ha (6.10%).

Keywords: North Kalimantan, mangrove area, density level, damage level, mangroves, NDVI

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove memiliki peran ekologis sebagai penghasil bahan organik yang mendukung keberagaman spesies. Hal ini menjadikan ekosistem mangrove sebagai penopang dan pendukung biodiversitas atau keanekaragaman hayati (Fatimah et al. 2022). Selain sebagai penghasil bahan organik, ekosistem mangrove berperan baik dalam penyerapan karbon. Karena itu, ekosistem mangrove menjadi salah satu ekosistem pesisir yang berkontribusi pada penyerapan karbon dari ekosistem darat (Pricillia et al. 2021). Ekosistem mangrove memberikan banyak fungsi dan manfaat bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Namun pemanfaatan mangrove yang tidak berkelanjutan menyebabkan ekosistem ini terdegradasi dan bahkan rusak sehingga menurunkan fungsi ekologisnya (Arifanti, 2020). Kerusakan ini bisa disebabkan oleh kegiatan manusia seperti pembukaan lahan tambak udang atau ikan, penebangan vegetasi mangrove, serta pencemaran lingkungan (Tyas & Najicha, 2023).

Kalimantan Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki berbagai macam kasus konversi lahan mangrove menjadi tambak. (Arifanti et al. 2021) menyatakan bahwa sebesar 182.091 hektar ekosistem mangrove Indonesia telah hilang dari tahun 2009 hingga 2019. Penyebab utama berkurang luasan mangrove ini adalah eksploitasi berlebihan seperti pemanfaatan kayu mangrove sebagai bahan baku bangunan atau kayu bakar, serta konversi lahan mangrove menjadi tambak budi daya. Salah satu daerah yang berada Kabupaten Tana Tidung telah terdegradasi hingga 31,50%, dengan luas 6.167,90 hektar menjadi 4.225,06 hektar dalam kurun waktu 2005-2017. (Setiawan, 2018). Begitu juga yang terjadi di sekitar pesisir Kota Tarakan, telah terjadi penurunan luasan ekosistem mangrove sebesar 51,73% dalam kurun waktu 5 Tahun (Siahaya et al. 2016). Permasalahan-permasalahan yang ada ini mengharuskan pemerintah melakukan kegiatan rehabilitasi mangrove, seperti yang telah dicanangkan pada tahun 2022, dengan membentuk Kelompok Kerja Mangrove sesuai dengan Surat Keputusan Gubernur Kalimantan Utara Nomor 188.44/K.780/2022. Salah satu program yang dimiliki oleh kelompok ini adalah dilakukannya rehabilitasi mangrove di pesisir pantai, dan areal

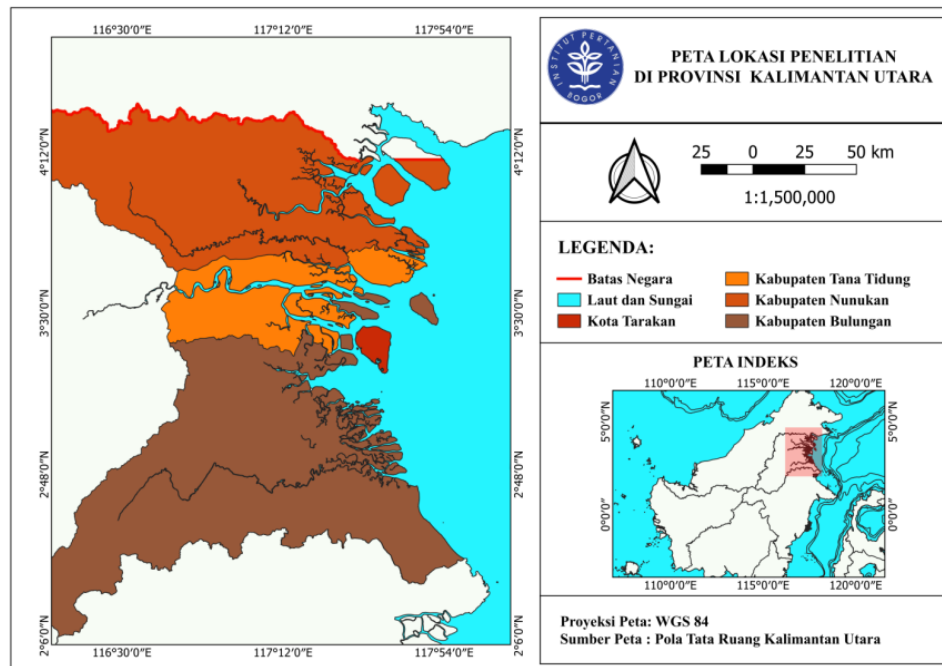
tambak yang berada di Bulungan, Kabupaten Tana Tidung, Nunukan serta Tarakan.

Adanya target rehabilitasi yang dicanangkan oleh pemerintah mendorong masyarakat, serta lembaga kepedulian lingkungan melakukan kegiatan rehabilitasi. Meskipun upaya rehabilitasi telah dilakukan, tidak menutup kemungkinan terjadinya kegagalan dalam kegiatan ini. Kegagalan rehabilitasi biasa disebabkan oleh kurangnya identifikasi serta mempelajari kawasan yang akan dilakukan kegiatan rehabilitasi. Oleh karena itu, kegiatan penelitian ini dilakukan untuk melihat kondisi terkini ekosistem mangrove, seperti luasan mangrove terkini, kerapatan mangrove, serta tingkat kerusakan mangrove yang berada di Kalimantan Utara. Identifikasi untuk mempelajari kawasan dari sisi ekologi dapat dilakukan dengan studi lapangan secara langsung atau dengan penginderaan jarak jauh menggunakan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG). Teknologi penginderaan jarak jauh menjadi salah satu sarana pengamatan kondisi ekosistem mangrove secara efektif dan efisien (Hanan et al. 2020) *et al.* Penelitian dengan penginderaan jarak jauh telah banyak dilakukan, seperti yang telah dilakukan oleh Zuhdi et al. (2024) *et al* terkait kajian perubahan luasan mangrove menggunakan Citra Landsat 2013, 2016, serta 2021 di Pesisir, dan oleh Shah et al. (2022) dengan judul "*Exploring NDVI and NDBI Relationship Using Landsat 8 OLI/TRIS in Khangarh Taluka, Ghotki*". Nilai kebaruan yang diangkat dalam penelitian ini adalah fokus wilayah penelitian, yaitu kawasan mangrove di Kalimantan Utara, yang masih terbatas kajiannya, terutama dengan pendekatan spasial berbasis NDVI. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi informasi yang bermanfaat sebagai gambaran awal untuk pengelolaan wilayah pesisir.

METODE

Lokasi dan Waktu Kajian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober 2024. Daerah yang menjadi objek penelitian adalah wilayah pesisir Kalimantan Utara, yaitu daerah Kabupaten Nunukan, Kabupaten Tana Tidung, Kota Tarakan, dan Kabupaten Bulungan (**Gambar 1**). Kalimantan Utara memiliki titik koordinat 114° 35' 22' - 118° 03' 00' Bujur Timur dan antara 1° 21' 36' - 4° 24' 55' Lintang Utara.



Gambar 1. Daerah objek penelitian di Kalimantan Utara.

Analisis Perubahan Tutupan Lahan Mangrove

Perubahan tutupan mangrove tahun 2019 dan 2023 dilihat dengan menggunakan data sekunder yang berasal dari hasil penelitian serta lembaga resmi pemerintahan, yaitu Sistem Informasi Geospasial Kalimantan Utara, Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup (KLHK) Republik Indonesia, dan data mangrove dari *Global Mangrove Watch* yang diakses dari web: <https://www.globalmangrovetwatch.org>. Data yang didapatkan berupa data vektor.

Analisis Tingkat Kerapatan Mangrove

Kegiatan untuk melihat kondisi terkini suatu mangrove dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jarak jauh, sebagai salah satu cara yang efektif dan efisien untuk menjangkau daerah yang sulit untuk dilakukannya pengukuran secara lapangan (Semedi, 2023). Oleh karena itu analisis kerapatan mangrove dan tingkat kerusakan dilakukan dengan menganalisis nilai Index Vegetasi, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

NDVI merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melihat tinggi rendahnya kerapatan vegetasi (hutan mangrove), dan seperti tubuh air/perairan, bangunan, jalan dan lahan lainnya yang tidak bervegetasi. Data citra satelit yang digunakan adalah data Citra Satelit Landsat-8 OLI/TRIS dengan perekaman tahun 2019 dan 2023 yang diunduh melalui web: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Tahapan pengolahan citra yang dilakukan adalah koreksi geometrik dan radiometrik, penggabungan citra, *cropping* citra sesuai dengan *area of interest* (AOI), kemudian melakukan perhitungan band untuk nilai NDVI, dan melakukan klasifikasi kerapatan vegetasi. Indeks vegetasi NDVI dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1** sebagai berikut (Shah et al. 2022)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation*

NIR = Nilai saluran *Spectral Near Infrared* (Band 5)

RED = Nilai saluran *Spectral Red* (Band 4).

Tabel 1. Informasi citra satelit yang digunakan.

No.	Nama Landsat	ID Landsat	Path/Row	Tanggal Citra
1.	Landsat 8 OLI/TRIS C2 L1	LC08_L1TP_117057_20190228_20200829_02_T1	117/057	2019/02/28
2.		LC08_L1TP_116058_20190715_20200827_02_T1	116/058	2019/07/15
3.		LC08_L1TP_117058_20191127_20200825_02_T1	117/058	2019/11/27
4.		LC08_L1TP_117057_20230514_20230518_02_T1	117/057	2023/05/14
5.		LC08_L1TP_116058_20230726_20230804_02_T1	116/058	2023/07/26
6.		LC08_L1TP_117058_20230514_20230518_02_T1	117/058	2023/05/14

NDVI akan menghasilkan nilai berkisar dari -1 hingga 1. Mangrove yang terkategori sehat akan menyerap cahaya merah yang dipancarkan oleh matahari lebih banyak, sedangkan mangrove yang terkategori tidak sehat akan memantulkan cahaya merah lebih banyak (Ginting et al. 2022). Nilai NDVI yang dihasilkan kemudian diklasifikasikan menjadi lima kelas, yaitu sangat jarang, jarang, sedang, rapat, dan sangat rapat untuk melihat kerapatan vegetasi mangrove (Philiani et al. 2018). Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kelas kerapatan vegetasi adalah **Persamaan 2** berikut:

$$Inteval = \frac{Nilai\ Maksimum\ NDVI - Nilai\ Minimum\ NDVI}{4} \dots\dots(2)$$

Keterangan:

Interval = Rentang angka kelas

Nilai Maksimum = Angka maksimum pertama kali yang diperoleh dari hasil NDVI

Nilai Minimum = Angka minimum pertama kali yang diperoleh dari hasil NDVI

Analisis Tingkat Kerusakan Mangrove

Analisis tingkat kerusakan mangrove dilakukan dengan melihat hasil analisis NDVI yang telah dilakukan sebelumnya. Kategori tingkat kerusakan mangrove didasarkan pada indikator nilai NDVI yang berkisar antara nilai -1 hingga 1. Nilai NDVI ini mengacu pada Kementerian Kehutanan dan Lingkungan (KLHK) (2004) dalam Singgalen et al. 2021. Berikut adalah kriteria kerusakan mangrove:

Tabel 2. Klasifikasi tingkat kerusakan mangrove.

Tingkat Kerusakan Mangrove	Kisaran Nilai NDVI
Berat	(-1) – 0,32
Sedang	> 0,32 – 0,42
Tidak Rusak	> 0,42

Sumber: KLHK(2004) dalam (Singgalen et al. 2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis Dan Luasan Mangrove Kalimantan Utara

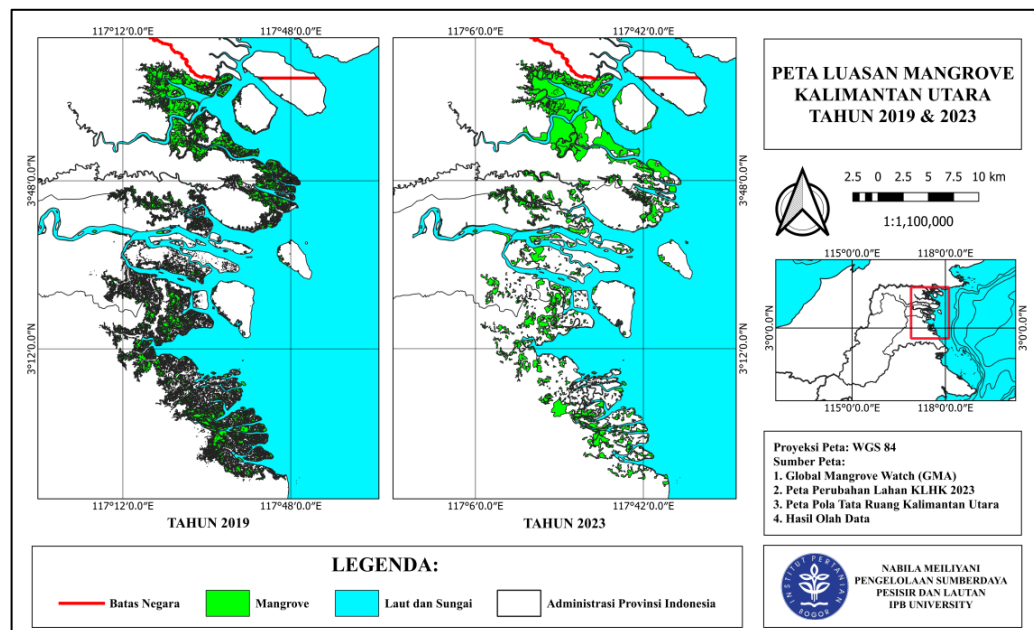
Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem utama yang tersebar di wilayah pesisir dan lautan. Mangrove tumbuh di sepanjang pantai

maupun di muara sungai, yang mana dipengaruhi oleh pasang surut. Karena keunikannya ini, mangrove menjadi salah satu habitat utama hampir seluruh biota perairan (Khaliza et al. 2022). Kalimantan Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki cakupan wilayah pesisir dengan ekosistem mangrove yang cukup besar, sehingga ditetapkan sebagai salah satu wilayah prioritas dalam program rehabilitasi mangrove nasional berdasarkan Peraturan Presiden No. 120 Tahun 2020. Berdasarkan studi literature yang telah dilakukan, Kalimantan Utara memiliki beranekaragam jenis mangrove. Jenis mangrove yang ada di setiap kabupaten pesisir Kalimantan Utara adalah *Acrostichum* spp, *Aegiceras* sp, *Avicennia* spp, *Bruguiera* spp, *Ceriops* spp, *Lumnitzera* spp, *Nypa* sp, *Rhizophora* spp, *Sonneratia* sp, dan *Xylocarpus* sp. Jenis mangrove yang ditemukan ini merupakan jenis yang biasa ditemukan di pesisir Indonesia. Beragam jenis mangrove di antaranya adalah *Bruguiera* sp, *Rhizophora* sp, *Sonneratia* sp, *Avicennia* sp, *Lumnitzera* sp, *Ceriops* sp, *Xylocarpus* sp, *Aegiceras* sp, *Lumnitzera* sp, *Kandelia* sp, *Xylocarpus* sp, dan *Exoicaria* sp ((Windewani & Utami, 2024).

Besarnya keanekaragaman ekosistem mangrove yang berada di Kalimantan Utara juga menimbulkan besarnya penggunaan lahan serta pemanfaatan pada ekosistem mangrove yang berlebihan untuk kepentingan masyarakat yang berada di pesisir, seperti pembuatan lahan tambak untuk kegiatan budi daya komoditas udang, ikan bandeng, serta kepiting bakau. Kegiatan ini menyebabkan berkurangnya luasan ekosistem mangrove. Hasil pengolahan data yang dilakukan menunjukkan terjadinya perubahan lahan dari tahun 2019 hingga tahun 2023 (**Gambar 2**). Pada tahun 2019, luas mangrove di Kalimantan utara sebesar 172.724.757 hektar dan pada tahun 2023, luasan mangrove mengalami pengurangan sebesar 172607.85 hektar (**Tabel 4**). Daerah yang paling banyak mengalami pengurangan luasan lahan adalah Kabupaten Bulungan dan Kabupaten Tana Tidung. Sebagai perbandingan, terdapat beberapa daerah di Kalimantan, salah satunya daerah Balikpapan, Kalimantan Timur. Daerah ini juga telah terjadi perubahan luasan mangrove dari tahun 1995 hingga tahun 2015 dengan penurunan luasan sebesar 27,89 ha yang disebabkan oleh terjadinya konversi hutan mangrove (Sihaloho et al. 2023).

Tabel 3. Konversi lahan mangrove yang terjadi di Pulau Kalimantan.

Lokasi	Tahun	Penyebab Perubahan	Sumber
Kota Tarakan, Kalimantan Utara	2001-2005	Pembukaan Lahan Tambak	Siahaya et al.2016
Kabupaten Tana Tidung, Kalimantan Utara	2005-2017	Pembukaan lahan Tambak	Setiawan, 2018
Balikpapan, Kalimantan Timur	1995-2015	Konversi hutan mangrove menjadi area pemukiman, pertanian, dan lain-lain	Sihaloho et al, 2023
Kabupaten Berau, Kalimantan Timur	2013-2023	Konversi menjadi tambak, pertambangan, dan pemukiman	Andalas, 2023



Gambar 2. Peta sebaran mangrove di Kalimantan Utara pada tahun 2019 hingga 2023.

Tabel 4. Nilai dan selisih perubahan luasan mangrove di Kalimantan Utara

Tahun	2019	2023
Luasan (ha)	172.607,8	153.651,4
Selisih (ha)		-18.956,4

Sumber: Pengolahan Data (2024)

Penyebab pengurangan luasan mangrove ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pembukaan lahan untuk kegiatan manusia seperti pemanfaatan kayu mangrove dan pembukaan lahan untuk kegiatan budi daya, serta faktor alam seperti abrasi pantai (Febrianto et al. 2022). Semedi (2023) pada hasil penelitiannya juga menyebutkan bahwa terjadinya penurunan luasan mangrove disebabkan oleh tekanan aktivitas manusia seperti alih lahan menjadi tambak atau pertambangan pasir. Hasil penelitian oleh Sihalohe et al. (2023) menunjukkan konversi lahan mangrove dilakukan untuk menjadikan daerah mangrove sebagai lahan vegetasi bukan mangrove, seperti perubahan mangrove menjadi semak belukar atau rawa, dan perubahan mangrove menjadi lahan terbuka untuk kepentingan tambak, pertanian, atau pemukiman.

Daerah yang mengalami penambahan luasan mangrove adalah daerah Kabupaten Nunukan dan Kota Tarakan. Penambahan luasan mangrove juga disebabkan oleh beberapa faktor, seperti terjadinya sedimentasi. Penambahan luasan mangrove berasal dari fungsi fisik dari mangrove itu sendiri, yaitu menahan sedimen dalam waktu yang cukup lama, hingga membentuk sebuah lahan baru (Akbaruddin et al. 2020). Hal lain yang dapat menjadi penyebab bertambahnya luasan mangrove adalah pertumbuhan alami dari hutan mangrove,

serta upaya rehabilitasi yang telah dilakukan oleh pemerintah setempat sejak beberapa tahun sebelum tahun 2023. Pemerintah Kalimantan Utara telah melakukan berbagai upaya untuk memulihkan ekosistem mangrove, salah satunya dengan mengadakan kegiatan rehabilitasi di setiap daerah yang mengalami degradasi mangrove.

Tingkat Kerapatan Vegetasi Mangrove Kalimantan Utara

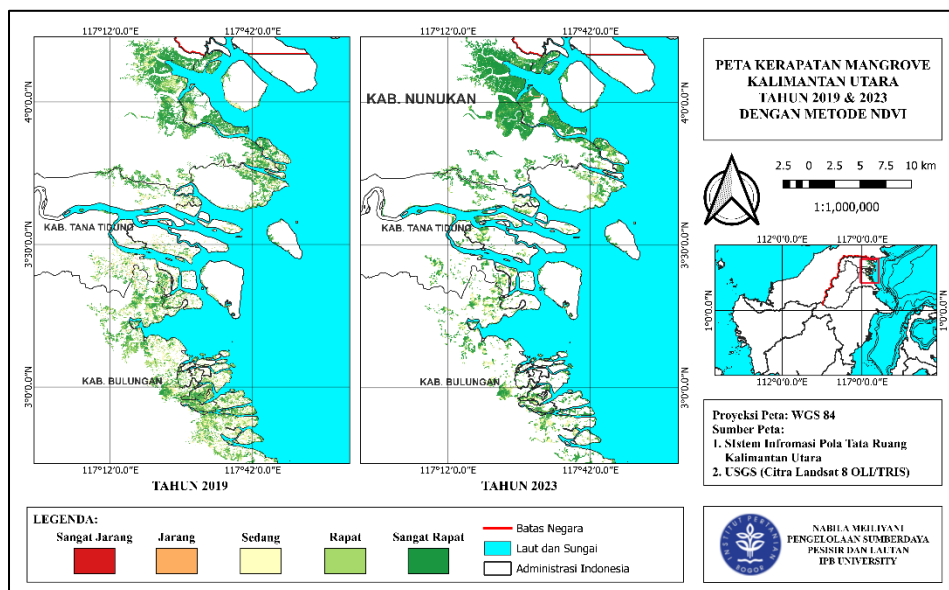
Kerapatan ekosistem mangrove Kalimantan Utara dilihat dengan bantuan penginderaan jarak jauh. Penginderaan jauh adalah salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan informasi suatu objek, tanpa kontak langsung pada objek tersebut. Analisis kerapatan NDVI dapat digunakan untuk melihat perubahan kerapatan jenis serta tutupan total mangrove (Faizal et al. 2023). Setelah melakukan pengelolaan data citra satelit, di dapatkan nilai NDVI berkisar antara -0.75 hingga 0.94. Nilai ini kemudian dikategorikan, sehingga mendapatkan luasan kerapatan mangrove per kategori kerapatan (**Tabel 5.**) serta peta kerapatan ekosistem mangrove di Kalimantan Utara (**Gambar 3.**). Hasil menunjukkan luas Mangrove pada tahun 2023 yang terkategori "sangat rapat" memiliki luasan sebesar 102.987,02 hektar, sekitar 67% dari keseluruhan luasan mangrove Kalimantan Utara. Tetapi nilai ini lebih kecil 17% dari tahun 2019 yang memiliki luasan sebesar 124.157,43 hektar. Mangrove yang terkategori "rapat" juga mengalami penurunan luasan pada tahun 2019 mengalami penurunan luasan sebesar 14% pada tahun 2023. Kemudian vegetasi mangrove dengan kategori "sedang" pada tahun 2023 mengalami penambahan

luasan menjadi 8.995,89 hektar. Mangrove dengan kategori kerapatan “jarang” mengalami pengurangan luasan, yang awalnya hanya 415,03 hektar pada tahun 2023, menjadi 373,58 hektar, dan untuk mangrove dengan kategori kerapatan “sangat jarang” juga mengalami pengurangan menjadi 2,24 hektar pada tahun 2023 dari 29,02 hektar pada tahun 2019. Daerah yang memiliki tingkat kerapatan tinggi adalah daerah Kabupaten Nunukan, kemudian diikuti oleh Kota Tarakan dan Kabupaten Bulungan. Sedangkan daerah yang memiliki tingkat kerapatan tergolong rendah (< 50%) adalah Kabupten Tana Tidung.

Perubahan kerapatan mangrove yang positif dapat disebabkan oleh terjadinya proses pertumbuhan alami serta upaya rehabilitasi yang telah dilakukan. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Kanjin dan Alam (2024) yang menunjukkan bahwa tren naik pada nilai NDVI menunjukkan ketahanan ekosistem mangrove merupakan hasil dari upaya konservasi atau proses regenerasi alami. Proses regenerasi ini bisa berupa pertumbuhan pohon mangrove dari waktu ke waktu, sehingga menjadi pohon yang tinggi dan lebat (Febrianto *et al.* 2022). Selain itu, kegiatan rehabilitasi yang telah dilakukan oleh pemerintah Kalimantan Utara juga menjadi salah satu faktor meningkatnya kerapatan sebuah ekosistem mangrove. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh pemerintah Provinsi Kalimantan Utara, sekitar 2 juta

lebih bibit yang telah ditanam pada tahun 2017, 2018 dan 2019 di beberapa daerah di Kalimantan Utara. Kegiatan rehabilitasi ini dapat mengembalikan luasan ekosistem dan pohon mangrove yang hilang.

Selain terjadinya penambahan kerapatan ekosistem mangrove, ekosistem mangrove di Kalimantan Utara juga mengalami pengurangan kerapatan vegetasi. Pengurangan kerapatan vegetasi ini dapat disebabkan oleh faktor alami maupun kegiatan antropogenik. Aktivitas masyarakat yang memanfaatkan kawasan mangrove secara intensif dapat mengganggu pertumbuhan dan regenerasi mangrove, sementara faktor alam seperti abrasi turut mempercepat hilangnya kawasan ekosistem mangrove (Putri *et al.* 2022). Temuan ini juga diperkuat oleh Mankikar (2024) yang menjelaskan bahwa penurunan kerapatan vegetasi mangrove berkaitan dengan pergeseran dalam dinamika ekosistem akibat perubahan penggunaan lahan, variabilitas iklim, atau gangguan yang disebabkan oleh manusia. Salah satu bentuk alih fungsi lahan yang dominan di Kalimantan Utara adalah koversi lahan mangrove menjadi tambak. Aktivitas ini tidak hanya menyebabkan hilangnya tutupan vegetasi, tetapi juga menurunkan nilai indeks vegetasi yang terpantau melalui citra NDVI.

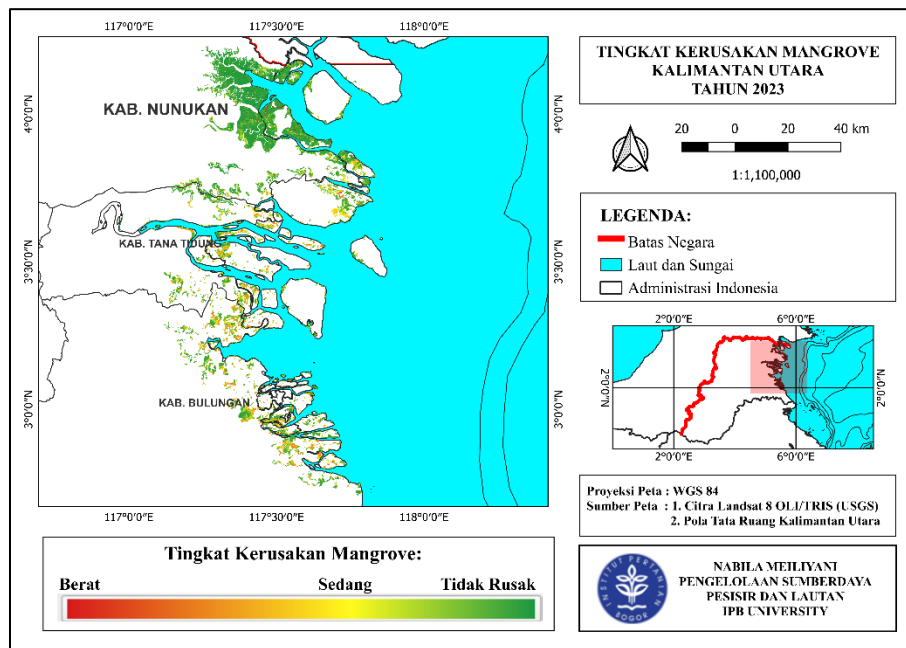


Gambar 3. Peta kerapatan mangrove Kalimantan Utara Tahun 2019 dan 2023

Tabel 5. Nilai kerapatan mangrove Kalimantan Utara tahun 2019 dan 2023

Kategori	Kelas	Luas (ha)		Perubahan Luasan (ha)
		2019	2023	
Sangat Jarang	(-1) - (-0,75)	29,02	2,24	-26,78
Jarang	(-0,75) - (-0,34)	415,03	373,58	-41,45
Sedang	(-0,34) - 0,08	2,25	8.995,89	8.993,64
Rapat	0,08 - 0,5	48.004,12	41.292,68	-6.711,44
Sangat Rapat	0,5 - 0,91	124.157,43	102.987,02	-21.170,41

Sumber: Hasil pengolahan data (2024)



Gambar 4. Peta tingkat kerusakan mangrove Kalimantan Utara Tahun 2023.

Tingkat Kerusakan Vegetasi Mangrove Kalimantan Utara

Mangrove merupakan sumber daya alam yang rentan mengalami kerusakan dari kegiatan manusia. Tingkat kerusakan ekosistem mangrove dinilai berdasarkan hasil NDVI yang telah dilakukan. Setelah melakukan pengelolaan data citra satelit, diperoleh tingkat kerusakan mangrove (**Tabel 6.**) serta peta sebaran kerusakan ekosistem mangrove di Kalimantan Utara (**Gambar 4.**). Berdasarkan hasil pengolahan data (**Tabel 6.**), sebesar 6,10% mangrove yang termasuk kategori kerusakan "Berat". Kemudian sebesar 26,87% mangrove termasuk kategori kerusakan "Sedang", dan sebesar 67,03% mangrove termasuk kategori "Tidak Rusak". Kerusakan "Berat" hingga "Sedang" banyak terjadi pada daerah Kabupaten Tana Tidung dan Bulungan.

