

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 Kebumian, 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 Pusat Penelitian, Promosi dan Kerja Sama

**Mitra Bestari:****Nama:**Prof. Dr. Dewayany Sutrisno,  
M.App.Sc**Kepakaran:**Sistem Informasi Spasial,  
Penginderaan Jauh, SIG,  
Perencanaan Spasial Kelautan**Instansi:**Badan Riset dan Inovasi  
NasionalProf. Dr. Muhamad Buce Saleh,  
M.S.Penginderaan Jauh Kehutanan, SIG,  
Perencanaan Kehutanan

Institut Pertanian Bogor

Prof. Dr. Lailan Syaufina, M.Sc.

Kehutanan, Kebakaran Hutan,  
Gambut, Ilmu Tanah, Ilmu Lingkungan

Institut Pertanian Bogor

Prof. Dr. rer. nat. Junun Sartohadi,  
M.ScPenginderaan Jauh, SIG,  
Geomorfologi Tanah, Geografi Tanah

Universitas Gadjah Mada

Dr. Wiwin Ambarwulan, M.Sc.

Penginderaan Jauh Kelautan, SIG,  
Pengelolaan SDA dan LingkunganBadan Riset dan Inovasi  
Nasional

Dr. Khursatul Munibah, M.Sc

Penginderaan Jauh, SIG,  
Perencanaan Wilayah, Geomorfologi,  
Analisis Lanskap,

Institut Pertanian Bogor

Dr. Ing. Widodo Setiyo Pranowo,  
M.SiOseanografi Terapan, Hidrodinamika,  
Ilmu Keangkatan LautanBadan Riset dan Inovasi  
Nasional

Dr. Nurjannah Nurdin, M.Si

Oseanografi, Penginderaan Jauh, SIG,  
Ilmu Kelautan

Universitas Hasanuddin

Dr. Ati Rahadiati, M.Sc

Penginderaan Jauh, Kelautan, SIG,  
KepesisiranBadan Riset dan Inovasi  
Nasional

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

Penginderaan Jauh, SIG, Manajemen  
Kebencanaan, Geomorphology  
Lingkungan

Universitas Gadjah Mada

Dr. Pramaditya Wicaksono, M.Sc

Fotogrametri, Penginderaan Jauh  
Kelautan, SIG, Ekologi Estuari dan  
Kelautan

Universitas Gadjah Mada

**Dewan Editor:**

<b>Nama:</b>	<b>Jabatan:</b>	<b>Instansi:</b>
Dr. Ibnu Sofian, M.Eng	Ketua Dewan Editor	Badan Informasi Geospasial
Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar	Anggota	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Prof. Dr. Jonson Lumban-Gaol, M.Si	Anggota	Institut Pertanian Bogor
Dr. Ratna Sari Dewi, M.Sc	Anggota	Badan Informasi Geospasial
Ir. Yatin Suwarno, M.Sc	Anggota	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Ir. Irmadi Nahib, M.Si	Anggota	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Ahmad Cahyadi, S.Si., M.Sc	Anggota	Universitas Gadjah Mada



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

**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>

**Redaktur Pelaksana:**

<b>Nama:</b>	<b>Jabatan:</b>	<b>Instansi:</b>
Dr. Ir. Sri Lestari, M.Agr	Managing Editor	Badan Informasi Geospasial
Mone Iye Cornelia M., M.Si., M.Sc	Editor	Badan Informasi Geospasial
Lalitya Narieswari, M.Sc	Editor	Badan Informasi Geospasial
Prayudha Hartanto, S.T., M.T.	Editor	Badan Informasi Geospasial
Hanik Nurdina Sabita, SIP	Editor	Badan Informasi Geospasial
Nadya Oktaviani, S.T.	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Fakhrudin Mustofa, S.Si. M.Si	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Mira Harimurti, S.Si, M.URP.	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Intan Pujawati, S.Si	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Tia Rizka Nuzula Rachma, ST	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Mochamad Irwan Hariyono, S.T.	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Agung Syetiawan, S.T., M.T.	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Yustisi Ardhitasari L.G., S.T., M.Sc	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Munawaroh, S.Si	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Nugroho Purwono, S.Si	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Dadan Ramdani, M.T.	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Danang Budi Susetyo, S.T.	Copy Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Ellen Suryanegara, S.Sos	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Luciana Retno Prastiwi, M.Med.Kom	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Maslahatun Nashiha, S.Si, M.Sc	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Fahrul Hidayat, S.T.	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Ayu Nur Safi'i, S.T.	Proof Reader/Editor	Badan Informasi Geospasial
Aninda Wisaksanti R, S.Pi., M.Si	Proof Reader/Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Florence E. S. Silalahi, S.T., M.A.	Proof Reader/Editor	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Sandi Adhitya Kolopaking, M.Sys.Eng	Pendukung TI	Badan Informasi Geospasial
Ahmad Rinaldi Darmawan, S.Kom	Pendukung TI	Badan Informasi Geospasial
Reni Setyowati, S.T., M.T.I.	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

## DAFTAR ISI

<b>SUSUNAN DEWAN REDAKSI</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>LEMBAR ABSTRAK (ID)</b> .....	vi
<b>LEMBAR ABSTRAK (EN)</b> .....	viii
<b>PENGANTAR REDAKSI</b> .....	x
<b>HUBUNGAN PARAMETER ARUS LAUT DAN LIFEFORM KARANG PADA BEBERAPA PULAU-PULAU KECIL DI KOTA PADANG</b> <i>(The Relationship of Ocean Current Parameters and Coral Lifeform in Small Islands in Padang City)</i> <b>Try Al Tanto, I Wayan Nurjaya, Dietriech G. Bengen, Tri Hartanto, Saenudin, Suhaemi</b> Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDM, Kementerian Kelautan dan Perikanan.....	1-12
<b>STUDI KERAPATAN DAN PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA SATELIT DI KECAMATAN LASALEPA, KABUPATEN MUNA</b> <i>(Study of Mangrove Density and Land Cover Change using Satellite Imagery in Lasalepa District, Muna Regency)</i> <b>Gaby Nanda Kharisma, La Ode Abdul Fajar Hasidu, Iradaf Mandaya, Azwar Sidiq, Harsanto Mursyid, Arif Prasetya</b> Program Studi Pendidikan Geografi, FKIP, Universitas Sembilanbelas November Kolaka.....	13-20
<b>PEMETAAN MANGROVE MENGGUNAKAN ALGORITMA MULTIVARIATE RANDOM FOREST</b> Studi Kasus di Segara Anakan, Cilacap <i>(Mapping of Mangrove using Multivariate Random Forest Algorithm, Case Study in Segara Anakan, Cilacap)</i> <b>Muhammad Rizki Nandika, A.A. Md. Ananda Putra Suardana, Nanin Anggraini</b> Pusat Riset Oseanografi, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim, BRIN.....	20-30
<b>PENGARUH KENAIKAN MUKA AIR LAUT TERHADAP KEBERADAAN PULAU-PULAU KECIL</b> Studi Kasus di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu <i>(The Impact of Sea Level Rise on Small Islands Existence: Case Study in Panggang Island and Pramuka Island, Administration District of Kepulauan Seribu )</i> <b>Herianto, Baba Barus, Vincentius P. Siregar, Nadia Shalehah</b> Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, FP-IPB, Bogor.....	31-40
<b>PENGARUH KONDISI TOPOGRAFI TERHADAP SEBARAN SUHU PERMUKAAN LAHAN</b> Studi Kasus di Hulu Sub DAS Cikapundung, Jawa Barat <i>(Impacts of Topographic Condition on Land Surface Temperature Distribution, Case Study of the Upper Cikapundung Sub-Watershed, West Java)</i> <b>Noviani Putri, Muhammad Amir Solihin</b> Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran.....	41-52
<b>ANALISIS KEBERLANJUTAN EKOSISTEM BARCHAN PASCA PENETAPAN KAGUNGAN NDALEM GUMUK PASIR PARANGTRITIS MENJADI ZONA GEOHERITAGE DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA</b> <i>(Sustainability Analysis on the Barchan Ecosystem Following the Establishment of the Kagungan Dalem Gumuk Pasir Parangtritis as A Geoheritage Zone in Yogyakarta Special Region)</i> <b>Suprajaka, Putri Meissarah, Edwin Maulana</b> Badan Informasi Geospasial.....	53-62

**ESTIMASI STOK KARBON BIOMASSA PADA EKOSISTEM MANGROVE MENGGUNAKAN DATA SATELIT DI PULAU NUNUKAN KABUPATEN NUNUKAN KALIMANTAN UTARA**

*(Estimation of Biomass Carbon Stock in Mangrove Ecosystems using Remote Sensing on Nunukan Island Nunukan Regency North Kalimantan)*

**Marzuki, Nurjannah Nurdin, Inayah Yasir, Supriadi Mashoreng, Muhammad Banda Selamat**

Departemen Ilmu Kelautan, FIKP UNHAS..... 63-76

**ANALISIS DAYA DUKUNG LAHAN UNTUK PERMUKIMAN BERBASIS ANCAMAN BENCANA DI PULAU-PULAU KECIL**

Studi Kasus di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu  
*(Land Carrying Capacity Analysis for Settlement Based on Disaster Threats in Small Islands, Case Study in Panggang Island and Pramuka Island, Administration Regency of Kepulauan Seribu)*

**Baba Barus, Herianto, Vincentius P. Siregar, Mira Harimurti**

Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, FP-IPB, Bogor..... 77-86

**LAND USE AND LAND COVER (LULC) CLASSIFICATION WITH MACHINE LEARNING APPROACH USING ORTHOPHOTO DATA**

*(Klasifikasi Penggunaan Lahan dan Penutup Lahan dengan Pendekatan Machine Learning Menggunakan Data Orthophoto)*

**Mochamad Irwan Hariyono, Rokhmatuloh, Ratna Sari Dewi**

Research Center for Geospatial, National Research and Innovation Agency (BRIN)..... 87-96

## LEMBAR ABSTRAK (ID)

<b>MAJALAH ILMIAH GLOBE (Globè Scientific Magazine)</b>	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2023
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
<p>DDC 551.42 Tanto (Kementerian Kelautan dan Perikanan) Hubungan Parameter Arus Laut dan <i>Lifeform</i> Karang pada Beberapa Pulau-Pulau Kecil di Kota Padang <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, Hal 1-12</i></p> <p>Tujuan kajian ini adalah untuk menentukan karakteristik arus laut dan menduga hubungannya dengan <i>lifeform</i> karang. Analisis sirkulasi arus laut dilakukan dengan pemodelan spasial, dan analisis koresponden untuk melihat hubungan yang terjadi.</p> <p style="text-align: right;">(Tanto)</p> <p><b>Kata kunci:</b> analisis koresponden, arus laut, bentuk pertumbuhan karang, Kota Padang</p>	<p>DDC 583.42 Kharisma (Universitas Sembilanbelas November) Studi Kerapatan dan Perubahan Tutupan Mangrove Menggunakan Citra Satelit di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, Hal 13-20</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapatan dan perubahan tutupan mangrove menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A Level 1C di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna. Pengamatan kerapatan mangrove secara insitu menggunakan plot pengamatan 100m<sup>2</sup>.</p> <p style="text-align: right;">(Kharisma)</p> <p><b>Kata kunci:</b> mangrove, Landsat 8 OLI, Sentinel-2A, <i>supervised classification</i></p>
<p>DDC 583.42 Nandika (BRIN) Pemetaan Mangrove Menggunakan Algoritma Multivariate Random Forest, Studi Kasus di Segara Anakan, Cilacap <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, Hal 21-30</i></p> <p>Penelitian ini berfokus pada pengujian akurasi klasifikasi <i>Random Forest</i> dalam mengidentifikasi mangrove di Segara Anakan, Cilacap. Seluruh pemrosesan data dan analisis dilakukan menggunakan <i>platform</i> berbasis <i>cloud</i>, <i>Google Earth Engine</i>.</p> <p style="text-align: right;">(Nandika)</p> <p><b>Kata kunci:</b> akurasi, indeks vegetasi, mangrove, <i>random forest</i>, Sentinel-2</p>	<p>DDC 333.7 Herianto (IPB University) Pengaruh Kenaikan Muka Air Laut terhadap Keberadaan Pulau-Pulau Kecil, Studi Kasus di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, Hal 31-40</i></p> <p>Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan luas pulau dan wilayah terdampak akibat kenaikan muka air laut. Metode yang digunakan yaitu melakukan pengolahan data pasang surut untuk referensi, menghitung luas pulau, melakukan interpolasi kenaikan muka air laut untuk mendapatkan nilai kenaikan muka air laut di lokasi kajian dan melakukan model kenaikan muka air laut dan dampaknya terhadap luas Pulau Pramuka dan Pulau Panggang tahun 2050 dan 2100.</p> <p style="text-align: right;">(Herianto)</p> <p><b>Kata kunci:</b> muka air laut, pasang surut, perubahan iklim, pulau-pulau kecil</p>

<p>DDC 551.460 Putri (Universitas Padjajaran) Pengaruh Kondisi Topografi Terhadap Sebaran Suhu Permukaan Lahan, Studi Kasus di Hulu Sub DAS Cikapundung, Jawa Barat <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, Hal 41-52</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan mengetahui hubungan LST dengan kondisi topografi berupa elevasi, slope, dan aspek melalui data penginderaan jauh. Nilai LST diperoleh dengan metode <i>Mono Window Algorithm</i> menggunakan citra multispektral Landsat 8 OLI, sedangkan sebaran vegetasi menggunakan metode <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI) dari pengolahan citra Sentinel 2A-MSI.</p> <p style="text-align: right;">(Putri)</p> <p><b>Kata kunci:</b> aspek, elevasi, LST, NDVI, penginderaan jauh, <i>slope</i>, Sub-DAS Cikapundung</p>	<p>DDC 639.9 Suprajaka (Badan Informasi Geospasial) Analisis Keberlanjutan Ekosistem Barchan Pasca Penetapan Keagungan Dalem Gumuk Pasir Parangtritis Menjadi Zona Geohéritage Daerah Istimewa Yogyakarta <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, Hal 53-62</i></p> <p>Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui persepsi masyarakat terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir, pasca ditetapkan menjadi kawasan <i>geohéritage</i>. Indikator yang digunakan untuk menganalisis keberlanjutan ekosistem gumuk pasir adalah aspek sosial, ekonomi dan lingkungan.</p> <p style="text-align: right;">(Suprajaka)</p> <p><b>Kata kunci:</b> barchan, <i>geohéritage</i>, gumuk pasir, keberlanjutan pesisir</p>
<p>DDC 333.783 Marzuki (UNHAS) Estimasi Stok Karbon Biomassa pada Ekosistem Mangrove Menggunakan Data Satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, Hal. 63-76</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi stok karbon permukaan (<i>Above Ground Carbon</i>) di Pulau Nunukan menggunakan citra Landsat-8 dan pengukuran <i>in situ</i>. Pengukuran nilai cadangan karbon di lapangan dengan menggunakan persamaan alometrik yang dihitung berdasarkan jenis vegetasi.</p> <p style="text-align: right;">(Marzuki)</p> <p><b>Kata kunci:</b> Landsat-8 OLI, mangrove, NDVI, penginderaan jauh, stok karbon</p>	<p>DDC 551.42 Barus (IPB University) Analisis Daya Dukung Lahan untuk Permukiman Berbasis Ancaman Bencana di Pulau-Pulau Kecil, Studi Kasus Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, Hal. 77-86</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung lahan untuk permukiman dan ancaman bencana di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Daya dukung lahan didasarkan pada ketersediaan lahan dengan mengacu peraturan menteri Agraria dan Tata Ruang/ Kepala Badan Pertanahan No. 17 tahun 2016, dan sempadan pantai dengan metode <i>buffer</i> dari garis pantai pasang tertinggi kearah daratan sejauh 10 m untuk Pulau Panggang, sedangkan 20 m untuk Pulau Pramuka.</p> <p style="text-align: right;">(Barus)</p> <p><b>Kata kunci:</b> abrasi, gelombang ekstrim, penduduk</p>
<p>DDC 551.062 Haryono (BRIN) Klasifikasi Penggunaan Lahan dan Penutup Lahan dengan Pendekatan <i>Machine Learning</i> Menggunakan Data <i>Orthophoto</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, Hal. 87-96</i></p> <p>Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengklasifikasikan LULC dengan pendekatan <i>machine learning</i> menggunakan data <i>orthophoto</i>. Lokasi penelitian adalah Desa Tanjung Karang, Mataram, Nusa Tenggara Barat. Metode yang digunakan untuk proses klasifikasi adalah algoritma <i>machine learning</i> yaitu Support Vector Machine (SVM).</p> <p style="text-align: right;">(Haryono)</p> <p><b>Kata kunci:</b> LULC, <i>machine learning</i>, <i>orthophoto</i>, penginderaan jauh</p>	