Tabel 6. Nilai kerapatan mangrove Kalimantan Utara tahun 2023

Kategori	Kisaran Nilai NDVI	Luasan (ha)
Berat	-1 – 0,32	9.371,713
Sedang	> 0,32 – 0,42	41.292,676
Tidak Rusak	> 0,42	102.987,017

Sumber: Hasil pengolahan data (2024)

Kerusakan mangrove dapat terjadi karena perubahan fungsi lahan, khususnya menjadi lahan untuk kegiatan budi daya. Hal ini didukung hasil penelitian Munasikhah and Wijayati (2022) yang menyebutkan bahwa perubahan fungsi lahan telah marak dilakukan di wilayah pesisir. Keadaan mangrove yang mengalami kerusakan ini akan memberikan dampak negatif pada ekosistem mangrove, perairan sekitar, serta mempengaruhi perekonomian masyarakat di daerah sekitar mangrove. Kerusakan ekosistem mangrove dapat

meningkatkan potensi abrasi, kehilangan habitat dari biota perairan, dan meningkatnya emisi karbon (Muhammad *et al.* 2024). Pendapat lain juga menyebutkan bahwa dampak kerusakan dari suatu ekosistem mangrove akan berpengaruh pada hak serta akses pada pemanfaatan masyarakat sehingga mengganggu perekonomian masyarakat yang hidup di pesisir menjadi tidak stabil. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu regulasi dan monitoring pengelolaan sumber daya pesisir untuk mencegah terjadinya kerusakan mangrove yang lebih besar (Rinika *et al.* 2023). Tidak lupa juga pentingnya suatu kesadaran masyarakat, terutama masyarakat pesisir untuk selalu melestarikan hutan mangrove. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat pesisir ini adalah dengan melakukan pengelolaan sumberdaya alam berbasis masyarakat, dengan mengintegrasikan kepentingan ekosistem mangrove serta kepentingan ekonomi dan sosial masyarakat pesisir (Tan & Siregar, 2021).

KESIMPULAN

Mangrove Kalimantan Utara telah mengalami penurunan luasan, yang semula luasan mangrove Kalimantan Utara pada tahun 2019 adalah 172.607,85 ha menjadi 153.651,405 ha pada tahun 2023. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi pengurangan luasan mangrove sebesar 18.956,444 ha. Kerapatan ekosistem mangrove serta tingkat kerusakan dianalisis menggunakan NDVI. Hasil pengolahan data NDVI menunjukkan bahwa pada tahun 2023, ekosistem mangrove Kalimantan Utara memiliki kerapatan mangrove dengan lima kategori yang berbeda, yaitu, sangat jarang (0,0015%), jarang (0,24%), sedang (5,85%), rapat (26,87%), dan sangat rapat (67,03%). Daerah yang memiliki kerapatan vegetasi

mangrove tinggi adalah Kabupaten Nunukan, dan daerah dengan kepadatan vegetasi mangrove rendah adalah Kabupaten Tana Tidung dan Kabupaten Bulungan. Tingkat kerusakan ekosistem mangrove terdiri dari tiga kategori. Kerusakan ekosistem mangrove yang termasuk kategori rusak "Berat" memiliki luas sebesar 9.371,713 ha (6,10%), Kategori rusak "Sedang" seluas 41.292.676 ha (26,87%), dan kategori "Tidak Rusak" seluas 102.987,017 ha (67,03%). Daerah Kabupaten Tana Tidung dan Kabupaten Bulungan merupakan daerah yang paling banyak mengalami kerusakan, sedangkan daerah Nunukan merupakan daerah yang masih memiliki mangrove dengan kondisi yang tidak rusak. Hilangnya luasan, serta kerusakan pada mangrove di Kalimantan Utara disebabkan oleh perubahan alih fungsi lahan menjadi tambak, serta adanya pengaruh dari faktor alam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pihak yang telah membantu dalam penulisan jurnal ini, serta pada penyedia data yaitu pemerintah Provinsi Kalimantan Utara, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, *Global Mangrove Alliance* dan *US Geological Survey* atas ketersediaan data untuk menunjang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbaruddin, I. P., Sasmito, B., & Sukmono, A. (2020). Analisis Korelasi Luasan Kawasan Mangrove Terhadap Perubahan Garis Pantai Dan Area Tambak (Studi Kasus: Wilayah Pesisir Kabupaten Demak). *Jurnal Geodesi Undip Maret*, 9(2), 217–226.
- Andalas, M. S. (2023). *Kajian Kerusakan Ekosistem Hutan Mangrove Akibat Konversi Lahan di Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Timur*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Arifanti, V. B. (2020). Mangrove management and climate change: A review in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 487(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/487/1/012022>
- Arifanti, V. B., Novita, N., Subarno, & Tosiani, A. (2021). Mangrove deforestation and CO2 emissions in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 874(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/874/1/012006>
- Faizal, A., Mutmainna, N., Amran, M. A., Saru, A., Amri, K., & Nessa, M. N. (2023). Application of NDVI Transformation on Sentinel 2A Imagery For Mapping Mangrove Conditions in Makassar City. *Akuatikisle: Jurnal Akuakultur, Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil*, 7(1), 59–66. <https://doi.org/10.29239/j.akuatikisle.7.1.59-66>
- Fatimah, N., A., P. Hadi, S., & Kismartini, K. (2022). Implementasi Kebijakan Konservasi Hutan Mangrove di Wilayah Pesisir Kabupaten Cilacap. *Kebijakan: Jurnal Ilmu Administrasi*, 13(2), 129–135. <https://doi.org/10.23969/kebijakan.v13i2.5279>
- Febrianto, S., Syafina, H. A., Latifah, N., & Muskananfolo, M. R. (2022). Dinamika Perubahan Luasan dan Kepadatan Ekosistem Mangrove Di Kawasan Taman Nasional Sembilang Menggunakan Citra Satelit Landsat 8. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3), 369–377. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i3.14909>
- Ginting, Y. R. S., Komarudin, G., & Carr, L. M. (2022). Study Of Changes in Mangrove Forest Cover in Three Areas Located on the East Coast of North Sumatra Province Between 1990 And 2020. *Journal of Tropical Forest Science*, 34(4), 467–479. <https://doi.org/10.26525/jtfs2022.34.4.467>
- Hanan, A. F., Pratiko, I., & Soenardjo, N. (2020). Analisa Distribusi Spasial Vegetasi Mangrove di Desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong. *Journal of Marine Research*, 9(3), 271–280. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27573>
- Kanjin, K., & Alam, B. M. (2024). Assessing Changes in Land Cover, NDVI, and LST in the Sundarbans Mangrove Forest in Bangladesh And India: a GIS And Remote Sensing Approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101289>
- Khaliza, N., Abdunnur, A., & Rafii, A. (2022). Analisis Vegetasi Mangrove di Desa Kersik Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Tropical Aquatic Sciences*, 1(1), 98–103. <https://doi.org/10.30872/tas.v1i1.479>
- Mankikar, N. N. (2024). *Satellite-Based Carbon Stock Assessment in Mangroves Swamps at Choroa, GOA*. School of Earth Ocean and Atmospheric sciences, GOA University.
- Muhammad, D., Tanjung, F. A. M., & Harum, N. S. (2024). Analisis Kerusakan Mangrove di Kota Pasuruan Menggunakan Data Citra Satelit. *Senada*, 214–223. P-ISSN 2808-7283. E-ISSN 2808-5841.
- Munasikhah, S., & Wijayati, P. A. (2022). Dari Hutan Mangrove Menjadi Tambak: Krisis Ekologis di Kawasan Sayung Kabupaten Demak 1990-1999. *Journal of Indonesian History*, 10(2), 129–140.
- Philiani, I., Saputra, L., Harvianto, L., Muzaki, A. A. (2018). Pemetaan Vegetasi Hutan Mangrove Menggunakan Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Di Desa Arakan, Minahasa Selatan, Sulawesi Utara. *Surya Octagon Interdisciplinary Journal of Technology*, 1(2), 211–222.
- Pricillia, C. C., Patria, M. P., & Herdiansyah, H. (2021). Environmental Conditions to Support Blue Carbon Storage in Mangrove Forest: A Case Study li The Mangrove Forest, Nusa Lembongan, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(6), 3304–3314. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220636>
- Putri, K. A., Rahma, A. C., & Rokhsa, P. (2022). Klasifikasi Data Mining dalam Menganalisis Data Perubahan Lahan Mangrove di Pesisir Muara

- Gembong. *Pena Akuatika: Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 21(1), 14.
<https://doi.org/10.31941/penaakuatika.v21i1.1533>
- Rinika, Y., Ras, A. R., Ras, A. R., Yulianto, B. A., Yulianto, B. A., Widodo, P., Widodo, P., Saragih, H. J. R., & Saragih, H. J. R. (2023). Pemetaan Dampak Kerusakan Ekosistem Mangrove Terhadap Lingkungan Keamanan Maritim. *Equilibrium: Jurnal Pendidikan*, 11(2), 170–176.
<https://doi.org/10.26618/equilibrium.v11i2.10392>
- Riyono, J. N., Maulana, D. I., Latifah, S. (2022). Analisis Perubahan Luasan Hutan Mnagrove di Kecamatan Jawai Kabupaten Sambas Tahun 2013–2019. *Jurnal Hutan Lestari*, 10(1), 168–177.
- Semedi, B. (2023). Pemanfaatan Google Earth Engine Untuk Memantau Perubahan Luasan Hutan Mangrove di Probolinggo. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 7(2).
<https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2023.007.02.9>
- Setiawan, H. (2018). *Valuasi Sumberdaya Mangrove Sebagai Pertimbangan Dalam Upaya Rehabilitasi Ekosistem Mangrove di Muara Sungai Sesayap Kabupaten Tana Tidung*. Institut Pertanian Bogor.
- Shah, S. A., Kiran, M., Nazir, A., & Ashrafani, S. H. (2022). Exploring NDVI and NDBI Relationship Using Landsat 8 OLI/TIRS in Khangarh Taluka, Ghotki. *Malaysian Journal of Geosciences*, 6(1), 08–11.
<https://doi.org/10.26480/mjg.01.2022.08.11>
- Siahaya, M. E., Salampessy, M. L., Febryano, I. G., Rositah, E., Silamon, R. F., & Ichsan, A. C. (2016). Partisipasi Masyarakat Lokal dalam Konservasi Hutan Mangrove di Wilayah Tarakan, Kalimantan Utara. *Jurnal Nusa Sylva*, 16(1), 12–17.
- Sihaloho, Y., Abdunnur, A., & Bulan, D. E. (2023). Pemetaan Perubahan Tutupan Lahan Hutan Mangrove di Kawasan Balikpapan Barat. *Manfish Journal*, 4(1), 9–18.
<https://doi.org/10.31573/manfish.v4i1.491>
- Singgale, Y. A., Gudiatto, C., Prasetyo, S. Y. J., & Fibriani, C. (2021). Mangrove Monitoring Using Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi): Case Study in North Halmahera, Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(2), 219–239. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i2.34771>
- Tan, J. A. T., & Siregar H. L. (2021). Peranan Ekosistem Hutan Mangrove Pada Migitasi Bencana Bagi Masyarakat Pesisir Pantai. *Jurnal Teknologi Reduksi*, 1, 27–35.
- Tyas, I. I. C., & Najicha, F. U. (2023). Identifikasi Permasalahan Kawasan Konservasi Hutan. Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Windewani, B. L., & Utami, G. P. W. (2024). Identifikasi Jenis-Jenis Tumbuhan Mangrove yang Ada di Indonesia. *Journal of International Multidisciplinary Research*, 2(7), 210–218.
<https://doi.org/10.62504/jimr775>
- Zuhdi, F. A., Pribadi, R., & Suryono, S. (2024). Kajian Perubahan Luasan Mangrove Menggunakan Citra Landsat 2013, 2016, 2021 Pesisir Tayu. *Journal of Marine Research*, 13(4), 773–783.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v13i4.36163>

Halaman Ini Sengaja Kami Kosongkan

PEMODELAN SPASIAL GENANGAN BANJIR ROB PADA PENGGUNAAN LAHAN AKIBAT KENAIKAN AIR LAUT

Studi Kasus di Jakarta Utara

(Spatial modeling of tidal flood inundation on land use due to sea level rise Identification : A Case Study in North Jakarta)

Arip Priatna¹, Vita Elysia¹

¹Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka
Jl. Pd. Cabe Raya, Pd. Cabe Udik, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten
E-mail: arip.priatna.rip@gmail.com

Diterima: 17 September 2025; Direvisi: September 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan:

ABSTRAK

Kenaikan muka air laut telah menyebabkan terjadinya banjir rob di wilayah pesisir Jakarta Utara. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan secara spasial genangan banjir rob serta mengidentifikasi luas wilayah terdampak berdasarkan penggunaan lahan di enam kecamatan di Jakarta Utara. Data yang digunakan meliputi *Digital Elevation Model* (DEM) dan data pasang-surut terkini, yang diolah menggunakan perangkat *Geographic Information System* (GIS). Hasil analisis DEM menunjukkan bahwa seluas 1183,22 ha atau 8,49% dari total wilayah Jakarta Utara berada pada elevasi antara -4 hingga 0 meter di atas permukaan laut (mdpl). Sementara itu, hasil analisis pasang-surut menunjukkan elevasi tertinggi muka air laut atau *Highest High Water Level* (HHWL) berada pada ketinggian 0,6 meter, sehingga daerah dengan elevasi -4 hingga 0,6 meter dapat diklasifikasikan sebagai zona wilayah kritis. Dengan menggabungkan hasil kedua analisis tersebut, diperoleh estimasi bahwa seluas 2896,28 ha atau 23,93% wilayah Jakarta Utara sebagai wilayah kritis yang berpotensi terdampak genangan banjir rob. Penelitian ini juga mengidentifikasi daerah yang tergenang berdasarkan klasifikasi penggunaan lahannya. Jenis penggunaan lahan yang paling banyak terdampak adalah ruang terbuka hijau (RTH), hutan mangrove, lahan kosong, kawasan permukiman, industri, dan pertanian. Sementara itu, lahan dengan penggunaan budaya, laboratorium, dan perikanan merupakan yang paling sedikit terdampak. Temuan ini menjadi dasar untuk merumuskan strategi mitigasi bencana dan adaptasi perencanaan kota, khususnya pada zona wilayah kritis dalam pembangunan infrastruktur pengendali banjir seperti pembangunan giant sea wall, pembangunan waduk pengendali banjir di Jakarta Utara dan sistem pompa air real time berdasarkan sensor data pasang surut guna meminimalkan dampak banjir rob di masa mendatang.

Kata kunci: Banjir Rob, Geospasial, Digital Elevation Model, Pasang-Surut, Perencanaan Wilayah dan Kota

ABSTRACT

Sea level rise has led to tidal flooding (rob) in the coastal areas of North Jakarta. This study aims to develop a spatial model of tidal flood inundation and to identify the extent of affected areas based on land use across six sub-districts in North Jakarta. The data utilized include a Digital Elevation Model (DEM) and the latest tidal data, both processed using Geographic Information System (GIS). The DEM analysis indicates that approximately 1183.22 ha or 8.49% of North Jakarta lies at an elevation between -4 and 0 meters above sea level. Meanwhile, tidal analysis shows the Highest High Water Level (HHWL) reaches an elevation of 0.6 meters, so that areas with an elevation of -4 to 0.6 meters are classified as critical zones. By integrating the results of both analyses, it is estimated that 2896.28 ha or 23.93% of North Jakarta area is critical area that has potentially affected by tidal flood inundation. This study also identified flooded areas based on land use classification. The most affected land use types include green open spaces (GOS), mangrove, vacant land, residential, industrial, and agricultural land. In contrast, land for cultural, laboratory, and fisheries purposes is the least affected. These findings serve as a basis for formulating disaster mitigation strategies and urban planning adaptation, particularly in critical areas for flood control infrastructure development, such as the the construction of giant sea walls, the construction of flood control reservoirs in North Jakarta, and a real-time water pumping system based on tidal data sensors with the aim of reducing the areas impacted by tidal flooding in the future.

Keywords: Tidal Flood, Geospasial, Digital Elevation Model, Tides, Urban and Regional Planning

PENDAHULUAN

Pemanasan global telah menyebabkan perubahan iklim yang signifikan di berbagai belahan

dunia, menurut *International Panel On Climate Change* (IPCC) gejala perubahan iklim menunjukkan terjadi peningkatan suhu udara dan lautan secara global dengan temperatur rata-rata

global akan terus meningkat antara 1,1-6,4°C, sementara temperatur rata-rata di Indonesia secara linear menunjukkan peningkatan 0,8°C dari tahun 2000 – 2021 (Ainurrohman & Sudarti, 2022). Perubahan iklim mengakibatkan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, banjir, cuaca buruk dan angin kencang. Dampaknya sangat dirasakan oleh masyarakat di Pulau Jawa, mengingat wilayah ini merupakan salah satu daerah dengan jumlah penduduk terpadat di Indonesia. Oleh karena itu, mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim menjadi sangat penting untuk mengurangi risiko bencana serta meningkatkan ketahanan wilayah pesisir terhadap ancaman banjir rob (Nurlatifah et al., Hatmaja, & Rakhman, 2023). membuat mitigasi dan adaptasi perubahan iklim menjadi penting untuk mengurangi resiko bencana, meningkatkan ketahanan wilayah pesisir dari ancaman Banjir Rob (Nurlatifah et al., 2023). Salah satu dampak nyata dari perubahan iklim di wilayah pesisir adalah kenaikan muka air laut (*sea level rise*) yang menjadi pemicu terjadinya banjir rob, terutama di wilayah pesisir seperti yang terjadi di pesisir Cirebon nilai muka air laut sebesar 0,4 meter pada bulan Mei 2022 (Pangastuti et al., 2024). Banjir rob atau banjir pasang merupakan fenomena limpasan air laut yang menggenangi wilayah pesisir dengan elevasi rendah terjadi saat air laut pasang (Sauda et al., 2019). Banjir rob yang ekstrem dapat terjadi akibat kombinasi antara pasang surut, gelombang badai, dan gelombang pasang, yang secara kumulatif dapat menyebabkan kerugian besar terhadap kehidupan manusia dan properti (Duong et al., 2024).

Selain genangan sementara yang disebabkan oleh air laut, banjir rob juga erat kaitannya dengan fase bulan purnama, di mana posisi matahari dan bulan sejajar dengan bumi, meningkatkan gaya gravitasi yang memicu pasang tertinggi. Kondisi genangan ini dapat berlangsung selama beberapa hari dan mengganggu aktivitas masyarakat, terutama di kawasan permukiman dan sentra ekonomi. Mengingat sekitar 10% populasi dunia tinggal di kawasan pesisir dataran rendah, adaptasi dan perlindungan terhadap masyarakat di wilayah ini menjadi sangat penting (Duong et al., 2024).

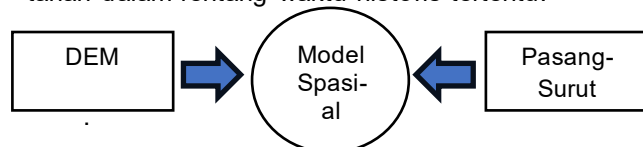
Di Indonesia, Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menegaskan bahwa perubahan iklim memperparah penurunan kualitas lingkungan hidup. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah perlindungan dan pengelolaan lingkungan yang adaptif dan berbasis data. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah pemodelan spasial dengan dukungan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memetakan wilayah yang tergenang dan wilayah yang berpotensi tergenang akibat banjir rob. Pendekatan tentang pemodelan spasial dengan teknologi GIS ini pernah dilakukan Prayogo et al. (2015) pada Penelitian mengenai indeks kerentanan pantai terhadap kenaikan air laut dengan menggunakan Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk studi kasus Kota Semarang.

Penelitiannya menyimpulkan bahwa Pantai utara Kota Semarang adalah wilayah dengan tingkat kerentanan cukup tinggi terhadap kenaikan air laut karena karakteristik pantainya landau yang terdiri atas daratan alluvial (Prayogo et al., 2015)

Kota Jakarta Utara merupakan salah satu wilayah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap banjir rob. Selain dipengaruhi oleh kenaikan muka air laut, wilayah ini juga mengalami penurunan muka tanah (*land subsidence*) akibat eksploitasi air tanah secara berlebihan dan pembangunan yang masif. Penurunan muka tanah menyebabkan tanah kehilangan daya dukung akibat berkurangnya tekanan air pori dalam tanah, yang pada akhirnya memperluas cakupan genangan rob (Wijaya et al., 2019). Kondisi ini juga berkorelasi dengan meningkatnya risiko intrusi air laut ke dalam akuifer, yang berdampak pada kualitas sumber air bersih masyarakat.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Fathul (2019) yang memodelkan ketinggian genangan banjir menggunakan data DEM dengan tiga skenario elevasi (50 cm, 100 cm, dan 150 cm), menunjukkan bahwa semakin tinggi permukaan pasang, semakin luas area terdampak. Sementara itu, Hidayah (2023) menyusun peta genangan banjir rob melalui analisis perbandingan antara data topografi (DEM) dan pasang-surut. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum banyak mengintegrasikan analisis elevasi muka tanah aktual dan data pasang-surut terkini secara simultan, serta belum membahas secara spesifik dampaknya terhadap penggunaan lahan di Jakarta Utara.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menjadi penting dilakukan terutama dalam konteks pemodelan spasial genangan banjir rob yang terjadi akibat fase purnama bulan November 2024 dengan mengintegrasikan dampaknya terhadap penggunaan lahan di enam kecamatan di Jakarta Utara. Pemodelan ini dilakukan dengan membandingkan data elevasi tanah (DEM) tahun 2024 dan data pasang-surut bulan November 2024, tanpa memasukkan variabel penurunan muka tanah dalam rentang waktu historis tertentu.



Gambar 1. Pengolahan Data Spasial Genangan Pesisir

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan dan menganalisis hubungan antara pasang-surut air laut dengan elevasi muka tanah di wilayah Jakarta Utara, serta mengidentifikasi kondisi topografi wilayah, keterkaitannya dengan intensitas genangan banjir rob, dan jenis penggunaan lahan yang paling terdampak. Penelitian ini juga bertujuan untuk merumuskan strategi adaptasi yang relevan terhadap potensi kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah, sehingga hasilnya diharapkan dapat memberikan

kontribusi terhadap pengembangan kebijakan mitigasi yang tepat dan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat mendorong pengembangan Kota Jakarta Utara yang lebih tangguh dan adaptif terhadap perubahan iklim serta mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

METODE

Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir Jakarta Utara, yang mencakup enam kecamatan: Cilincing, Kelapa Gading, Koja, Pademangan, Penjaringan, dan Tanjung Priok. Secara astronomis, Jakarta Utara terletak pada koordinat 6°05'–6°11' Lintang Selatan dan 106°43'–106°59' Bujur Timur. Topografi wilayah ini relatif datar dan landai karena berbatasan langsung dengan Laut Jawa, menjadikannya rentan terhadap genangan akibat banjir rob. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024, bertepatan dengan fase purnama yang berpotensi menyebabkan pasang laut tertinggi. Berikut peta lokasi penelitian **Gambar 2**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif - kuantitatif, yaitu dengan menggambarkan objek penelitian berdasarkan data

numerik yang diperoleh dari fenomena yang terjadi di lapangan secara objektif dan apa adanya (Syahrizal & Jailani, 2023). Data yang digunakan bersifat kuantitatif dan diperoleh secara tidak langsung melalui sumber sekunder. Sumber utama data berasal dari data *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) dari BIG (2024), dan data penggunaan lahan dari Pemerintah Provinsi DKI Jakarta melalui *platform* Jakarta Satu.

Selain variabel umum elevasi muka tanah dan penggunaan lahan, penelitian ini mengintegrasikan variabel inovatif frekuensi pasang surut harian yang diukur oleh stasiun pasang surut milik Sistem Referensi Geospasial Indonesia SRGI-BIG. Inovasi ini penting karena pasang surut harian memodulasi muka air pesisir secara periodik, sehingga genangan banjir rob tidak hanya dipicu oleh elevasi tetap tetapi juga dipengaruhi dinamika pasang surut. Data ini memungkinkan evaluasi risiko genangan pada skala harian maupun terhadap peristiwa pasang tertinggi, sehingga mendukung perumusan tindakan mitigasi yang lebih tepat waktu. Data **Tabel 1** ini kemudian dikombinasikan untuk mendukung pemodelan spasial wilayah terdampak banjir rob pada penggunaan lahan di Jakarta Utara. Berikut adalah variabel jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 1..**



Gambar 2. Peta administrasi Kota Jakarta Utara

Tabel 1. Variabel Jenis Data yang digunakan

Data	Jenis	Sumber
DEMNAS	Sekunder	BIG
Data Rupa Bumi (RBI) Jakarta Utara	Sekunder	BIG
Pasang-Surut harian	Sekunder	SRGI-BIG
Batas Administrasi Jakarta Utara	Sekunder	BIG
Penggunaan Lahan	Sekunder	Jakarta Satu

Sumber: hasil pengolahan, 2024

Analisis Data

Tahap analisis data mencakup beberapa langkah utama. Pertama, dilakukan analisis elevasi menggunakan data DEMNAS untuk menentukan ketinggian muka tanah pada wilayah kajian. Data DEM, sebagai representasi digital topografi wilayah permukaan, menjadi dasar utama dalam pemodelan genangan banjir rob (Fathul, 2019). Kedua, dilakukan analisis pasang surut untuk mengetahui elevasi muka air laut tertinggi pada bulan November 2024, data pasang-surut harian dihimpun berdasarkan interval satu jam yang kemudian dilakukan proses *smoothing* menggunakan *Microsoft Excel* guna menghilangkan noise, data tersebut sebagai representasi kondisi ekstrem yang diambil dari hasil survei SRGI-BIG. Dengan menggunakan pendekatan *equilibrium* atau keseimbangan (Rahma & Della, 2022), pemodelan genangan dilakukan dengan membandingkan antara ketinggian muka tanah dan elevasi pasang maksimum guna mengidentifikasi area yang berpotensi tergenang (**Rumus 1**).

$E_m = E - h$(1)

dimana:

- E_m = Elevasi setelah kenaikan muka air laut
- E = Nilai elevasi asli dari peta DEM
- h = Kenaikan muka air laut (data pasang-surut)

Untuk mengetahui zona wilayah kritis dan zona wilayah aman dilakukan Adaptive Treshold dengan kelas daerah tergenang sebagai wilayah kritis dan daerah tidak tergenang sebagai wilayah aman (**Rumus 2**). Selanjutnya, dilakukan analisis *overlay* antara peta hasil pemodelan genangan dengan data penggunaan lahan untuk mengetahui jenis dan sebaran fungsi lahan yang terdampak, menggunakan fitur *Intersect* dalam perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) pada (**Rumus 3**). Terakhir, luas area yang berpotensi tergenang dihitung menggunakan fitur *Calculate Geometry* pada perangkat GIS. Fungsi *Calculate Geometry* pada *Attribut Table* ArcGis digunakan untuk menghitung total luas area yang berpotensi terhadap skenario genangan banjir rob (Tumawu et al., 2024). Hasil akhir dari proses ini adalah informasi kuantitatif mengenai luasan genangan banjir rob di tiap kecamatan di Jakarta Utara. Pendekatan analisis ini mengacu pada metode

yang digunakan oleh Fathul (2019) dan Gallien et al. (2011), yang secara komprehensif mengintegrasikan data topografi dan pasang surut dalam pemetaan risiko banjir pesisir. Selanjutnya dalam penelitian ini, pemetaan tersebut diintegrasikan dengan data penggunaan lahan untuk memahami kerentanan wilayah berdasarkan fungsi dan aktivitas manusi

$D_t = \{ 1 \text{ jika } E_m \leq 0 \text{ , } 0 \text{ jika } E_m > 0 \}$
(2)

dimana:

- D_t = Kelas daerah tergenang
- 1 = Tergenang
- 0 = Tidak tergenang

$D_{final} = D_t \wedge P_t$(3)

dimana:

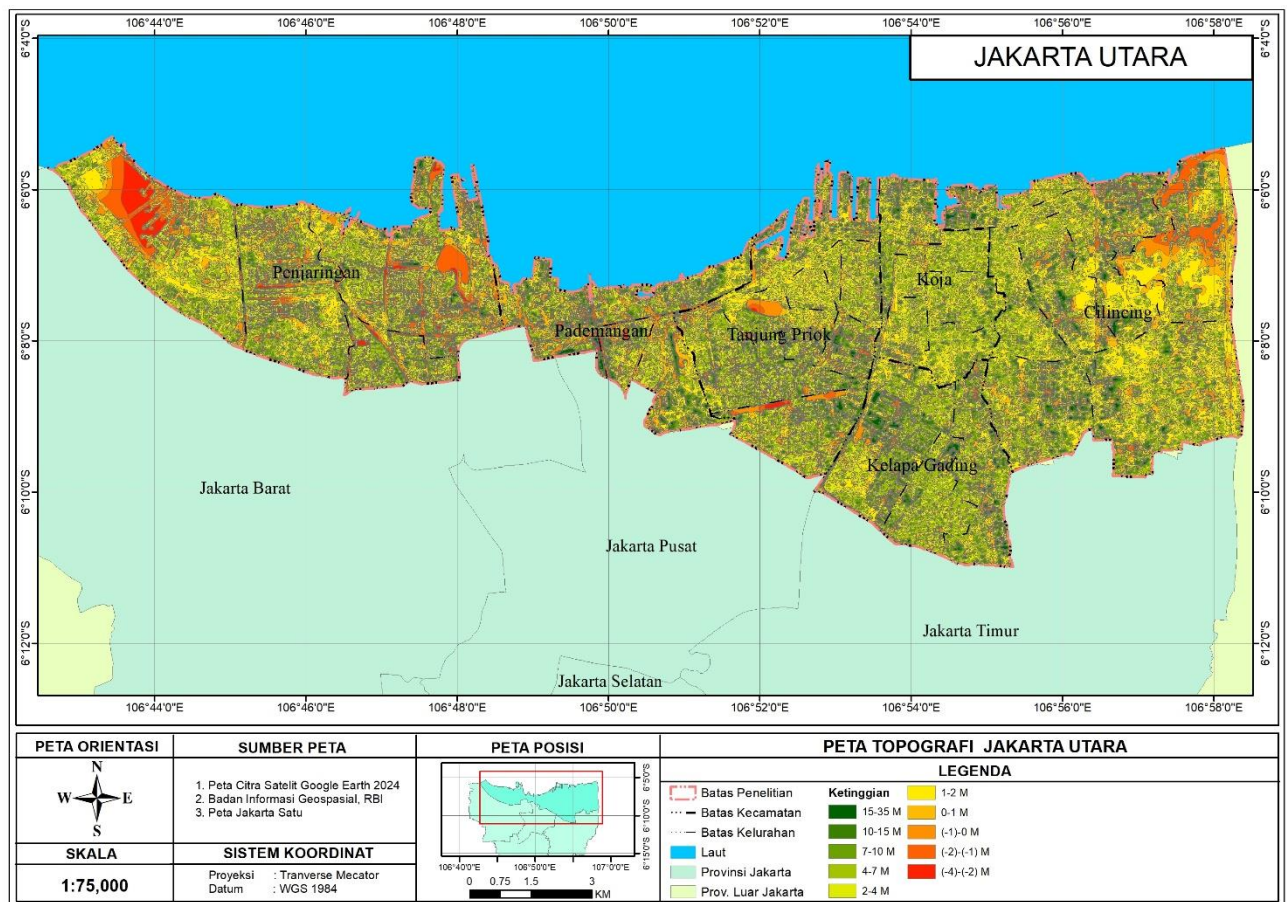
- D_{final} = Overlay daerah tergenang dengan Penggunaan lahan
- P_t = Penggunaan lahan sesuai kriteria (1=tergenang, 0=tidak tergenang)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis DEM (*Digital Elevation Model*)

Topografi merupakan representasi bentuk permukaan bumi, baik alami maupun buatan, yang mencerminkan variasi ketinggian, kemiringan, dan bentuk lereng. Wilayah pesisir, termasuk Jakarta Utara, umumnya memiliki topografi yang landai hingga datar dengan kemiringan yang cenderung menurun ke arah laut. Untuk memahami kondisi topografi secara kuantitatif, digunakan data *Digital Elevation Model* (DEM), yaitu representasi digital permukaan tanah yang memuat informasi koordinat X, Y, dan Z (elevasi) pada titik-titik tertentu (Sauda et al., 2019). Data ini dianalisis menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), khususnya dalam bentuk pemodelan spasial untuk mengidentifikasi potensi genangan banjir rob.

Dalam penelitian ini, data ketinggian tanah diperoleh dari DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*) yang disusun oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS dengan interval ketinggian sebesar 1 meter. Untuk mengetahui elevasi muka tanah dilakukan analisis tekstur yang bertujuan untuk mengidentifikasi zona dataran rendah, lereng, dan perubahan elevasi yang signifikan menggunakan fitur tekstur dari citra DEM lalu diproyeksikan pada sistem koordinat WGS 1984 UTM Zona 48S. Proses identifikasi koreksi geometri dilakukan dengan metode Mosaic to New Raster antara data DEM dengan informasi kedalaman pada bentuk raster (Nugraha et al., 2023) . Hasil dari analisis ini digunakan untuk memetakan klasifikasi elevasi di enam kecamatan yang berada di wilayah administrasi Jakarta Utara. Data DEM ini sangat penting dalam pemodelan banjir rob, karena



Gambar 3. Peta topografi Kota Jakarta Utara.

memungkinkan identifikasi area yang berada di bawah atau mendekati elevasi muka air laut. **Gambar 3** menyajikan peta topografi Jakarta Utara yang menunjukkan sebaran ketinggian permukaan tanah. Ketinggian wilayah bervariasi antara -4 meter hingga 35 meter di atas permukaan laut (mdpl). Area yang berada di bawah permukaan laut umumnya terletak di sepanjang garis pantai dan ditunjukkan dengan warna merah hingga oranye, sedangkan area yang lebih tinggi (berwarna hijau dan kuning) terletak lebih jauh dari laut.

Berdasarkan hasil klasifikasi ketinggian, diketahui bahwa Jakarta Utara memiliki wilayah seluas 1183,22 ha yang berada di bawah permukaan laut (elevasi < 0 mdpl), dengan rincian sebagai berikut: elevasi -4 hingga -2 meter mencakup 129,85 ha; -2 hingga -1 meter mencakup 378,81 ha; dan -1 hingga 0 meter mencakup 674,56 ha. Data lengkap mengenai distribusi elevasi wilayah Jakarta Utara disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Ketinggian Tanah Jakarta Utara.

No	Ketinggian (Meter)	Luas Hektare (ha)	Persentase %
1	(-4)-(-2) mdpl	129,85	0,93%
2	(-2)-(-1) mdpl	378,81	2,72%
3	(-1)-0 mdpl	674,56	4,84%
4	0-1 mdpl	1256,59	9,01%

5	1-2 mdpl	2074	14,87%
6	1-2 mdpl	2073,22	14,87%
7	2-4 mdpl	3338,18	23,94%
8	4-7 mdpl	2703,81	19,39%
9	7-10 mdpl	879,75	6,31%
10	10-15 mdpl	357,61	2,56%
11	15-35 mdpl	80,2	0,58%

Sumber: hasil pengolahan, 2024

Hasil analisis ini menunjukkan 8,49% wilayah Jakarta Utara berada di bawah permukaan laut, menjadikannya zona kritis dalam kebijakan mitigasi bencana banjir rob. Data Ketinggian Tanah Jakarta Utara yang telah dianalisis menjadi dasar penting dalam mengidentifikasi wilayah yang berisiko terhadap genangan banjir rob, yang akan dikaji lebih lanjut dalam subbagian berikutnya mengenai pemodelan genangan dan *overlay* dengan penggunaan lahan.

Analisis Pasang-Surut (Tidal)

Wilayah pesisir merupakan zona transisi antara darat dan laut yang rentan terhadap gelombang pasang, terutama sebagai akibat dari perubahan iklim. Kenaikan suhu global secara signifikan meningkatkan frekuensi dan intensitas gelombang pasang. Jika suhu bumi meningkat

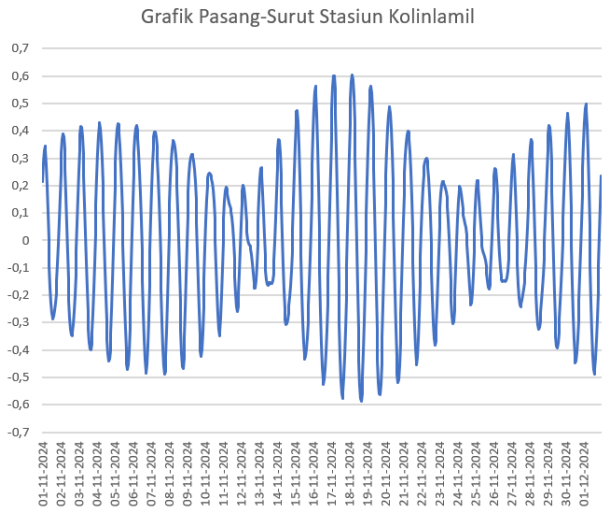
sebesar 2°C, maka wilayah pesisir akan mengalami gelombang pasang setiap tahun, berimplikasi pada kenaikan muka air laut dan potensi kehilangan daratan di banyak wilayah pesisir Indonesia (Rio Rahmanto, 2018).

Fenomena pasang-surut sendiri merupakan gejala alam yang terjadi akibat gaya tarik menarik antara bumi, bulan, dan matahari. Berdasarkan penelitian Hadi Adriansyah et al., (2024), pola pasang-surut di wilayah perairan Pondok Dayung, Jakarta Utara, dikategorikan sebagai tipe harian tunggal (*diurnal tide*), dengan nilai bilangan *Formzahl* sebesar 4,997. Artinya, dalam satu hari hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Grafik pasang-surut ini disusun dari data *time series* yang merekam fluktuasi muka air laut setiap jam.

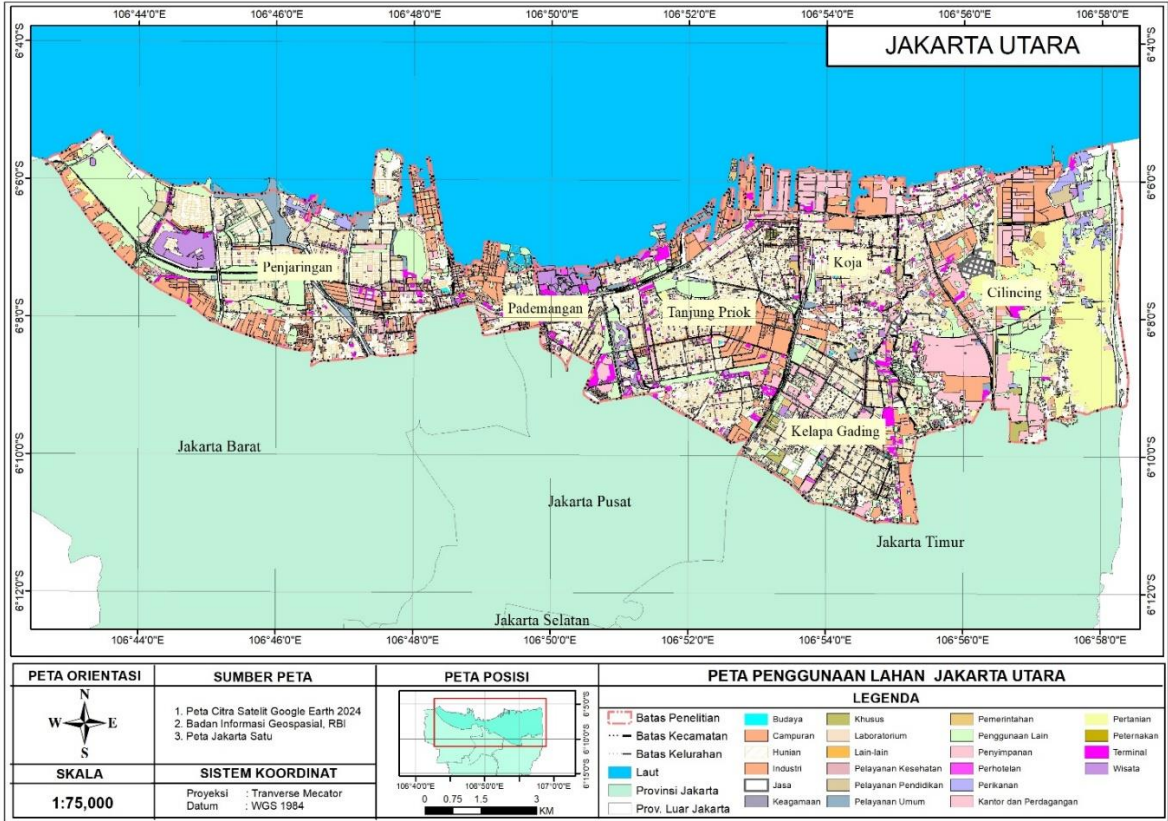
Selain menggunakan nilai bilangan *Formzahl*, untuk mengetahui tipe pasang surut dapat menggunakan data yang diperoleh dari pengamatan dilapangan yang kemudian disajikan dalam grafik sehingga dapat diketahui nilai tinggi muka air laut (Pasaribu et al., 2022). Data pasang-surut yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan diambil dari Stasiun Pasang Surut Kolinlamil yang terletak di Kelurahan Tanjung Priok, Kecamatan Koja, Jakarta Utara. Data direkam setiap satu jam sekali selama periode 1 November hingga 1 Desember 2024. Untuk keperluan analisis, data ini terlebih dahulu melalui proses *smoothing* menggunakan *Microsoft Excel* guna menghilangkan noise. Hasilnya ditampilkan dalam **Gambar 4**.

Berdasarkan hasil visualisasi tersebut, tipe pasang-surut yang teridentifikasi adalah harian

tunggal. Ketinggian maksimum pasang (*Highest High Water Level / HHWL*) tercatat sebesar +60 cm, sedangkan ketinggian minimum surut (*Lowest Low Water Level / LLWL*) sebesar -58 cm. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya oleh Amalia & Warsito (2019) yang juga mengidentifikasi pasang-surut di perairan Pondok Dayung sebagai pasang harian tunggal dengan elevasi muka air laut rata-rata 60,07 cm. Jenis pasang-surut ini menyebabkan wilayah dengan elevasi 0 meter atau lebih rendah sangat rentan terhadap genangan rob saat terjadi pasang maksimum.



Sumber: hasil pengolahan dari data SRGI BIG
Gambar 4. Grafik Pasang-Surut Stasiun Kolinlamil, Jakarta Utara November 2024.



Gambar 5. Peta penggunaan lahan Kota Jakarta Utara.

Analisis Penggunaan Lahan

Dalam penelitian ini, berdasarkan pendekatan topografi dan pasang surut dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan jenis penggunaan lahan secara menyeluruh pada wilayah Jakarta Utara. Integrasi ini mencakup klasifikasi spasial terhadap zona permukiman, industri, fasilitas publik, serta ruang terbuka hijau. Dengan demikian, analisis tidak hanya memetakan potensi genangan rob berdasarkan kondisi fisik dan hidrodinamik, tetapi kondisi penggunaan lahan suatu wilayah terhadap genangan rob.

Analisis penggunaan lahan dilakukan untuk mengetahui sebaran fungsi lahan di Jakarta Utara yang menjadi konteks utama penelitian ini. Berdasarkan peta dan analisis spasial pada **Gambar 5**, diketahui bahwa penggunaan lahan di Jakarta Utara didominasi oleh kawasan hunian, industri, dan fasilitas penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki konsentrasi aktivitas ekonomi dan permukiman yang cukup tinggi, yang tentu berisiko terdampak apabila terjadi genangan rob. Adapun penggunaan lahan dengan proporsi paling kecil meliputi peternakan, budaya, dan perhotelan. Rincian penggunaan lahan di wilayah Jakarta Utara dapat dilihat dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Penggunaan lahan Jakarta Utara

No	Penggunaan Lahan	Luas Hektare (ha)	Persentase %
1	Hunian	4237,32	35,02%
2	Penggunaan Lain (RTH, Mangrove dan Lahan kosong)	2173,63	17,96%
3	Industri	1592,14	13,16%
4	Penyimpanan (Gudang)	1083,38	8,95%
5	Pertanian	779,04	6,44%
6	Kantor dan Perdagangan	581,27	4,80%
7	Wisata (Restoran dan Olahraga)	356,37	2,94%
8	Pelayanan Umum	228,96	1,89%
9	Pelayanan Pendidikan	201,33	1,66%
10	Terminal (Parkir dan Pelabuhan)	159,17	1,32%
11	Campuran (Ruko dan <i>Mixed use</i>)	153,76	1,27%

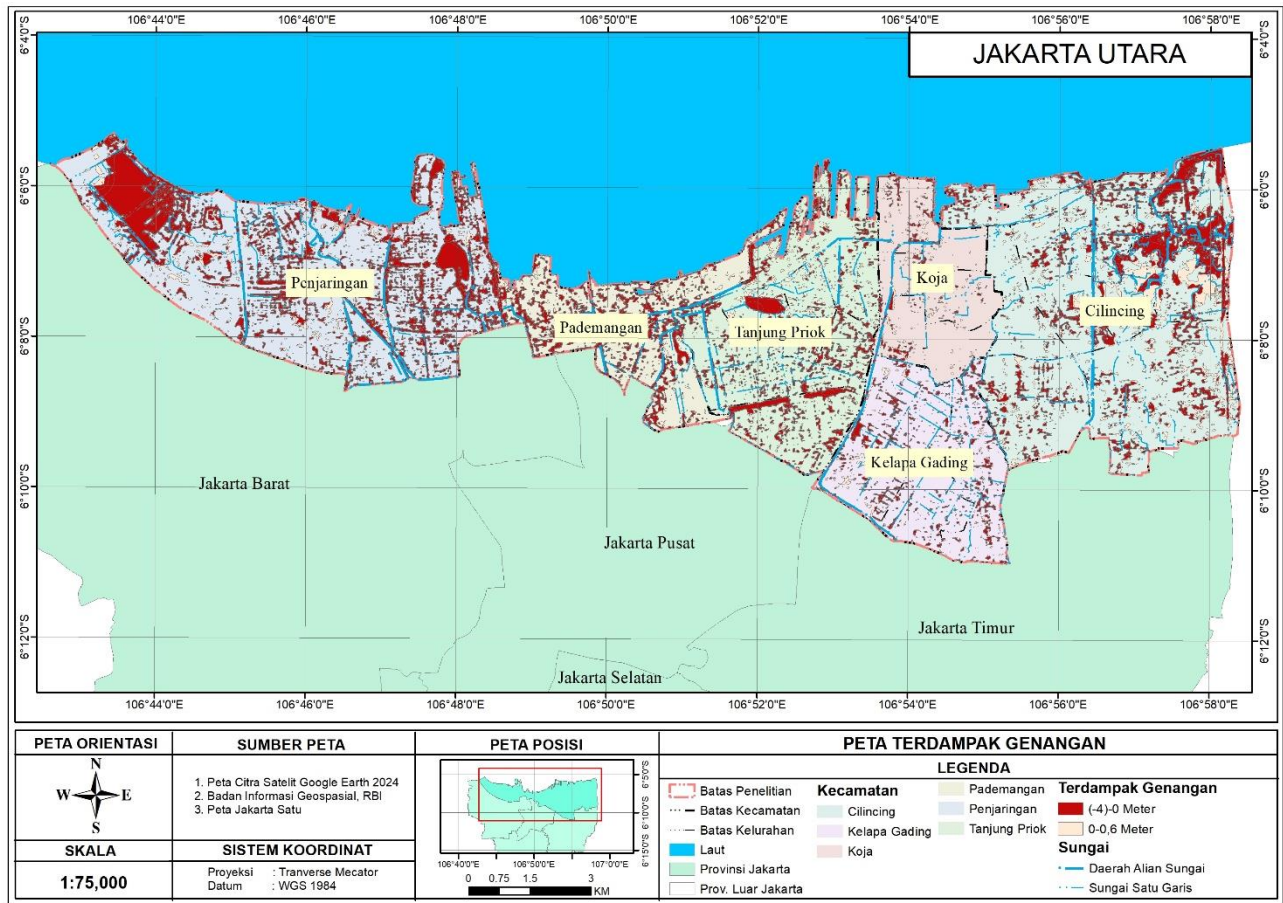
No	Penggunaan Lahan	Luas Hektare (ha)	Persentase %
12	Perikanan	129,86	1,07%
13	Pemerintahan	112,68	0,93%
14	Jasa	103,49	0,86%
15	Keagamaan (Tempat Ibadah)	78,52	0,65%
16	Khusus (Kegiatan Pertahanan)	58,54	0,48%
17	Pelayanan Kesehatan	30,4	0,25%
18	Perhotelan	26,16	0,22%
19	Budaya	11,6	0,10%
20	Laboratorium	1,93	0,02%
21	Lain-lain (Pemancar Jaringan Telekomunikasi)	1,71	0,01%
22	Peternakan	0,13	0,001%
		12101,41	100,00%

Sumber: hasil pengolahan, 2024

Analisis Genangan Banjir Rob dan Validasi Dengan Observasi Lapangan

Data elevasi muka tanah dan Data muka air laut memiliki peran penting dalam pemodelan spasial genangan banjir rob. Perubahan luas daerah yang tergenang banjir rob disebabkan oleh pengaruh penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut (Adi Iskandar et al., 2020). Untuk mengidentifikasi wilayah terdampak secara akurat, diperlukan validasi terhadap nilai elevasi atau ketinggian muka tanah. Dalam penelitian ini, model spasial dibangun dengan menggabungkan data elevasi muka tanah dengan tinggi muka air laut berdasarkan hasil analisis pasang-surut sebelumnya, yang menunjukkan tinggi maksimum pasang mencapai 0,6 meter atau 60 cm (**Gambar 6**).

Berdasarkan analisis tersebut, maka wilayah yang berpotensi tergenang banjir rob di Jakarodta Utara atau sebagai zona wilayah kritis adalah area dengan elevasi antara -4 hingga 0,6 meter di atas permukaan laut (mdpl) dan zona wilayah aman adalah area dengan elevasi antara >0,6 hingga 35 meter diatas permukaan laut (mdpl). Adapun hasil analisis spasial genangan banjir rob disajikan dalam **Tabel 4**.



Gambar 6. Peta daerah terdampak genangan Kota Jakarta Utara.

Tabel 4. Genangan banjir rob Jakarta Utara

No	Kecamatan	Luas Hektare (ha)		Luas Hektare (ha)	Persentase%
		(-4)-0 mdpl	0-(+0,6) mdpl		
1	Penjaringan	996,74	304,6	1301,34	36,07%
2	Cilincing	658	446,45	1104,46	30,61%
3	Tanjung Priok	320,53	175,88	496,41	13,76%
4	Pademangan	279,75	101,01	380,76	10,55%
5	Kelapa Gading	139,5	90,86	230,36	6,38%
6	Koja	46,75	48,24	94,99	2,63%
Total		2441,27	1167,04	3608,31	100%

Sumber: hasil pengolahan, 2024

Tabel 5.Data historis banjir rob Jakarta Utara observasi lapangan.

Waktu	Lokasi	Tinggi genangan	Sumber
12 Desember 2024	Kel. Marunda dan Pluit	40-60 cm	BPK Jakarta
18 November 2024	Kel. Papanggo, Penjaringan, Jln RE Martadinata (JIS)	20-40 cm	BPBD Jakarta
29 November 2023	Jln RE Martadinata (JIS)	5-10 cm	Kompas com
Desember 2022	Marunda, Koja, Muara Angke, Pluit dan Jln RE Martadinata	10-30 cm	Kompas com
6 Desember 2021	Kel. Pluit, Penjaringan, Pejagalan, Ancol	40-80 cm	BPBD Jakarta

Sumber: BPBD DKI Jakarta, 2021-2024

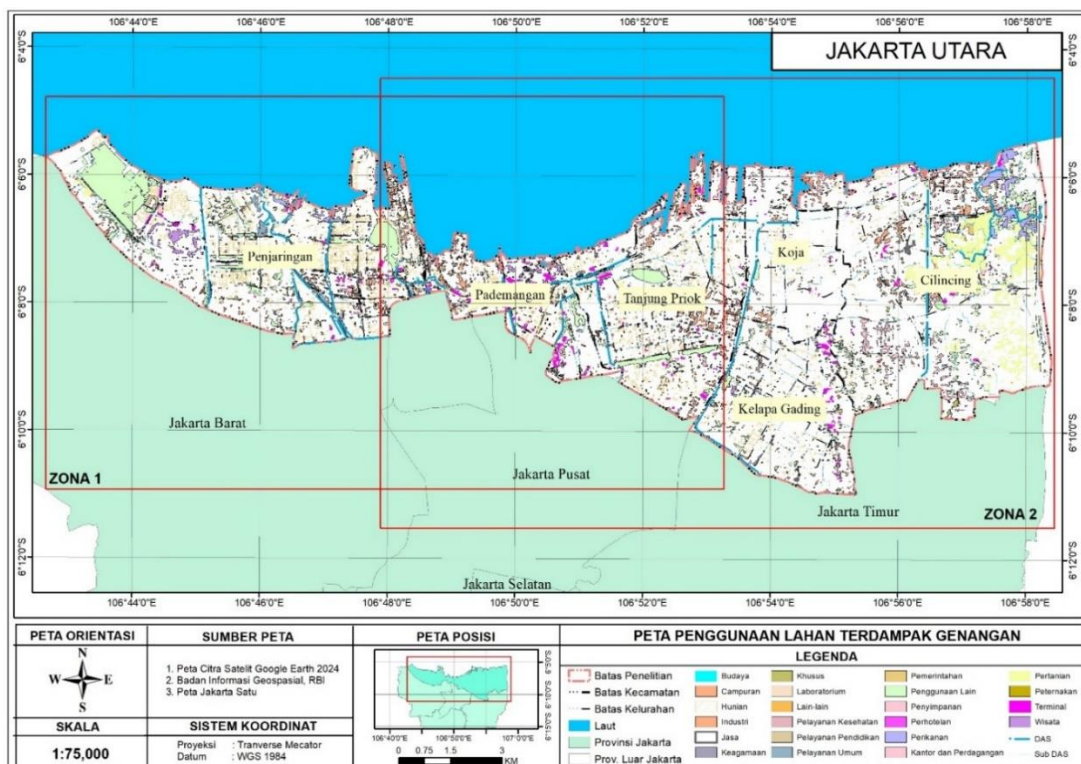
Hasil pemodelan menunjukkan bahwa genangan banjir rob di Jakarta Utara paling banyak terjadi di wilayah pesisir yang berbatasan langsung dengan laut, khususnya di Kecamatan Penjaringan (sebelah barat) dan Kecamatan Cilincing (sebelah timur). Selain itu, daerah terdampak juga ditemukan di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS), seperti Sungai Sunter, Kali Angke, Kali Cakung, dan Kali Ciliwung, yang bermuara ke Teluk Jakarta. Pola ini menunjukkan bahwa selain faktor elevasi rendah, kedekatan dengan badan air dan muara sungai turut meningkatkan kerentanan terhadap genangan rob. Banjir Rob dapat menyebar ke daerah yang jauh dari garis pantai karena kombinasi kenaikan muka air laut disertai gelombang pasang, penurunan muka tanah serta sungai yang terhubung langsung ke laut. Peningkatan tinggi muka air laut akibat pemanasan global mengakibatkan air pasang lebih tinggi sehingga air laut dapat meluap ke daratan melalui aliran sungai sehingga menyebabkan genangan pada daerah yang jauh dari pesisir.

Banjir rob memberikan dampak signifikan terhadap kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat pesisir, terutama di wilayah yang rentan terhadap kenaikan muka air laut yaitu daerah pesir pada lima kecamatan di Jakarta Utara yang dapat dilihat pada **Gambar 6**. Secara sosial, banjir rob mengganggu aktivitas harian warga, terganggunya mata pencaharian, merusak tempat tinggal, dan memicu berbagai penyakit akibat lingkungan yang lembap dan tercemar. Akses pendidikan terganggu karena sekolah terendam dan jalan terganggu, sementara interaksi sosial menurun karena masyarakat lebih fokus pada upaya bertahan hidup dan pemulihan akibat genangan banjir. Dari sisi

ekonomi, banjir rob menyebabkan penurunan pendapatan, terutama bagi nelayan dan pedagang yang bergantung pada akses laut dan infrastruktur pesisir. Banyak warga terpaksa mengubah mata pencaharian atau melakukan adaptasi seperti meninggikan rumah dan membangun tanggul. Genangan banjir bob juga mengakibatkan Kerusakan fasilitas umum dan terganggunya distribusi barang yang memperlambat roda ekonomi lokal, menjadikan banjir rob sebagai ancaman multidimensi yang memerlukan penanganan terpadu dan berkelanjutan.

Data historis banjir rob pada **Tabel 5** menunjukkan selama 3 tahun terakhir telah terjadi Genangan akibat banjir rob dengan ketinggian genangan 5-80 cm. Model spasial genangan banjir rob yang telah dikembangkan pada penelitian ini yang didasarkan pada data *Digital Elevation Model* (DEM) dan data pasang-surut menunjukkan konsistensi yang tinggi terhadap data historis lapangan.

Validasi spasial genangan banjir rob terhadap kejadian banjir rob lapangan di wilayah kelurahan Marunda, Pluit, Papanggo, Penjaringan, Ancol, Muara Angke, Pejagalan, dan Jalan RE Martadinata pada periode 2021-2024 memperlihatkan kesesuaian antara data pasang-surut dengan ketinggian air yang tercatat oleh BPBD Jakarta, BPK Jakarta dan sumber berita terpercaya. Hal ini mengindikasikan bahwa model yang dibangun berdasarkan data *Digital Elevation Model* (DEM) (DEMNAS) dan data pasang-surut dan data pasang-surut (SRGI-BIG) memiliki akurasi yang dapat diandalkan untuk mendukung perencanaan mitigasi bencana dan adaptasi masyarakat di wilayah pesisir Jakarta Utara.



Gambar 7. Peta penggunaan lahan terdampak genangan Kota Jakarta Utara.

Analisis Overlay Genangan Banjir Rob terhadap Penggunaan Lahan

Model elevasi muka air laut diolah secara geospasial menggunakan metode Spatial Analyst, dikombinasikan dengan sebaran nilai elevasi muka tanah sebagaimana dijelaskan oleh Sauda et al., (2019). Berdasarkan hasil pengolahan kedua variabel tersebut, diperoleh peta sebaran genangan Banjir Rob. Selanjutnya, peta ini dilakukan *overlay* dengan peta penggunaan lahan dari Pemprov DKI Jakarta yang diperoleh melalui platform Jakarta Satu. Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak GIS – ArcGIS dengan memanfaatkan *tool Intersect*.