## LEMBAR ABSTRAK (EN)

<b>Globè Scientific Magazine (MAJALAH ILMIAH GLOBÈ)</b>	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2023
<i>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</i>	
<p>DDC 551.42 Tanto (Kementerian Kelautan dan Perikanan) <i>The Relationship of Ocean Current Parameters and Coral Lifeform in Small Islands in Padang City</i> <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, pp. 1-12</i></p> <p><i>This study aims to find the characteristic of the current sea and its relationship with coral lifeforms. Sea current analysis can use spatial modeling and correspondence analysis to find its relationships.</i></p> <p style="text-align: right;">(Tanto)</p> <p><b>Keywords:</b> <i>correspondence analysis, sea current, coral lifeform, Padang City</i></p>	<p>DDC 583.42 Kharisma (Universitas Sembilanbelas November) <i>Study of Mangrove Density and Land Cover Change using Satellite Imagery in Lasalepa District, Muna Regency</i> <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, pp. 13-20</i></p> <p><i>This study aimed to analyze the density and changes in mangrove cover using Landsat 8 OLI and Sentinel-2A Satellite Imagery in Lasalepa District, Muna Regency. Mangrove density analysis method with 100m2 observation plot method.</i></p> <p style="text-align: right;">(Kharisma)</p> <p><b>Keywords:</b> <i>mangrove, Landsat 8 OLI, Sentinel-2A, supervised classification</i></p>
<p>DDC 583.42 Nandika (BRIN) <i>Mapping of Mangrove using Multivariate Random Forest Algorithm, Case Study in Segara Anakan, Cilacap</i> <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, pp. 21-30</i></p> <p><i>This study focuses on examining the accuracy of RF classification to retrieve the information of mangroves in Segara Anakan, Cilacap. All data processing and analysis is carried out using a cloud-based platform, Google Earth Engine.</i></p> <p style="text-align: right;">(Nandika)</p> <p><b>Keywords:</b> <i>accuracy, vegetation index, mangrove, random forest, Sentinel-2</i></p>	<p>DDC 333.7 Herianto (IPB University) <i>The Impact of Sea Level Rise on Small Islands Existence: Case Study in Panggang Island and Pramuka Island, Administration District of Kepulauan Seribu</i> <i>Majalah Ilmiah Globè, Vol 25 No 1, pp. 31-40</i></p> <p><i>This study aims to determine the changes in the area of the island and the affected regions in the spatial utilization zone due to sea level rise. This research processed tidal data as reference, calculated the islands' area, interpolated the rise of sea level to obtain the increasing value of the sea level in the study area, and modeled the sea level rise and the impact to the extended area of Pramuka and Panggang Island in 2050 and 2100.</i></p> <p style="text-align: right;">(Herianto)</p> <p><b>Keywords:</b> <i>sea level rise, tides, climate change, small islands</i></p>

<p>DDC 551.460 Putri (Universitas Padjajaran) <i>Impacts of Topographic Condition on Land Surface Temperature Distribution, Case Study of the Upper Cikapundung Sub-Watershed, West Java</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, pp. 41-52</i></p> <p><i>This study aims to determine the relationship between LST and topographical conditions (eg. elevation, slope, and aspect) using remote sensing. LST value was analyzed using Mono Window Algorithm method on Landsat 8 OLI image, while the vegetation distribution was determined by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on Sentinel 2A-MSI.</i></p> <p style="text-align: right;">(Putri)</p> <p><b>Keywords:</b> aspect, elevation, LST, NDVI, remote sensing, slope, Upper Cikapundung Sub-Watershed</p>	<p>DDC 639.9 Suprajaka (Badan Informasi Geospasial) <i>Sustainability Analysis on the Barchan Ecosystem Following the Establishment of the Kagungan Dalem Gumuk Pasir Parangtritis as A Geoheritage Zone in Yogyakarta Special Region</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 24 No 1, pp. 53-62</i></p> <p><i>This research was conducted to determine community perception towards the sustainability of the dune ecosystem after being designated as a geoheritage area. The indicators used to analyze the sustainability of the dune ecosystem are social, economic, and environmental.</i></p> <p style="text-align: right;">(Suprajaka)</p> <p><b>Keywords:</b> barchan, geoheritage, sand dunes, coastal sustainability</p>
<p>DDC 333.783 Marzuki (UNHAS) <i>Estimation of Biomass Carbon Stock in Mangrove Ecosystems Using Remote Sensing on Nunukan Island Nunukan Regency North Kalimantan</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, pp. 63-76</i></p> <p><i>This study aims to estimate the Above Ground Carbon on Nunukan Island using Landsat-8 imagery and in situ measurements. Measurement of the value of carbon stocks in the field using allometric Equations is calculated based on the species of vegetation.</i></p> <p style="text-align: right;">(Marzuki)</p> <p><b>Keywords:</b> Landsat-8 OLI, mangroves, NDVI, remote sensing, carbon stock</p>	<p>DDC 551.42 Barus (IPB University) <i>Land Carrying Capacity Analysis for Settlement Based on Disaster Threats in Small Islands, Case Study in Panggang Island and Pramuka Island, Administration Regency of Kepulauan Seribu</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, pp. 77-86</i></p> <p><i>This research aims to assess land carrying capacity for settlement area and disaster threats in Panggang Island and Pramuka Island. Land availability was determined based on Ministerial Regulation of Ministry of Agrarian Affairs and Spatial Planning/National Land Agency Regulation No. 17 2016 while coastal border was determined using a buffer method that was measured 10 m and 20 from the highest astronomical tide coastal line to the land in Panggang Island and Pramuka Island respectively.</i></p> <p style="text-align: right;">(Barus)</p> <p><b>Keywords:</b> abrasion, extreme wave, population</p>
<p>DDC 551.062 Haryono (BRIN) <i>Land Use and Land Cover (LULC) Classification with Machine Learning Approach Using Orthophoto Data</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 25 No 1, pp. 87-96</i></p> <p><i>The purpose of this study is to classify LULC using a machine learning approach with orthophoto data. The research location is Tanjung Karang Village, Mataram, West Nusa Tenggara. The method used for the classification process is a machine learning algorithm called Support Vector Machine (SVM).</i></p> <p style="text-align: right;">(Haryono)</p> <p><b>Keywords:</b> LULC, machine learning, orthophoto, remote sensing</p>	

## PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Majalah Ilmiah Globe Volume 25 No. 1 April 2023 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 25 No. 1 April 2023 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari sembilan karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Kementerian Kelautan dan Perikanan, Universitas Sembilanbelas November, BRIN, IPB University, Universitas Padjadjaran, Badan Informasi Geospasial, dan Universitas Hasanuddin.

Penelitian pertama memiliki tujuan untuk menentukan karakteristik arus laut dan menduga hubungannya dengan *lifeform* karang. Penelitian kedua bertujuan untuk menganalisis kepadatan dan perubahan tutupan mangrove menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A Level 1C di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna. Penelitian ketiga berfokus pada pengujian akurasi klasifikasi *Random Forest* dalam mengidentifikasi mangrove di Segara Anakan, Cilacap. Penelitian keempat bertujuan untuk mengetahui perubahan luas pulau dan wilayah terdampak akibat kenaikan muka air laut. Penelitian kelima bertujuan untuk mengetahui hubungan LST dengan kondisi topografi berupa elevasi, slope, dan aspek melalui data penginderaan jauh. Penelitian keenam bertujuan untuk mengetahui persepsi masyarakat terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir, pasca ditetapkan menjadi kawasan *geoheritage*. Penelitian ketujuh bertujuan untuk mengestimasi stok karbon permukaan (*Above Ground Carbon*) di Pulau Nunukan menggunakan citra Landsat-8 dan pengukuran *in situ*. Penelitian kedelapan bertujuan untuk mengetahui daya dukung lahan untuk permukiman dan ancaman bencana di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Penelitian kesembilan bertujuan untuk mengklasifikasikan LULC dengan pendekatan *machine learning* menggunakan data orthophoto.

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, 30 April 2023

Redaksi

# HUBUNGAN PARAMETER ARUS LAUT DAN LIFORM KARANG PADA BEBERAPA PULAU-PULAU KECIL DI KOTA PADANG

(The Relationship of Ocean Current Parameters and Coral Liform in Small Islands in Padang City)

Try Al Tanto<sup>1</sup>, I Wayan Nurjaya<sup>2</sup>, Dietriech G. Bengen<sup>2</sup>, Tri Hartanto<sup>2</sup>, Saenudin<sup>3</sup>, Suhaemi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, BRSDM, Kementerian Kelautan dan Perikanan

<sup>2</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor

<sup>3</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Universitas Haluoleo

<sup>4</sup>Jurusan Ilmu Kelautan, Universitas Papua

Jl. Raya Padang Painan Km. 16 Bungus – Kota Padang

E-mail: [try.altanto@gmail.com](mailto:try.altanto@gmail.com)

Diterima: 8 Juni 2021; Direvisi: 23 Juni 2022; Disetujui untuk Dipublikasikan: 23 Maret 2023

## ABSTRAK

Pengelolaan pulau-pulau kecil (PPK) memerlukan kajian ilmiah, salah satunya berupa parameter oseanografi perairan. Parameter oseanografi mendukung suatu ekosistem terumbu karang, seperti kondisi arus laut yang secara tidak langsung dapat menyebabkan bentuk pertumbuhan karang yang berbeda-beda. Tujuan kajian adalah menentukan karakteristik arus laut dan menduga hubungannya dengan *liform* karang. Analisis sirkulasi arus laut dilakukan dengan pemodelan spasial, dan analisis koresponden untuk melihat hubungan yang terjadi. Sirkulasi arus laut perairan PPK Kota Padang dominan dibangkitkan oleh gaya pasang surut. Terdapat hubungan cukup erat antara kecepatan arus laut dengan *liform* karang, dengan nilai sebesar 81,40%. Arus laut cukup tinggi terjadi di Perairan Pulau Sirandah mencapai 0,49 m/dt, terdapat karang jenis *submassive* (CS) dominan mencapai 77,33-85,27%. Arus laut cukup lemah di Perairan Pulau Pasumpahan kisaran maksimum 0,13-0,28 m/dt dan rata-rata 0,04-0,08 m/dt, memiliki jenis *liform* karang yang banyak dan beragam, yaitu semua jenis karang *non-acropora* dan *acropora* jenis bercabang (ACB). Bentuk karang bercabang (ACB dan CB) dan *massive* (CM) mendominasi keberadaannya di perairan ini. Arus laut di Perairan Pulau Sikuai memiliki kecepatan maksimum 0,46 m/dt (BBL) dan 0,38 m/dt (TTG) dan rata-rata sebesar 0,12 m/dt. Arus laut di Pulau Sironjong cukup rendah, maksimum 0,20 m/dt dan rata-rata 0,09 m/dt. Kondisi karang di Perairan Pulau Sikuai dan Pulau Sironjong memiliki total % *cover* rendah (0,2-17,53%). Pada Pulau Sikuai paling tinggi jenis *heliophora* sebesar 13,46%, sedangkan Pulau Sironjong didominasi ACB sebesar 1,77%. Jenis *submassive* paling rendah pada ke dua pulau yaitu sebesar 0,07%.

**Kata kunci:** analisis koresponden, arus laut, bentuk pertumbuhan karang, Kota Padang

## ABSTRACT

*Managing small islands requires scientific studies, especially concerning oceanographic parameters, which can support a coral ecosystem, i.e., ocean currents can cause different coral lifeforms. This is important to do, aiming to find the characteristic of the current sea and its relationship with coral lifeforms. Sea current analysis can use spatial modeling and correspondence analysis to find its relationships. Tidal forces dominantly generate the circulation of sea currents in Padang City's small island water. There was a reasonably close relationship between the ocean currents speed and coral lifeform, a value of 81.40%. The highest sea currents occur in the water of Sirandah Island, reaching 0.49 m/dt. There were dominant submassive corals, reaching 77.33-85.27%. The sea currents were relatively weak in the Pasumpahan Island water, maximum range of 0.13-0.28 m/dt (0.04-0.08 m/dt average). It has varied types of coral lifeforms, i.e., types of non-Acropora coral and branched type Acropora. Branched (ACB and CB) and massive (CM) coral forms dominate their presence in this water. Sea currents in the Sikuai Island water had a maximum speed of 0.46 m/dt (WNW) and 0.38 m/s (ESE), and 0.12 m/dt average. Sea currents on Sironjong Island were relatively low, a maximum of 0.20 m/s (0.09 m/dt ave.). Coral conditions in the Sikuai Island and Soronjong Island water had a low total cover (0.2-17.53%). On Sikuai Island, the highest type of heliophora was 13.46%, while ACB dominated Soronjong Island at 1.77%. The lowest submassive type on the two islands was 0.07%.*

**Keywords:** correspondence analysis, sea current, coral lifeform, Padang City

## PENDAHULUAN

Wilayah Perairan Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat, memiliki kawasan konservasi perairan yang terdiri dari beberapa pulau-pulau kecil. Kawasan konservasi perairan tersebut dinamakan Taman Pulau Kecil (Pemkot Padang 2014), yang terdiri dari zona 1 (Kawasan Pulau Bindalang, Pulau Sibonta, dan Pulau Gosong Pasir), dan zona 2 (Kawasan Pulau Pasumpahan, Pulau Sikuai, Pulau Sirandah, Pulau Sironjong, serta perairan pesisir sekitarnya) (DKP Sumatera Barat, 2014). Kawasan konservasi perairan harus dilindungi dan dikelola dengan sistem zonasi dalam pengelolaan sumber daya ikan dan lingkungannya secara berkelanjutan (KKP, 2016). Kawasan konservasi tersebut mempunyai ciri khas tertentu sebagai satu kesatuan ekosistem yang dilindungi, dilestarikan dan/atau dimanfaatkan (RI, 2007). Pulau-pulau kecil (PPK) memiliki manfaat ekonomi penting, terutama dari sektor pariwisata (ekowisata bahari) jika dapat dikelola dengan baik. Selain itu, PPK juga sangat penting sebagai pelindung daratan utama dari badai dan fenomena tertentu di laut.

Dalam pengelolaannya, PPK yang berada pada kawasan konservasi memerlukan kajian ilmiah, terutama parameter oseanografi fisik perairan. Kondisi parameter oseanografi suatu pulau kecil penting dikaji sejak awal, sebelum ditetapkan sebagai kawasan konservasi, seperti kajian pada Perairan Laut Kabupaten Luwu Utara (Samawi et al., 2015). Hal tersebut diharapkan dapat menjadi acuan dan masukan dalam proses perkembangan pulau ke depannya. Parameter oseanografi dapat mendukung suatu ekosistem terumbu karang (Corvianawatie & Abrar, 2018). Ekosistem terumbu karang juga penting sebagai pelindung pulau-pulau kecil dari fenomena di laut seperti arus dan gelombang laut. Struktur karang memiliki daya tahan yang cukup tinggi terhadap aliran apa pun yang melalui interiornya (Monismith, 2007).

Hubungan antara parameter oseanografi dan *lifeform* karang pada perairan Indonesia secara umum sangat sedikit dilakukan kajian ilmiah. Kajian sejenis terdapat pada perairan Pulau Pari, Kabupaten Kepulauan Seribu, yang menyebutkan bahwa tekanan dari lingkungan seperti arus laut, kecerahan dan faktor kedalaman dapat

menyebabkan bentuk pertumbuhan (*lifeform*) karang yang berbeda-beda (Daniel & Santosa, 2014). Karang bercabang (*branching*) merupakan karang yang tumbuh dan berkembang pada perairan dengan arus cukup kuat tetapi pada zona yang tidak terlalu dalam. Namun, karang jenis ini sering rusak dan tersebar secara pasif akibat badai, dalam hal ini *massive coral* sangat tahan terhadap kerusakan akibat badai tersebut (Hughes, 1987).

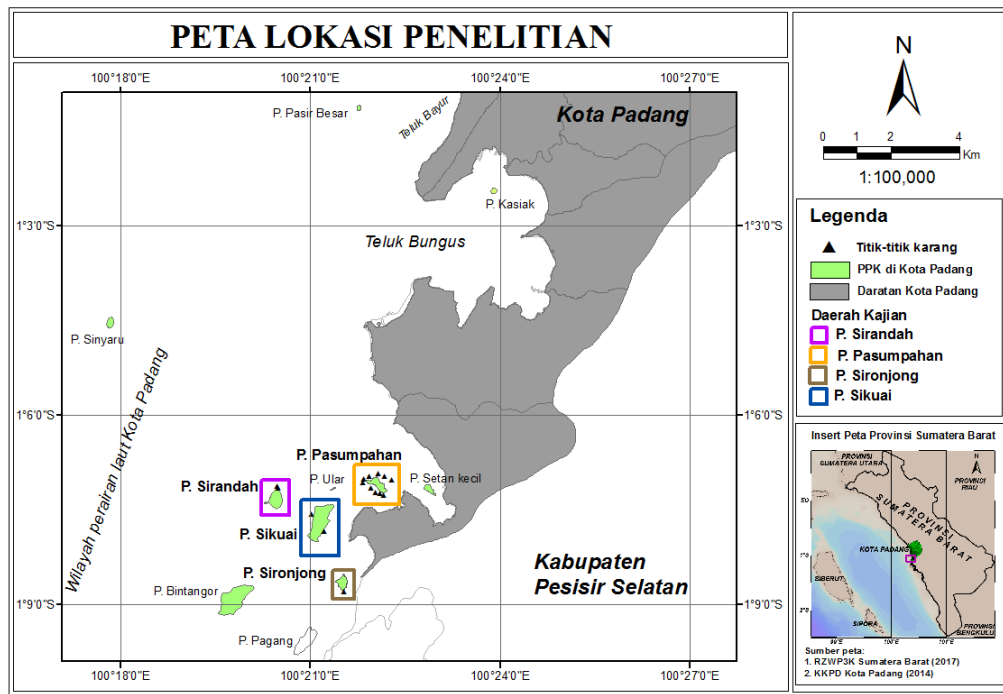
Halid et al. (2016) menyatakan bahwa arus laut merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi distribusi bentuk pertumbuhan karang, namun juga mempertimbangkan faktor lain seperti kualitas air dan kedalaman. Tutupan karang lempeng (*tabulate*) meningkat dengan meningkatnya kedalaman dan berkurangnya intensitas cahaya (Jankowski et al., 2015; Halid et al., 2016). Karang *foliose* (CF) cukup rapuh, mudah rusak oleh gangguan arus, melimpah pada air yang tenang dan lebih dalam (Hughes & Jackson, 1985; Hughes, 1987).