Gambar 7 menunjukkan bahwa secara spasial, wilayah terdampak genangan Banjir Rob didominasi oleh penggunaan lahan kategori “penggunaan lain” (termasuk RTH, mangrove, dan lahan kosong), permukiman, kawasan industri, dan lahan pertanian. Sementara itu, penggunaan lahan dengan dampak paling rendah mencakup kawasan budaya, laboratorium, dan perikanan. Secara umum, wilayah yang terdampak terletak di daerah yang dekat dengan garis pantai dan sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS), berikut hasil analisis penggunaan lahan terdampak genangan banjir rob Jakarta Utara disajikan dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Penggunaan lahan terdampak genangan banjir rob Jakarta Utara.

No	Penggunaan Lahan	Luas Hektare (ha)	Persentase %
1	Penggunaan Lain	898,77	31,03%
2	Hunian	584,09	20,17%
3	Industri	349,34	12,06%
4	Pertanian	333,51	11,52%
5	Penyimpanan	215,6	7,44%
6	Perkantoran dan Perdagangan	97,76	3,38%
7	Perikanan	88,42	3,05%
8	Wisata	85,02	2,94%
9	Pelayanan Umum	63,97	2,21%
10	Terminal	43,59	1,51%
11	Pelayanan Pendidikan	42,17	1,46%
12	Pemerintahan	24,06	0,83%
13	Campuran	17,44	0,60%
14	Keagamaan	15,81	0,55%

No	Penggunaan Lahan	Luas Hektare (ha)	Persentase %
15	Jasa	12,34	0,43%
16	Khusus	10,96	0,38%
17	Perhotelan	6,4	0,22%
18	Pelayanan Kesehatan	3,67	0,13%
19	Budaya	2,15	0,07%
20	Laboratorium	1,05	0,04%
21	Lain-lain	0,11	0,004%
22	Peternakan	0,03	0,001%
		2896,28	100,00%

Sumber: hasil pengolahan, 2024

Pada **Gambar 8** dan **9** memberikan visualisasi yang lebih detail terkait distribusi genangan berdasarkan zona. Area dengan tutupan lahan berwarna putih menunjukkan wilayah yang tidak terdampak genangan, yang umumnya memiliki elevasi muka tanah yang relatif lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi elevasi suatu wilayah, semakin kecil kemungkinan terkena genangan Banjir Rob.

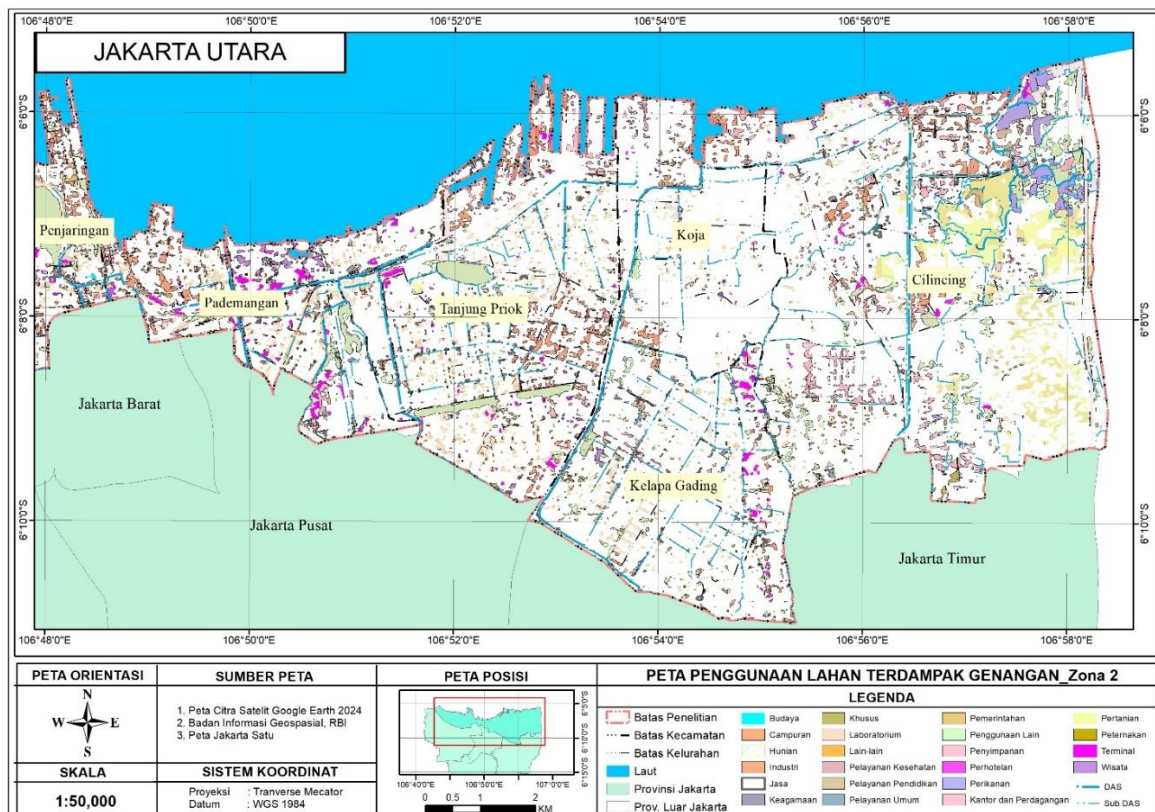
Hasil analisis ini memberikan gambaran spasial mengenai area terdampak saat pasang tinggi, yang biasanya terjadi saat bulan purnama setiap bulannya. Dampak genangan ini mendorong adaptasi masyarakat, antara lain dengan peninggian lantai rumah, penimbunan tanah, serta pembangunan tanggul di titik-titik tertentu di sepanjang garis pantai.

Jakarta utara merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap kenaikan muka air laut karena daratan dan pantainya landai dan Sebagian besar jenis tanahnya Aluvial yang terbentuk dari sedimentasi sehingga rentan terhadap penurunan tanah sehingga menjadi penyebab wilayah ini terdampak banjir. Jakarta utara memiliki karakteristik yang sama dengan pantai utara Kota Semarang dengan bentuk pantainya landai juga terdiri dari daratan aluvial (Prayogo et al.,2015).

Informasi ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi, seperti pembangunan Giant Sea Wall tahap kedua dan penyusunan peta jalur evakuasi saat Banjir Rob di wilayah pesisir Jakarta Utara. **Tabel 6** menunjukkan luas penggunaan lahan terdampak Banjir Rob berdasarkan Kecamatan.



Gambar 8. Peta penggunaan lahan terdampak genangan Kota Jakarta Utara zona 1.



Gambar 9. Peta penggunaan lahan terdampak genangan Kota Jakarta Utara zona 2.

Tabel 6. Luas penggunaan lahan terdampak genangan tiap kecamatan di Jakarta Utara

No	Penggunaan Lahan	Luas Genangan tiap Kecamatan Hektare (ha)					
		Penjaringan	Cilincing	Tanjung Priok	Pademangan	Kelapa Gading	Koja
1	Budaya	14.734	0,29	0,29	0,04	0,02	0,03
2	Campuran	77.591	0,73	4,47	3,49	0,51	0,48
3	Hunian	2.283.618	102,01	122,49	64,11	49,37	17,76
4	Industri	740.203	102,84	96,51	40,18	13,82	21,97
5	Jasa	34.489	2,85	2,24	1,20	2,25	0,35
6	Kantor dan Gudang	356.965	5,09	15,23	21,28	18,09	2,38
7	Keagamaan	31.073	4,68	2,36	2,85	2,47	0,34
8	Khusus	0	5,23	1,99	1,11	2,63	0,00
9	laboratorium	6.951	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
10	lain lain	0	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
11	Pelayanan Kesehatan	21.516	0,18	0,80	0,20	0,18	0,16
12	Pelayanan Pendidikan	136.749	12,63	5,62	3,88	5,40	0,96
13	Pelayanan Umum	437.730	4,18	0,89	10,74	2,55	1,84
14	Pemerintahan	42.532	9,02	5,16	3,07	2,13	0,43
15	Penggunaan Lain	5.148.985	159,94	99,65	59,30	54,97	10,01
16	Penyimpanan	202.021	133,68	29,82	11,35	11,01	9,53
17	perhotelan	11.907	0,00	1,18	3,43	0,58	0,01
18	Perikanan	125.990	73,51	1,56	0,18	0,41	0,16
19	Pertanian	87.193	320,80	3,82	0,16	0,00	0,02
20	Peternakan	63.709	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
21	Terminal	0	5,90	6,82	16,62	7,54	0,34
22	Wisata	392.973	4,92	4,67	30,95	4,14	1,05

Sumber: hasil pengolahan, 2024

Bagian ini memuat rincian data penggunaan lahan terdampak genangan berdasarkan enam kecamatan di Jakarta Utara, yaitu Cilincing, Kelapa Gading, Koja, Pademangan, Penjaringan, dan Tanjung Priok. Analisis dilakukan terhadap jenis penggunaan lahan dan luas area terdampak (dalam hektar). Hasil analisis menunjukkan bahwa Kecamatan Penjaringan memiliki luas terdampak terbesar, disusul oleh Cilincing dan Tanjung Priok. Jenis lahan yang paling luas terdampak adalah kategori "penggunaan lain", permukiman, dan kawasan industri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pemodelan spasial genangan banjir rob akibat kenaikan muka air laut di wilayah pesisir Jakarta Utara, penelitian ini menegaskan bahwa seluruh kecamatan di wilayah tersebut berpotensi terdampak genangan dengan tingkat kerentanan yang bervariasi. Hasil pemetaan menunjukkan terjadinya penurunan muka tanah yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir,

dengan elevasi lahan mencapai antara -4 hingga 0 meter di atas permukaan laut (mdpl). Pada kondisi pasang laut setinggi 0,6 meter, luas wilayah genangan mencapai sekitar 2.896,28 hektar atau 23,93% dari total luas Jakarta Utara, dan frekuensi genangan meningkat pada musim hujan, terutama di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS).

Temuan ini secara langsung menjawab tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi sebaran spasial wilayah terdampak genangan rob dan menilai implikasinya terhadap perencanaan tata ruang serta strategi mitigasi bencana. Berdasarkan hasil tersebut, strategi adaptasi dan mitigasi banjir rob perlu diarahkan pada zona-zona wilayah kritis dengan prioritas pembangunan infrastruktur pengendali banjir, seperti *giant sea wall*, waduk pengendali banjir, serta penerapan sistem pompa air *real-time* berbasis sensor data pasang surut. Pendekatan ini diharapkan dapat mengurangi luas wilayah genangan sekaligus meningkatkan ketahanan kawasan pesisir terhadap dampak kenaikan muka air laut di masa mendatang.

Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variabel curah hujan dan menggunakan data pasang-surut yang lebih komprehensif agar sdapat meningkatkan akurasi model prediksi genangan, mengidentifikasi titik rawan baru dan membantu mengevaluasi kapasitas saluran drainase secara lebih tepat.. Selain itu, studi lebih lanjut oleh Pemerintah Kota Jakarta Utara perlu mencakup penilaian kerentanan infrastruktur, ekonomi, dan sosial, guna merumuskan kebijakan mitigasi banjir rob yang lebih efektif dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pemerintah Provinsi DKI Jakarta yang telah memberikan data Penggunaan Lahan di Wilayah Jakarta Utara, serta kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah menyediakan dan memberikan data pasang-surut untuk pemodelan genangan Banjir Rob. Terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Terbuka, Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, yang telah memberikan akses penggunaan perangkat lunak ArcGIS untuk pemodelan spasial, sehingga artikel ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Iskandar, S., Helmi, M., Widada, S., Baskoro Rochaddi, D., Oseanografi, D., & Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, J. (2020). Analisis Geospasial Area Genangan Banjir Rob dan Dampaknya pada Penggunaan Lahan Tahun 2020-2025 di Kota Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. In *Indonesian Journal of Oceanography*. Retrieved from <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoice/Diterima/>
- Ainurrohman, S., & Sudarti, S. (2022). Analisis Perubahan Iklim dan Global Warming yang Terjadi sebagai Fase Kritis. *Jurnal Phi Jurnal Pendidikan Fisika Dan Fisika Terapan*, 3(3), 1. <https://doi.org/10.22373/p-jpft.v3i3.13359>
- Amalia, Warsito, W. (2019). Karakteristik Pasang Surut di Teluk Jakarta berdasarkan data 253 Bulan. *Jurnal Riset Jakarta*.
- Arief, M., Prayogo, T., Winarso, G., & Hartuti, M. 2015. Aplikasi Data Penginderaan Jauh Untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai Terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang. IPB Press, Bogor.
- Duong, T. M., Meynadier, R., Ranasinghe, R., Loaiza, M. A. D., Bricker, J. D., Reynolds, J., ... Bamunawala, J. (2024). On detailed representation of flood defences and flow-wave coupling in coastal flood modelling. *Npj Natural Hazards*, 1(1). <https://doi.org/10.1038/s44304-024-00016-9>
- Fathul. (2019). *Pemodelan Ketinggian Genangan Banjir Rob dan Kerentanan Sosial Menggunakan Digital Elevation Model (DEM) Wilayah Pesisir Jakarta Utara*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hadi Adriansyah, A., Laksmi, A. A., Christy, A., Robert, A., Sitorus, P., Kampai, A. M., ... Fauzah, D. (2024). Analisis Karakteristik Pasang-Surut Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil (Studi Kasus: Dermaga Sunda, Pondok Dayung, Jakarta Utara). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 205–211. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.16021>
- Hidayah, S. (2023). Pemodelan Spasial Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Selatan Kab Tulungagung, Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Nasional*, 18, 1–12.
- Nugraha, R., Minola, B., & Ginting, S. (2023). *Pemodelan Rain-On-Grid Untuk Kasus Banjir pada Polder Pluit Jakarta*. 17(03). <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2023.017.03.13>
- Nurlatifah, A., Hatmaja, R. B., & Rakhman, A. A. (2023). Analisis Potensi Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Masa Mendatang Sebagai Dampak dari Perubahan Iklim di Pulau Jawa Berbasis Model Iklim Regional CCAM. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 980–986. <https://doi.org/10.14710/jil.21.4.980-986>
- Pangastuti, P. R., Helmi, M., & Atmodjo, W. (2024). Pemodelan Geospasial Genangan Banjir Pasang di Pesisir Kabupaten Cirebon. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2), 177–188. <https://doi.org/10.14710/buloma.v13i2.57667>
- Pasaribu, R. P., Sewiko, R., & Arifin, A. (2022). Application of The Admiralty Method to Process Tidal Data in the Waters of The Nasik Strait - Bangka Belitung. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(1), 146. <https://doi.org/10.35800/jip.v10i1.39719>
- Rahma, Della, A. (2022). Pemodelan Spasial Genangan Banjir Rob, Studi Kasus: Pesisir Utara Banten (Kecamatan Kasemen). *Jurnal Georafflesia*, 2, 173–181. Retrieved from <https://journals.unihaz.ac.id/index.php/georafflesia>
- Rio Rahmanto, C. (2018). Pemodelan Spasial Genangan Banjir Akibat Gelombang Pasang di Wilayah Pesisir Kota Mataram. *Jurnal Teknik ITS*. Retrieved from https://repository.its.ac.id/50267/1/3613100058-Undergraduate_Theses.pdf
- Sauda, R. H., Nugraha, arief laila, & Hani'ah. (2019). Kajian Kerentanan Banjir Rob di Kabupaten Pekalongan. *Jurnal Geodesi Undip*, 8, 466–474. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/22777/20827>
- Syahrizal, H., & Jailani, M. S. (2023). Jenis-Jenis Penelitian Dalam Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. *Jurnal Pendidikan, Sosial & Humaniora*, 1(1), 13–23. <https://doi.org/10.61104/jq.v1i1.49>
- Tumawu, A. F., Kafu, G. Y., Yiran, G. A. B., & Frimpong, L. K. (2024). Assessment of coastal flood risk scenarios on infrastructure in the Keta municipality in Ghana using a GIS approach. *Heliyon*, 10(21), e39824. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39824>
- Wijaya, A., Kuntoro, A. A., & Gondodino, E. A. S. (2019). Pemodelan Intrusi Air Asin Pada Akuifer Pantai (Studi Kasus: DKI Jakarta). *Jurnal Teknik Hidraulik*, 10(1), 15–28. <https://doi.org/10.32679/jth.v10i1.583>

Halaman ini sengaja kami kosongkan

ANALISIS SPASIAL-TEMATIK KASUS BUNUH DIRI DI KABUPATEN GUNUNGKIDUL: INTEGRASI KLUSTER HIERARKI, PEMETAAN GIS, DAN FAKTOR GEOSOSIAL

(Spatial-Thematic Analysis of Suicide Cases in Gunungkidul Regency: Integration of Hierarchical Clustering, GIS Mapping, and Geosocial Factors)

Darvpa Nusantara Yogya¹, Alfian Fakhru Rozi¹ Agus Joko Pitoyo²

¹ Kartografi dan Penginderaan Jauh Universitas Gadjah Mada

² Geografi Lingkungan Universitas Gadjah Mada

Sekip Utara Jalan Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281

E-mail: darvpanusantarayogya@mail.ugm.ac.id

Diterima: 4 September 2025; Direvisi : 22 September 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan: 4 Oktober 2025

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pola spasial kasus bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul dengan pendekatan analisis spasial-tematik menggunakan metode kluster hierarki. Analisis terhadap 48 kasus bunuh diri berbasis kluster hierarki menghasilkan klasifikasi 18 kapanewon ke dalam tiga tingkat kerentanan. Tujuannya adalah mengidentifikasi pola geografis, hubungan antarindikator sosial-ekonomi, serta wilayah prioritas intervensi pencegahan bunuh diri. Data yang digunakan meliputi lokasi kejadian bunuh diri tahun 2023–2024 dari Kepolisian Resor Gunungkidul, data statistik kemiskinan, pengangguran, status pernikahan, tekanan sosial, dan indeks kesehatan dari BPS serta Disdukcapil. Analisis dilakukan melalui normalisasi data, pembentukan kluster hierarki menggunakan R-Studio, dan integrasi hasilnya ke dalam pengolahan Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk menghasilkan peta tematik distribusi kasus. Hasil analisis menunjukkan adanya pola spasial yang menonjol di wilayah selatan dan tenggara Gunungkidul, terutama pada kapanewon dengan tingkat kemiskinan dan pengangguran tinggi. Analisis korelasi menunjukkan bahwa status pernikahan (jumlah perceraian) memiliki hubungan terkuat ($r=0,47$), sedangkan pengangguran ($r=0,09$) dan kemiskinan ($r=0,05$) menunjukkan korelasi positif yang lebih rendah. Peta distribusi yang dihasilkan memungkinkan identifikasi wilayah dengan risiko bunuh diri tinggi serta mendukung penentuan prioritas intervensi berbasis lokasi (*place-based intervention*). Faktor sosial dan budaya, termasuk kepercayaan terhadap mitos Pulung Gantung, turut berperan sebagai konteks lokal yang memperkuat urgensi pendekatan spasial dalam memahami fenomena ini. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi analisis spasial, indikator geososial, dan konteks budaya dalam strategi pencegahan bunuh diri berbasis wilayah.

Kata kunci: analisis spasial, bunuh diri, geososial, kluster hierarki, SIG

ABSTRACT

This study examines the spatial patterns of suicide cases in Gunungkidul Regency using a spatial-thematic analysis approach with the hierarchical clustering method. The analysis of 48 suicide cases using hierarchical clustering resulted in the classification of 18 districts (kapanewon) into three levels of vulnerability. The objectives are to identify geographical patterns, the relationships between socio-economic indicators, and priority areas for suicide prevention interventions. The data used include the locations of suicide incidents from 2023–2024 obtained from the Gunungkidul Police Department, as well as statistical data on poverty, unemployment, marital status, social pressure, and health index from BPS and the Department of Population and Civil Registration. The analysis was conducted through data normalization, hierarchical clustering using R-Studio, and integration of the results into Geographic Information System (QGIS) processing to produce thematic maps of case distribution. The results reveal a prominent spatial pattern in the southern and southeastern parts of Gunungkidul, particularly in districts with high poverty and unemployment rates. Correlation analysis indicates that marital status (number of divorces) has the strongest relationship ($r=0.47$), while unemployment ($r=0.09$) and poverty ($r=0.05$) show a weaker positive correlation. The generated distribution maps enable the identification of high-risk areas for suicide and support the determination of place-based intervention priorities. Social and cultural factors, including the belief in the Pulung Gantung myth, also play a role as a local context that reinforces the urgency of a spatial approach in understanding this phenomenon. Therefore, this study confirms the importance of integrating spatial analysis, geosocial indicators, and cultural context in area-based suicide prevention strategies.

Keywords: spatial analysis, suicide, geosocial, hierarchical clustering, GIS

PENDAHULUAN

Di Kabupaten Gunungkidul terdapat fenomena sosial bernama pulung gantung, yakni kepercayaan bahwa bintang jatuh menjadi isyarat untuk bunuh diri. Kepercayaan ini berkaitan dengan keterbatasan pekerjaan, tekanan sosial, kemiskinan, dan rendahnya angka harapan hidup. Berdasarkan data kejadian bunuh diri dari Polres Gunungkidul, pada 2023 tercatat 29 kasus bunuh diri, menunjukkan urgensi edukasi masyarakat sebagai langkah preventif. Edukasi ini diharapkan menumbuhkan kepekaan generasi muda terhadap lingkungan sekitar dan sejalan dengan SDGs (*Sustainable Development Goals*) poin ketiga, yaitu Kehidupan Sehat dan Sejahtera.

Fenomena bunuh diri ini erat kaitannya dengan faktor sosial dan budaya yang melekat di masyarakat. Manusia sebagai makhluk sosial tidak dapat hidup sendiri dan selalu berhubungan dengan orang lain, sehingga setiap tindakan individu memiliki kaitan dengan lingkungan sosialnya (Aulia et al., 2019). Bunuh diri dipengaruhi oleh faktor biologis, psikologis, pencetus, dan pelindung yang saling berinteraksi dalam meningkatkan maupun menurunkan risiko (Tim Penanggulangan dan Penanganan Bunuh Diri Kabupaten Gunungkidul, 2021). Tekanan psikologis dan sosiologis, serta interaksi sosial di lingkungan, memengaruhi sikap dan perilaku individu, termasuk dalam menghadapi tekanan hidup (Biroli, 2018). Di Kabupaten Gunungkidul, fenomena bunuh diri sering dikaitkan dengan kepercayaan pulung gantung, yakni isyarat berupa kilatan bola api berwarna merah yang jatuh di suatu lokasi dan dipercaya sebagai tanda bagi penghuni rumah untuk melakukan bunuh diri dengan cara menggantung diri (Asfia et al., 2025; Budiarto et al., 2021). Pelaku bunuh diri umumnya tidak dimandikan atau disucikan, dianggap hina, dan jumlah pelayat pun lebih sedikit dibandingkan kematian biasa. Kepala jenazah sering dipotong, digulung tikar, dan dikubur (Andari, 2017). Masyarakat juga percaya bahwa pulung gantung dapat menyebar, ditandai oleh arah hadap jenazah saat menggantung. Salah satu upaya pencegahan penyebarannya adalah dengan menggali tanah di bawah lokasi jenazah menggantung, yang diyakini dapat menghentikan "wabah" tersebut (Ali & Soesilo, 2021).

Ruang dan tempat dipahami sebagai faktor yang berpengaruh terhadap perilaku, kesejahteraan, dan kondisi kesehatan masyarakat. Kearns dan Moon (2002) menegaskan bahwa geografi kesehatan tidak hanya mempelajari distribusi penyakit, tetapi juga memahami bagaimana lingkungan sosial, budaya, dan spasial membentuk pengalaman manusia terhadap kesehatan dan kerentanan. Senada dengan itu, Gesler (1992) memperkenalkan konsep *therapeutic landscapes* yang menyoroti hubungan antara tempat, makna budaya, dan kesehatan mental masyarakat. Pendekatan tersebut relevan untuk memahami fenomena bunuh diri di Gunungkidul

yang tidak hanya dipengaruhi oleh faktor psikologis individu, tetapi juga oleh konteks spasial, lingkungan sosial, dan nilai budaya lokal yang melekat pada wilayah tersebut.

Kaitan antara mitos ini dan bunuh diri di Gunungkidul dapat dilihat dari aspek budaya dan psikologis. Secara budaya, mitos pulung gantung menjadi narasi yang mengakar di masyarakat setempat dan memengaruhi cara mereka memahami serta merespons tragedi bunuh diri (Fahrudin, 2012). Secara psikologis, mitos ini memperkuat stigma dan membuat masyarakat enggan mencari bantuan profesional atau membahas kesehatan mental secara terbuka (Mulyani & Eridiana, 2018). Fenomena ini mencerminkan bagaimana kepercayaan tradisional, tekanan sosial, dan kurangnya pemahaman tentang kesehatan mental berkontribusi pada tingginya angka bunuh diri.

Fenomena bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul tidak hanya dapat dipahami melalui faktor psikologis dan sosial-budaya, tetapi juga memerlukan analisis dari perspektif geografi spasial. Kabupaten ini memiliki karakter geografis yang khas berupa bentang alam karst yang kering, keterisolasian sejumlah wilayah selatan, serta distribusi infrastruktur dan layanan publik yang tidak merata. Kondisi tersebut berimplikasi langsung terhadap aspek sosial dan psikologis masyarakat karena memengaruhi akses terhadap sumber daya, pekerjaan, layanan kesehatan, serta dukungan sosial. penelitian (Comber et al., 2011) menemukan bahwa akses ke fasilitas kesehatan sangat dipengaruhi oleh jarak dan status sosial-ekonomi, serta persepsi masyarakat terhadap akses tersebut, karena faktor-faktor yang berbeda-beda antarwilayah. Oleh karena itu, memahami bunuh diri di Gunungkidul menuntut analisis yang tidak hanya melihat individu sebagai pelaku, tetapi juga bagaimana karakteristik lokasi dan pola persebaran kasus mencerminkan ketimpangan sosial dan lingkungan yang mendasarinya.

Sebaran kasus bunuh diri menunjukkan kecenderungan pola geografis tertentu, terutama pada wilayah dengan karakteristik sosial-ekonomi dan lingkungan fisik yang khas. Pendekatan geospasial ditujukan untuk identifikasi hubungan antara lokasi kejadian dan faktor-faktor kontekstual seperti kepadatan penduduk, tingkat kemiskinan, akses terhadap layanan kesehatan, serta kondisi topografi. Dengan memanfaatkan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS), dapat diungkap pola pengelompokan (*spatial clustering*) dan keterkaitan antarwilayah yang tidak terlihat melalui analisis statistik konvensional. Pendekatan *social and disease mapping* memungkinkan analisis spasial untuk mengidentifikasi pola, klaster, dan keterkaitan antarwilayah dalam fenomena sosial maupun kesehatan, sehingga area berisiko tinggi dapat dikenali untuk intervensi lebih lanjut (Anselin, 1995; Bivand et al., 2008). Hal tersebut penting karena pencegahan bunuh diri memerlukan intervensi yang berbasis lokasi (*place-based*

intervention), di mana kebijakan dan sumber daya dapat difokuskan pada wilayah dengan risiko tinggi. Oleh karena itu, pendekatan spasial menghasilkan sudut pandang yang lebih komprehensif dalam memahami dinamika bunuh diri di Gunungkidul, sekaligus mendukung perumusan strategi penanggulangan yang berbasis bukti dan wilayah.

Kajian terkini menegaskan bahwa metode *spatial clustering* efektif dalam mengungkap hubungan spasial antara kondisi sosial-ekonomi dengan kejadian kesehatan masyarakat atau perilaku sosial tertentu. Misalnya, studi oleh Fonseca-Rodríguez et al. (2021) mengidentifikasi kluster spasial risiko tinggi COVID-19 di Swedia yang berkaitan dengan kepadatan penduduk dan ketimpangan sosial-ekonomi. Demikian pula, Choi et al. (2022) menunjukkan bahwa wilayah dengan tingkat kemiskinan dan pendidikan rendah cenderung membentuk kluster kejadian overdosis narkoba, menegaskan pentingnya faktor spasial dalam fenomena sosial. Penggunaan teknik analisis spasial seperti *spatial scan statistics* terbukti membantu mendeteksi area berisiko secara lebih akurat dalam konteks kesehatan masyarakat (Moon & Jung, 2022). Di sisi lain, Gao et al. (2023) mengemukakan bahwa metode kluster hierarki memiliki fleksibilitas tinggi dan mampu mengelompokkan individu berdasarkan kesamaan karakteristik wilayah atau kondisi kesehatan mental secara bertingkat, sehingga membantu memahami heterogenitas spasial maupun sosial dari fenomena yang diteliti.

Selain bidang kesehatan, penerapan GIS untuk *crime mapping* juga menunjukkan efektivitasnya dalam menganalisis pola perilaku manusia dan merancang intervensi berbasis komunitas (Yang, 2019). Pendekatan-pendekatan tersebut menegaskan bahwa fenomena sosial seperti bunuh diri perlu ditinjau dari perspektif keruangan. Hal tersebut karena distribusi kasus sering kali mencerminkan interaksi antara kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan fisik suatu wilayah.