Secara umum dari kajian ini mengaitkan salah satu parameter fisik perairan, terutama arus dan gelombang laut, serta batimetri (kedalaman laut) terhadap terumbu karang (Kench & Brander, 2015; Stocking et al., 2016; Renfro dan Chadwick 2017; Stocking et al., 2018; Shimokawa et al., 2023). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji parameter arus laut dengan menentukan karakteristik parameter tersebut, dan menduga hubungannya dengan jenis *lifeform* karang yang ditemukan.

## METODE

### Lokasi dan Waktu

Kajian dilakukan di sekitar perairan Kota Padang, lebih khusus pada beberapa pulau kecil yang menjadi kawasan konservasi perairan, yaitu Pulau Pasumpahan, Pulau Sirandah, Pulau Sikuai dan Pulau Sironjong (**Gambar 1**). Pengambilan data di lapangan dilakukan pada bulan Agustus 2015, diantaranya beberapa parameter oseanografi perairan (arus permukaan dan pasang surut laut), kualitas perairan, dan pengamatan terumbu karang. Selain itu, telah dilakukan pengambilan data arus laut ADCP pada tahun 2013 di sekitar wilayah kajian.



Gambar 1. Lokasi kajian di beberapa pulau-pulau kecil Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.

### Data Penelitian dan Analisis

Data yang dikumpulkan dalam kajian adalah data primer dan data sekunder. Pengambilan data di lapangan diantaranya data arus permukaan, pasang surut laut dan pengamatan terumbu karang. Pengambilan data pasang surut dilakukan selama sekitar 2 bulan, pada kedalaman tertentu di perairan Pulau Pasumpahan yang mengukur data tinggi muka laut secara *realtime*. Pengamatan terumbu karang dilakukan dengan metode LIT (*Line Intersect Transect*).

Data pengamatan terumbu karang dilakukan pada beberapa titik di pulau kecil Kota Padang. Pengambilan data terumbu karang secara langsung berupa pengamatan *lifeform* dan *cover* karang dilakukan pada beberapa titik di wilayah kajian, yaitu dua titik di Pulau Pasumpahan (bagian selatan dan barat laut) dan satu titik di Pulau Sirandah (bagian utara). Selain itu, juga diperoleh data pengamatan karang (data sekunder) dari Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Provinsi Sumatera Barat.

Pengamatan karang cukup lengkap terdapat di Pulau Pasumpahan yang tersebar di sekeliling pulau, yaitu tujuh titik pengamatan tahun 2012 dan satu titik pada tahun 2014 dan 2018. Data pengamatan tahun 2018 di Pulau Sikuai terdapat pada dua lokasi, yaitu bagian barat dan timur. Data pengamatan di Pulau Sironjong tahun 2018 berada pada bagian selatan pulau. Untuk memperoleh data arus laut pada titik-titik pengamatan terumbu karang, maka dilakukan permodelan arus laut secara spasial di sekitar wilayah kajian, baik dalam skala kecil yang berada

dekat titik kajian, juga dalam skala besar untuk melihat pengaruh lain dari arus laut yang terjadi.

Data input model diantaranya adalah data angin, batimetri perairan, sebagai validator menggunakan data pasang surut perairan, hasil pemodelan arus laut, serta pengujian secara statistik dari data *lifeform* karang dan kecepatan arus laut. Persamaan gerak fluida dalam bentuk persamaan hidrodinamika 2-D merupakan gabungan dari gaya-gaya yang bekerja pada fluida tersebut adalah persamaan *Navier-Stokes* (Stewart 2008) (lihat **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**).

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan momentum:

Komponen sumbu x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + F_{rx} \dots\dots\dots(2)$$

Komponen sumbu y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + F_{ry} \dots\dots\dots(3)$$

di mana:

- u = vektor aliran timur-barat
- v = vektor aliran utara-selatan
- t = waktu
- P = tekanan
- ρ = densitas
- f = faktor coriolis
- F = friksi/gesekan (dasar dan permukaan)

**Tabel 1.** Konfigurasi simulasi model.

Parameter	Pengaturan simulasi
Domain: mesh information	Number of elements: 6382 Number of faces: 10007 Number of nodes: 3614
Time (simulation period)	Time step interval: 30 dt Number of time steps: 65000 Simulation start date: 05/04/2018 00:00:00 Simulation end date: 27/04/2018 13:40:00
Module selection	Hydrodynamic  <u>Shallow water equations</u> Time integration: higher order Space discretization: higher order
Solution Technique	Min time step: 0,01 dt; Max time: 30 dt Critical CFL number: 0,8 <u>Transport equations</u> Min time step: 0,01 dt; Max time: 30 dt Critical CFL number: 0,8
Flood and Dry (Include)	Drying depth: 0,005 m; Flooding depth: 0,05 m Wetting depth: 0,1 m
Density	Barotropic
Eddy Viscosity	Horizontal: Smagorinsky formulation (constant: 0,28) Min: $1,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt}$ ; Max: $10^{10} \text{ m}^2/\text{dt}$ Vertical: Log law formulation Min: $1,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt}$ ; Max: $0,4 \text{ m}^2/\text{dt}$
Bed Resistance	Roughness height: constant 0,02 m
Coriolis	Varying in domain
Wind Forcing (Include)	Varying in time, constant in domain: Wind data from ECMWF (2009-2019) Wind Friction (constant: 0.001255)
Initial Condition	constant

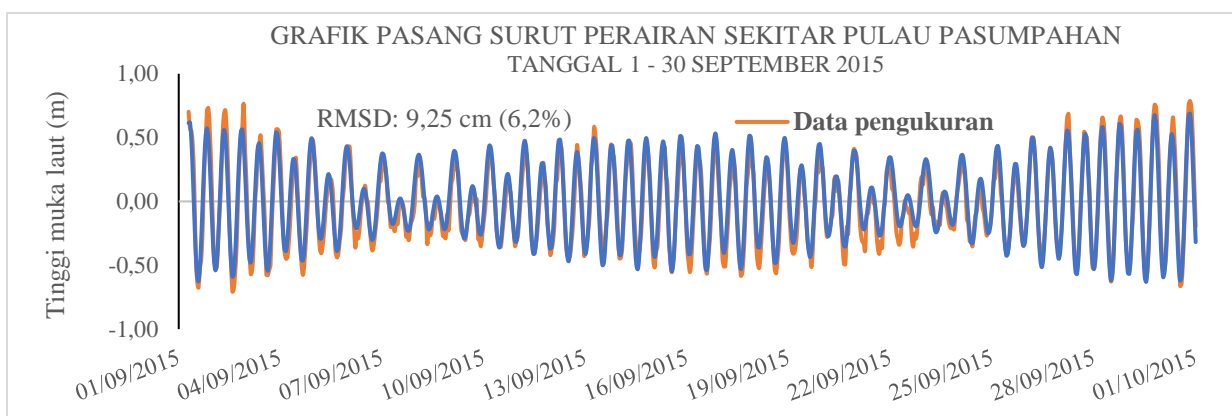
Konfigurasi dan pengaturan simulasi model yang dijalankan seperti tersaji pada **Tabel 1**. Nilai data arus laut yang diperoleh pada masing-masing titik kajian dihubungkan dengan *lifeform*

karang menggunakan analisis statistika deskriptif, yaitu analisis koresponden atau *correspondence analysis* (CA). Analisis koresponden merupakan salah satu analisis statistika peubah berganda (*multivariate analysis*) yang dapat menjelaskan hubungan antara dua ketegori variabel atau lebih (Greenacre, 2007). Hasil dari analisis statistik yang dilakukan ini diharapkan dapat memperlihatkan dan menjelaskan hubungan antara nilai kecepatan arus laut pada titik-titik pengamatan terumbu karang tersebut.

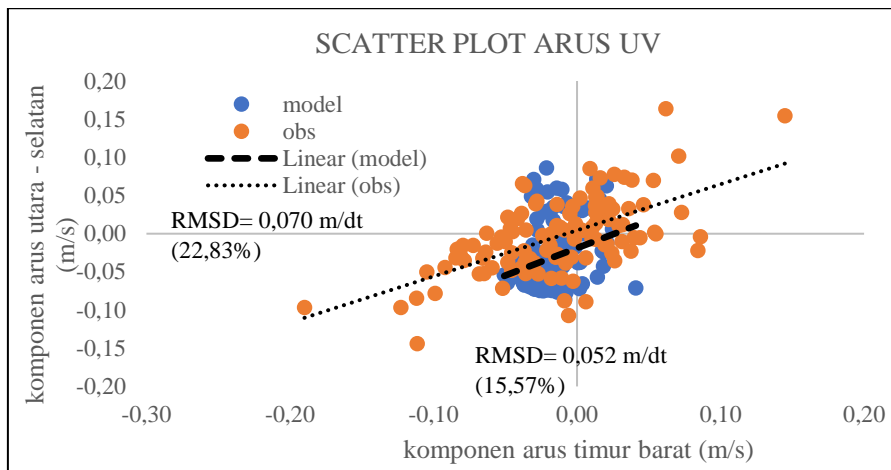
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai pasang surut perairan di sekitar wilayah kajian (Pulau Pasumpahan) pada bulan September 2015 memiliki rentang (*tidal range*) sebesar 149,16 cm (data pengukuran) dan 131,53 cm (hasil model) (**Gambar 2**). Terdapat perbedaan antara data pengukuran dan hasil model/prediksi pasang surut di perairan Pulau Pasumpahan sebesar 17,63 cm, dalam hal ini nilai pengukuran sedikit lebih tinggi dari pada hasil model. Berdasarkan grafik tinggi muka laut (pasut) tersebut, jenis pasut pada perairan Kota Padang secara umum adalah pasut campuran dominan ganda. Terdapat bentuk dua gelombang (dua puncak dan dua lembah) dalam satu hari, nilai puncak pertama memiliki tinggi berbeda dari puncak ke dua.

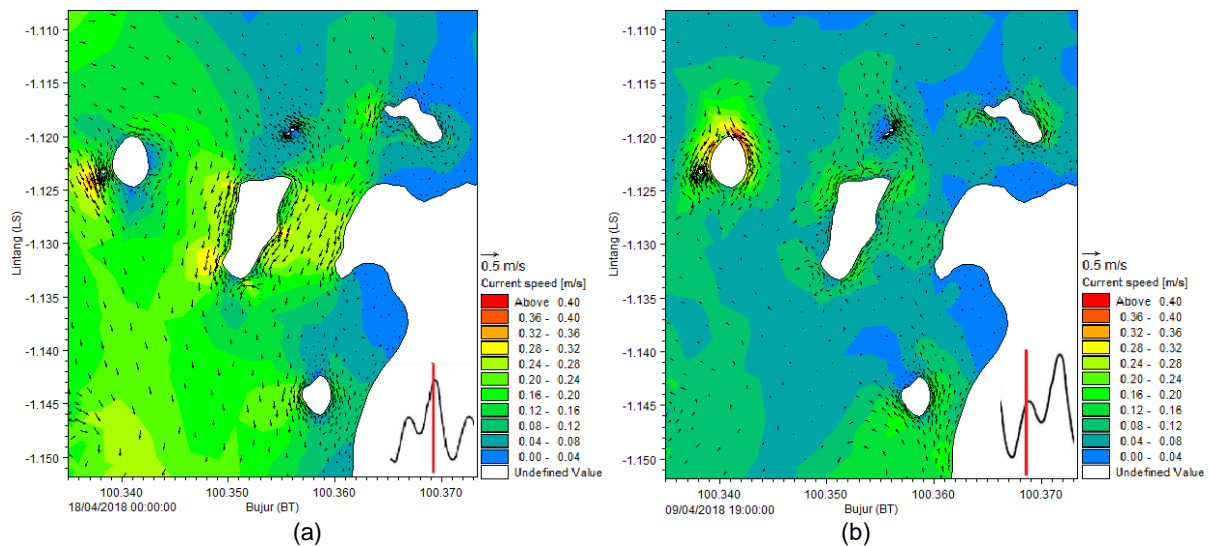
Secara umum bahwa di sepanjang perairan Pulau Sumatera – Samudera Hindia memiliki tipe pasang surut campuran (*mixed tide - prevailing semidiurnal*) (Wyrtki, 1961; Pariwono, 1985; Fatoni, 2011). Validasi data pengukuran pasut dengan hasil model dapat dinyatakan dengan nilai RMSD (*root mean square deviation*), diperoleh nilai sebesar 9,25 cm atau 6,20 % dari keseluruhan rentang data yang dibandingkan pada pengukuran di perairan Pulau Pasumpahan (**Gambar 2**). Hasil dari nilai RMSD yang diperoleh tersebut menunjukkan bahwa model yang akan disimulasikan sudah sesuai.



**Gambar 2.** Grafik pasang surut perairan sekitar Pulau Pasumpahan: validasi antara data pengukuran langsung dan model/prediksi.



Gambar 3. Grafik arus permukaan laut: validasi antara data pengukuran langsung dan hasil model.



Gambar 4. Sirkulasi arus laut di beberapa PPK Kota Padang pada musim peralihan I (April 2018) saat air laut pasang: (a) purnama dan (b) perbani.

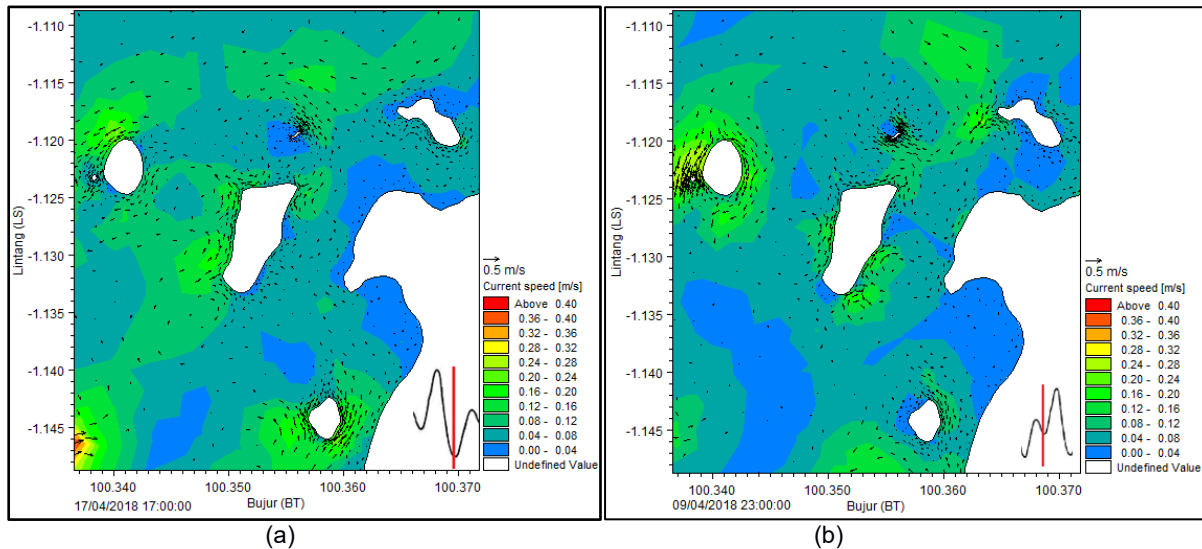
Nilai validasi model dari data arus permukaan laut (**Gambar 3**) juga menunjukkan bahwa model sudah cukup baik, walaupun tidak memiliki nilai kecepatan yang persis sama, namun arah kejadian arus laut selama pengukuran sama, yaitu timur laut dan barat daya. Hal ini dapat terjadi karena sirkulasi arus laut memiliki banyak faktor pembangkit, seperti gradien tekanan, hembusan angin, perbedaan densitas, atau pasang surut (Pariwono, 1999). Dalam hal ini faktor pembangkit model yang dilakukan hanya dari tinggi muka laut (pasut) dan angin, sehingga intensitas arus laut hasil model terlihat lebih rendah dari pada nilai pengukuran.

Nilai validasi data arus permukaan laut, untuk komponen arus timur – barat memiliki nilai *RMSD* sebesar 0,052 m/dt atau sebesar 15,57 % dari rentang data. Untuk komponen arus utara – selatan memiliki nilai validasi *RMSD* sebesar 0,070 m/dt atau 22,83 %. Pada wilayah perairan beberapa PPK Kota Padang (**Gambar 4** dan **Gambar 5**), terlihat perbedaan arah aliran arus laut yang terjadi.

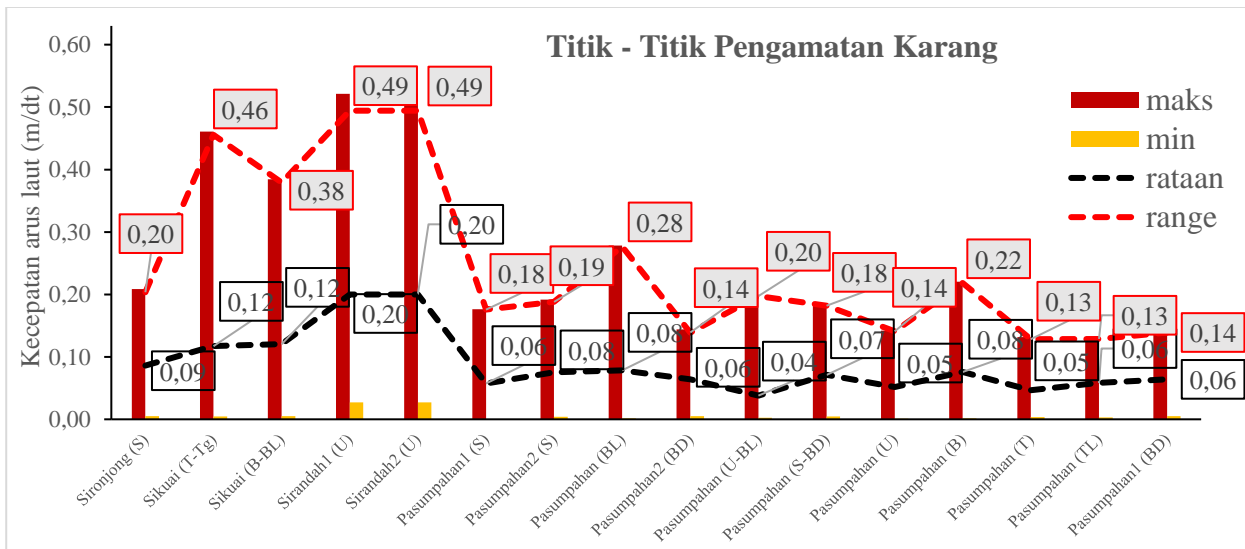
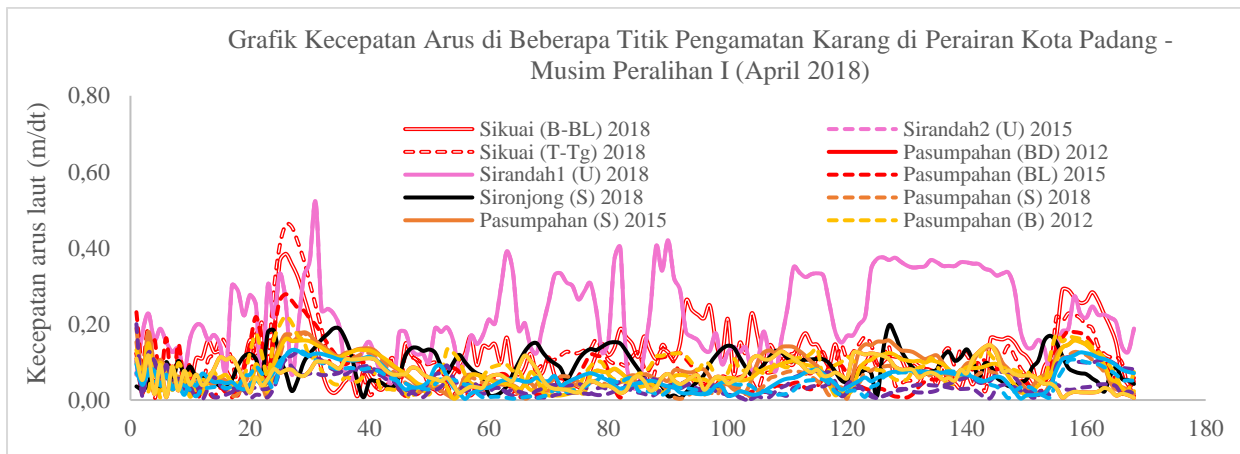
Secara umum, dorongan gaya pasang surut lebih dominan bekerja pada perairan dekat PPK. Pada saat air laut pasang, aliran arus laut yang terjadi berasal dari arah barat atau dari laut lepas menuju daratan utama (**Gambar 4**). Namun dengan pengaruh bentuk dari PPK yang dilewati oleh aliran, maka sebagian besar aliran berbelok ke bagian selatan.

Dorongan gaya pasang surut yang terjadi saat perbani tidak cukup kuat, sehingga aliran yang masih berasal dari laut lepas (terutama bagian selatan), secara perlahan juga mengalir di dekat daratan utama hingga menuju ke beberapa pulau-pulau kecil di sekitarnya (**Gambar 4.b**). Sebaliknya saat purnama, dorongan kuat terlihat jelas menyebabkan aliran arus laut terdorong cukup kuat menuju utara, kemudian berbelok ke arah daratan utama dan kembali berbalik arah melewati pulau-pulau kecil menuju ke arah selatan (**Gambar 4.a**). Sedangkan pada saat air laut surut (**Gambar 4**), aliran arus laut berasal dari arah timur atau dari daratan utama pulau menuju laut lepas.





**Gambar 5.** Sirkulasi arus laut pada perairan Kota Padang pada musim peralihan I (April 2018) saat air laut surut: (a) purnama dan (b) perbani.



**Gambar 6.** Nilai kecepatan arus laut pada titik-titik pengamatan terumbu karang saat musim peralihan I (bulan April 2018).

Perairan di Pulau Pasumpahan memiliki arus laut yang cukup tenang, dari posisi pulau terlihat dekat dengan Teluk Sirih, Bungus - Kota Padang dan terletak pada bagian dalam sehingga lebih terlindungi dari pengaruh samudera dan laut lepas. Bahkan, saat kondisi pasang purnama

(Gambar 4.a) perairannya memiliki nilai kecepatan arus paling rendah dari pada pulau lainnya di wilayah kajian hanya mencapai 0,125 m/dt. Beberapa titik pada bagian barat dan barat laut saja yang memiliki kecepatan arus laut di atasnya, kisaran 0,20-0,25 m/dt.

Aliran arus paling rendah terjadi pada perairan di Pulau Pasumpahan saat kondisi perbani, terutama saat air laut surut, yaitu mencapai 0,10 m/dt dan juga terdapat aliran di atasnya pada beberapa bagian sebelah barat dan barat daya mencapai 0,22 m/dt. Secara keseluruhan pada musim peralihan I (April 2018) di beberapa titik pengamatan karang, nilai kecepatan arus laut maksimal terjadi pada titik bagian barat laut yaitu mencapai nilai 0,28 m/dt, namun secara rata-rata kejadian arus laut di beberapa titik pengukuran karang hanya berkisar 0,04-0,08 m/dt (**Gambar 6**). Artinya, pada perairan Pulau Pasumpahan sangat dominan aliran arus laut yang terjadi cukup rendah.

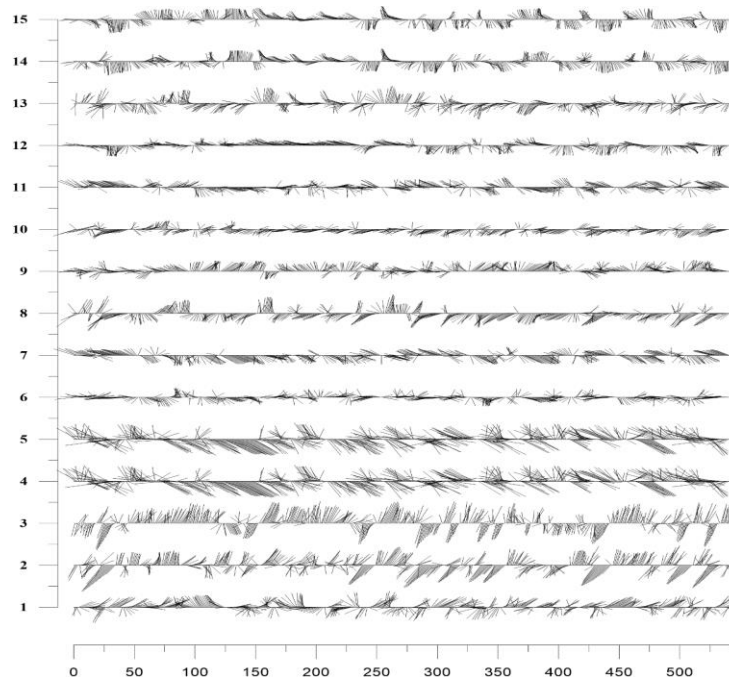
Berdasarkan *stickplot* arus laut selama bulan April 2018 (**Gambar 7**, stasiun 6-15), terlihat jelas bahwa perairan dekat dengan teluk ataupun daratan utama, gaya pendorong dari pasut berpengaruh dominan terhadap aliran yang terjadi. Perairan yang memiliki arus laut cukup kuat dan paling tinggi diantara pulau-pulau lain di wilayah kajian adalah Pulau Sirandah. Pulau ini berada lebih ke arah luar dan menghadap laut lepas, sehingga mendapat pengaruh cukup besar dari dinamika lautan.

Pada saat pasang purnama, perairan bagian barat daya pulau ini memiliki aliran arus laut mencapai 0,325 m/dt (**Gambar 4.a**). Bahkan saat pasang perbani pun, terutama pada bagian barat laut, utara dan timur laut dari pulau, terjadi aliran arus laut mencapai 0,40 m/dt (**Gambar 4.b**). Hanya sedikit kondisi arus rendah di perairan ini

saat pasang purnama, terutama pada bagian timur hingga tenggara pulau yang memiliki nilai arus kisaran < 0,125 m/dt. Hal ini memang dapat terjadi karena berada pada sisi bagian dalam dari laut lepas dan samudera.

Arah aliran arus laut dekat perairan pulau ini secara umum selalu ke arah selatan. Walaupun saat air laut pasang aliran laut yang datang berasal dari timur/laut lepas (**Gambar 4**) dan saat surut berasal dari barat atau daratan pesisir (**Gambar 5**), namun saat mencapai Pulau Sirandah aliran yang terjadi mengikuti daratan pulau dan berbelok ke arah selatan. Kecepatan arus laut pada perairan pulau ini pada titik pengukuran karang bagian utara pulau, mencapai nilai 0,49 m/dt dan rata-rata selama musim peralihan I bulan April 2018 sebesar 0,20 m/dt (**Gambar 5**).

Arah arus laut dapat terlihat jelas pada gambar *stickplot* (**Gambar 7** stasiun 4 dan stasiun 5), secara dominan menuju tenggara dan barat laut secara bolak balik. Perairan sekitar Pulau Sikuai yang berada diantara Pulau Pasumpahan dan Pulau Sirandah dan posisi tengah dari wilayah kajian, memiliki nilai kecepatan arus cukup beragam. Secara keseluruhan dari pulau-pulau kecil yang dikaji, termasuk perairan yang memiliki arus laut lebih tinggi. Hal ini dapat terjadi karena perairan di pulau ini masih mendapat pengaruh besar dari dinamika di laut lepas, terutama saat terjadi pasang purnama (**Gambar 4.a**).



**Gambar 7.** *Stickplot* arus laut pada titik pengamatan terumbu karang di beberapa PPK Kota Padang pada bulan April 2018.

**Keterangan:** Titik stasiun 1 – 15 secara berurutan adalah Pulau Sironjong (S), Pulau Sikuai (TTG), Pulau Sikuai (BBL), Pulau Sirandah 1 (U), Pulau Sirandah 2 (U), Pulau Pasumpahan 1 (S), Pulau Pasumpahan 2 (S), Pulau Pasumpahan (BL), Pulau Pasumpahan 1 & 2 (BD), Pulau Pasumpahan (UBL), Pulau Pasumpahan (SBD), Pulau Pasumpahan (U), Pulau Pasumpahan (B), Pulau Pasumpahan (T), dan Pulau Pasumpahan (TL).

Nilai kecepatan arus laut pada saat tersebut mencapai 0,325 m/dt yang merata terjadi hampir di sekeliling pulau, diantaranya bagian barat laut, barat daya, bahkan pada bagian timur pulau. Aliran arus laut yang terjadi masih dari laut lepas, dan juga terjadi pembelokan arah aliran arus mengikuti daratan pulau sehingga menuju ke arah selatan. Namun saat kondisi perbani, tidak terlihat arus cukup kuat pada perairan ini, baik saat air laut pasang yang mencapai 0,28 m/dt (**Gambar 4.b**) maupun saat air laut surut yang mencapai 0,22 m/dt (**Gambar 5.b**). Secara keseluruhan nilai kecepatan arus laut pada titik pengamatan terumbu karang (bagian barat - barat laut dan timur – tenggara dari ulau), tergolong perairan berarus cukup tinggi. Kisaran kecepatan maksimum arus laut mencapai 0,46 m/dt dan 0,38 m/dt, namun rata-rata arus laut hanya sebesar 0,12 m/s (**Gambar 6**). Arah arus dominan pada titik-titik ini dominan ke arah utara dan barat daya (**Gambar 7**, stasiun 2 dan stasiun 3).

Perairan di sekitar Pulau Sironjong berada pada bagian selatan wilayah kajian dan cukup dekat dengan pulau/daratan utama. Pada perairan ini memiliki arus laut cukup tenang terutama saat kondisi perbani, yaitunya mencapai 0,20 m/dt (saat air laut pasang) dan mencapai 0,14 m/dt (saat air laut surut). Bahkan saat surut perbani (**Gambar 5.b**), pada perairan ini sangat

tenang dengan dominasi kisaran arus laut hanyay sebesar 0,06-0,08 m/dt.

Nilai kecepatan arus laut sedikit lebih tinggi terjadi saat kondisi air laut pasang purnama yaitu mencapai 0,275 yang terjadi pada bagian barat pulau (**Gambar 4.a**). Arah arus laut pada perairan ini dominan dari selatan, terjadi karena di dominasi oleh pembangkit pasut yang berasal dari selatan. Hal ini memang dapat terjadi karena posisi pulau yang lebih dekat di selatan, sehingga mendapat pengaruh lebih besar. Sangat terlihat jelas pada kondisi perbani yang mana kisaran pasut cukup kecil, aliran yang secara umum berasal dari utara tidak cukup kuat mencapai perairan ini, sehingga aliran yang terjadi masih menuju utara. Hanya saat pasang besar (purnama) saja aliran arus yang terjadi pada perairan ini mengikuti kondisi aliran secara umum yang terjadi pada wilayah kajian yaitu menuju selatan. Hal ini dapat terlihat jelas pada gambar *stickplot* arus pada titik pengamatan terumbu karang (**Gambar 7**, stasiun 1), dengan dominan kejadian arus mengarah ke bagian atas. Nilai kecepatan arus laut secara keseluruhan selama bulan April 2018, pada titik pengamatan karang (bagian selatan), memiliki arus laut masih tergolong rendah dengan nilai maksimum hanya 0,20 m/dt dan rata-rata 0,09 m/dt (**Gambar 6**).

**Tabel 2.** Hasil pengamatan *lifeform* karang perairan Pulau Pasumpahan, Kota Padang.

Waktu	Titik sampling	Koordinat	Acropora			Non Acropora								
			ACB	ACS	% cover	CB	CM	CE	CS	CF	CMR	CME	CHL	% cover
Tahun 2012 (data sekunder)	St 1 (BD)	100°21'58,22"BT 1°7'9,81"LS	3	0,5	3,50	5,00	8,00	2,00	2,00	1,00	0,50	2,00	1,00	21,50
	St 2 (U - BL)	100°21'55,98"BT 1°6'58,61"LS	3	1	4,00	8,00	4,00	6,00	3,00	4,00	1,00			26,00
	St 3 (S - BD)	100°22'2,62"BT 1°7'14,15"LS	1		1,00	3,00	5,00	2,00	1,00	0,50	0,50	2,00		14,00
	St 4 (U)	100°22'4,55"BT 1°6'56,01"LS	2		2,00	20,00	4,00	3,00	2,00	3,00	1,00			33,00
	St 5 (B)	100°21'50,34"BT 1°7'4,66"LS	2	0,5	2,50	4,00	6,00	1,00	1,00				0,50	12,50
	St 6 (T)	100°22'17,65"BT 1°7'2,41"LS	4		4,00	5,00	10,00	3,00	4,00	6,00	1,00	2,00		31,00
	St 7 (TL)	100°22'10,90"BT 1°6'58,33"LS	5		5,00	7,50	10,00	4,00	8,00	7,00	0,50	3,00		40,00
Tahun 2014 (data sekunder)	St 1 (BD)	100°22'2,62"BT 1°7'14,15"LS	0,77		0,77	4,40	7,57	0,77	6,53		1,10	26,77		47,13
Tahun 2015 (data primer)	KR 1 (BL)	100°21'51"BT 1°7'1,60"LS	1,8		1,80			4,33	0,47	0,73	0,37			5,90
	KR 2 (S)	100°22'6,2"BT 1°7'15"LS	3,23		3,23	7,63	27,23	2,40	1,33			1,50		40,10
Tahun 2018 (data sekunder)	St 1 (S)	100°22'9,50"BT 1°7'16,60"LS			0,00	1,80		8,93	34,40	6,60	0,14			51,87

Keterangan: Dominasi rendah ■ Dominasi cukup tinggi ■  
 Kelompok karang Acropora: ACB (Branching); ACS (Submassive); Kelompok karang Non Acropora: CB (Branching); CM (Massive); CE (Encrusting); CS (Submassive); CF (Foliose); CMR (Mushroom); CME (Millepora); CHL (Heliopora).