Untuk memahami permasalahan ini secara ilmiah, analisis kluster hierarki dapat digunakan sebagai metode pengelompokan data berdasarkan tingkat kesamaan atau kedekatan antarobjek tanpa memerlukan jumlah kluster awal (Muflihan et al., 2022). Proses ini divisualisasikan melalui dendrogram untuk memudahkan interpretasi hubungan antarobjek (Wangiyana, 2019). Keunggulan metode ini adalah fleksibilitas, tidak membutuhkan jumlah kluster awal, serta hasil yang lebih bermakna dan bertingkat. Hasil akhirnya adalah pengelompokan data yang dapat dianalisis lebih mendalam untuk memahami struktur dan hubungan antarkelompok (Thaib & Bektii, 2022).

Analisis menggunakan indikator perceraian, pengangguran, tekanan sosial, kemiskinan, dan angka harapan hidup untuk memahami faktor yang berhubungan dengan kasus bunuh diri. Perceraian dan pengangguran menimbulkan tekanan emosional dan ekonomi, sedangkan kemiskinan serta rendahnya harapan hidup mencerminkan

keterbatasan akses terhadap kebutuhan dasar dan layanan kesehatan. Hasil korelasi indikator ini menjadi dasar bagi edukasi berbasis *life cycle approach* dengan muatan lokal pulung gantung, yang menumbuhkan kesadaran akan penyebab dan dampak bunuh diri agar pencegahan dapat dilakukan lebih tepat sasaran dan kontekstual.

Pendekatan *life cycle* mempertimbangkan kebutuhan individu di setiap tahap kehidupan, mulai dari masa kanak-kanak hingga lansia, untuk mendukung perkembangan fisik, mental, sosial, dan ekonomi yang sehat (Fikri et al., 2023). Edukasi berbasis pendekatan ini menyoroti tiga elemen utama penyebab bunuh diri, yaitu kesehatan mental, sosial, dan spiritualitas (Nabiila & Kosasih, 2023; U.S. Department of Veterans Affairs, 2024). Dengan mengidentifikasi risiko sejak dini, *life cycle approach* menciptakan strategi inklusif bagi semua kelompok usia dan latar belakang agar mampu mengatasi tekanan sosial, ekonomi, maupun mental. Strategi ini dapat diwujudkan melalui keterlibatan komunitas dalam membangun kepedulian, penyediaan layanan psikologis, serta penguatan spiritualitas di setiap lapisan masyarakat. Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan wawasan tentang faktor, distribusi, dan pencegahan tindak bunuh diri, menjadi rujukan penelitian selanjutnya, serta memberi masukan bagi pemerintah daerah dalam menyusun strategi edukasi masyarakat. Dengan demikian, upaya membangun ketahanan lokal dalam mencegah bunuh diri dapat tercapai melalui integrasi pendekatan kesehatan, kependudukan, dan spiritualitas.

METODE

Alat, Data Penelitian, dan Parameter

Penelitian ini menggunakan perangkat berupa ASUS VivoBook M3400QA dengan dukungan perangkat lunak Microsoft Office Word 2021, Microsoft Office Excel 2021, QGIS 3.34.0, serta R Studio untuk keperluan analisis spasial dan statistik. Selain itu, citra satelit dari Bing Maps Satellite dimanfaatkan. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data tindak aksi bunuh diri tahun 2022–2024 dari Kepolisian Resor Kabupaten Gunungkidul, shapefile RBI wilayah administrasi Kabupaten Gunungkidul dari Badan Informasi Geospasial, data statistika status pernikahan berdasarkan jumlah perceraian per kapanewon tahun 2023 dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Gunungkidul, serta data statistika jumlah kalurahan per kapanewon berdasarkan klasifikasi tahun 2023 dari Badan Pusat Statistika Kabupaten Gunungkidul.

Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan data statistika angka pengangguran berdasarkan jumlah penduduk menurut pekerjaan per kapanewon tahun 2023 dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Gunungkidul, data statistika kalurahan menurut jumlah fasilitas

kesehatan tahun 2023 dari Badan Pusat Statistika Kabupaten Gunungkidul, data statistika jumlah kasus penyakit per kapanewon tahun 2023 dari Badan Pusat Statistika Kabupaten Gunungkidul, serta data statistika jumlah tenaga kesehatan per kapanewon tahun 2023 dari Badan Pusat Statistika Kabupaten Gunungkidul. Untuk melengkapi data kuantitatif tersebut, dilakukan pula survei dan wawancara terkait tekanan sosial di Kalurahan Ngipak, Kapanewon Karangmojo dan Kalurahan Tepus, Kapanewon Tepus. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini mencakup status pernikahan, tingkat pengangguran, tekanan sosial, dan tingkat kemiskinan, yang keseluruhannya dianalisis untuk memahami keterkaitan dengan fenomena bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul.

Area Studi

Penelitian dilakukan di Kabupaten Gunungkidul, yang terletak di timur dan tenggara Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara geografis, Kabupaten Gunungkidul terletak di 7°46' - 8°09' LS dan 110°21' - 110°50' BT. Penelitian mencakup seluruh wilayah administratif Kabupaten Gunungkidul. Alasan dipilihnya Kabupaten Gunungkidul sebagai area penelitian adalah banyaknya berita kasus gantung diri di daerah tersebut.

Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui sumber primer dan sekunder. Sumber primer diperoleh melalui wawancara dengan pamong Kalurahan Ngipak dan Tepus, sedangkan sumber sekunder mencakup data kejadian bunuh diri dari Kepolisian Resor Gunungkidul periode Januari 2023–September 2024, data jumlah penduduk, klasifikasi kalurahan, jumlah kasus penyakit, serta kalurahan menurut fasilitas kesehatan dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul, peta administrasi Kabupaten Gunungkidul dari Badan Informasi Geospasial (RBI skala 1:25.000), dan data jumlah perceraian serta pengangguran dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Gunungkidul tahun 2023.

Unit analisis yang digunakan adalah kapanewon karena merupakan satuan administratif menengah yang memiliki data sosial-ekonomi lengkap dan relevan untuk analisis kebijakan tingkat daerah. Skala peta 1:300.000 dipilih untuk menampilkan distribusi kasus secara jelas pada level kabupaten. Validasi spasial dilakukan melalui pengecekan topologi (*topology check*) untuk memastikan tidak ada celah atau tumpang tindih antarpolygon wilayah, serta *cross-check* koordinat lokasi kejadian dengan data lapangan dari Kepolisian Resor Gunungkidul.

Wawancara dilakukan untuk mengetahui dampak variabel yang diajukan penulis terhadap masyarakat, dengan mempertimbangkan kalurahan

yang memiliki kasus bunuh diri tinggi maupun lokasi kejadian terbaru, yaitu Kalurahan Ngipak dan Kalurahan Tepus. Data jumlah cerai hidup diperoleh dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Gunungkidul tahun 2023 dan diolah dengan metode normalisasi, yakni membagi jumlah cerai hidup dengan jumlah penduduk di setiap kapanewon, kemudian dilakukan klasifikasi kapanewon menggunakan metode kluster hierarki.

Data jumlah pengangguran juga bersumber dari Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Gunungkidul tahun 2023, dengan pengolahan yang dilakukan melalui metode normalisasi, yaitu membagi jumlah pengangguran dengan jumlah penduduk di setiap kapanewon, lalu diklasifikasikan menggunakan metode kluster hierarki. Selanjutnya, data klasifikasi kalurahan diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul tahun 2023, dengan kategori kalurahan mandiri, maju, berkembang, dan tertinggal. Pembobotan dilakukan dengan memberikan skor pada tiap kategori, yaitu mandiri sebesar 3 poin, maju 2 poin, berkembang 1 poin, dan tertinggal 0 poin, sehingga menghasilkan skor di setiap kapanewon sesuai distribusi klasifikasi kalurahan yang ada (**Persamaan 1** dan **Persamaan 2**).

Skor Total = (3 x Mandiri) + (2 x Maju) + (1 x Berkembang) + (0 x Tertinggal).....(1)

Kemudian, dilakukan normalisasi untuk menyesuaikan jumlah kalurahan di setiap kapanewon sebagai berikut:

Skor Rata-rata per Kalurahan = Skor Total Kapanewon / Jumlah Kalurahan.....(2)

Selanjutnya dilakukan klasifikasi kapanewon dengan metode kluster hierarki.

Berikutnya, pengolahan data indeks kesehatan dilakukan dengan memanfaatkan data kalurahan menurut jumlah fasilitas kesehatan dan jumlah kasus penyakit per kapanewon tahun 2023 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul. Pengolahan ini menggunakan metode pembobotan, dengan rumah sakit berbobot 5 poin, poliklinik 4 poin, puskesmas 3 poin, puskesmas pembantu 2 poin, dan apotek 1 poin. Hasil pembobotan kemudian dinormalisasi agar setiap kapanewon dapat dibandingkan secara setara tanpa dipengaruhi jumlah kalurahan, yakni dengan membagi skor total kapanewon dengan jumlah kalurahan yang ada. Data jumlah kasus penyakit juga dinormalisasi melalui pembagian jumlah penyakit dengan jumlah kalurahan di tiap kapanewon. Selanjutnya, dilakukan normalisasi min-max pada rasio jumlah fasilitas kesehatan dan rasio kasus penyakit menggunakan **Persamaan 3**.

$x' = x / x_{max}$(3)

di mana:

x = nilai rasio di setiap kapanewon

x_{max} = nilai rasio tertinggi di seluruh kapanewon

x' = hasil normalisasi (skala 0 hingga 1)

Selanjutnya, dibuat penilaian indeks dengan rasio jumlah fasilitas kesehatan atau rasio kasus penyakit di setiap kapanewon sebagai berikut (**Persamaan 4**):

$$\text{Skor Akhir} = 0,5 \times F_{\text{snorm}} + 0,5 (1 - K_{\text{Pnorm}}) \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

F_{Snorm} = normalisasi fasilitas kesehatan

K_{Pnorm} = rasio penyakit

Pada perhitungannya, nilai rasio penyakit dikurangi satu. Hal tersebut karena sifatnya merupakan normalisasi terbalik, sebab semakin tinggi nilai rasio maka semakin kecil tingkat kasus penyakit. Hasil pengolahan ini kemudian diklasifikasikan dengan metode kluster hierarki.

Data jumlah bunuh diri per kapanewon diperoleh dari Kepolisian Resor Kabupaten Gunungkidul dan diolah dengan metode normalisasi melalui pembagian jumlah bunuh diri dengan jumlah penduduk di tiap kapanewon, kemudian diklasifikasikan menggunakan metode kluster hierarki. Pembuatan kluster hierarki aksi bunuh diri dilakukan berdasarkan 48 kasus yang diproporsionalkan terhadap jumlah penduduk setiap kapanewon dengan menggunakan metode normalisasi data, jarak Euclidean, dan *average linkage* untuk membentuk dendrogram. Dari hasil pengelompokan ini terbentuk tiga kluster utama, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Proses ini dilakukan menggunakan *software* R-Studio yang menghasilkan dendrogram serta visualisasi kluster untuk menganalisis distribusi tingkat bunuh diri di tiap kapanewon, sehingga dapat mengidentifikasi wilayah prioritas intervensi.

Selain itu, pembuatan kluster hierarki juga dilakukan pada tiap parameter, yakni status pernikahan, tingkat kemiskinan, tingkat pengangguran, dan angka harapan hidup. Tiap parameter dikelompokkan di tingkat kapanewon ke dalam tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, dengan metode normalisasi, penggunaan dendrogram, dan *software* R-Studio untuk mempercepat proses pengolahan. Hasil yang diperoleh berupa dendrogram serta visualisasi kluster yang menggambarkan distribusi setiap parameter di tiap kapanewon sehingga dapat dianalisis lebih mendalam. Nilai tambah dari analisis spasial dibanding analisis statistik murni terletak pada kemampuannya menampilkan pola geografis dan konsentrasi spasial yang tidak tampak dari angka semata. Melalui peta tematik, dapat diidentifikasi wilayah dengan risiko tinggi secara visual, memungkinkan formulasi intervensi berbasis lokasi (*place-based intervention*).

Selanjutnya, peta klasifikasi aksi bunuh diri tahun 2023–2024 di Kabupaten Gunungkidul dibuat menggunakan QGIS berdasarkan hasil kluster hierarki dan dilengkapi batas administratif. Seluruh data diolah menggunakan proyeksi koordinat UTM

Zona 49S, datum WGS 84 agar hasil analisis memiliki akurasi spasial yang seragam.

Data kasus bunuh diri tahun 2023–2024 kemudian diagregasi menjadi unit analisis tiap kapanewon berdasarkan lokasi kejadian. Peta ini memungkinkan analisis perbandingan angka bunuh diri di tiap kapanewon, sekaligus mengidentifikasi wilayah prioritas dengan tingkat kasus tinggi. Pemetaan ini juga membuka ruang analisis hubungan bunuh diri dengan faktor sosial ekonomi, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Peta klasifikasi juga dibuat untuk tiap parameter penelitian dengan QGIS, memanfaatkan hasil pengelompokan kluster hierarki, sehingga memungkinkan perbandingan spasial dan keterkaitan antarparameter di setiap kapanewon. Data sosial-ekonomi seperti kemiskinan, pengangguran, dan perceraian diolah dalam bentuk tabel dan di-join ke layer administrasi berdasarkan kode kapanewon. Selanjutnya dilakukan analisis *overlay* atribut dan klasifikasi spasial menggunakan metode *hierarchical clustering* untuk mengelompokkan wilayah dengan karakteristik serupa.

Analisis dendrogram dan peta klasifikasi dilakukan dengan mengintegrasikan data ke dalam GIS untuk menghasilkan peta tematik serta *overlay* yang mempermudah analisis hubungan spasial antarindikator. Dendrogram digunakan untuk analisis kuantitatif, sedangkan *correlogram* dimanfaatkan untuk memvisualisasikan matriks korelasi dalam memahami pola hubungan positif, negatif, maupun netral. Proses ini membantu mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang memengaruhi aksi bunuh diri sehingga dapat dijadikan dasar penyusunan strategi pencegahan dan edukasi.

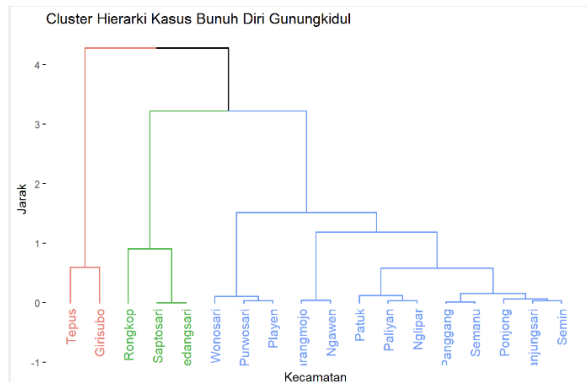
Langkah edukasi dirancang dengan pendekatan *life cycle*. Strategi disusun berdasarkan faktor kunci hasil analisis dan melibatkan kerja sama lintas sektor serta organisasi masyarakat. Pendekatan ini bertujuan menekan angka bunuh diri sekaligus meningkatkan kesehatan mental secara menyeluruh dan berbasis data.

Kesimpulan penelitian disusun berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan dalam pendahuluan, dengan sifat yang fokus, relevan, serta memberikan gambaran jelas tentang ketercapaian tujuan penelitian dan implikasinya. Saran serta rekomendasi disusun berdasarkan temuan penelitian dengan memperhatikan aspek sosial, ekonomi, dan budaya, sehingga dapat diterima oleh para pemangku kepentingan. Langkah ini sekaligus menjembatani hasil penelitian dengan implementasi nyata dalam upaya pencegahan bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi tingkat bunuh diri serta variabel sosial (kemiskinan, perceraian, pengangguran, dan indeks kesehatan) dilakukan secara kuantitatif melalui analisis kluster hierarki menggunakan

metode *Ward's linkage* dan jarak Euclidean. Setiap kapanewon dikelompokkan otomatis ke dalam tiga kategori, yaitu tinggi, sedang, dan rendah, berdasarkan kemiripan nilai antarwilayah. Hasil analisis pada **Gambar 1** menunjukkan dua kluster utama kasus bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul.

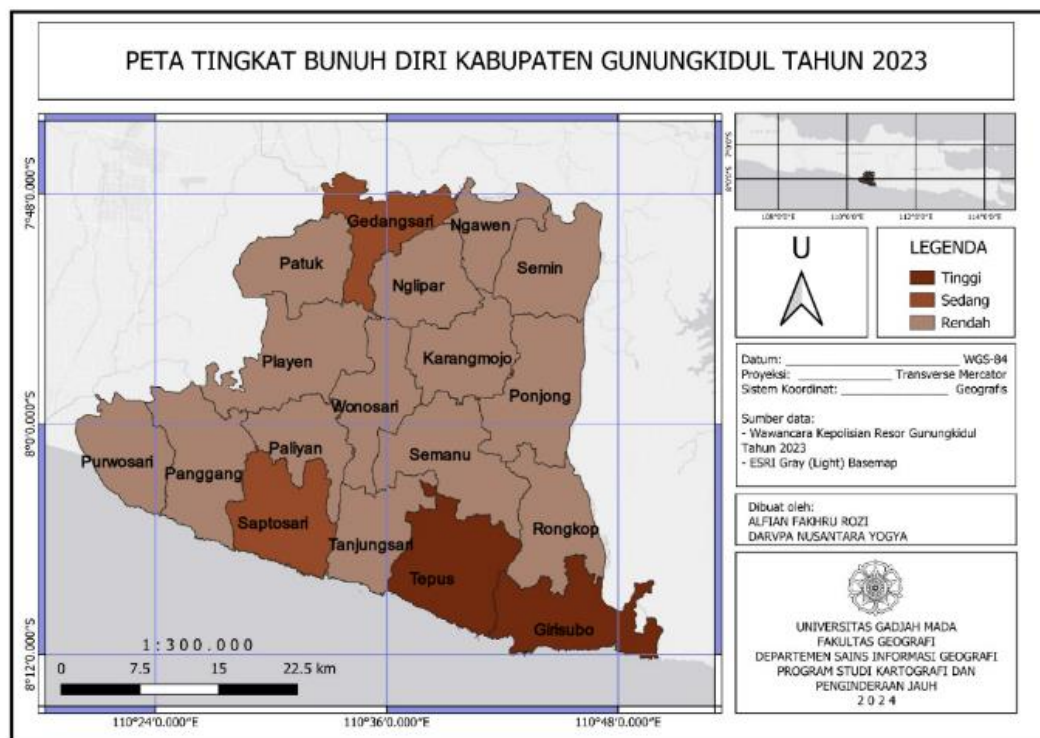


Gambar 1. Dendrogram angka bunuh diri di tiap kapanewon Kabupaten Gunungkidul Tahun 2023-2024.

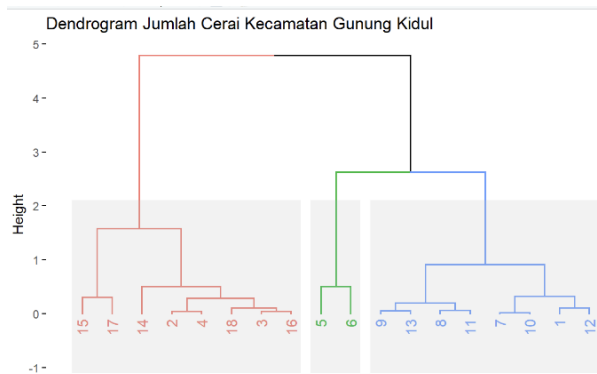
Kluster pertama terdiri dari Kapanewon Tepus dan Giriuboo yang memiliki kemiripan tinggi, ditandai dengan tingkat kemiskinan dan pengangguran tinggi serta akses kesehatan terbatas. Kluster kedua mencakup wilayah seperti Saptosari dan Gedangsari dengan variasi kasus lebih beragam dan jarak percabangan lebih rendah.

Jarak yang lebar antar-kluster menunjukkan perbedaan mencolok dalam karakteristik sosial dan spasial. wilayah dengan kondisi serupa cenderung berkelompok secara spasial.

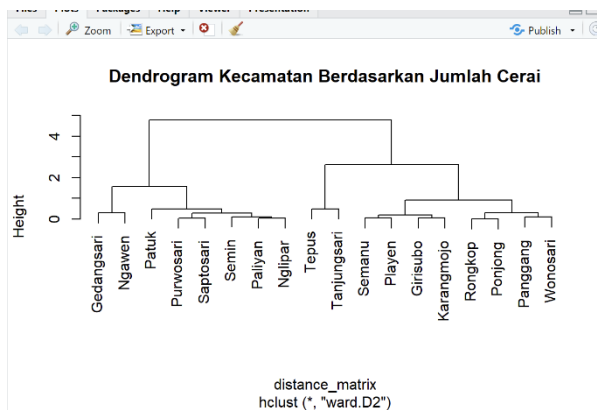
Peta tematik hasil klasifikasi kluster hierarki pada **Gambar 2** menunjukkan distribusi spasial kasus bunuh diri yang tidak merata di Kabupaten Gunungkidul. Wilayah selatan dan tenggara, khususnya Kapanewon Tepus dan Giriuboo, tergolong kategori tinggi, ditandai oleh topografi karst yang terjal, lokasi terpencil, serta keterbatasan akses terhadap pusat ekonomi dan layanan kesehatan. Wilayah kategori sedang, seperti Saptosari dan Gedangsari, tersebar di bagian tengah dengan aksesibilitas menengah dan variasi aktivitas ekonomi lebih beragam. Sementara wilayah utara yaitu Playen, Patuk, dan Wonosari termasuk kategori rendah, ditunjang oleh kepadatan penduduk, fasilitas publik, dan kedekatan dengan pusat kota. Pola tersebut membentuk gradien spasial dari utara ke selatan, di mana semakin jauh dari pusat aktivitas dan pelayanan, semakin tinggi frekuensi kasus bunuh diri. Dengan demikian, peta distribusi tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi, tetapi juga sebagai alat analisis untuk menetapkan wilayah prioritas intervensi serta memahami pengaruh faktor lokasi terhadap kerentanan sosial masyarakat Gunungkidul.



Gambar 2. Peta tingkat bunuh diri Kabupaten Gunungkidul tahun 2023.



Gambar 3. Dendrogram kapanewon berdasarkan jumlah cerai tahun 2023-2024.



Gambar 4. Dendrogram kapanewon berdasarkan jumlah cerai tahun 2023-2024.

Dendrogram pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** menunjukkan dua kelompok utama kapanewon berdasarkan tingkat perceraian. Kluster pertama mencakup Gedangsari, Ngawen, Patuk, Purwosari, Saptosari, Semin, Paliyan, dan Nglipar, sedangkan

kluster kedua mencakup Tepus, Tanjungsari, Semanu, Playen, Girisubo, Karangmojo, Rongkop, Ponjong, Panggang, dan Wonosari. Percabangan kluster kiri yang lebih rendah menunjukkan tingkat keserupaan sosial yang relatif tinggi antarwilayah di bagian tengah hingga utara, yang memiliki aksesibilitas dan aktivitas ekonomi lebih merata.

Sebaliknya, kluster kanan menunjukkan variasi yang lebih besar, terutama pada Tepus dan Tanjungsari yang membentuk subkluster sendiri. Kedua wilayah ini berada di bagian selatan Gunungkidul, daerah dengan keterbatasan sarana pendidikan dan ekonomi, serta jarak yang jauh dari pusat pemerintahan. Hal ini mengindikasikan adanya pola spasial perceraian yang cenderung meningkat ke arah selatan. Dengan kata lain, faktor lokasi dan aksesibilitas berperan penting dalam membedakan karakteristik sosial antarwilayah di Gunungkidul.

Peta tematik pada **Gambar 5** memperlihatkan adanya pola distribusi spasial angka perceraian yang tidak merata di Kabupaten Gunungkidul. Kapanewon dengan kategori tinggi menonjol di bagian selatan, terutama Tepus dan Tanjungsari, yang menunjukkan adanya konsentrasi spasial kasus perceraian di wilayah dengan keterbatasan akses pendidikan, lapangan kerja, serta kondisi geografis yang relatif terpencil. Faktor lokasi menjadi penting di sini karena wilayah selatan memiliki jarak yang lebih jauh dari pusat pelayanan dan kegiatan ekonomi di Wonosari, sehingga tekanan ekonomi dan sosial cenderung lebih besar. Seluruh kecamatan di wilayah utara Gunungkidul juga terklasifikasi sebagai sedang, yang mempertegas pengaruh faktor spasial.

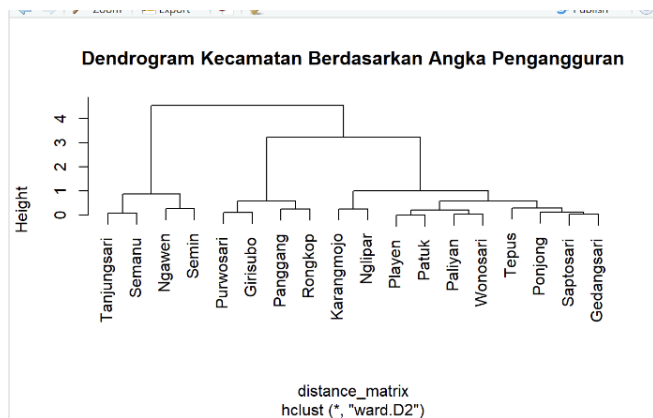


Gambar 5. Peta klasifikasi angka perceraian Kabupaten Gunungkidul Tahun 2023-2024.

Sebaliknya, wilayah dengan kategori rendah tersebar di bagian tengah, seperti Karangmojo, Wonosari, dan Playen, yang memiliki aksesibilitas baik dan infrastruktur lebih berkembang. Pola ini menunjukkan adanya gradien spasial dari tengah ke utara dan selatan. Semakin jauh dari pusat aktivitas ekonomi dan pendidikan, angka perceraian cenderung meningkat. Temuan ini memperlihatkan bahwa fenomena perceraian di Gunungkidul tidak acak secara geografis, melainkan dipengaruhi oleh keragaman wilayah dan keterkaitan antarruang. Informasi ini penting untuk mendukung perencanaan intervensi berbasis lokasi (*place-based intervention*), seperti program pendidikan keluarga, pelatihan keterampilan ekonomi, dan konseling pernikahan di kapanewon dengan risiko tinggi.



Gambar 6. Dendrogram kapanewon berdasarkan angka pengangguran tahun 2023-2024.



Gambar 7. Dendrogram kapanewon berdasarkan angka pengangguran tahun 2023-2024.

Dendrogram pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** menunjukkan adanya pola pengelompokan spasial

berdasarkan tingkat pengangguran di tiap kapanewon. Kapanewon dengan tingkat pengangguran tinggi, seperti Tanjungsari, Semanu, Ngawen, dan Semin, membentuk satu kluster dengan karakteristik wilayah yang relatif terpencil dari pusat kota serta minim peluang kerja formal. Wilayah-wilayah ini umumnya berada di bagian selatan dan tenggara Gunungkidul, dengan kondisi topografi berbukit dan keterbatasan akses transportasi, yang berdampak pada rendahnya mobilitas tenaga kerja.

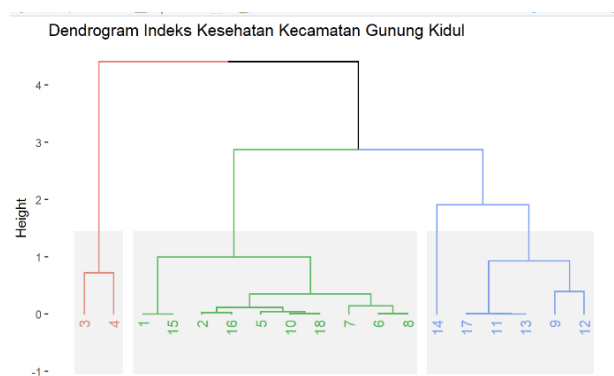
Sementara itu, kluster dengan pengangguran rendah meliputi Purwosari, Girisubo, Panggang, dan Rongkop. Wilayah ini memiliki aktivitas ekonomi lokal yang lebih stabil, terutama di sektor perikanan pesisir. Kluster sedang mencakup kapanewon seperti Karangmojo, Wonosari, dan Patuk, yang berada di jalur utama dan dekat dengan pusat administrasi, pendidikan, serta perdagangan. Perbedaan tinggi cabang antarkluster pada dendrogram menegaskan adanya disparitas spasial pengangguran antarwilayah. Pola ini menunjukkan bahwa faktor lokasi, jarak ke pusat aktivitas ekonomi, dan karakter fisik wilayah berpengaruh nyata terhadap tingkat pengangguran di Gunungkidul.

Peta tematik pada **Gambar 8** menegaskan hasil dendrogram, memperlihatkan tiga zona spasial utama. Zona tinggi di Ngawen, Semin, Semanu, dan Tanjungsari, yang membentuk pola konsentrasi spasial di wilayah selatan dan tenggara. Zona sedang di bagian tengah, seperti Karangmojo, Playen, dan Patuk. Zona rendah di bagian barat dan selatan, seperti Purwosari, Panggang, dan Girisubo.

Pola ini memperlihatkan adanya gradien spasial, di mana wilayah tenggara dengan keterbatasan infrastruktur dan dominasi lahan kering menunjukkan angka pengangguran lebih tinggi. Sebaliknya, sebagian pesisir selatan memiliki aktivitas ekonomi lokal yang lebih dinamis. Sebaran ini menunjukkan bahwa karakter fisik wilayah (topografi, aksesibilitas, dan jarak ke pusat kota) berperan dalam membentuk kondisi sosial ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, kebijakan pengentasan pengangguran perlu berbasis spasial, dengan prioritas pada peningkatan akses transportasi, pelatihan kerja kontekstual wilayah, dan pemberdayaan sektor unggulan lokal.

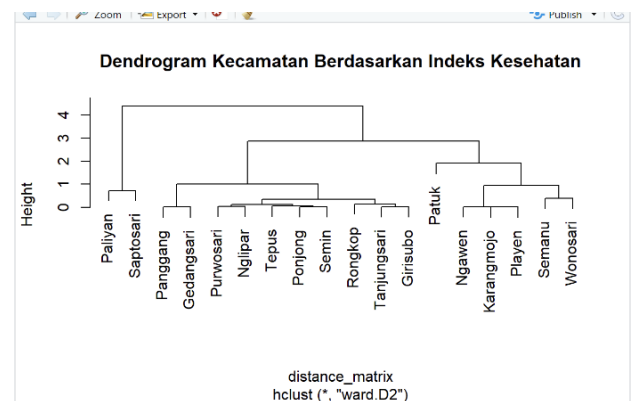


Gambar 8. Peta Klasifikasi tingkat pengangguran Kabupaten Gunungkidul Tahun 2023-2024.



Gambar 9. Dendrogram kapanewon berdasarkan indeks kesehatan tahun 2023-2024.

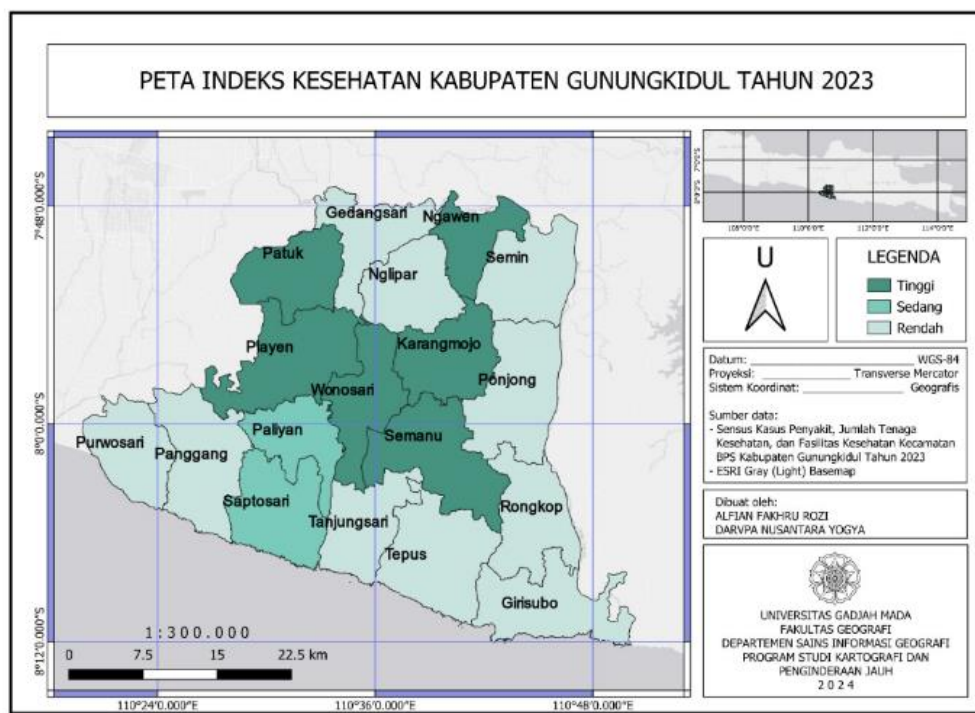
Dendrogram indeks kesehatan pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** menunjukkan adanya variasi spasial antarkapanewon di Kabupaten Gunungkidul. Kluster tinggi (Patuk, Karangmojo, Ngawen, Playen, Semanu, Wonosari) memiliki akses layanan kesehatan dan infrastruktur publik yang baik karena letaknya di jalur utama dan dekat pusat kota. Kluster sedang (Paliyan, Saptosari) berada pada wilayah transisi dengan fasilitas cukup, sedangkan kluster rendah (Panggang, Gedangsari, Purwosari, Nglipar, Tepus, Ponjong, Semin, Rongkop, Tanjungsari, Girisubo) mencakup daerah selatan dan barat yang berbukit serta jauh dari rumah sakit rujukan. Perbedaan cabang antarkluster menegaskan disparitas spasial kesehatan, sehingga diperlukan pendekatan geografi kesehatan yang mempertimbangkan pengaruh lokasi dan aksesibilitas terhadap kondisi masyarakat.



Gambar 10. Dendrogram kapanewon berdasarkan indeks kesehatan tahun 2023-2024.

Peta tematik pada **Gambar 11** memperlihatkan adanya pola distribusi spasial indeks kesehatan di Kabupaten Gunungkidul. Wilayah dengan indeks tinggi terkonsentrasi di bagian utara dan tengah, seperti Wonosari, Karangmojo, Playen, dan Patuk, yang berdekatan dengan pusat layanan kesehatan, rumah sakit rujukan, dan sarana transportasi utama. Sebaliknya, wilayah dengan indeks rendah tersebar di bagian selatan dan barat daya, terutama Tepus, Rongkop, dan Purwosari, yang memiliki kondisi topografi karst dan akses jalan terbatas.

Kondisi geografis ini berpengaruh terhadap aksesibilitas spasial masyarakat terhadap layanan kesehatan. Jarak tempuh yang jauh serta keterbatasan tenaga medis membuat pemerataan layanan sulit tercapai. Wilayah dengan indeks berada di klasifikasi sedang (misalnya Saptosari dan Paliyan) yang memiliki fasilitas dasar tetapi masih terbatas dari segi jumlah dan kualitas layanan.

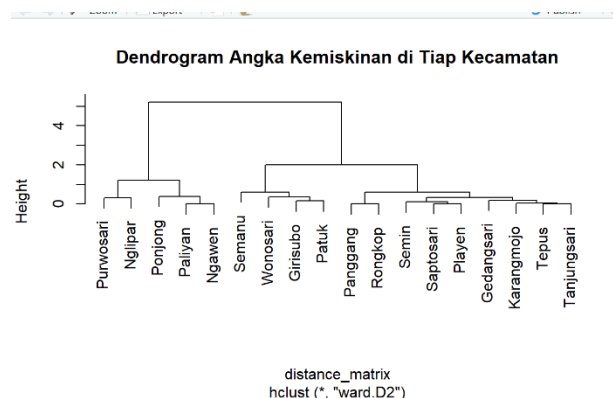


Gambar 11. Peta klasifikasi indeks kesehatan tahun 2023-2024.

Dengan demikian, peta ini mengungkap disparitas spasial kesehatan yang erat kaitannya dengan morfologi wilayah dan jarak ke pusat pelayanan publik.



Gambar 12. Dendrogram angka kemiskinan di tiap kapanewon.



Gambar 13. Dendrogram angka kemiskinan di tiap kapanewon.

Dendrogram pada Gambar 12 dan Gambar 13 menggambarkan pola pengelompokan spasial

berdasarkan tingkat kemiripan angka kemiskinan antarkapanewon. Kluster tinggi umumnya berada di bagian selatan dan timur, di mana wilayah seperti Tanjungsari, Tepus, dan GiriSubo menunjukkan kemiskinan yang relatif tinggi dan berhubungan dengan keterbatasan lahan produktif, curah hujan rendah, serta jarak yang jauh dari pusat ekonomi. Kluster sedang, yang ditandai dengan nilai percabangan menengah, meliputi wilayah Saptosari, Paliyan, dan Gedangsari, sedangkan kluster rendah terkonsentrasi di Wonosari, Patuk, dan Playen, daerah dengan akses transportasi baik dan kegiatan ekonomi jasa serta perdagangan. Perbedaan ketinggian percabangan antarkluster memperlihatkan disparitas spasial kemiskinan, menandakan bahwa karakter fisik wilayah, aksesibilitas, dan kedekatan terhadap pusat kota menjadi faktor yang berperan besar dalam membentuk pola sosial ekonomi masyarakat Gunungkidul.

Peta distribusi pada Gambar 14 menunjukkan pola konsentrasi spasial kalurahan tertinggal di wilayah selatan, barat daya, dan sebagian utara Gunungkidul. Ketertinggalan ini erat kaitannya dengan faktor lokasi. Daerah dengan infrastruktur terbatas, akses jalan sulit, serta keterbatasan layanan pendidikan dan kesehatan. Sebaliknya, kalurahan dengan tingkat ketertinggalan rendah, yang terkonsentrasi di wilayah tengah dan tenggara, memiliki akses lebih baik ke fasilitas publik dan aktivitas ekonomi. Kondisi ini menunjukkan adanya gradien spasial pembangunan. Kualitas hidup meningkat seiring kedekatan terhadap pusat pemerintahan dan jalur transportasi utama.

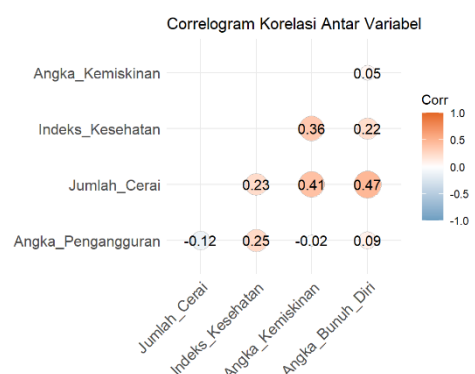


Gambar 14. Peta tingkat ketertinggalan desa Kabupaten Gunungkidul Tahun 2023.

Tekanan Sosial Berdasarkan Wawancara Pamong Kalurahan Tepus, Kalurahan Ngipak, dan Kepolisian Resor Kabupaten Gunungkidul

Wawancara dengan aparat kepolisian dan perangkat kalurahan mengungkap berbagai faktor tekanan sosial yang berkontribusi terhadap kasus bunuh diri di Gunungkidul. Tekanan tersebut mencakup aspek sosial, ekonomi, kesehatan, dan psikologis. Kasus paling banyak terjadi pada lansia yang mengalami isolasi sosial karena anak merantau, mengakibatkan kesepian dan hilangnya dukungan emosional. Fenomena serupa muncul pada kelompok muda yang tertutup dan minim interaksi sosial.

Dari sisi ekonomi, sebagian besar korban adalah petani dan buruh tani berpenghasilan rendah. Ketidakstabilan ekonomi menimbulkan rasa tidak berguna, terutama pada usia lanjut, diperparah oleh pendidikan rendah dan penyakit kronis. Kepercayaan pada mitos Pulung Gantung masih kuat, menyebabkan masyarakat menafsirkan bunuh diri secara mistis. Akibatnya, penanganan lebih banyak bersifat ritual daripada berbasis pencegahan dan pemulihan sosial. Layanan kesehatan mental publik masih terbatas, dan program seperti Satgas Berani Hidup atau Peduli Lansia (Pelan) belum berdampak luas. Karena itu, dibutuhkan pendekatan partisipatif berbasis komunitas agar intervensi lebih efektif menjangkau kelompok rentan.



Gambar 15. Correlogram korelasi antarparameter terhadap angka bunuh diri.

Korelasi antara variabel dan angka bunuh diri ditunjukkan melalui nilai dan lingkaran berwarna pada **Gambar 15**. Jumlah perceraian memiliki korelasi cukup kuat dan positif (0,47), menunjukkan semakin tinggi angka perceraian, semakin tinggi angka bunuh diri, yang dipicu oleh gangguan emosional dan tekanan ekonomi. Indeks kesehatan (0,22), kemiskinan (0,05), dan pengangguran (0,09) menunjukkan korelasi lemah dan positif, menandakan hubungan yang tidak signifikan antara variabel-variabel tersebut dan angka bunuh diri. Faktor sosial dan kesehatan mental kemungkinan memiliki pengaruh lebih dominan dibandingkan indikator ekonomi atau kesehatan umum.

Langkah Edukasi Berdasarkan *Place-Based Intervention* dan *Life Cycle Approach*

Langkah edukasi disusun dengan mengintegrasikan pendekatan siklus hidup (*life cycle approach*) dan hasil analisis spasial wilayah prioritas di Kabupaten Gunungkidul. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa tiap wilayah

memiliki karakteristik sosial, ekonomi, dan kesehatan yang berbeda, sehingga intervensi perlu disesuaikan berdasarkan lokasi.

Wilayah utara dan tengah (Wonosari, Playen, Patuk, Karangmojo, Ngawen) dengan indeks kesehatan tinggi dan akses fasilitas memadai berpotensi menjadi pusat edukasi dan inovasi sosial. Edukasi bagi anak dan remaja dilakukan di sekolah melalui muatan lokal tentang kesehatan mental dan pelurusan mitos Pulung Gantung, sementara untuk dewasa muda difokuskan pada pelatihan keterampilan digital, wirausaha mikro, serta kampanye positif daring seperti *#GunungkidulOptimis*.

Wilayah tengah hingga selatan (Saptosari, Paliyan, Gedangsari, Semin, Semanu) memerlukan strategi edukasi yang menekankan pemberdayaan masyarakat dan penguatan ekonomi keluarga. Kegiatan dapat berupa pelatihan kerja, diskusi kelompok, dan *workshop* manajemen stres di tingkat kalurahan untuk memperkuat jejaring sosial dan daya tahan emosional warga.

Wilayah Tenggara (Tepus, dan GiriSubo) menjadi zona prioritas intervensi langsung karena angka bunuh diri, tingkat kemiskinan, dan tingkat keterisolasian tinggi. Edukasi bagi dewasa dan lansia dilakukan melalui penyuluhan desa berbasis budaya lokal, pendekatan keagamaan, serta program "*Sahabat Lansia*" yang melibatkan kader posyandu. Pelatihan deteksi dini bunuh diri dengan pendekatan "*P3K Mental*" juga perlu dikembangkan agar masyarakat mampu memberikan pertolongan awal kepada individu rentan.

Melalui pendekatan berbasis lokasi ini, setiap wilayah memperoleh bentuk edukasi sesuai karakteristik dan kebutuhannya. Wilayah utara–tengah berperan sebagai pusat penyebaran pengetahuan, wilayah tengah–selatan sebagai penguatan sosial-ekonomi, dan wilayah tenggara sebagai fokus pendampingan psikososial. Dengan demikian, *Gerakan Masyarakat Optimis* dapat menjadi program edukatif yang menyentuh seluruh kelompok usia dan berakar pada kondisi spasial masyarakat Gunungkidul.

KESIMPULAN

Analisis spasial-tematik menunjukkan bahwa kasus bunuh diri di Gunungkidul membentuk kluster, bukan tersebar acak. Wilayah selatan–tenggara seperti Tepus dan GiriSubo memiliki angka kasus tinggi dengan kondisi sosial-ekonomi rendah, sedangkan wilayah tengah–utara lebih stabil. Pola ini memperlihatkan gradien kerentanan dari utara ke selatan. Faktor geososial menjadi penentu utama pola tersebut. Tekanan sosial-ekonomi pada kelompok miskin dan lansia, serta kepercayaan pada mitos Pulung Gantung, memperkuat normalisasi bunuh diri di masyarakat. Korelasi tertinggi ditemukan antara tingkat perceraian dan angka bunuh diri ($r = 0,47$). Wilayah Tepus, Tanjungsari, GiriSubo, dan Rongkop menjadi prioritas intervensi utama karena

kerentanan sosial dan kemiskinan tinggi. Saptosari, Semanu, dan Gedangsari memerlukan penguatan sosial-ekonomi, sementara Wonosari, Patuk, dan Playen berperan sebagai pusat edukasi dan penyebaran dukungan psikososial.

Pencegahan bunuh diri harus menggabungkan pendekatan spasial, sosial, dan spiritual. Pendekatan spasial memetakan wilayah sasaran, sosial memperkuat jejaring masyarakat, dan spiritual menanamkan nilai kehidupan serta solidaritas keagamaan. Implementasi dilakukan melalui Gerakan Masyarakat Optimis berbasis *life cycle approach*. Edukasi disesuaikan dengan kelompok usia—remaja melalui pendidikan mental dan pelurusan mitos, dewasa muda dengan pelatihan dan kampanye digital, serta lansia melalui penyuluhan dan kunjungan sosial. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan pentingnya *place-based intervention* berbasis geografi spasial. Integrasi analisis tematik, faktor sosial, dan program edukatif menjadi strategi kunci dalam menekan angka bunuh diri di Kabupaten Gunungkidul.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan apresiasi penulis sampaikan kepada Kepolisian Resor Kabupaten Gunungkidul yang telah memberikan dukungan penuh dalam bentuk penyediaan data dan informasi yang relevan dengan penelitian ini. Penghargaan juga ditujukan kepada Pamong Kalurahan Tepus serta Pamong Kalurahan Ngipak yang dengan penuh keterbukaan dan kerja sama telah memfasilitasi kebutuhan data serta memberikan informasi kontekstual mengenai objek penelitian. Dukungan yang berharga tersebut tidak hanya memperlancar proses pengumpulan data, tetapi juga memperkaya pemahaman penulis terhadap kondisi lapangan. Tanpa kontribusi dari pihak-pihak tersebut, penelitian ini tentu tidak dapat terlaksana dengan baik dan menghasilkan temuan yang bermakna.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, T. M., & Soesilo, A. (2021). Studi kasus tentang bunuh diri di Gunung Kidul: Antara realitas dan mitos pulung gantung. *Wacana*, 13(1), 82–103.
- Andari, S. (2017). Fenomena Bunuh Diri di Kabupaten Gunung Kidul. *Sosio Konsepsia: Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Kesejahteraan Sosial*, 7(1), 92–108.
- 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>
- Asfia, N., Brian Adi Putra, D., Nuru Syah Gunawan, A., Pramudita Hidayat, R., Nasywa Paramesti, M., & Kushartati, S. (2025). My Precious Life: Strategi Membabat Narasi Mitos Pulung Gantung sebagai Rekonstruksi Perilaku Sosial Kelompok Rentan bersama PKK Dusun Ngampel, Gunungkidul. In *Jurnal Abdimas Madani dan Lestari (JAMALI)* (Vol. 07, Issue 02). <https://journal.uir.ac.id/JAMALI>

- Aulia, N., Yulastri, Y., & Sasmita, H. (2019). Analisis Hubungan Faktor Risiko Bunuh Diri dengan Ide Bunuh Diri pada Remaja. *Jurnal Keperawatan*, 11(4), 307–314.
- Biroli, A. (2018). Bunuh diri dalam perspektif sosiologi. *Simulacra*, 1(2), 213–223.
- Bivand, R. S., Pebesma, E., & Gómez-Rubio, V. (2008). *Applied Spatial Data Analysis with R*. <http://www.springer.com/series/6991>
- Budiarto, S., Sugiarto, R., & Putrianti, F. G. (2021). Dinamika psikologis penyintas Pulung Gantung di Gunung Kidul. *Jurnal Psikologi Ulayat*, 8(2), 174–194.
- Choi, J. I., Lee, J., Yeh, A. B., Lan, Q., & Kang, H. (2022). Spatial clustering of heroin-related overdose incidents: a case study in Cincinnati, Ohio. *BMC Public Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13557-3>
- Comber, A. J., Brunson, C., & Radburn, R. (2011). A spatial analysis of variations in health access: Linking geography, socio-economic status and access perceptions. *International Journal of Health Geographics*, 10. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-10-44>
- Fahrudin, A. (2012). Fenomena bunuh diri di gunung kidul: Catatan tersisa dari lapangan. *Sosio Informa*, 17(1).
- Fikri, E., Irmawartini, I., Suwerda, B., Wiryanti, W., Djuhriah, N., Hanurawaty, N. Y., & Waluya, N. A. (2023). Penerapan Metode Daur Ulang Sampah B3 Rumah Tangga Infeksius Dengan Pendekatan Life Cycle Assessment Melalui Pemberdayaan Masyarakat. *Jurnal Aisyah: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 8(3).
- Fonseca-Rodríguez, O., Gustafsson, P. E., San Sebastián, M., & Connolly, A. M. F. (2021). Spatial clustering and contextual factors associated with hospitalisation and deaths due to COVID-19 in Sweden: A geospatial nationwide ecological study. *BMJ Global Health*, 6(7). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-006247>
- Gao, C. X., Dwyer, D., Zhu, Y., Smith, C. L., Du, L., Filia, K. M., Bayer, J., Mensink, J. M., Wang, T., Bergmeir, C., Wood, S., & Cotton, S. M. (2023). An overview of clustering methods with guidelines for application in mental health research. In *Psychiatry Research* (Vol. 327). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2023.115265>
- Gesler, W. M. (1992). Therapeutic landscapes: Medical issues in light of the new cultural geography. *Social Science & Medicine*, 34(7), 735–746.
- Kearns, R., & Moon, G. (2002). From medical to health geography: Novelty, place and theory after a decade of change. *Progress in Human Geography*, 26(5), 605–625. <https://doi.org/10.1191/0309132502ph389oa>
- Moon, J., & Jung, I. (2022). A simulation study for geographic cluster detection analysis on population-based health survey data using spatial scan statistics. *International Journal of Health Geographics*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12942-022-00311-6>
- Muflihan, Y., Retnawati, H., & Kistian, A. (2022). Analisis cluster dengan metode hierarki untuk pengelompokan sekolah menengah atas berdasarkan raport mutu sekolah di Kabupaten Nagan Raya. *Measurement In Educational Research*, 2(1), 22–33.
- Mulyani, A. A., & Eridiana, W. (2018). Faktor-faktor yang melatarbelakangi fenomena bunuh diri di gunungkidul. *Sosietas: Jurnal Pendidikan Sosiologi*, 8(2).
- Nabiila, S., & Kosasih, A. (2023). Hubungan Antara Penyakit Mental Dan Bunuh Diri Akibat Depresi Menurut Pandangan Islam. In *Pascasarjana Universitas Islam Jakarta* (Vol. 2).
- Thaib, S., & Bakti, R. D. (2022). Penerapan Analisis Kluster Hierarki Menggunakan Metode Average, Single, Dan Complete Linkage Pada Data Pasien Covid-19 Di Indonesia (Studi Kasus: Data IHSG Tahun 2016–2021). *Jurnal Statistika Industri Dan Komputasi*, 7(2), 23–30.
- Tim Penanggulangan dan Penanganan Bunuh Diri Kabupaten Gunungkidul. (2021). *Buku Modul Penanganan Faktor Resiko Bunuh Diri*. Pemerintah Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- U.S. Department of Veterans Affairs. (2024). *Religion and Spirituality: A Suicide Risk and Protective Factor*.
- Wangiyana, I. G. A. S. (2019). Comparison of Dendrogram and Cladogram Topology of Gyrinops versteegii and Others Gyrinops Member for Polyphasic Taxonomy. *Jurnal Silva Samalas*, 2(1), 13–18.
- Yang, B. (2019). GIS crime mapping to support evidence-based solutions provided by community-based organizations. *Sustainability (Switzerland)*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11184889>

Halaman ini sengaja kami kosongkan

PEMETAAN MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2A DENGAN METODE *OBJECT BASED IMAGE ANALYSIS* (OBIA) DI DESA KAHYAPU PULAU ENGGANO

(Mangrove Mapping Using Sentinel-2A Satellite Imagery and the Object-Based Image Analysis (OBIA) Method in Kahyapu Village, Enggano Island)

Muhammad Nashiruddin Kamal¹, Ayub Sugara¹, Ari Anggoro², Ana Ariasari², Akbar Abdurahman Mahfudz¹, Nella Tri Agustini¹, Silvy Syukhriani¹, Feri Nugroho³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Bengkulu

²Program Studi Sains Perikanan, Universitas Bengkulu

³Program Bisnis Digital, Jakarta Global University

Jalan WR Supratman Kandang Limun, Kec. Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu, Prov. Bengkulu

E-mail : ayubsugara@unib.ac.id

Diterima: 15 September 2025; Direvisi :26 September 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan : 6 Oktober 2025

ABSTRAK

Pulau Enggano, sebagai salah satu pulau terluar di Indonesia, memiliki potensi sumber daya alam yang signifikan, terutama dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi spasial mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano, menggunakan citra satelit Sentinel-2A dengan metode *Object Based Image Analysis* (OBIA). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam meningkatkan akurasi pemetaan dengan mempertimbangkan karakteristik spasial dan spektral objek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran mangrove di Desa Kahyapu mencakup luas total 871,08 ha, dengan kategori tutupan rapat, sedang, dan jarang masing-masing seluas 824,24 ha, 35,8 ha, dan 11,04 ha. Tingkat akurasi klasifikasi mencapai 93%, menunjukkan efektivitas metode OBIA dalam pemetaan mangrove. Selain itu, analisis hubungan antara persentase tutupan kanopi dan nilai NDVI menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,89 yang menunjukkan hubungan yang kuat antara kedua variabel. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi pengelolaan dan pelestarian ekosistem mangrove di wilayah tersebut serta menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: Klasifikasi, mangrove, metode OBIA, Desa Kahyapu, sentinel-2A

ABSTRACT

Enggano Island, as one of the outermost islands in Indonesia, has significant natural resource potential, especially in managing the mangrove ecosystem. This research aims to map the spatial distribution of mangrove ecosystems in Kahyapu Village, Enggano Island, using Sentinel-2A satellite imagery with the Object Based Image Analysis (OBIA) method. This method was chosen because of its ability to increase mapping accuracy by considering the spatial and spectral characteristics of objects. The research results show that the distribution of mangroves in Kahyapu Village covers a total area of 871.08 ha, with dense, medium and sparse cover categories covering 824.24 ha, 35.8 ha and 11.04 ha respectively. The classification accuracy rate reached 93%, showing the effectiveness of the OBIA method in mapping mangroves. In addition, analysis of the relationship between the percentage of canopy cover and the NDVI value produced a correlation coefficient of 0.89 which shows a strong relationship between the two variables. It is hoped that the results of this research will provide valuable insights for the management and preservation of mangrove ecosystems in the region and will become a reference for further research.

Keywords: Classification, Mangroves, OBIA Method, Kahyapu Village, Sentinel-2A

PENDAHULUAN

Pulau Enggano adalah salah satu pulau terluar Indonesia yang terletak di Samudra Hindia, termasuk di Kecamatan Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu (Agustini et al., 2016). Pulau ini terdiri dari enam desa, termasuk Desa Kahyapu, yang memiliki potensi besar dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove berperan penting bagi masyarakat setempat secara fisik, biologi, dan ekonomi, namun

terancam oleh konversi lahan, penebangan liar, dan perubahan iklim.

Pemantauan dan pengelolaan mangrove perlu melibatkan semua pihak, termasuk masyarakat, pemerintah, dan akademisi, untuk memahami pertumbuhan dan area yang memerlukan perhatian (Sugara et al., 2023). Tantangan akses lapangan memerlukan teknologi yang tepat untuk mendapatkan data spasial yang akurat. Teknologi penginderaan jauh telah terbukti efektif dalam

menjaga kondisi lingkungan dan mengumpulkan data spasial secara efisien (Giri et al., 2011).

Penginderaan jauh menurut Green et al., (2000), adalah teknik pengumpulan informasi dari jarak jauh menggunakan alat deteksi seperti satelit atau pesawat terbang. Teknologi ini telah berkembang pesat, terutama dalam ekosistem mangrove, di mana citra satelit meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemetaan hutan mangrove (Alfiansyah et al., 2023). Kemajuan dalam resolusi spasial dan temporal memungkinkan deteksi habitat mangrove yang lebih baik, dengan citra satelit mampu membedakan ekosistem ini dari vegetasi terestrial lainnya (Faizal & Amran, 2005). Citra satelit Sentinel-2A, yang dapat diakses secara bebas dan memiliki resolusi sedang, sering digunakan untuk pemetaan mangrove (Sugara et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa Sentinel-2A memberikan hasil yang optimal, terutama dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dan dapat mencapai akurasi hingga 90% dalam pemetaan kawasan mangrove (Rahmadi et al., 2022).