Hasil rata-rata dari tiga ulangan masing-masing pengamatan *lifeform* karang di beberapa titik Pulau Pasumpahan dapat terlihat pada **Tabel 2**. Terumbu karang di perairan Pulau Pasumpahan tergolong bagus karena masih dapat ditemukan pada sekeliling perairannya. Hanya saja kondisi keberadaannya antara buruk hingga sedang dengan % cover karang hidup sebesar 12,5-51,87%. Kondisi tersebut dapat meningkat jika perairan di sekitarnya masih dapat terjaga dengan baik, selain itu juga karena sudah dilakukan konservasi karang di sekitar perairan ini. Secara umum, karang *non-acropora* lebih banyak ditemukan pada perairan Pulau Pasumpahan, Kota Padang. Adapun jenis karang *acropora* yang dapat ditemukan hanya berupa karang bercabang dan sebagian kecil dari bentuk *submassive*.

Bentuk-bentuk dari pertumbuhan karang ini dipengaruhi oleh lingkungan tempat hidupnya, yang berkaitan erat dengan pengaruh oseanografis seperti arus laut, kecerahan dan faktor kedalaman (Daniel & Santosa, 2014). Kebanyakan *lifeform* karang yang ditemukan adalah bentuk karang bercabang (ACB dan CB) dan karang bentuk padat/*massive* (CM), yang dapat ditemukan pada setiap titik pengamatan dan juga mendominasi keberadaannya. Secara ketahanan dari aspek lingkungan, *lifeform* karang jenis *massive* memang lebih tahan terhadap hantaman gelombang laut dan sirkulasi aliran arus laut (Hughes, 1987). Untuk jenis karang bercabang lebih mudah patah, namun dapat

membentuk koloni baru hasil patahan tersebut selama pengaruh kualitas air laut yang baik. Selain itu dengan aliran yang tidak terlalu kuat, jenis bercabang juga lebih banyak ditemukan dan tahan terhadap aspek lingkungan.

*Lifeform* karang yang banyak ditemukan masih jenis *non-acropora*, mendominasi pada pulau-pulau ini adalah karang *submassive* (CS) yang dapat ditemukan di tiga pulau tersebut (**Tabel 3**), terutama paling baik hidup di perairan Pulau Sirandah bagian utara sebesar 77,33-85,27%. Namun pada perairan Pulau Sikuai dan Pulau Sironjong jenis karang CS memiliki kondisi paling buruk dengan % cover sebesar 0,07%. Pada perairan Pulau Sikuai bagian barat – barat laut ditemukan jenis *heliophora* (CHL) dengan % cover sebesar 13,46%, sedangkan pada bagian selatan – tenggara Pulau Sironjong terdapat jenis karang bercabang (ACB) sebesar 1,77% dan *tabulate* (ACT) sebesar 1,2 %.

Kedekatan hubungan antara parameter arus laut dan jenis *lifeform* karang yang tersebar pada beberapa titik stasiun pengamatan terumbu karang cukup tinggi. Nilai simetris kedekatan hubunga yang diperoleh adalah sebesar 81,40% (**Gambar 8**). Sehingga hubungan yang dapat dijelaskan cukup dari 2 sumbu saja (F1 dan F2), dan terbesar kontribusi dari sumbu F1 sebesar 68,58%. Kebanyakan titik-titik pengamatan di Pulau Pasumpahan (Stasiun 6-15), umumnya memiliki arus laut rendah sehingga terdapat beberapa jenis *lifeform* karang yang ditemukan.

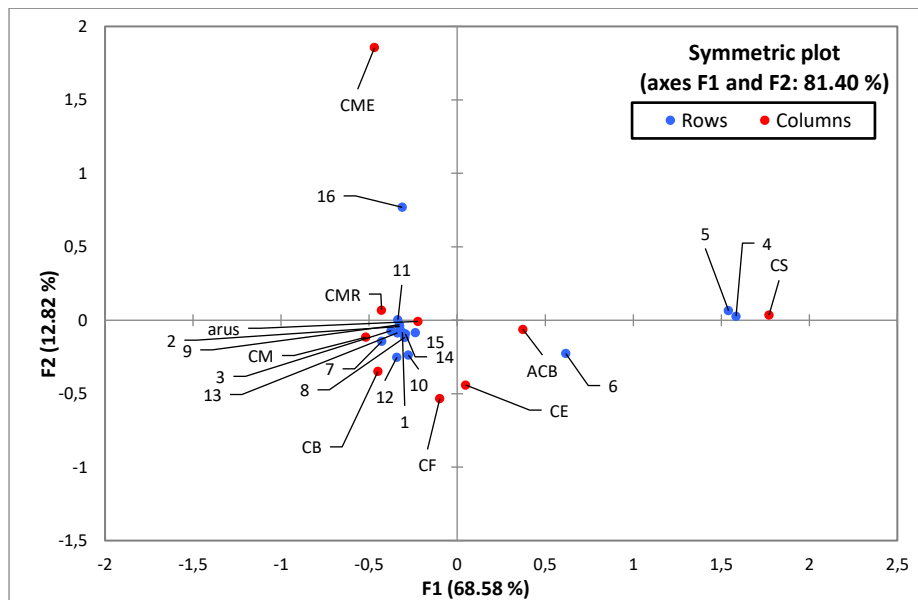
**Tabel 3.** Hasil pengamatan *lifeform* karang perairan Pulau Sirandah, Pulau Sikuai, dan Pulau Sironjong.

Waktu	Titik sampling	Koordinat	Acropora		% cover	Non Acropora						% cover		
			ACB	ACT		CB	CM	CE	CS	CF	CMR		CHL	
Pulau Sirandah (2015): data primer	KR 1 (U - TL)	100°20'29,6"BT 1°7'9,4"LS								85.27				85.27
Pulau Sirandah (2018): data sekunder	St 1 (U - TL)	100°20'29,3"BT 1°7'8,1"LS						2.94		77.33	0.20			80.47
Pulau Sikuai (2018): data sekunder	St 1 (B- BL)	100°21'1,5"BT 1°7'34,2"LS	0.20		0.20		3.80			0.07	0.07	0.13	13.46	17.53
	St 2 (T - Tg)	100°21'13,5"BT 1°7'51"LS						0.20						0.20
Pulau Sironjong (2018): data sekunder	St 1 (S - Tg)	100°21'31,87"BT 1° 8'48,6"LS	1.77	1.20	2.97	0.27		0.20		0.07				0.54

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2019)

Keterangan: Dominasi rendah ■ Dominasi cukup tinggi ■

Kelompok karang Acropora: ACB (Branching); ACS (Submassive); Kelompok karang Non Acropora: CB (Branching); CM (Massive); CE (Encrusting); CS (Submassive); CF (Foliose); CMR (Mushroom); CME (Millepora); CHL (Heliopora).



**Gambar 8.** Analisis koresponden: plot simetris hubungan antara parameter arus laut dan *lifeform* karang di beberapa PPK Kota Padang.

Lokasi ini pada umumnya memiliki jenis karang beragam dari tipe dan daya tahan terhadap aliran arus laut yang terjadi. Pada kuadran kiri – bawah, terlihat kedekatan hubungan yang sangat besar antara parameter arus laut dengan *lifeform* karang diantaranya karang *massive* (CM), karang bercabang/*branching* (CB), dan karang lempeng/*foliiose* (CF). Karang *massive* biasanya tahan terhadap kerusakan badai (Hughes 1987), termasuk juga dorongan dari aliran arus laut kuat. Sama halnya dengan karang bercabang yang dapat tumbuh pada arus kuat, namun sering rusak akibat aliran tersebut. Sedangkan karang *foliiose* cukup rapuh dan mudah rusak oleh arus laut (Hughes & Jackson, 1985; Hughes, 1987). Dalam hal ini, dengan beragamnya jenis *lifeform* karang yang ditemukan tersebut, terlihat bahwa pengaruh kejadian arus laut pada lokasi di perairan Pulau Pasumpahan tidak signifikan.

Pulau Pasumpahan memiliki berbagai jenis karang di antaranya adalah sebagian besar jenis karang bercabang (ACB dan CB), karang *massive* (CM), karang kerak (CE), karang *submassive* (CS), karang lembaran/*foliiose* (CF), serta bagian kecil dari karang *acropora* jenis *submassive* (ACS), karang *non-acropora* jenis jamur/*mushroom* (CMR) dan karang *acropora* jenis *heliopora* (CHL). Namun dominan karang yang ditemukan adalah karang *non-acropora* dari jenis bercabang/*branching* (CB) dan *massive* (CM).

Titik 4 dan 5 sama-sama berada pada bagian utara Pulau Sirandah, memiliki keberadaan karangan *submassive* (CS) yang dominan. Selain itu juga terlihat kedekatan dengan Titik 6 pada bagian selatan Pulau Pasumpahan, namun terdapat pada kuadran yang berbeda, karena arus laut pada titik ini berbeda dengan kondisi umum di Pulau Sirandah. Pada lokasi di Pulau Sirandah,

terdapat arus laut yang besar mencapai kecepatan maksimal sebesar 0,49 m/dt. Memang karang *massive* CS dapat berguna dalam meredam aliran arus laut, selain itu tahan terhadap kerusakan akibat badai (Hughes 1987).

## KESIMPULAN

Sirkulasi arus laut perairan PPK Kota Padang lebih dominan dibangkitkan oleh gaya pasang surut, karena berada dekat dengan daratan utama. Terlihat cukup signifikan hubungan antara kecepatan aliran arus laut di lokasi kajian dengan *lifeform* karang yang ada, dengan nilai kedekatan sebesar 81,40%. Arus laut cukup tinggi mencapai 0,49 m/dt, memiliki karang dengan jenis *submassive* (CS) sangat dominan. Arus laut cukup lemah kisaran maksimum 0,13-0,28 m/dt dan rata-rata 0,04-0,08 m/dt, memiliki banyak jenis *lifeform* karang yaitu semua jenis karang *non-acropora* dan *acropora* jenis bercabang (ACB). Bentuk karang bercabang (ACB dan CB) dan *massive* (CM) mendominasi keberadaannya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, DKP Sumatera Barat, Yayasan Sanari, dan semua pihak atas segala bantuan, berupa tambahan data yang diberikan sehingga kegiatan penelitian dapat terlaksana dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Christopher, J. (2007). *Physical conditions on marginal coral reefs*. James Cook University.
- Corvianawatie, C. & Abrar, M. (2018). Kesesuaian kondisi oseanografi dalam mendukung ekosistem terumbu karang di Perairan Pulau Pari. *J. Kelaut. Nas.*, 13(3), 155-161.
- Daniel, D. & Santosa, L.W. (2014). Karakteristik

- oseanografis dan pengaruhnya terhadap distribusi dan tutupan terumbu karang di Wilayah Gugusan Pulau Pari, Kabupaten Kep. Seribu, DKI Jakarta. *J. Bumi Indones.* 3(2).
- DKP Provinsi Sumatera Barat (Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sumatera Barat). (2014). *Rencana Pengelolaan dan Zonasi Kawasan Konservasi Perairan Daerah (KKPD) Kota Padang*. Padang.
- Fatoni, K.I. (2011). *Pasang surut dan pola perambatannya di Perairan Indonesia*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Halid, N.H., Ahmad, Z., Kamarumtham, K., Saad, S., Fikri, M., Khodzori, A., Faiz, M., Hanafiah, M. & Yusof, M.H. (2016). The effect of current on coral growth form in selected areas of Tioman Island, Pahang. *Trans. Sci. Technol.*, 3(2-2), 393-400.
- Harris, D.L. & Vila-concejo, A. (2013). Wave transformation on a coral reef rubble platform. *J. Coast. Res. Special Is.*, (65), 506-510. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI65-086.1>.
- Hughes, T.P. (1987). Skeletal Density and Growth Form of Corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 35, 259-266. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps035259>.
- Hughes, T.P. & Jackson, J.B.C. (1985). Population Dynamics and Life Histories of Foliose Corals. *Ecol. Monogr.*, 55(2), 141-166.
- Jankowski, M.W., Gardiner, N.R. & Jones, G.P. (2015). Depth and Reef Profile: Effects on the Distribution and Abundance of Coral Reef Fishes. *Environ. Biol. og Fishes.*, 98(5), 1373-1386. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-014-0365-1>.
- Kench, P.S. & Brander, R.W. (2015). Wave Processes on Coral Reef Flats: Implications for Reef Geomorphology Using Australian Case Studies. *J. Coast. Res.*, 22(1), 209-223. DOI: <https://doi.org/10.2112/05A-0016.1>.
- KKP (Kementerian Kelautan dan Perikanan). (2016). Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 47 Tahun 2016 tentang Pemanfaatan Kawasan Konservasi Perairan. ementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Monismith, S.G. (2007). Hydrodynamics of Coral Reefs. *Annu. Rev. of Fluid Mech.*, 39, 37-55. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.38.05.0304.092125>.
- Pariwono, J.I. (1985). *Tides and tidal phenomena in the Asean Region*. Adelaide. Australia.
- Pariwono, J.I. (1999). Kondisi oseanografi Perairan Pesisir Lampung. Proyek Pesisir Publication, Technical Report (TE, 99/12-I) Coastal Resource Center (CRC). Jakarta.
- Pemkot Padang (Pemerintah Kota Padang). (2014). *Pencadangan Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Padang.
- Renfro, B. & Chadwick, N.E. (2017). Benthic community structure on coral reefs exposed to intensive recreational snorkeling. *PLoS One.*, 12(9), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184175>.
- RI (Republik Indonesia). (2007). Undang-Undang RI Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Roberts, H.H. & Suhayda, J.N. (1983). Wave-Current Interactions on a Shallow Reef (Nicaragua, Central America). *Coral Reefs.*, 1, 209-214.
- Rosman, J.H. & Hensch, J.L. (2011). A framework for understanding drag parameterizations for coral reefs. *J. Geophys. Res.*, 116(C08025), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1029/2010JC006892>.
- Samawi, M.F., Faisal, A. & Rani, C. (2015). Parameter oseanografi pada calon daerah kawasan konservasi perairan laut Kabupaten Luwu Utara. Di dalam: *Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan II*. Universitas Hasanuddin. Makasar. hlm. 72-79.
- Shimokawa, S., Murakami, T. & Kohno, H. (2023). Coral distribution and diversity in Sakiyamawan-Amitoriwan nature conservation area of Iriomote Island in Japan. *Geosci. Lett.*, 10(1), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40562-023-00263-0>.
- Stewart, R.H. (2008). *Introduction to physical oceanography*. Sept Ed. Department of Oceanography Texas A & M University. Texas. USA.
- Stocking, J.B., Laforsch, C., Sigl, R. & Reidenbach, M.A. (2018). The role of turbulent hydrodynamics and surface morphology on heat and mass transfer in corals. *J. R. Soc. Interface.*, 15(149). DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0448>.
- Stocking, J.B., Rippe, J.P. & Reidenbach, M.A. (2016). Structure and dynamics of turbulent boundary layer flow over healthy and algae-covered corals. *Coral Reefs.*, 35(3), 1047-1059. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00338-016-1446-8>.
- Symonds, G., Black, K.P. & Young, I.R. (1995). Wave-driven flow over shallow reefs. *J. Geophys. Res.*, 100(C2), 2639-2648.
- Wyrтки, K. (1961). *NAGA REPORT (Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961)*. Second ed. California (US): Scripps Institution of Oceanography - The University of California. California. USA.

*Halaman ini sengaja kami kosongkan*

# STUDI KERAPATAN DAN PERUBAHAN TUTUPAN MANGROVE MENGUNAKAN CITRA SATELIT DI KECAMATAN LASALEPA, KABUPATEN MUNA

(Study of Mangrove Density and Land Cover Change using Satellite Imagery in Lasalepa District, Muna Regency)

Gaby Nanda Kharisma<sup>1</sup>, La Ode Abdul Fajar Hasidu<sup>2</sup>, Iradaf Mandaya<sup>3</sup>, Azwar Sidiq<sup>4</sup>, Harsanto Mursyid<sup>5</sup>, Arif Prasetya<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Geografi, FKIP, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

<sup>3</sup>Program Studi D3 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

<sup>4</sup>Jurusan Agrobisnis Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Halu Oleo

<sup>5</sup>Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Riau

<sup>6</sup> Program Studi Ilmu Perikanan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka  
Jl. Pemuda No.339, Kab. Kolaka, Prov Sulawesi Tenggara Indonesia. 93517.