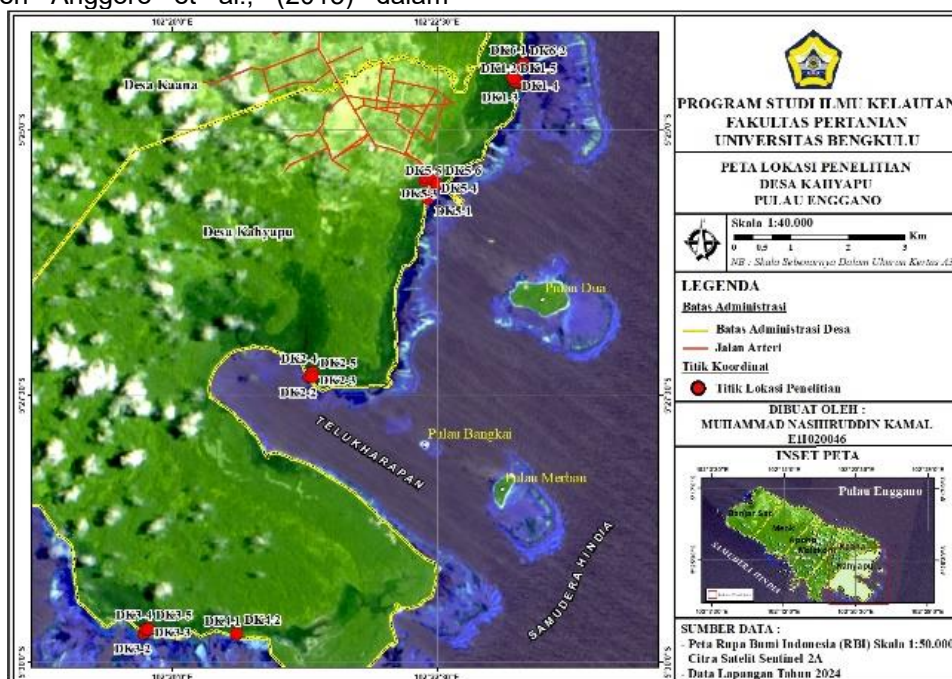
Ketersediaan citra beresolusi tinggi menjadi tantangan bagi analisis dalam pengembangan metode klasifikasi, terutama metode berbasis objek. Danoedoro, (2012), menyatakan bahwa *Object Based Image Analysis* (OBIA) memfasilitasi pembesaran objek dengan memancarkan kesamaan karakteristik spasial dan spektral. Proses segmentasi dalam OBIA mengubah data citra dari tingkat piksel menjadi objek homogen berdasarkan parameter tertentu (Anggoro et al., 2015). Pendekatan ini dianggap lebih akurat dibandingkan metode berbasis piksel (Saputra et al., 2021b). Klasifikasi berdasarkan objek mengelompokkan piksel yang mirip berdasarkan sifat spasial dan spektral. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa OBIA dapat meningkatkan akurasi, seperti yang dilakukan oleh Anggoro et al., (2015) dalam

pemetaan zona geomorfologi terumbu karang Ilyas et al., (2020) pada ekosistem lamun, Alimudi et al., (2017) pada hutan mangrove, Heumann, (2011) pada tutupan lahan mangrove dan Alfiansyah et al., (2023) pada sebaran ekosistem mangrove.

Diketahui potensi ekosistem pesisir salah satunya ekosistem mangrove berada di Desa Kahyapu Pulau Enggano. Keberadaan ekosistem mangrove tersebut berperan penting dalam keberlanjutan lingkungan, berfungsi sebagai habitat bagi beragam komunitas biologis (Pratama et al., 2025). Selain itu, ekosistem mangrove berfungsi sebagai pelindung terhadap intrusi air laut, bertindak sebagai perangkap sedimen, mengurangi erosi pantai, dan berkontribusi signifikan terhadap ekosistem laut dengan menyediakan nutrisi dalam bentuk sampah organik (Bengen, 2000). Potensi yang dimiliki ekosistem mangrove perlu dikembangkan karena memberikan banyak fungsi ekologis bagi lingkungan (Agustini et al., 2016), sampai saat ini belum ada data terkait pemetaan dengan metode OBIA ekosistem mangrove yang ada di Desa Kahyapu Pulau Enggano. Sehingga pada penelitian ini melakukan integrasi metode OBIA dengan citra Sentinel-2A untuk mengisi kekosongan studi pemetaan mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano. Metode OBIA memiliki keunggulan dalam analisis objek-berbasis dan penerapan pada citra resolusi menengah diharapkan menjadi alternatif yang lebih efisien namun tetap akurat.

METODE

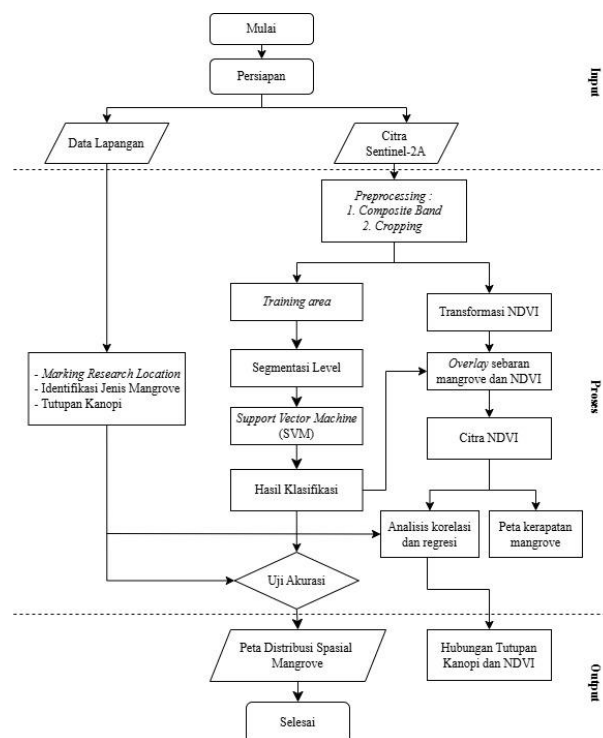
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - Maret 2024 di Desa Kahyapu, Kecamatan Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu. Lokasi penelitian dan titik koordinat dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras Laptop, GPS Garmin 78s, Roll meter, Olympus TG 6 Camera, Plastik sampel, ATK, Tali rafia, QGIS, Microsoft Excel, Wide Angle Lens, Booties, Buku Identifikasi Mangrove, e-Cognition 9.0.1 dan ImageJ 1.53t. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah peta survei dan citra sentinel-2A yang diunduh dari web <https://dataspace.copernicus.eu/>.

Tahapan penelitian pemetaan mangrove menggunakan citra Sentinel-2A dengan metode OBIA di Desa Kahyapu, Pulau Enggano meliputi pra-pengolahan citra, penentuan lokasi penelitian, pengumpulan data lapangan, pengolahan citra dan uji akurasi. Seluruh tahapan penelitian ini dijelaskan secara rinci dalam **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alur pengolahan data.

Metode Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan dengan menggunakan metode survei lapangan, dengan lokasi penelitian ditentukan melalui teknik pengambilan *purposive sampling*. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya untuk meminimalkan waktu, tenaga, dan biaya yang terkait dengan penelitian dengan memilih secara strategis area yang secara efektif mewakili kondisi tutupan kanopi mangrove (Purnama et al., 2020).

Data lapangan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data tentang jenis mangrove dan tutupan kanopi. Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan menggunakan plot persegi berukuran 10 x 10 meter. Identifikasi jenis mangrove dilakukan di lapangan dengan merujuk pada buku panduan identifikasi (Dharmawan dan Pramudji, 2014). Sedangkan data persentase tutupan kanopi mangrove diperoleh menggunakan

metode *hemispherical photography*, dengan memanfaatkan kamera wide angle untuk mengambil gambar (Dharmawan & Pramudji, 2014). Setiap plot diamati dan difoto sebanyak lima kali, dengan waktu optimal pengambilan gambar antara pukul 06.00 – 09.00 dan 15.00 – 18.00, saat intensitas matahari relatif rendah (Kamal et al., 2016). Hal ini bertujuan untuk menghindari gangguan cahaya matahari yang dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis gambar.

Pra Pengolahan Data Citra

Tahapan dalam persiapan pengolahan data citra yang dilakukan yaitu pengunduhan citra Sentinel-2A Desa Kahyapu, Kecamatan Enggano, Provinsi Bengkulu, yang dilakukan melalui situs <https://dataspace.copernicus.eu/>. Selanjutnya, dilakukan *composite band*, dan pemotongan citra (*cropping*).

Tahapan Pengelolaan Data Citra

Composite Band

Composite band merupakan metode yang menggabungkan dua atau lebih citra multispektral dengan resolusi atau panjang gelombang berbeda untuk menghasilkan citra komposit yang mampu menonjolkan fitur-fitur penting dari citra asli (Wald, 2002). Proses ini umumnya melibatkan penggabungan tiga saluran (band) untuk membentuk warna merah, hijau, dan biru (RGB), sehingga menghasilkan visualisasi yang mempermudah interpretasi karakteristik permukaan bumi. Dalam penelitian ini, digunakan kombinasi band 12 (SWIR2), band 11 (SWIR1), dan band 4 (Red). Pemilihan kombinasi ini tidak hanya bertujuan untuk membedakan vegetasi dari objek lainnya, tetapi juga didasarkan pada karakteristik spektral masing-masing band yang relevan dengan kondisi ekosistem mangrove. *Short-Wave Infrared* (SWIR), khususnya pada band 11 dan 12, memiliki sensitivitas tinggi terhadap kandungan air dan tingkat kelembapan pada vegetasi maupun tanah. Sensitivitas ini sangat penting dalam konteks pemetaan ekosistem mangrove yang umumnya berada di zona pasang surut (*intertidal zone*) dengan tingkat kejenuhan air yang tinggi.

Dengan demikian, kombinasi band 12, 11, dan 4 memberikan kemampuan yang lebih baik dalam membedakan vegetasi mangrove dari vegetasi non-mangrove terestrial. Band SWIR membantu mengidentifikasi variasi kadar air dan kelembapan kanopi vegetasi, sedangkan band merah (*Red*) memperkuat deteksi kandungan klorofil. Integrasi ketiga band ini menghasilkan komposit citra yang secara visual dan spektral mampu menampilkan perbedaan kontras antara vegetasi mangrove yang lembap dengan vegetasi darat yang lebih kering, sehingga meningkatkan akurasi dalam proses klasifikasi tutupan lahan.

Pemotongan Citra (*Cropping*)

Pemotongan citra adalah proses pengambilan bagian dari citra berdasarkan lokasi penelitian yang telah ditentukan, bertujuan untuk membatasi wilayah analisis agar fokus pada area yang relevan. Selain itu, pemotongan citra membantu memfokuskan perhatian pada area yang dianalisis, memudahkan pengklasifikasian objek, dan mengurangi beban kerja perangkat komputer. Proses ini melibatkan segmentasi data citra untuk menggambarkan wilayah yang sesuai dengan objek dalam setiap band yang ditentukan (Silitonga et al., 2018). Data utama yang digunakan dalam analisis ini adalah citra Sentinel-2A.

Segmentasi Citra

Proses segmentasi ini menggunakan algoritma *Multiresolution Segmentation* (MRS). Menurut Maksum et al., (2016) penentuan parameter scale, shape dan compactness dilakukan secara eksperimen (trial and error) sampai didapat hasil segmentasi yang mewakili objek yang dimaksud. Parameter untuk shape dan compactness diukur pada skala 0 hingga 1, sedangkan nilai scale berfungsi sebagai abstraksi untuk menetapkan tingkat heterogenitas maksimum yang diperlukan untuk membuat suatu objek (Timisela et al., 2020). Pada proses segmentasi citra Sentinel-2A nilai parameter scale dilakukan percobaan (trial and error) sebanyak tiga kali dengan nilai 20, 40 dan 60. Nilai parameter scale sangat mempengaruhi segmentasi yang dihasilkan. Semakin tinggi angka scale maka tingkat homogenitas yang dihasilkan juga semakin besar dan jumlah polygon segmentasi yang lebih sedikit, begitu juga sebaliknya (Pasaribu et al., 2021). Sedangkan nilai shape dan compactness menggunakan nilai default dari e-Cognition yaitu 0,1 dan 0,5 (Rosmasita et al., 2018).

Klasifikasi Berbasis Objek (OBIA)

Object Based Image Analysis (OBIA) adalah sebuah metode klasifikasi yang telah dikembangkan dengan menggunakan proses segmentasi dan analisis objek, di mana citra dianalisis berdasarkan karakteristik spasial dan spektral. Dengan demikian, metode ini menghasilkan objek-objek citra atau segmen-segmen yang kemudian digunakan untuk melakukan klasifikasi (Blaschke, 2010). Proses klasifikasi berbasis objek ini menggunakan software e-Cognition developer 9.0.1.

Segmentasi Citra

Segmentasi adalah tahap penting dalam klasifikasi berbasis objek, yang memisahkan citra menjadi poligon berdasarkan kesamaan nilai spektral dan spasial. Proses ini menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* (MRS) dengan skala berbeda pada level 1 dan 2, menghasilkan layer objek dalam jaringan hirarki (Anggoro et al., 2015). Parameter scale, shape dan compactness mengatur homogenitas objek.

Penentuan ambang batas dilakukan melalui pendekatan trial and error, mempertimbangkan karakteristik lokasi, jenis klasifikasi, dan variasi nilai spektral dan spasial. Dalam analisis data, hanya parameter scale yang diubah, sementara shape dan compactness menggunakan nilai bawaan perangkat lunak e-Cognition (Rosmasita et al., 2018).

Algoritma Support Vector Machines (SVM)

Support Vector Machine (SVM) adalah teknik statistik untuk prediksi dalam klasifikasi dan regresi. Prinsip dasar SVM adalah mencari *hyperplane* terbaik yang memisahkan dua kelas data, dengan memanfaatkan support vectors, yaitu data pada titik pemisah. Proses ini melibatkan pengukuran margin *hyperplane* untuk menemukan jarak maksimal antara *hyperplane* dan pola data terdekat dari setiap kelas, yang disebut *support vector* (A. S. Nugroho et al., 2003).

Uji Akurasi

Uji akurasi klasifikasi citra satelit dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi dengan titik acuan. Semakin tinggi akurasi, semakin baik peta yang dihasilkan. Analisis akurasi pemetaan mangrove menggunakan tabel matriks kesalahan (*confusion matrix*) (Congalton & Green, 2019). Pengujian ini menghasilkan nilai seperti *overall accuracy*, *producers accuracy*, dan *users accuracy*. *Overall accuracy* adalah rasio piksel yang diklasifikasikan dengan benar terhadap total sampel. *Producers accuracy* menunjukkan persentase piksel yang akurat mencerminkan distribusi kelas di lapangan, sedangkan *users accuracy* menunjukkan persentase piksel yang benar sesuai dengan kelas masing-masing. Secara matematis, ukuran akurasi tersebut dirumuskan sebagaimana **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, dan **Persamaan 3** berikut (Kurnia & Edwar, 2022):

Producers accuracy:

$$PA_k = \frac{X_{kk}}{X_{k+}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Users accuracy:

$$UA_k = \frac{X_{kk}}{X_{+k}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Overall accuracy:

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^n X_{kk}}{N} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

di mana:

X_{kk} : Nilai terklasifikasi secara tepat

X_{k+} : Nilai total kolom setiap kelas

X_{+k} : Nilai total baris setiap kelas

$\sum X_{kk}$: Jumlah nilai yang terklasifikasi secara tepat

N : Banyaknya total data yang diperoleh

Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi bertujuan untuk membedakan vegetasi dan non-vegetasi, analisis komparatif dilakukan antara tingkat kecerahan yang terekam

dalam saluran cahaya merah (*red*) dan cahaya inframerah dekat (*near infrared/NIR*) (F. Nugroho et al., 2023). Menghitung luasan ekosistem mangrove dilakukan berdasarkan klasifikasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). NDVI menggunakan band merah dan NIR dalam penginderaan jauh untuk mengetahui indeks vegetasi dari satelit. Menurut Cabello et al., (2021) Algoritma NDVI adalah sebagaimana **Persamaan 4** berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NIR : Nilai reflektansi spektral pada band inframerah dekat

R : Nilai reflektansi spektral pada band merah

Proses NDVI dilakukan untuk memisahkan area yang memiliki tingkat kehijauan berbeda pada citra dengan tujuan membedakan objek vegetasi dari non-vegetasi. NDVI berperan penting dalam mengidentifikasi tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan pantulan spektral pada kanal near-infrared (NIR) dan red, di mana nilai NDVI yang lebih tinggi menunjukkan vegetasi yang lebih sehat dan rapat (Xue & Su, 2017). Berdasarkan klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini, kisaran nilai NDVI untuk ekosistem mangrove dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu jarang, sedang, dan rapat. Kriteria dan rentang nilai NDVI tersebut disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik nilai NDVI untuk mangrove

No	Kriteria	Minimum	Maksimum
1	Jarang	-1	0,32
2	Sedang	0,32	0,42
3	Rapat	0,42	1

Sumber : (Departemen Kehutanan, 2005)

Persentase Tutupan Kanopi Mangrove

Analisis ini bertujuan untuk memisahkan piksel yang mewakili langit dan tutupan vegetasi, sehingga persentase area vegetasi mangrove dapat dihitung melalui analisis citra biner (Chianucci et al., 2014). Proses dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ, di mana foto lapangan diubah ke format 8 bit dengan nilai piksel antara 0 hingga 255. Area tutupan kanopi dan langit dipisahkan menggunakan tools threshold, di mana nilai 0 mewakili langit dan nilai 255 mewakili tutupan kanopi mangrove. Data kemudian dianalisis menggunakan **Persamaan 5** yang disediakan (Indonesia, 2014):

$$Tutupan Mangrove (\%) = \frac{P_{255}}{\sum P} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

di mana:

P_{255} : Piksel bernilai 255

$\sum P$: Jumlah seluruh piksel

Hasil analisis mengenai kerapatan dan persentase tutupan kanopi mangrove berfungsi untuk mengetahui kondisi status ekosistem hutan mangrove sesuai dengan ketentuan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004 yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kriteria baku kerusakan mangrove

No	Kriteria	Penutupan(%)
1	Baik : Lebat : Sedang	>75% 50-75%
2	Rusak : Rapat	<50%

Sumber : Kepmen LH No. 201 Tahun 2004.

Analisis hubungan antara persentase tutupan kanopi dan NDVI

Analisis untuk melihat hubungan antara persentase tutupan kanopi dan NDVI melibatkan analisis regresi dan korelasi. Korelasi digunakan untuk menilai kekuatan hubungan linear antara kedua variabel, di mana variabel (y) adalah nilai NDVI dan variabel (x) adalah data pengukuran lapangan. Sementara itu, analisis regresi bertujuan untuk memahami dampak perubahan satuan variabel (x) terhadap variabel (y). Koefisien korelasi (r) dirumuskan dalam persamaan tertentu. Koefisien korelasi (r) dapat dirumuskan pada **Persamaan 6** (Istiarini & Sukanti, 2012):

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \dots \dots \dots (6)$$

di mana:

r_{xy} : Koefisien korelasi

N : Banyaknya pasangan data x dan y

$\sum X$: Total jumlah dari variabel x

$\sum Y$: Total jumlah dari variabel y

$\sum X^2$: Total jumlah kuadrat dari variabel x

$\sum Y^2$: Total jumlah kuadrat dari variabel y

$\sum XY$: Total jumlah hasil perkalian dari variabel x dan y

Penjelasan seberapa kuat hubungan kedua variabel akan dijelaskan pada **Tabel 3** yang diperoleh dari (Jonathan, 2006):

Tabel 3. Kriteria kekuatan hubungan korelasi dan kekuatan hubungan

No	Interval Nilai	Kekuatan hubungan
1	$r=0,00$	Tidak ada
2	$0,00 < r \leq 0,20$	Sangat rendah atau sangat lemah
3	$0,20 < r \leq 0,40$	Rendah atau lemah
4	$0,40 < r \leq 0,70$	Cukup berarti atau sedang
5	$0,70 < r \leq 0,90$	Tinggi atau kuat
6	$0,90 < r \leq 1,0$	Sangat tinggi atau sangat kuat
7	$r=1$	Sempurna

Dalam penelitian ini, analisis regresi sederhana dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh satu variabel independen terhadap variabel dependen. Analisis regresi linier sederhana mencakup pemeriksaan satu variabel bebas dalam kaitannya dengan satu variabel terikat yang direpresentasikan dalam **Persamaan 7**:

$$y = a + bx \dots \dots \dots (7)$$

dimana:

y = Variabel terikat (NDVI)

x = Variabel bebas (Tutupan kanopi)

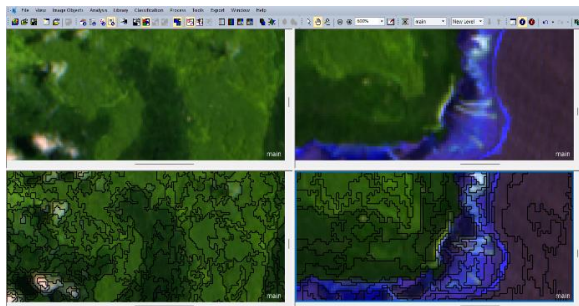
a = Intersep

b = Slope atau kemiringan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengelolaan Data Citra

Hasil segmentasi citra **Gambar 3** menunjukkan bahwa penggunaan scale parameter 40 menghasilkan segmentasi yang paling optimal dalam memisahkan objek-objek pada citra, khususnya dalam membedakan area vegetasi mangrove dari objek sekitarnya. Pada scale 40, batas antarobjek terlihat lebih jelas dan sesuai dengan kenampakan spasial mangrove di lapangan, di mana setiap segmen mewakili area vegetasi yang relatif homogen.



Gambar 3. Hasil segmentasi citra

Sebaliknya, pada scale 20, hasil segmentasi menunjukkan jumlah segmen yang terlalu banyak dengan ukuran sangat kecil (*over-segmentation*), sehingga satu area vegetasi mangrove dapat terbagi menjadi beberapa segmen kecil yang tidak merepresentasikan bentuk objek sebenarnya. Kondisi ini menyulitkan proses klasifikasi lanjutan karena batas antarsegmen terlalu detail dan menimbulkan noise visual.

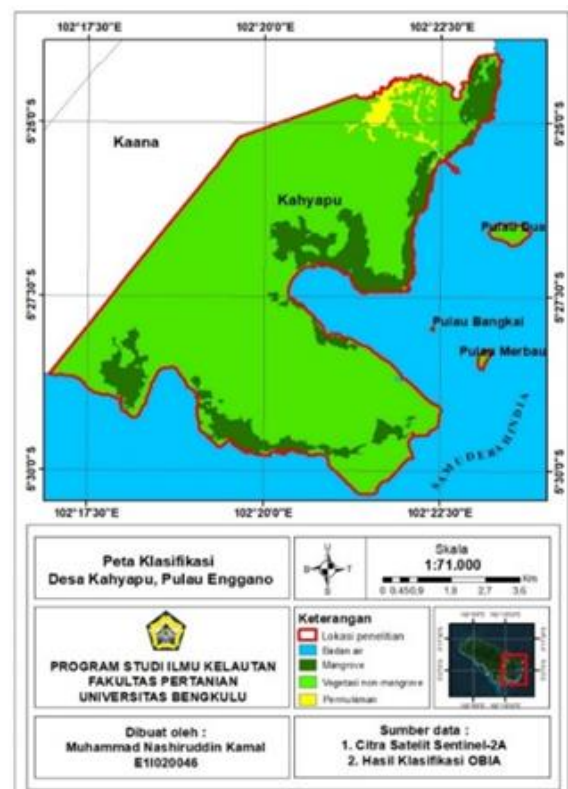
Sementara itu, pada scale 60 terjadi kondisi sebaliknya, yaitu jumlah segmen yang terlalu sedikit (*under-segmentation*), di mana beberapa area vegetasi mangrove dan non-mangrove tergabung menjadi satu segmen besar. Akibatnya, detail spasial objek mangrove tidak terekspresikan dengan baik dan menyebabkan kehilangan informasi penting.

Dengan demikian, pemilihan scale 40 dianggap paling sesuai karena mampu menyeimbangkan antara tingkat detail spasial dan homogenitas spektral objek, menghasilkan

representasi yang realistis terhadap distribusi dan bentuk vegetasi mangrove di area penelitian.

Hasil Klasifikasi Berbasis Objek (OBIA)

Proses klasifikasi berbasis objek dengan pengelompokan piksel-piksel yang berdekatan menjadi objek-objek yang sama melalui proses segmentasi, kemudian menerapkan teknik klasifikasi pada objek-objek tersebut sebagai unit terkecil secara terbimbing dengan data lapang yang ada (Timisela et al., 2020). Algoritma yang digunakan dalam klasifikasi berbasis objek pada penelitian ini adalah algoritma SVM. Menurut Parera et al., (2024) algoritma SVM yang digunakan menghasilkan akurasi yang lebih baik daripada klasifikasi random forest karena mampu meminimalisir kesalahan dalam interpretasi citra dengan nilai overall accuracy mencapai 90% ($\kappa = 0,89$) dan 88,13% ($\kappa = 0,87$). Adanya kesalahan objek yang terklasifikasi maka harus mengulang dari proses penentuan sampel kembali. Kesalahan klasifikasi objek berkaitan dengan cara kerja OBIA yaitu trial and error. Hasil dari proses klasifikasi dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hasil klasifikasi OBIA

Klasifikasi OBIA cukup efektif digunakan dalam penelitian ini untuk memetakan sebaran mangrove, teknik ini merupakan pendekatan alternatif lain yang dikembangkan dengan konsep berbasis objek dan tidak hanya berdasarkan nilai piksel melainkan juga nilai skala, bentuk dan kekompakan. Blaschke, (2010) menyatakan bahwa objek atau segmentasi pada citra merupakan sekumpulan beberapa piksel dengan nilai spektral dan spasial yang sama. Pendekatan

hasil klasifikasi OBIA yang didapatkan menunjukkan objek mangrove dapat dipetakan dengan baik **Gambar 4**. Kendati demikian, masih ditemukan kesalahan dalam pemisahan kelas mangrove terhadap kelas lainnya. Menurut Gao, (2008) penyebab klasifikasi berbasis objek tidak mendapatkan hasil yang lebih baik dikarenakan menggunakan citra resolusi rendah dan menengah yaitu faktor dari bentang lahan yang terdegradasi. Bentang lahan yang terdegradasi, heterogen secara spasial dan spektral dengan batas yang tidak mencolok, oleh karena itu, sulit untuk membentuk segmen yang homogen secara spasial.

Uji Akurasi

Klasifikasi citra Sentinel-2A menggunakan metode OBIA menghasilkan empat kelas yang berbeda yaitu, kelas badan air, vegetasi non-mangrove, permukiman, dan mangrove. Hasil klasifikasi tersebut perlu dilakukan uji confusion matrix untuk mengetahui tingkat kesalahan hasil klasifikasi terhadap objek sebenarnya pada citra Sentinel-2A yang merepresentasikan kondisi realtime di lapangan. Uji confusion matrix pada penelitian ini menggunakan 45 titik uji. Output dari proses ini adalah nilai akurasi pengguna/User Accuracy (UA), akurasi pembuat/Producer Accuracy (PA) dan akurasi keseluruhan/Overall Accuracy (OA). Hasil uji klasifikasi citra Sentinel-2A ditampilkan pada **Tabel 4** dibawah ini.

Tabel 4. Confusion Matrix

Kelas	Badan Air	Vegetasi non-mangrove	Permukiman	Mangrove	Total	UA (%)
Badan air	10	1	0	0	11	91
Vegetasi non-mangrove	0	10	2	0	12	83
Permukiman	0	0	7	0	7	1
Mangrove	0	0	0	15	15	1
Total	10	11	9	15	45	
PA(%)	1	91	78	1		
OA(%)	93					

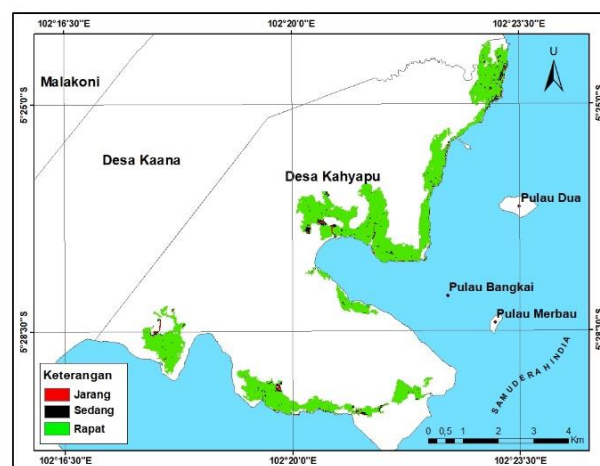
Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui nilai PA kelas badan air dan mangrove adalah 100%, yang menunjukkan sampel pada kelas tersebut terklasifikasi secara tepat. Sedangkan nilai PA kelas vegetasi non-mangrove dan permukiman masing-masing yaitu 91% dan 78% yang artinya terdapat sampel kelas tersebut yang terklasifikasi kedalam kelas yang lain. Nilai UA kelas permukiman dan mangrove adalah 100% yang menunjukkan sampel pada kelas tersebut terklasifikasi secara tepat. Sedangkan nilai UA kelas badan air dan vegetasi non-mangrove masing-masing adalah 91% dan 83% yang artinya

terdapat sampel kelas tersebut yang terklasifikasi kedalam kelas yang lain. Nilai OA pada **Tabel 4** di atas menunjukkan akurasi keseluruhan adalah 93%.

Berdasarkan hasil penelitian Saputra et al., (2021) dalam memetakan perubahan tutupan lahan mangrove di Pulau Dompok, diperoleh nilai uji akurasi 89% pada hasil klasifikasi menggunakan citra Sentinel-2B. Menurut Duryat & Darmawan, (2019) nilai akurasi > 85% menampilkan hasil klasifikasi benar dan dapat diterima dengan tingkat kesalahan 15%, sehingga hasil akurasi yang dapat sudah layak digunakan dan tidak perlu dilakukan klasifikasi ulang. Semakin tinggi nilai akurasi, maka hasil klasifikasi yang diperoleh akan semakin baik.