E-mail: [gabykharisma@mail.usn.ac.id](mailto:gabykharisma@mail.usn.ac.id)

Diterima: 23 Maret 2022; Direvisi: 17 Oktober 2022; Disetujui untuk Dipublikasikan: 31 Maret 2023

## ABSTRAK

Studi kerapatan dan perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit sangat penting dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi ekosistem mangrove secara eksisting. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kerapatan dan perubahan tutupan mangrove menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI dan Sentinel-2A Level 1C di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna. Pengamatan kerapatan mangrove secara insitu menggunakan plot pengamatan 100m<sup>2</sup>. Analisis perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit multitemporal (2015-2020) dengan metode klasifikasi *supervised classification*. Terdapat lima jenis mangrove pada empat stasiun pengamatan. Pada Stasiun I-III dengan nilai kerapatan mangrove: 1.480 pohon/ha, 1.320 pohon/ha, dan 1.440 pohon/ha terkategori Baik (Sedang), sedangkan Stasiun IV dengan nilai kerapatan 2.120 pohon/ha terkategori Baik (Sangat Padat). Berdasarkan hasil analisis citra, perubahan tutupan lahan dalam rentang tahun 2015-2020 menunjukkan adanya peningkatan luasan.

**Kata kunci:** mangrove, Landsat 8 OLI, Sentinel-2A, *supervised classification*

## ABSTRACT

A study of mangrove density and land cover change using satellite imagery is imperative to identify the condition of the existing ecosystem. This study aimed to analyze the density and changes in mangrove cover using Landsat 8 OLI and Sentinel-2A Satellite Imagery in Lasalepa District, Muna Regency. Mangrove density analysis method with 100m<sup>2</sup> observation plot method. Analysis of mangrove cover change using multitemporal satellite imagery (2015-2020) with a supervised classification method. There are five types of mangroves at four observation stations. Stations I-III, with mangrove density values: of 1,480 trees/ha, 1,320 trees/ha, and 1,440 trees/ha, were categorized as Dense, while Station IV, with a density value of 2,120 trees/ha, was classified as Very Dense. The analysis of land cover changes in the 2015-2020 range shows an increase in area.

**Keywords:** mangrove, Landsat 8 OLI, Sentinel-2A, *supervised classification*

## PENDAHULUAN

Mangrove merupakan jenis vegetasi berkayu yang dapat ditemukan di wilayah pesisir berbagai belahan dunia yang beriklim tropis maupun subtropis dengan substrat lumpur dan dipengaruhi oleh pasang surut (Azmat et al., 2020; Siahaan et al., 2020; Wachid et al., 2017). Ekosistem mangrove merupakan elemen utama yang berada di antara ekosistem lautan dan daratan yang

memiliki berbagai manfaat antara lain untuk mendukung kesehatan lingkungan, keanekaragaman hayati, sumber makanan dan bahan bakar (Azmat et al., 2020). Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang menyandang manfaat majemuk baik itu dari segi ekologis untuk kehidupan manusia dan lingkungan maupun segi sosial ekonomi. Lebih lanjut, berdasarkan fungsi dari aspek ekologis, vegetasi mangrove berperan sebagai penghalang alami



(*natural barrier*) dari bencana alam (*natural disaster*) yang berpotensi pada wilayah pesisir (Rivera-Monroy et al., 2017). Mangrove juga berfungsi memfilter polutan khususnya bahan organik, sebagai basis energi melalui tersedianya detritus yang menjadi sumber pakan bagi organisme perairan, serta dekomposisi serasah mangrove yang menjadi sumber unsur hara yang bernilai bagi produktivitas perikanan perairan laut di sekitarnya (Tahir et al., 2017).

Mangrove merupakan salah satu dari kekayaan di wilayah pesisir Indonesia (selain terumbu karang dan padang lamun) yang selama kurun waktu 2014 hingga 2016 cenderung menurun dari segi luas dan kondisi, beberapa faktor yang mendasari penurunan dari segi luasan dan kondisi tersebut yakni diakibatkan oleh faktor alami dan faktor aktivitas manusia (Susmoro, 2019). Penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) efektif digunakan untuk pemantauan ekosistem mangrove dalam cakupan area yang luas dan dapat juga dilakukan secara berkala (Hendrawan, 2018). Dalam hal pemanfaatan data dan teknologi penginderaan jauh (inderaja) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk analisis kerapatan dan perubahan tutupan mangrove dari perspektif spasiotemporal telah banyak dilakukan.

Penelitian Khairuddin et al. (2016) tentang degradasi mangrove dengan memanfaatkan Citra Landsat 5 TM dan Citra Landsat 8 OLI di Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat pada kurun waktu 1989 sampai dengan 2014. Ekosistem mangrove eksisting seluas 739,31 ha yang terbagi menjadi 377, 25 ha (51,02%) dari luasan tersebut terkategori mangrove dengan kerapatan rapat dan 362,06 ha (48,98%) terkategori kerapatan sedang dan rendah. Penelitian selanjutnya di Pulau Sebatik, Provinsi Kalimantan Utara oleh Hendrawan et al. (2018) dengan kajian studi kerapatan dan perubahan tutupan mangrove memanfaatkan Citra Satelit SPOT 6 menunjukkan terdapat peningkatan luasan mangrove antara tahun 2005 dan 2016 sebesar 45,51%.

Hasil analisis berupa kombinasi inderaja dan SIG nantinya dapat menjadi acuan dalam analisis dampak dan kerentanan wilayah pesisir lokasi kajian. Indonesia yang memiliki 65% penduduk yang bermukim di wilayah pesisir. Indonesia menyandang predikat sebagai negara kepulauan dengan tingkat ketergantungan terhadap sumberdaya dan jasa lingkungan yang pada akhirnya berimplikasi pada tekanan yang timbul karena kegiatan manusia yang tidak terkendali menjadi ancaman pada wilayah pesisir tersebut (Tahir et al., 2017).

Kolaborasi dalam tata kelola ekosistem mangrove merupakan peran penting bagi masing-masing elemen, baik itu pemerintah, masyarakat, maupun sektor swasta (Hamzah et al., 2021). Tanpa adanya regulasi pengelolaan yang tepat, degradasi mangrove akan bersifat kontinyu yang

diikuti dengan peningkatan atas kebutuhan dalam rangka pembangunan sarana dan prasarana ekonomi (Kustandiyo et al., 2014).

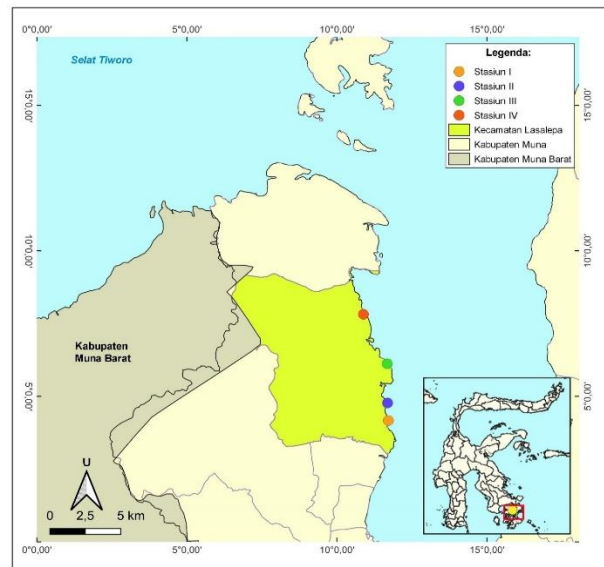
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapatan, perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit, dan kondisi vegetasi mangrove di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi data dasar mengenai status kondisi ekosistem mangrove dalam upaya konservasi dan pengelolaan ekosistem mangrove di Kabupaten Muna.

## METODE

### Lokasi

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna. Secara astronomis, Kabupaten Muna terletak pada 04°15"-05°15" LS dan 122°30"-123°15" BT. Kecamatan Lasalepa memiliki luas 107,92 km<sup>2</sup>, yang merupakan kecamatan kelima yang terluas di Kabupaten Muna (BPS Kabupaten Muna, 2021). Secara umum, topografi Kecamatan Lasalepa yang terdiri dari 7 desa/kelurahan berupa dataran (BPS Kabupaten Muna, 2020). Lokasi penelitian secara spasial ditunjukkan pada

**Gambar 1.**



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian.

### Metode

#### Sampling dan Analisis Vegetasi Mangrove

Observasi lapangan dilakukan pada Bulan Mei Tahun 2020. Plot pengamatan untuk memperoleh data vegetasi mangrove yang berukuran 100m<sup>2</sup> dan diletakkan tegak lurus terhadap garis pantai pada masing-masing transek berukuran 100 m (Analuddin et al., 2015; Hasidu et al., 2020; Jamili et al., 2009). Data yang dihimpun berupa jenis mangrove, dan ukuran DBH

(*diameter by breast high*). Data vegetasi mangrove yang terkumpul dianalisis secara kuantitatif menggunakan **Persamaan 1** s.d. **Persamaan 7**.

$$K = \frac{\text{Jumlah Individu Suatu Jenis}}{\text{Luas Area Sampel}} \dots\dots\dots(1)$$

$$KR = \frac{K \text{ Suatu Jenis}}{\text{Total Kerapatan Seluruh Jenis}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$F = \frac{\text{Jumlah Plot Ditemukannya Suatu Jenis}}{\text{Total Seluruh Plot Pengamatan}} \dots\dots\dots(3)$$

$$FR = \frac{F \text{ suatu jenis}}{F \text{ total seluruh jenis}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$BA = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times 3,14 \dots\dots\dots(5)$$

$$DR = \frac{D \text{ Suatu Jenis}}{\text{Total Dominansi Seluruh Jenis}} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

$$INP = \frac{KR}{DR} + \frac{FR}{DR} \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

- K : Kerapatan
- KR : Kerapatan Relatif
- F : Frekuensi
- FR : Frekuensi Relati.
- BA : Basal Area
- d : Diameter
- DR : Dominansi Relatif
- INP : Indeks Nilai Penting

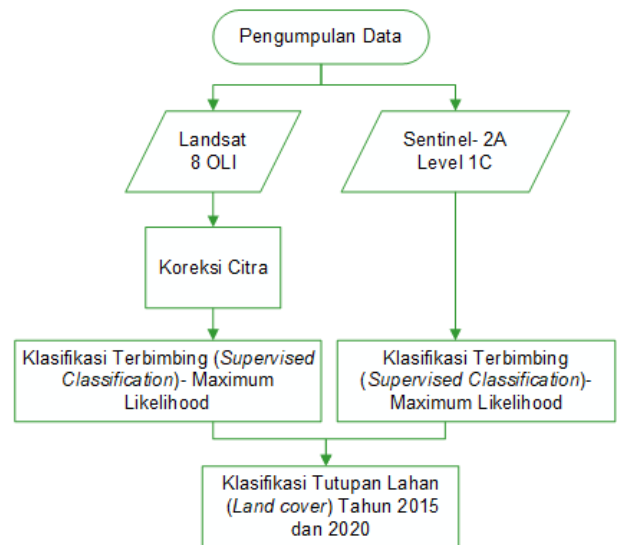
**Perubahan Tutupan Lahan**

Dalam penelitian ini, perubahan tutupan lahan (*landcover*) yang dianalisis menggunakan Citra Landsat 8 OLI tanggal perekaman 31 Juli 2015 dan Citra Sentinel- 2A level 1C dengan tanggal perekaman 19 Agustus 2020. Data citra satelit Landsat 8 *Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor* (OLI/TIRS) terdiri dari sebelas kanal dengan resolusi spasial 30 meter pada *band* 1-7 dan 9-11. Khusus band 8 (*panchromatic*) memiliki resolusi spasial lebih tinggi yakni 15 meter. Sedangkan, Sentinel-2 memiliki 13 *band* dengan rentang panjang gelombang dari 0.443 – 2.190 μm. Sentinel-2A yang dirilis pada tahun 2015 (Firmansyah et al., 2019). Pertimbangannya pemilihan kedua citra ini yakni disesuaikan dengan pengambilan data lapangan serta faktor tutupan awan yang menutupi citra lokasi kajian.

Dalam pengolahan Citra Landsat 8 telah dilakukan koreksi geometrik dan koreksi atmosferik. Sedangkan, untuk Citra Sentinel tidak dilakukan koreksi baik geomterik maupun atmosferik. Citra Satelit Sentinel level 1C secara sistematis telah terkoreksi-geometrik dan radiometrik (Oktaviani & Kusuma, 2017). Klasifikasi yang digunakan pada penelitian ini

adalah klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan metode klasifikasi *Maximum Likelihood*.

**Gambar 2** menyajikan tahapan penelitian ini. Klasifikasi terbimbing merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan guna mengklasifikasikan jenis penggunaan lahan dan metode klasifikasi terbimbing digunakan untuk mengelompokkan citra berbasis *training area* (Zaitunah et al., 2018). Data spasial berupa citra satelit multitemporal ini digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan yang didasari oleh kenampakan obyek pada citra satelit.



**Gambar 2.** Diagram alir pengolahan data penelitian.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Struktur dan Persentase Tutupan Vegetasi Mangrove**

Hasil analisis struktur vegetasi mangrove pada lokasi penelitian ditemukan 5 spesies mangrove dari berbagai tingkatan hidup (sapihan, tiang, dan pohon). Kelima spesies tersebut termasuk ke dalam 4 genera *Rhizophora*, *Ceriops*, *Bruguiera* dan *Sonneratia* dan 2 famili *Rhizophoraceae* dan *Sonneratiaceae* yang semuanya merupakan spesies khas vegetasi mangrove.

**Tabel 1** merupakan rekapitulasi analisis vegetasi pada lokasi penelitian. Terdapat 324 individu yang ditemukan di semua stasiun pengamatan yang terdiri tingkatan hidup sapihan hingga pohon. Spesies *Rhizopora mucronata* dan *Rhizopora apiculata* adalah spesies yang paling banyak ditemui, sedangkan spesies yang paling sedikit adalah spesies *Ceriops tagal* yakni hanya tiga individu pada tingkat umur sapihan.

Jika ditinjau dari kerapatannya, stasiun pengamatan IV memiliki kerapatan per ha hampir

dua kali lipat dibanding lokasi lainnya dengan nilai 2.120 individu/ha. Seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**, Spesies *S. alba* merupakan spesies yang memiliki nilai INP terbesar hampir di semua stasiun pengamatan sedang spesies yang memiliki nilai INP terkecil adalah spesies *C. tagal*.

Tingkat kerapatan hutan mangrove diukur dan dicocokkan dengan kriteria yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove (KLH, 2004). Dari aspek kerapatan vegetasi mangrove, seluruh

stasiun (I-IV) menunjukkan tingkat kerapatan kategori sedang hingga padat (**Tabel 2**). Kerapatan mangrove stasiun I-III berturut-turut mencapai 1.480 pohon/ha, 1.320 pohon/ha, dan 1.440 pohon/ha yang apabila merujuk pada KLH (2004), secara keseluruhan ketiga stasiun tersebut terkategori Baik-Sedang. Pada stasiun IV memiliki kerapatan mangrove sebesar 2.120 pohon/ha sekaligus sebagai stasiun dengan tingkat kerapatan mangrove terkategori Baik-Sangat Padat.