Indeks Vegetasi

Indeks Vegetasi (NDVI) menunjukkan rentang nilai dari -1 hingga 1, dengan nilai yang melebihi dari nol menandakan peningkatan derajat vegetasi dan kehijauan. Sebaliknya, nilai di bawah nol biasanya dikaitkan dengan permukaan non-vegetatif seperti awan, es, air, dan salju. Jenis vegetasi menunjukkan spektrum nilai NDVI, dengan ekosistem sabana (padang rumput) yang menunjukkan nilai sekitar 0,1, sedangkan hutan hujan tropis dapat mencapai nilai 0,8 (Andini et al., 2018). Kerapatan vegetasi merupakan faktor penting yang memengaruhi karakteristik yang diamati dalam citra penginderaan jauh, dan penilaian kerapatan ini sering dinyatakan sebagai persentase seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Peta kerapatan mangrove menggunakan algoritma NDVI

Berdasarkan nilai yang diperoleh dari perhitungan NDVI pada data citra Sentinel-2A, kerapatan mangrove dibagi menjadi tiga kategori, yaitu jarang, sedang, dan rapat. Nilai NDVI yang diperoleh digunakan untuk menentukan tingkat tutupan vegetasi mangrove di wilayah penelitian. Pada tahap awal, proses klasifikasi berbasis *Object-Based Image Analysis* (OBIA) dilakukan untuk memisahkan area mangrove dan non-mangrove secara umum. Proses ini menghasilkan peta distribusi spasial mangrove sebagai hasil

klasifikasi utama, di mana setiap objek citra dikelompokkan berdasarkan keseragaman spektral dan spasial. Dengan demikian, hasil OBIA berfungsi sebagai dasar untuk mengidentifikasi wilayah yang dikategorikan sebagai mangrove area.

Selanjutnya, perhitungan NDVI diterapkan hanya pada area yang telah diklasifikasikan sebagai mangrove hasil dari proses OBIA tersebut. Tahap ini bertujuan untuk mengelompokkan area mangrove ke dalam tiga sub-kategori berdasarkan tingkat kerapatannya, yaitu mangrove jarang, sedang, dan rapat. Pendekatan dua tahap ini — pertama pemisahan objek melalui OBIA, kemudian penentuan tingkat kerapatan melalui NDVI — memastikan bahwa analisis kerapatan vegetasi dilakukan secara spesifik di area mangrove yang telah tervalidasi secara spasial.

Kriteria klasifikasi NDVI untuk masing-masing kategori ditunjukkan pada **Tabel 5**, yang menunjukkan hasil perhitungan indeks kerapatan mangrove pada citra Sentinel-2A di Desa Kahyapu.

Tabel 5. Nilai indeks kerapatan mangrove pada citra Sentinel-2A Desa Kahyapu

No	Kelas Tutupan Mangrove	NDVI	Luas (ha)n	Persentase (%)
1	Jarang	-1 – 0,32	11,04	1%
2	Sedang	0,32- 0,42	35,8	4%
3	Rapat	0,42- 1	824,24	95%
Total			871,08	

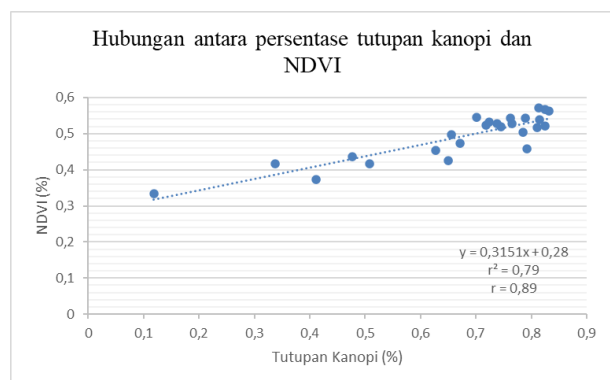
Hasil analisis menunjukkan bahwa tutupan mangrove rapat mendominasi wilayah penelitian dengan luas 824,24 ha atau sekitar 95% dari total area mangrove. Tutupan sedang memiliki luas 35,8 ha (4%), sedangkan tutupan jarang hanya seluas 11,04 ha (1%). Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar kawasan mangrove di Desa Kahyapu masih berada dalam kondisi vegetasi yang baik dan padat.

Hubungan antara persentase tutupan kanopi dan NDVI

Analisis korelasi linier sederhana digunakan untuk menilai hubungan antara variabel bebas dan terikat. Dalam konteks ini, variabel x (tutupan kanopi), sedangkan variabel y (nilai NDVI) diperoleh dari pemrosesan algoritma NDVI. Tingkat kerapatan citra Sentinel 2A dapat diukur melalui penerapan algoritma NDVI, sedangkan penentuan kerapatan kanopi mangrove dilakukan melalui analisis data fotografi yang dikumpulkan selama pengamatan lapangan yang telah diolah

menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menilai tutupan mangrove di titik pengamatan.

Data persentase tutupan kanopi yang telah diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ akan dibandingkan dengan data NDVI hasil citra Sentinel-2A melalui analisis regresi. Berdasarkan hasil analisis regresi hubungan keduanya memiliki korelasi sebesar $r=0,89$ dan koefisien determinasi sebesar $r^2=0,79$. Hasil tersebut mengindikasikan hubungan antara data lapangan dan NDVI memiliki hubungan yang tinggi. Koefisien korelasi bernilai positif artinya tutupan kanopi mempengaruhi nilai NDVI, semakin lebat persentase tutupan kanopi akan semakin tinggi nilai NDVI, begitu juga sebaliknya semakin jarang tutupan kanopi nilai NDVI akan semakin rendah. Grafik hubungan persentase tutupan kanopi dengan NDVI dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Grafik hubungan persentase tutupan kanopi dengan NDVI

Penelitian terkait hubungan persentase kanopi dan NDVI menunjukkan hasil yang sama bahwa ada hubungan yang kuat antara kedua data tersebut, seperti yang dilakukan Firmansyah (2018) mendapatkan hubungan yang tinggi antara kedua data tersebut sebesar $r=0,86$ dan $r^2=0,75$. Penelitian lainnya terkait hubungan persentase kanopi dan NDVI juga dilakukan Saputra (2021) yang mendapatkan hubungan yang tinggi antara kedua data tersebut dengan nilai $r=0,92$ dan $r^2=0,85$ menggunakan citra Sentinel-2B dan untuk citra Landsat 8 dengan nilai $r=0,84$ dan $r^2=0,71$. tutupan kanopi mangrove dengan nilai NDVI pada citra Sentinel-2A, didapatkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,89 dan koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,79.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan distribusi spasial dan tingkat kerapatan ekosistem mangrove di Desa Kahyapu, Pulau Enggano, menggunakan pendekatan integratif *Object-Based Image Analysis* (OBIA) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berbasis citra Sentinel-2A. Pendekatan dua tahap yang diterapkan, yaitu pemisahan awal antara area mangrove dan non-mangrove melalui OBIA, diikuti dengan analisis NDVI untuk

menentukan tingkat kerapatan vegetasi, terbukti efektif dalam menghasilkan peta tematik dengan tingkat akurasi keseluruhan mencapai 93%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di wilayah penelitian didominasi oleh kategori kerapatan tinggi (rapat) dengan luas 824,24 ha (95%), sedangkan kategori sedang dan jarang masing-masing mencakup 35,8 ha (4%) dan 11,04 ha (1%). Nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,89 dan koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,79 antara tutupan kanopi hasil pengamatan lapangan dengan nilai NDVI menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara kedua parameter, sehingga hasil pemetaan dapat dianggap valid secara spasial dan representatif terhadap kondisi vegetasi aktual di lapangan.

Temuan ini menguatkan hasil penelitian sebelumnya oleh Saputra et al., (2021) yang menunjukkan korelasi tinggi antara NDVI dan tutupan kanopi mangrove dengan nilai $r > 0,85$. Namun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam konteks Pulau Enggano melalui penerapan metode OBIA dan citra Sentinel-2A yang terbukti lebih efektif dalam membedakan vegetasi mangrove secara spasial dibandingkan pendekatan berbasis piksel konvensional. Secara praktis, hasil pemetaan ini memiliki implikasi penting bagi pengelolaan dan kebijakan tata ruang pesisir Pulau Enggano, terutama dalam mendukung perencanaan zonasi konservasi mangrove, penentuan area prioritas rehabilitasi pada kawasan dengan kerapatan rendah, serta penyusunan kebijakan pengelolaan wilayah pesisir berkelanjutan yang terintegrasi dalam rencana zonasi wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil (RZWP3K). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjawab tujuan ilmiahnya untuk mengidentifikasi distribusi spasial dan tingkat kerapatan mangrove secara akurat, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap penguatan kebijakan pengelolaan ekosistem pesisir dan mitigasi perubahan iklim berbasis konservasi karbon biru di Pulau Enggano.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Universitas Bengkulu yang telah memberikan hibah penelitian melalui PNPB LPPM skema Penelitian Fundamental Tahun 2024 dengan Nomor Kontrak : 2946/UN30.15/PT/2024 yang di ketuai oleh Ayub Sugara, S.Kel., M.Si, terima kasih juga kepada tim dosen dan tim pendukung peneliti Ilmu Kelautan Universitas Bengkulu serta KPHK Pulau Enggano.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, N. T., Ta'alidin, Z., & Purnama, D. (2016). Struktur komunitas mangrove di desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*, 1(1), 19–31.
- Alfiansyah, M., Nuarsa, I. W., & Brasika, I. B. M. (2023). Perbandingan Beberapa Metode Klasifikasi Menggunakan Citra Landsat dan Sentinel Untuk Pemetaan Sebaran Mangrove Di Kawasan Ekowisata Mangrove PIK Jakarta Utara. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 9(1), 82–95.
- Alimudi, S., Susilo, S. B., & Panjaitan, J. P. (2017). Deteksi perubahan luasan mangrove menggunakan citra landsat berdasarkan metode OBIA di Teluk Valentine Pulau Buano. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 8(2), 139–146.
- Andini, S. W., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2018). Analisis sebaran vegetasi dengan citra satelit sentinel menggunakan metode NDVI dan segmentasi. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 14–24.
- Anggoro, A., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2015). Pemetaan Zona Geomorfologi Ekosistem Terumbu Karang Menggunakan Metode Obia, Studi Kasus Di Pulau Pari (Geomorphic Zones Mapping of Coral Reef Ecosystem With Obia Method, Case Study In Pari Island). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 12(1).
- Bengen, G. D. (2000). Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Biologi Laut. *Jakarta: Djambatan*.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2–16.
- Cabello, K. E., Germenil, M. Q., Blanco, A. C., Macatulad, E. G., & Salmo, S. G. (2021). Post-disaster assessment of mangrove forest recovery in lawaan-balangiga, eastern samar using ndvi time series analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 243–250.
- Chianucci, F., Chiavetta, U., & Cutini, A. (2014). The estimation of canopy attributes from digital cover photography by two different image analysis methods. *IForest-Biogeosciences and Forestry*, 7(4), 255.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
- Danoedoro, P. (2012). Pengantar Penginderaan Jauh Digital. In *Penerbit Andi*.
- Departemen Kehutanan, 2005. Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove. Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Departemen Kehutanan. Jakarta
- Dharmawan, I. W. E., & Pramudji. (2014). *Panduan Monitoring Status Ekosistem Mangrove di Indonesia* (Issue July). Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI.
- Duryat, D., & Darmawan, A. (2019). Efisiensi penggunaan citra multisensor untuk pemetaan tutupan lahan. *Jurnal Sylva Lestari*, 7(3), 342–349.
- Faizal, A., & Amran, M. A. (2005). Model transformasi indeks vegetasi yang efektif untuk prediksi kerapatan mangrove *Rhizophora mucronata*. *Prosiding PIT MAPIN XIV ITS*.
- Gao, J. (2008). Mapping of land degradation from ASTER data: a comparison of object-based and pixel-based methods. *GIScience & Remote Sensing*, 45(2), 149–166.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154–159.
- Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., & Clark, C. D. (2000). *Remote sensing handbook for tropical coastal management* (A. J. Edwards (ed.)). Unesco Publishing.
- Heumann, B. W. (2011). An object-based classification of

- mangroves using a hybrid decision tree—Support vector machine approach. *Remote Sensing*, 3(11), 2440–2460.
- Ilyas, T. P., Nababan, B., Madduppa, H., & Kushardono, D. (2020). Pemetaan ekosistem lamun dengan dan tanpa koreksi kolom air di perairan Pulau Pajene Kang, Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 9–23.
- Indonesia, L. I. P. (2014). Panduan monitoring status ekosistem mangrove. *Jakarta. 35hlm*.
- Istiarini, R., & Sukanti, S. (2012). Pengaruh sertifikasi guru dan motivasi kerja guru terhadap kinerja guru SMA Negeri 1 Sentolo Kabupaten Kulon Progo tahun 2012. *Jurnal Pendidikan Akuntansi Indonesia*, 10(1).
- Jonathan, S. (2006). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Graha Ilmu.
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2016). Assessment of multi-resolution image data for mangrove leaf area index mapping. *Remote Sensing of Environment*, 176, 242–254.
- Kepmen LH No. 201 Tahun 2004. Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Menteri Negara Lingkungan Hidup. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 201 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku Dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kurnia, L., & Edwar, A. (2022). Perbandingan Klasifikasi SVM dan Random Forest dalam Memetaan Mangrove Berbasis Piksel Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A di Kecamatan Talibura, Kabupaten Sikka. *AQUANIPA, Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan*, 27(2), 58–66. <http://117.74.115.107/index.php/jemasi/article/view/1537>
- Maksum, Z. U., Prasetyo, Y., & Haniah, H. (2016). Perbandingan klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi berbasis objek dan klasifikasi berbasis piksel pada citra resolusi tinggi dan menengah. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 97–107.
- Nugroho, A. S., Witarto, A. B., & Handoko, D. (2003). Support vector machine. *Proceeding Indones. Sci. Meeting Cent. Japan*.
- Nugroho, F., Sugara, A., Priana, A., & Suci, A. N. N. (2023). Monitoring the Impact of Land Cover Change on Urban Heat Island with Remote Sensing & GIS. *Geosfera Indonesia*, 8(3), 301. <https://doi.org/10.19184/geosi.v8i3.27796>
- Parera, G. R. J., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2024). Perbandingan Klasifikasi SVM dan Random Forest dalam Memetaan Mangrove Berbasis Piksel Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A di Kecamatan Talibura, Kabupaten Sikka. *AQUANIPA-Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan*, 6(2).
- Pasaribu, R. A., Aditama, F. A., & Setyabudi, P. (2021). Object-based image analysis (OBIA) for mapping mangrove using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on Tidung Kecil Island, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 944(1), 12037.
- Pratama, B. B., Pratama, W., Rudiastuti, A. W., Sugara, A., & Nugroho, F. (2025). Optimizing Mangrove Classification with Data Fusion : Machine Learning Approaches for Enggano Island , Indonesia. *JOIV : International Journal on Informatics Visualization*, 9(September), 1910–1921. <https://doi.org/10.62527/joiv.9.5.3360>
- Purnama, M., Pribadi, R., & Soenardjo, N. (2020). Analisa tutupan kanopi mangrove dengan metode hemispherical photography di Desa Betahwalang, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 9(3), 317–325.
- 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.
- Rosmasita, R., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2018). Klasifikasi Mangrove Berbasis Objek Dan Piksel Menggunakan Citra Sentinel-2b Di Sungai Liong, Bengkalis, Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 601–615.
- Saputra, R., Gaol, J. L., & Agus, S. B. (2021). Studi Perubahan Tutupan Lahan Mangrove Berbasis Objek (Obia) Menggunakan Citra Satelit Di Pulau Dompok Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1), 39–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1>.
- Silitonga, O., Purnama, D., & Nofriadiansyah, E. (2018). Pemetaan kerapatan vegetasi mangrove di sisi tenggara Pulau Enggano menggunakan data citra satelit. *Jurnal Enggano*, 3(1), 98–111.
- Sugara, A., Anggoro, A., Lukman, A. H., Ariasari, A., Suci, N. N., Agustini, N. T., Nugroho, F., Muhammad, A., Hanami, C. C., & Zulhendri, R. (2023). Mapping The Potential of Mangrove Planting in The Rehabilitation of Coastal Ecosystems Using Drone Technology. *Journal of Sylva Indonesiana*, 06(02), 164–177. <https://doi.org/10.32734/jsi.v6i02.10515>
- Sugara, A., Lukman, A. H., Rudiastuti, A. W., Anggoro, A., Hidayat, M. F., Nugroho, F., Muslih, A. M., Suci, A. N. N., Zulhendri, R., & Rahmania, M. (2022). Utilization of Sentinel-2 Imagery in Mapping the Distribution and Estimation of Mangroves' Carbon Stocks in Bengkulu City. *Geosfera Indonesia*, 7(3), 219. <https://doi.org/10.19184/geosi.v7i3.30294>
- Timisela, W. A., Mardiatmoko, G., & Puturuhi, F. (2020). Analisa Jenis Mangrove Menggunakan Citra UAV Dengan Klasifikasi Obia. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 4(2), 132–149.
- Wald, L. (2002). Some terms of reference in data fusion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(3), 1190–1193.
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017(1), 1353691.

MAJALAH ILMIAH GLOBE
VOLUME 27 TAHUN 2025

Indeks Penulis

A

Ade Galuh Prameswari, 37
Akbar Abdurahman Mahfudz, 123
Ana Ariasari, 123
Andri NR Mardiah, 71
Aninda W. Rudiastuti, 11
An Nisa Nurul Suci, 23
Ari Anggoror, 11, 23, 123
Arip Priatna, 95
Asep Adang Supriyadi, 57
Ayub Sugara, 11, 19, 23, 35, 123, 131

D

Dhanu Sekarjati, 71
Dori Rchmawani, 85
Dwi Yulianasari, 1

E

Eggy Arya Giofandi, 71

F

Fahrudin Hanafi, 1
Feri Nugroho, 23, 123
Fery Kurniawan, 85
Fredinan Yulianda, 85

I

Ire Pratiwi, 57

M

Muhammad Hafizh Annaufal, 1
Muhammad Nashiruddin Kamal 123

N

Nabila Meiliyani, 85
Nella Tri Agustini, 123
Nina Anjeli, 23

P

Prima Widayani, 37, 46

R

Risna, 49

S

Septianto Aldiansyah, 49
Silvy Syukhriani, 123
Syachrul Arief, 57

V

Vita Elysia, 95

W

Wahyunda Pratama, 11

MAJALAH ILMIAH GLOBE
VOLUME 27 TAHUN 2025

Indeks Subjek

- B**
- Bahaya, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35
- Banjir Rob, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107
- Bencana Alam, 57
- Benthic*, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57
- C**
- Cellular Automata*, 1, 2, 3, 5, 7, 9
- Classification, 123, 132, 133
- D**
- Damage Level*, 85
- Density Level*, 85
- Desa Kahyapu, 123, 124, 125, 130, 131
- Digital Elevation Model*, 95, 97, 98, 103, 107
- Disaster*, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69
- Disaster Risk Level Modeling*, 23
- E**
- Environment*, 58, 63, 65, 66, 67
- F**
- Faktor Fisik, 71
- H**
- Hazard*, 23, 35
- G**
- Geographic Information System*, 23, 37
- Geospasial, 95, 97, 98, 100, 104, 107
- Geospatial, 95
- GIS, 23, 25, 28, 46, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84
- Google Earth Engine*, 11, 12, 20, 21, 49, 50, 51, 55, 56
- I**
- Ibu Kota Negara, 1, 2, 3, 5, 7, 9
- Inundasi, 23, 24, 27, 28, 30, 31, 33
- Inundation*, 23
- K**
- Kahyapu Village*, 123
- Kalimantan Utara, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93
- Kerapatan, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92
- Kerawanan, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 46, 47
- Kerusakan, 85, 87, 88, 91, 92, 93
- Klasifikasi, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 133
- Klasifikasi Terbimbing, 2, 4, 11, 15, 16, 17, 19
- L**
- Land Cover Change*, 1
- Landslide Hazard Model*, 71, 74, 75, 76
- Lingkungan, 57
- Luasan Mangrove, 85, 86, 88, 89, 91, 93
- Lyzenga*, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 57
- M**
- Mangrove, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93
- Mangrove Area*, 85, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133
- Mangrove Mapping*, 11
- Mangroves*, 85, 92, 123, 132, 133
- Mapping*, 11, 20, 21, 23, 37, 50, 51, 54, 55, 56, 57
- Metode OBIA, 123, 124, 129, 131
- Model Bahaya Longsor, 71
- N**
- National Capital*, 1
- NDVI, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93
- North Kalimantan*, 85
- O**

OBIA Method, 123

P

Pasang Surut, 95, 96, 97, 100, 101, 106, 107

Pemetaan, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 27, 28, 31, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 56

Pemetaan Mangrove, 11, 12, 20

Pemodelan Tingkat Risiko Bencana, 23, 24, 25, 27, 29, 31, 33, 35

Penginderaan Jauh, 3, 5, 9, 10, 12, 20, 21, 35, 36, 37, 38, 39, 46, 71

Perbandingan Indeks Vegetasi, 11, 13, 15, 17, 19, 21

Perencanaan Wilayah dan Kota, 95, 107

Perubahan Penutupan Lahan, 1,2,3,4,5,6,7,8,9

Physical Factors, 71, 77, 78

Potensi, 7, 8, 23, 24, 27, 35, 37, 46

Potential, 2, 7, 23, 35

R

Random Forest, 11, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 49, 50

Remote Sensing, 20, 21, 35, 37, 46, 47, 50, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 76, 82, 83

S

Sentinel 2 MSI, 49, 50, 51, 53, 55, 57

Sentinel-2A, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133

SIG, 23, 24, 28, 35, 38

Sistem Informasi Geografis, 9, 23, 24, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 38

Susceptibility, 37

Supervised Classification, 2, 4, 9, 11, 14, 15, 51

T

Tidal Flood, 95

Tides, 95

Tsunami, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36

Tuberculosis, 37, 46, 47

Tuberkulosis, 37, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47

U

Urban and Regional Planning, 95

V

Vegetation Index Comparison, 11

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI MAJALAH ILMIAH GLOBE
VOLUME 27 TAHUN 2025

1. Dr. Ir. Bambang Riadi, S.T., M.Tech
2. Dr. rer. nat. Djati Mardianto, M.Si.
3. Dr. Lalitya Narieswari, S.Si., M.Sc.
4. Prof. Dr. Ir. Sam Wouthuyzen., M.Sc
5. Prof. Dr. Junun Sartohadi
6. Dr. rer. nat. Anang Widhi Nirwansyah, M.Sc.
7. Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T
8. Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
9. Dadan Ramdhani, M.T
10. Ir. Irmadi Nahib, M.Si.

PEDOMAN PENULISAN MAJALAH ILMIAH GLOBE

Majalah Ilmiah Globe adalah publikasi ilmiah melalui proses *review* yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan jauh Indonesia (MAPIN). Majalah ini berisi tulisan ilmiah dan kajian literatur tentang pengumpulan, pengolahan dan analisis data tentang informasi geospasial tematik serta tema lain yang terkait.

Persyaratan umum naskah adalah merupakan naskah asli hasil karya penulis, belum pernah dipublikasikan sebelumnya, tidak sedang dalam proses publikasi di jurnal lain, ditulis sesuai format yang telah ditentukan. Naskah yang masuk akan ditelaah oleh Mitra bestari dan dewan redaksi. Dewan redaksi berhak mengedit tulisan dalam hal gaya penulisan, format dan kejelasan kalimat serta memutuskan apakah naskah dapat diterbitkan atau tidak.

Redaksi menerima naskah yang sesuai dengan *scope* untuk dipublikasikan dalam majalah ilmiah ini. Naskah hendaknya dikirim ke:

Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah Globe

Biro Hukum, Hubungan Masyarakat dan Kerja Sama, Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta Bogor Km. 46 Cibinong Jawa Barat 16911
Telp. 021-87906041 Fax 021-87906041
Website: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/index>
E-mail: majalah.globe@big.go.id, majalahglobe@gmail.com

Pengajuan naskah

Penulis harus mengirimkan naskah melalui e-journal dengan terlebih dahulu mendaftarkan diri sebagai *Author* dan *login* melalui website <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/index>

Penulisan naskah

Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam Microsoft Word dengan 1 kolom untuk abstrak dan 2 kolom untuk isi. Ukuran kertas A4. Jenis huruf untuk seluruh ISI tulisan menggunakan Arial 10pt dan spasi (line spacing) 1. Panjang naskah terdiri dari 8-12 halaman (halaman harus genap) termasuk tabel dan gambar serta maksimal ukuran file setiap naskah tidak lebih dari 10Mb.

Sistematika Penulisan

Template penulisan naskah secara lengkap dapat diunduh melalui website Jurnal Geomatika.

Kerangka tulisan disusun dengan urutan sebagai berikut: Judul, Identitas Penulis, Afiliasi, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, dan Daftar Pustaka.

Judul harus akurat, jelas, spesifik. Judul utama ditulis dengan huruf kapital, sedangkan sub judul menggunakan huruf kecil dengan huruf besar di setiap awal kata. Judul dibuat dalam 2 bahasa (Indonesia dan Inggris), apabila tulisan dalam bahasa Indonesia, maka judul dalam Bahasa Inggris ditulis dalam tanda kurung dengan huruf Tahoma 12 point miring.

Identitas Penulis ditulis secara lengkap tanpa disingkat, tanpa gelar dan jabatan profesional.

Afiliasi penulis meliputi: nama departemen/unit, nama universitas/nama instansi, alamat, kota, kode pos, negara. Penulis korespondensi (termasuk alamat e-mail) ditulis dengan menambahkan tandasuperscript setelah nama. Bila penulis memiliki afiliasi yang berbeda, diberikan kode nomor berbeda di akhir nama penulis dengan format superscript. Bila semua penulis memiliki afiliasi/instansi yang sama, kode nomor tidak perlu dituliskan.

Abstrak memberikan pengantar singkat disertai masalah, tujuan, metode, ringkasan hasil serta kesimpulan penelitian, ditulis dalam satu paragraf dalam 1 kolom maksimal 250 kata. Abstrak dibuat dalam 2 bahasa. Apabila naskah dalam Bahasa Indonesia, maka abstrak dengan Bahasa Indonesia ditulis terlebih dahulu kemudian abstrak dalam Bahasa Inggris dan sebaliknya.

Kata Kunci/Keyword minimal 3 kata atau frasa dipisahkan dengan tanda koma yang menunjukkan subjek-subjek utama di dalam naskah.

Isi tulisan dimulai dari PENDAHULUAN, METODE, HASIL DAN PEMBAHASAN, KESIMPULAN, UCAPAN TERIMA KASIH DAN DAFTAR PUSTAKA. Isi tulisan dibuat dengan 2 kolom dengan huruf Arial 10pt.

Tabel dibuat ringkas dan diberi judul yang singkat tetapi jelas hanya menyajikan data esensial dan mudah dipahami. Tabel diberi catatan secukupnya, termasuk sumbernya. Setiap tabel diberi nomor secara berurutan di dalam naskah. Untuk tabel yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom.

Gambar, Grafik dan Foto harus tajam dan jelas agar cetakan berkualitas baik. Semua simbol di dalamnya harus dijelaskan. Gambar, grafik dan foto

memiliki kedalaman minimal 300 dpi. Gunakan *textbox* untuk menyisipkan gambar. File gambar asli mohon disertakan pada lampiran terpisah (*suplementary file*).

Kesimpulan simpulan harus menjawab tujuan penelitian dan disusun dalam bentuk narasi dan bukan pointer.

Ucapan terima kasih ucapan terima kasih wajib dituliskan penulis, ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian misalnya pemberi data atau pemberi dana.

Daftar Pustaka Referensi hendaknya dari sumber yang jelas dan terpercaya, minimal berjumlah 10 referensi. Setiap referensi yang tercantum dalam daftar pustaka harus dikutip (disitir) pada naskah dan sebaliknya setiap kutipan harus tercantum dalam daftar pustaka. Referensi primer harus lebih dari 80% dan diterbitkan dalam 5 tahun terakhir. Referensi yang dicantumkan dalam naskah mengikuti pola baku dengan disusun menurut abjad berdasarkan nama (keluarga) penulis pertama dan tahun publikasi, dengan sistem sitasi *American Physiological Association* 6th Edition. Setiap artikel yang dikirimkan ke Geomatika harus menggunakan perangkat lunak pengelolaan referensi (*reference management software*) yang mendukung *Citation Style Language* seperti Mendeley, Zotero, EndNote dan lainnya.

Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut:

Aziz, N. (2006). Analisis Ekonomi Alternatif Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Kecamatan Barru, Kabupaten Barru. Universitas Diponegoro.

(Contoh referensi **Skripsi/Tesis/Disertasi**)

Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. Retrieved September 17, 2007, from <http://cdm.unfccc.int/Panels/ar>.

(Contoh referensi **Naskah Online**)

Danoedoro, P. (2009). Land-use Information from the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning. Queensland: LAP Lambert Acad. Publisher.

(Contoh referensi dalam **Buku**)

Indonesia, R. Undang-undang No. 4 tentang Informasi Geospasial (2011).

(Contoh referensi dalam **Undang-undang**)

Neumeyer, J. (2010). Superconducting Gravimetry. In G. Xu (Ed.), *Sciences of Geodesy - I* (pp. 340–406). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11741-1>

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

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.

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

Setiawan, I. B. (1999). Studies on environmental change and sustainable development of Cidanau Watershed. In *International Workshop on Sustainable Resources Management of Cidanau Watershed* (p. 235). Bogor.

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

Catatan:

- **Pustaka berupa diktat kuliah, bahan presentasi, dan dokumentasi perseorangan yang belum dipublikasi resmi tidak diperkenankan untuk digunakan/ dicantumkan**