**Tabel 1.** Struktur vegetasi ekosistem mangrove di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna.

St	Tingkatan Vegetasi	No	Nama Spesies	∑ Individu	K (pohon/Ha)	DR	INP (%)	
I	Sapihan	1	<i>R. apiculata</i>	16	320	61,7	13,21	
		2	<i>C. tagal</i>	3	60	8,67	36,15	
		3	<i>B. gymnorhyza</i>	4	80	29,63	69,99	
		4	<i>S. alba</i>	33	660	306,69	409,03	
		5	<i>R. mucronata</i>	1	20	5,09	17,96	
				<b>Total</b>	<b>57</b>	<b>1.140</b>	<b>100</b>	<b>240,35</b>
	Tiang	1	<i>R. apiculata</i>	2	40	9,01	66,79	
		2	<i>B. gymnorhyza</i>	3	60	19,8	62,03	
		3	<i>S. alba</i>	10	200	71,18	171,18	
				<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>300</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
	Pohon	1	<i>S. alba</i>	2	40	100	300	
				<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>40</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
	II	Sapihan	1	<i>R. apiculata</i>	5	100	13,02	41,32
			2	<i>R. mucronata</i>	25	500	55,35	155,16
			3	<i>B. gymnorhyza</i>	8	160	16,02	67,95
4			<i>S. alba</i>	5	100	15,61	35,58	
				<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>860</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
Tiang		1	<i>R. mucronata</i>	15	300	57,24	192,09	
		2	<i>B. gymnorhyza</i>	7	140	42,76	107,91	
				<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>440</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
Pohon		1	<i>S. alba</i>	1	20	100	300	
				<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
III		Sapihan	1	<i>R. apiculata</i>	59	1.180	97,19	265,34
			2	<i>R. mucronata</i>	1	20	1,81	17,73
	3		<i>B. gymnorhyza</i>	1	20	1,01	16,93	
	4		<i>S. alba</i>	6	120	10,69	63,38	
				<b>Total</b>	<b>67</b>	<b>1.220</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
	Tiang	1	<i>R. apiculata</i>	3	60	26,23	82,07	
		2	<i>B. gymnorhyza</i>	3	60	10,86	52,42	
		3	<i>S. alba</i>	5	100	62,91	165,51	
				<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>220</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
IV	Sapihan	1	<i>R. apiculata</i>	13	260	10,32	58,66	
		2	<i>R. mucronata</i>	44	880	71,33	169,25	
		3	<i>B. gymnorhyza</i>	17	340	18,35	72,09	
				<b>Total</b>	<b>74</b>	<b>1.480</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
	Tiang	1	<i>R. apiculata</i>	1	20	1,63	14,86	
		2	<i>R. mucronata</i>	16	320	37,84	129,45	
		3	<i>B. gymnorhyza</i>	13	260	57,8	139,73	
		4	<i>S. alba</i>	1	20	2,73	15,96	
				<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>620</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
	Pohon	1	<i>S. alba</i>	1	20	100	300	
				<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
<b>Total Individu</b>				<b>324</b>				

**Tabel 2.** Kerapatan dan kategori vegetasi mangrove.

Stasiun	Tingkatan Vegetasi	Kerapatan Mangrove (pohon/Ha)	Kategori berdasarkan KLH (2004)
St I	Sapihan	1.140	-
	Tiang	300	-
	Pohon	40	-
	<b>Total</b>	<b>1.480</b>	<b>Baik- Sedang</b>
St II	Sapihan	860	-
	Tiang	440	-
	Pohon	20	-
St III	<b>Total</b>	<b>1.320</b>	<b>Baik- Sedang</b>
	Sapihan	1.220	-
	Tiang	220	-
St IV	<b>Total</b>	<b>1.440</b>	<b>Baik- Sedang</b>
	Sapihan	1480	-
	Tiang	620	-
	<b>Total</b>	<b>2.120</b>	<b>Baik- Sangat Padat</b>

Keterangan:

penutupan  $\geq 75\%$  atau kerapatan  $\geq 1.500$  pohon/ha (Kategori Baik- Sangat Padat); penutupan 50-75% atau kerapatan 1.000-1.500 pohon/ha (Kategori Baik- Sedang); penutupan  $< 50\%$  atau kerapatan  $< 1.000$  pohon/ha (Kategori Rusak- Jarang).

### Kerapatan Vegetasi Mangrove

Struktur vegetasi di ekosistem mangrove Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna secara umum didominasi oleh tingkatan tiang dan sapihan. Tidak ada kehadiran semai di semua lokasi diduga karena dua hal, yang pertama, semai tidak muncul dikarenakan oleh adanya gelombang laut yang cukup besar sehingga buah yang jatuh pada lantai hutan akan terbawa gelombang. Kedua tidak adanya tingkat hidup pohon turut mempengaruhi ketidakhadiran anakan pada keempat stasiun pengamatan.

Jenis mangrove pada lokasi penelitian cenderung lebih bervariasi bila dibandingkan dengan yang ditemukan oleh Azmat et al., (2020) yakni 4 jenis mangrove (*Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Aegiceras corniculatum*, dan *Ceriops tagal*). Keragaman jenis mangrove di lokasi penelitian ini cenderung kurang bervariasi apabila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh Pribadi et al. (2020) yang menemukan keragaman jenis mangrove di Ayau dan Ayau Kepulauan, Kabupaten Raja Ampat yang mencapai delapan jenis mayor mangrove. Penelitian keragaman spesies mangrove di Kabupaten Muna Barat menunjukkan variasi mangrove sebanyak sepuluh spesies (Rahman et al., 2020). Lebih lanjut, struktur vegetasi mangrove yang lebih bervariasi ditemukan di Desa Passare Apua, Kecamatan Lantari Jaya, Kabupaten Bombana berupa 11 jenis mangrove pada strata pohong, tiang, sapihan, hingga semai (Khaery et al., 2016). Sedangkan, spesies mangrove Teluk Benoa, Bali memiliki keragaman yang lebih variatif yakni 16 spesies mangrove (Putra, 2018).

Dari kerapatan sebenarnya masuk ke dalam kategori baik- sedang di stasiun I-III sedangkan pada stasiun IV masuk dalam kategori baik dan

sangat padat (**Gambar 3**). Di lain sisi, kerapatan vegetasi di lokasi penelitian didominasi oleh tingkatan sapihan dan tiang. Sejalan dengan hasil penelitian ini, analisis kondisi vegetasi kerapatan dan persentase tutupan kanopi mangrove di Kecamatan Latambaga, Kabupaten Kolaka menunjukkan kondisi mangrove eksisting berada dalam kondisi baik, serta strata pertumbuhan sapihan didominasi sapihan dan tiang (Hasidu, et al., 2021). Kondisi kerapatan mangrove juga dikaji oleh Rudhi, Dharmawan, & Bahari (2020) yang menguraikan kondisi eksisting ekosistem mangrove di Ayau dan Ayau Kepulauan, Kabupaten Raja Ampat terkategori Rapat.

Identifikasi kerapatan vegetasi dapat pula dilakukan dengan cara interpretasi digital melalui citra menggunakan indeks vegetasi, salah satunya dengan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Hendrawan et al., 2018). Khusus dalam penelitian ini menggunakan data lapangan untuk mendapatkan gambaran kondisi mangrove secara eksisting di lokasi penelitian seperti disajikan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Kenampakan ekosistem mangrove Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna pada saat penelitian.

**Perubahan Tutupan Lahan**

Perubahan tutupan lahan (*landcover*) yang dianalisis menggunakan Citra Landsat 8 OLI tanggal perekaman 31 Juli 2015 dan Citra Sentinel- 2A level 1C dengan tanggal perekaman 19 Agustus 2020. Hasil analisis perubahan tutupan lahan ditampilkan pada **Gambar 4**. Sedangkan perubahan tutupan mangrove ditampilkan pada **Tabel 3**. Jenis tutupan lahan yang teramati terbagi menjadi empat kelas tutupan lahan yaitu lahan terbuka, mangrove, hutan, perairan dangkal dan laut.

**Tabel 3.** Perubahan luas tutupan mangrove menggunakan Citra Landsat 8 OLI (2015) dan Citra Sentinel 2A (2020).

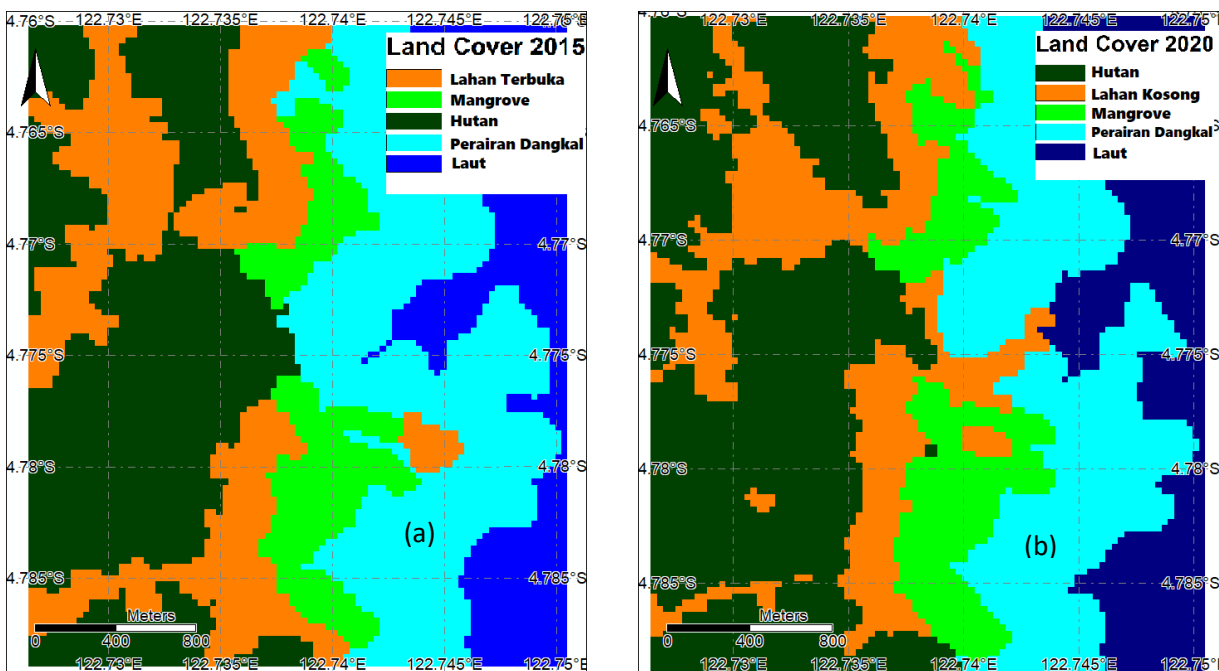
Tahun	Luas (ha)
2015	73,08
2020	87,04

Hasil analisis Citra Landsat 8 OLI (2015) dan Citra Sentinel-2A (2020) diperoleh informasi pada lokasi kajian terjadi penambahan luasan tutupan mangrove (*mangrove coverage*) dalam kurun waktu 5 tahun (2015-2020) sebagaimana yang dapat diamati pada **Tabel 3**. Pada tahun 2015, luasan tutupan mangrove mencapai 73,08 ha. Namun, selanjutnya hasil analisis pada citra menunjukkan terjadi peningkatan di tahun 2020 dengan total luas 87,04 ha (penambahan luas kawasan mencapai 13,96 ha).

Penelitian tentang perubahan luasan hutan mangrove di Kecamatan Brebes dan Wanasari,

Kabupaten Brebes menggunakan Citra Landsat dengan *time series* 2008, 2013, dan 2018 juga menunjukkan penambahan luasan mangrove di Desa Kaliwilingi, Kecamatan Brebes kurun waktu 5 tahun (2008-2013) mengalami penambahan sebesar 101,25 ha, kemudian kurun waktu 2013 hingga 2018 juga bertambah 184,23 ha. Sedangkan pada Desa Sawojajar, dari tahun 2008-2013 mengalami penambahan seluas 0,09 ha dan 2013-2018 bertambah seluas 12,24 ha (Annisa et al., 2019). Analisis kerapatan kanopi mangrove juga telah dilakukan oleh Wachid et al., (2017) dengan memanfaatkan Citra Satelit Sentinel-2A dengan hasil analisis berupa tutupan kanopi atau kerapatan mangrove di Teluk Jor, Kabupaten Lombok Timur, Provinsi Nusa Tenggara Barat terbagi dalam empat kelas, dengan kerapatan rendah mencapai 97.900 m<sup>2</sup>, kerapatan sedang mencapai 336.200 m<sup>2</sup>, kerapatan tinggi mencapai 110.300 m<sup>2</sup> dan kerapatan sangat tinggi mencapai 500 m<sup>2</sup>.

Perubahan luasan tutupan mangrove dalam penelitian ini kurun waktu 2015 ke 2020 terjadi penambahan luasan, disinyalir bentuk implementasi komitmen pemerintah daerah dalam penetapan Kecamatan Lasalepa sebagai salah satu kecamatan di Kabupaten Muna yang ditetapkan sebagai kawasan rehabilitasi mangrove. Penambahan luasan tutupan mangrove juga terjadi dalam penelitian Annisa et al., (2019) dimana kegiatan rehabilitasi di Desa Kaliwiling dianggap lebih berhasil bila dibandingkan dengan Desa Sawojajar karena keterlibatan *stakeholder* (*non-government organization*).



**Gambar 4.** Peta klasifikasi tutupan lahan (*Land Cover*) lokasi penelitian dengan menggunakan Citra Landsat 8 OLI Tahun 2015 (a), dan Sentinel-2A Tahun 2020 (b).

## KESIMPULAN

Studi kerapatan dan perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit dapat mengidentifikasi kondisi ekosistem mangrove secara eksisting. Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa kondisi vegetasi mangrove di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna masih terkategori baik (sedang dan sangat padat) dan kerapatan mangrove pada seluruh stasiun bervariasi dengan nilai kerapatan mangrove terendah 1.320 pohon/ha hingga kerapatan mangrove tertinggi mencapai 2.120 pohon/ha. Dalam kurun waktu 2015 ke 2020 terjadi penambahan luasan, disinyalir bentuk implementasi komitmen pemerintah daerah dalam penetapan Kecamatan Lasalepa sebagai salah satu kecamatan di Kabupaten Muna yang ditetapkan sebagai kawasan rehabilitasi mangrove.

Kombinasi teknologi penginderaan dan SIG dapat dimanfaatkan untuk melakukan kajian kerapatan dan perubahan tutupan lahan mangrove sebagai informasi awal. Dalam menunjang hal tersebut diperlukan integrasi dengan data lapangan eksisting. Diperlukan penelitian selanjutnya dengan memanfaatkan citra satelit yang serupa dengan menggunakan *time series* yang berbeda agar dapat melakukan pemantauan ekosistem mangrove secara spasiotemporal untuk pengelolaan ekosistem mangrove secara berkelanjutan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada LPPM USN Kolaka yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian serta segenap pihak terkait yang telah terlibat dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Analuddin, K., Jamili, J., Septiana, A., Izal, I., Fajar, L., Raya, R., Sahidin, I., Rianse, U., Rahim, S., Alfirman, Sharma, S. & Nadaoka, K. (2015). Aboveground biomass status and management effort of unprotected mangrove forest at the surrounding areas of Rawa Aopa Watumohai National Park, Indonesia. *Proceedings of the 8th International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (EG '15). Energy, Environmental and Structural Engineering Series*, 38, 393-400.

Annisa, A.Y.N., Pribadi, R. & Pratikto, I. (2019). Analisis perubahan luasan hutan mangrove di Kecamatan Brebes dan Wanasari, Kabupaten Brebes Menggunakan Citra Satelit Landsat Tahun 2008, 2013 dan 2018. *Journal of Marine Research*, 8(1), 27-35. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v8i1.24323>.

Azmat, A., Kazmi, J.H., Shahzad, A. & Shaikh, S. (2020). Mapping change in spatial extent and density of mangrove forest at Karachi Coast using object-based image analysis. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 11(1), 118-122. DOI: <https://doi.org/10.46660/ijeeg.Vol11.Iss1.2020.423>.

BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Muna. (2020). *Kecamatan Lasalepa Dalam Angka 2020*. BPS Kabupaten Muna. Raha.

BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Muna. (2021). *Kabupaten Muna Dalam Angka 2021*. BPS Kabupaten Muna. Raha.

Firmansyah, S., Gaol, J.L., & Susilo, S.B. (2019). Perbandingan klasifikasi SVM dan Decision Tree untuk pemetaan mangrove berbasis objek menggunakan Citra Satelit Sentinel-2B di Gili Sulat, Lombok Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(3), 746-757. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.3.746-757>.

Hamzah, A.H.P., Anggoro, S. & Puryono, S. (2021). Perubahan tutupan hutan mangrove menggunakan Citra Landsat 5 TM dan 7 ETM di Pesisir Kabupaten Langkat. *Seminar Nasional Geomatika*, 771. DOI: <https://doi.org/10.24895/sng.2020.0-0.1192>.

Hasidu, L.O.A.F., Jamili, Kharisma, G.N., Prasetya, A., Maharani, Riska, Rudia, L.O.A.P., Ibrahim, A.F., Mubarak, A.A., Muhsafaat, L.O. & Anzani, L. (2020). Diversity of mollusks (bivalves and gastropods) in degraded mangrove ecosystems of Kolaka District, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(12), 5884-5892. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211253>.

Hasidu, L.O.A.F., Ibrahim A.F., Prasetya, A., Maharani, M., Asmi, A., Agusriyan, A., Mubarak, A.A., Kamur, S. & Kharisma, G.N. (2021). Analisis vegetasi, estimasi biomassa dan stok karbon ekosistem mangrove Pesisir Kecamatan Latambaga, Kabupaten Kolaka. *Jurnal Sains dan Inovasi Perikanan (Journal of Fishery Science and Innovation)*, 5(2), 60-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.33772/jsipi.v5i2.9371>.

Hendrawan, Gaol, J.L. & Susilo, S.B. (2018). Studi kerapatan dan perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit di Pulau Sebatik Kalimantan Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 99-109. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.18595>.

Jamili, Setiadi, D., Qayim, I. & Guhardja, E. (2009). Struktur dan komposisi mangrove di Pulau Kaledupa Taman Nasional Wakatobi, Sulawesi Tenggara. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 14(4), 197-206. DOI: <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.14.4.197-206>.

Khaery, A., Kusmana, C. & Setiawan, Y. (2016). Strategi pengelolaan ekosistem mangrove di Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 07(1), 38-44.

Khairuddin, B., Yulianda, F., Kusmana, C. & Yonvitner. (2016). Degradation mangrove by using Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI Image in Mempawah Regency, West Kalimantan Province Year 1989-2014. *Procedia Environmental Sciences*, 33(2016) 460-464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.097>.

- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). (2004). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kustandiyo, H., Sukojo, B.M. & Parwati, E. (2014). Studi tingkat kerapatan mangrove menggunakan indeks vegetasi. *Geoid*, 9(2), 101. DOI: <https://doi.org/10.12962/j24423998.v9i2.738>.
- Oktaviani, N. & Kusuma, H.A. (2017). Pengenalan Citra Satelit Sentinel-2 untuk pemetaan kelautan. *Oseana*, XLII(3), 40-55.
- Pribadi, R., Dharmawan, I.W.E. & Bahari, A.S. (2020). Penilaian kondisi kesehatan ekosistem mangrove di Ayau dan Ayau Kepulauan, Kabupaten Raja Ampat. *Majalah Ilmiah Biologi BIOSFERA: A Scientific Journal*, 37(2), 106-111.
- Putra, A. (2018). Pendekatan Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Lyzenga untuk pemetaan sebaran ekosistem perairan di Kawasan Pesisir Teluk Benoa, Bali. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 23(2), 87-94. DOI: <https://doi.org/10.24895/jig.2017.23-2.729>.
- Rahman, R., Wardiatno, Y., Yulianda, F. & Rusmana, I. (2020). Sebaran spesies dan status kerapatan ekosistem mangrove di Pesisir Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(3), 461-478. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.3.461-478>.
- Rivera-Monroy, V.H., Kristensen, E., Lee, S.Y. & Twilley, R.R. (2017). Introduction. 1-16pp. In Rivera-Monroy, V.H., Kristensen, E., Lee, S.Y. & Twilley, R.R. (Eds) *Mangrove ecosystems: A global biogeographic perspective: structure, function, and services*. Springer. 1-399pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4>.
- Susmoro, H. (2019). *Valuasi dan kontribusi hidrografi sebagai faktor pengungkit perekonomian nasional*. Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut. Jakarta.
- Tahir, I., Paembonan, R.E., Harahap, Z.A., Akbar, N. & Wibowo, E.S. (2017). Sebaran kondisi ekosistem hutan mangrove di Kawasan Teluk Jailolo, Kabupaten Halmahera Barat. Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Enggano*, 2(2), 143-155. DOI: <https://doi.org/10.31186/jenggano.2.2.143-155>.
- Wachid, M.N., Hapsara, R.P., Cahyo, R.D., Wahyu, G. N., Syarif, A.M., Umarhadi, D.A. ... & Widyatmanti, W. (2017, June). Mangrove canopy density analysis using Sentinel-2A imagery satellite data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 70(012020). IOP Publishing Ltd. DOI 10.1088/1755-1315/70/1/012020.
- Zaitunah, A., Samsuri, S., Ahmad, A.G. & Safitri, R.A. (2018). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis for land cover types using Landsat 8 OLI in Besitang Watershed, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 126(012112). IOP Publishing Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/126/1/012112>.

# PEMETAAN MANGROVE MENGGUNAKAN ALGORITMA MULTIVARIATE RANDOM FOREST

Studi Kasus di Segara Anakan, Cilacap

(Mapping of Mangrove using Multivariate Random Forest Algorithm, Case Study in Segara Anakan, Cilacap)

Muhammad Rizki Nandika<sup>1</sup>, A.A. Md. Ananda Putra Suardana<sup>1</sup>, Nanin Anggraini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Oseanografi, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim, BRIN

<sup>2</sup>Pusat Riset Penginderaan Jauh, Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa, BRIN

Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta 14430

E-mail: [muhammad.rizki.nandika@brin.go.id](mailto:muhammad.rizki.nandika@brin.go.id)

Diterima: 14 Juli 2022; Direvisi: 20 Maret 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 27 Maret 2023

## ABSTRAK

Potensi pengembangan dan pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Machine Learning* (ML) terus meningkat untuk dimanfaatkan dalam pemrosesan data penginderaan jauh pada periode waktu terakhir. Teknologi penginderaan jauh telah terbukti dapat diandalkan untuk mendeteksi sebaran tutupan mangrove. Salah satu metode berbasis ML yang digunakan untuk melakukan deteksi sebaran tutupan mangrove adalah metode *Random Forest*. Penelitian ini berfokus pada pengujian akurasi klasifikasi *Random Forest* dalam mengidentifikasi mangrove di Segara Anakan, Cilacap. Seluruh pemrosesan data dan analisis dilakukan menggunakan platform berbasis cloud, *Google Earth Engine*. Data yang digunakan yaitu citra satelit Sentinel-2A akuisisi tanggal 1 Januari - 31 Desember 2020. Metode klasifikasi menggunakan algoritma RF dengan 12 kombinasi band dan indeks yang berbeda: biru, hijau, merah, *red edge*, NIR, SWIR-1, SWIR-2, NDVI, MNDWI, SR, GCVI, MMRI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil klasifikasi menggunakan 12 parameter mampu mengidentifikasi mangrove dengan nilai akurasi yang tinggi (OA = 0,892; kappa = 0,782). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa MMRI menjadi parameter yang diketahui memiliki kemampuan yang paling baik dalam memisahkan objek mangrove dan non-mangrove, diikuti selanjutnya oleh SWIR-2.

**Kata kunci:** akurasi, indeks vegetasi, mangrove, *random forest*, Sentinel-2

## ABSTRACT

The potential of *Artificial Intelligence* (AI) and *machine learning* (ML) has also been utilized in remote sensing data processing in recent times. Remote sensing technology has been proved for mangrove detection. One of the most widely used ML-based methods for classifying is *Random Forest* (RF). This study focuses on examining the accuracy of RF classification to retrieve the information of mangroves in Segara Anakan, Cilacap. All data processing and analysis is carried out using a cloud-based platform, *Google Earth Engine*. The data used in this study is the Sentinel-2A satellite imagery acquired on January 1 - December 31, 2020. The RF classification uses 12 band and index combinations: blue, green, red, red edge, NIR, SWIR-1, SWIR-2, NDVI, MNDWI, SR, GCVI, and MMRI. The results showed that the classification results using 12 parameters could identify mangroves with a high accuracy value (OA = 0.892; kappa = 0.782). The results of this study indicate that MMRI is the parameter known to have the best ability to separate mangrove and non-mangrove objects, followed by SWIR-2.

**Keywords:** accuracy, vegetation index, mangrove, random forest, Sentinel-2

## PENDAHULUAN

Mangrove merupakan suatu ekosistem yang sangat penting di wilayah pesisir, karena memberikan banyak manfaat dalam berbagai aspek. Dari segi ekologi, mangrove berperan sebagai tempat perlindungan bagi berbagai jenis flora dan fauna seperti burung, ikan, invertebrata, mamalia. Selain itu, habitat muara yang terdapat di dalam ekosistem mangrove juga merupakan tempat yang ideal untuk pemijahan biota laut seperti udang, kepiting, dan berbagai jenis ikan (Ouyang & Guo, 2021). Dalam aspek komersial,

pengembangan kawasan mangrove sebagai lokasi pariwisata juga memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat di sekitar (Arkwright & Kaomaneng, 2018; Henri & Ardiawati, 2020). Keberadaan mangrove sebagai pertahanan alami pantai juga berfungsi untuk mencegah erosi dan menjaga garis pantai tetap stabil, sehingga membantu dalam pencegahan keterpaparan gelombang laut (Menéndez et al., 2020). Dalam konteks perubahan iklim, mangrove juga dapat menangkap sejumlah besar emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya dari atmosfer, lalu



menyimpannya dalam bentuk karbon (Rudianto et al., 2020)

Mangrove saat ini menghadapi berbagai bahaya yang mengancam keberlangsungan hidupnya. Kenaikan permukaan air laut akibat pemanasan global telah menjadi salah satu ancaman utama dalam proses terjadinya degradasi ekosistem mangrove (Mafi-Gholami et al., 2020). Selain itu, ancaman antropogenik seperti pembuangan limbah ke perairan juga memperparah keadaan yang menyebabkan polusi dan merusak habitat mangrove (Kesavan et al., 2021).

Hutan mangrove di Indonesia dinyatakan mengalami degradasi yang cukup besar, dimana pada tahun 1990 hingga 2000, terjadi penurunan luas hutan mangrove di Indonesia sebesar 17% (Giesen et al., 2007). Faturrohman & Marjuki (2017), melalui studinya juga menyebutkan bahwa dalam periode tahun 2000 hingga 2005, luas hutan mangrove mengalami penurunan sekitar 1,6% atau 50 ribu hektar. Berdasarkan laporan pemutakhiran Peta Mangrove Nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2021, diketahui luas mangrove Indonesia saat ini adalah 3.364.080 ha.

Beberapa tahun terakhir, banyak satelit yang diluncurkan dan menunjukkan kemampuan yang mumpuni dalam mengidentifikasi kondisi mangrove, seperti Landsat 5-9 (1984-sekarang), Sentinel-1 (2015-sekarang), Sentinel-2 (2015-sekarang), Worldview 1-4 (2007-sekarang), Pleiades (2011-sekarang), (Achmad et al., 2020; Cipta et al., 2021; Ghorbanian et al., 2021; Hu et al., 2020; Jamaluddin et al., 2022; Rahmandhana et al., 2022; Ridho et al., 2021; Ulqodry et al., 2021; Wang et al., 2018; Xue & Qian, 2022). Seluruh satelit tersebut dimanfaatkan untuk melakukan pemantauan kondisi mangrove di berbagai lokasi dan memberikan cakupan informasi spasial yang luas dengan resolusi temporal yang cukup panjang.

Salah satu metode yang saat ini banyak dimanfaatkan untuk melakukan pemantauan mangrove adalah klasifikasi tutupan lahan menggunakan algoritma *Random Forest* (RF) (Aviña-Hernández et al., 2023; Behera et al., 2021; Diniz et al., 2019; Ghorbanian et al., 2021; Jamaluddin et al., 2022; Jhonnerie et al., 2015; Purwanto et al., 2023). Beberapa studi telah dilakukan, dan menunjukkan potensi luar biasa yang dimiliki RF dalam melakukan identifikasi mangrove. Bahkan, beberapa penelitian mampu menghasilkan nilai *Overall Accuracy* (OA) yang tinggi hingga mencapai lebih dari 90% (Ghorbanian et al., 2021; Hu et al., 2020; Jhonnerie et al., 2015; Purwanto et al., 2023).

Fokus dari penelitian ini adalah melakukan pemetaan mangrove menggunakan algoritma RF dengan memanfaatkan beberapa kombinasi atribut. Penelitian ini mengambil lokasi di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, dengan pertimbangan wilayah tersebut memiliki

keragaman spesies serta perubahan mangrove yang cukup dinamis.

## METODE

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah (**Gambar 1**). Wilayah Segara Anakan merupakan lokasi dengan berbagai spesies mangrove dan tanaman lain. Melalui laporan yang diberikan oleh Hinrichs et al. (2009), terdapat 21 spesies dan 5 genus tanaman, dengan kerapatan pohon mencapai  $0,80 \pm 0,99$  Ind./m<sup>2</sup>. Namun, banyaknya aktivitas pembukaan lahan sawah telah menyebabkan terjadinya laju penurunan luas mangrove di Segara Anakan, dan kegiatan tersebut masih berlangsung hingga saat ini (Hariyadi & Madduppa, 2018).

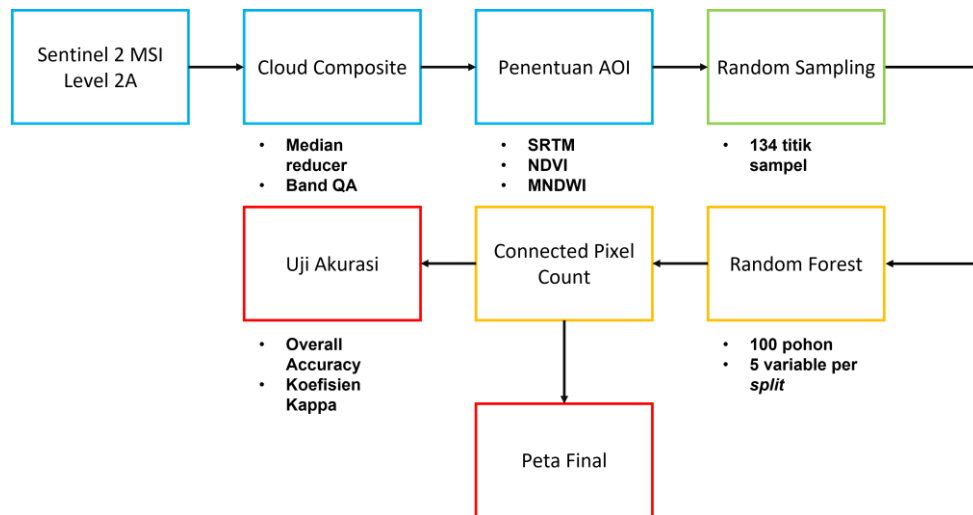


**Gambar 1.** Lokasi penelitian Segara Anakan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah.

Citra yang digunakan untuk melakukan proses klasifikasi pada penelitian ini berasal dari data *European Space Agency* (ESA) Sentinel-2 MSI Level-2A yang merupakan data *Surface Reflectance* (SR) yang telah melalui proses koreksi geometrik dan atmosferik (**Tabel 1**). Sentinel-2 sendiri adalah citra satelit multispektral yang terdiri dari 13 *band*, meliputi *visible band*, *infrared band* dan *coastal aerosol band*.

**Tabel 1.** Spesifikasi citra satelit Sentinel-2 L2A, mencakup resolusi spasial dan resolusi spektral.

Resolusi Spasial (m)	Resolusi Spektral (nm)
10	4 band (Blue (~493 nm), Green (~560 nm), Red (~665 nm), NIR (~833))
20	6 band (4 band pada Vegetation Red Edge Band (~704nm, ~740nm, ~783nm dan ~865nm) dan 2 band SWIR (~1610nm dan ~2190nm))
60	3 band (Coastal Aerosol (~443 nm), Water Vapour (~945 nm) dan Cirrus band (~1374 nm))



**Gambar 2.** Diagram aliran pengolahan pada platform GEE. Langkah-langkah terkait dengan persiapan data (biru), desain sampel (hijau), prosedur klasifikasi (kuning) dan hasil akhir (merah).

**Metode Penelitian**

Seluruh proses pengolahan dan analisis data dilakukan di dalam platform Google Earth Engine (GEE). Secara umum proses identifikasi mangrove melalui 3 tahapan utama, meliputi 1) persiapan data; 2) pembuatan desain sampel; dan 3) klasifikasi. Seluruh hasil tersebut menghasilkan 2 keluaran meliputi peta mangrove dan nilai akurasi. Gambar 2 menunjukkan diagram detail mengenai proses pengolahan data.

**Akuisisi Data Satelit**

Kumpulan citra Sentinel-2 L2A dengan cloud cover kurang dari 20 persen digunakan untuk menghasilkan komposit periode tahunan yang bebas awan di wilayah Segara Anakan, dengan tanggal akuisisi dari 1 Januari hingga 31 Desember 2020. Proses cloud masking memanfaatkan QA band (Quality Assessment) dan fungsi reducer median yang tersedia di dalam GEE. Penggunaan QA band berfungsi untuk menghapus kontaminasi awan yang terdapat pada setiap citra, sedangkan fungsi reducer median digunakan untuk memilih nilai tengah piksel dari seluruh tumpukan citra yang digunakan. Dari hasil tersebut didapatkan satu citra yang terhindar dari nilai piksel terlalu terang (misalnya awan) atau terlalu gelap (misalnya bayangan).

**Penentuan Lokasi Tumbuhnya Mangrove**

Proses selanjutnya adalah mempersempit daerah kajian dengan menentukan lokasi tumbuhnya mangrove. Dengan mengasumsikan bahwa mangrove tumbuh pada wilayah pasang surut di ketinggian yang rendah, maka kami menggunakan beberapa kombinasi parameter yang terdiri data Digital Elevation Model (DEM), indeks vegetasi dan indeks air. DEM digunakan untuk wilayah daratan dengan elevasi yang rendah, sedangkan kombinasi indeks vegetasi dan

air digunakan untuk mengenali vegetasi pada wilayah pasang surut yang terendam air secara berkala. Kombinasi pengaturan ketiga parameter tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kombinasi penentuan wilayah tumbuhnya mangrove

Parameter	Pengaturan
Ketinggian	<b>SRTM</b> dengan nilai elevasi kurang dari 50 meter
Indeks vegetasi	<b>NDVI</b> dengan nilai indeks lebih dari 0,25
Indeks air	<b>MNDWI</b> dengan nilai indeks lebih dari -0,5

Informasi ketinggian memanfaatkan data Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) dengan resolusi spasial 30 meter. Sedangkan indeks vegetasi dan air masing-masing memanfaatkan nilai Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Pettoirelli et al., 2011) dan Modified Difference Water Index (MNDWI) (Xu, 2006) yang didapatkan melalui transformasi digital citra dari data Sentinel-2 L2A, dengan analisis dilakukan pada resolusi spasial 10 meter.

**Penentuan Sampel dan Klasifikasi Citra**

Sebanyak 134 titik sampel yang terdiri dari perolehan data lapangan dan pengamatan visual citra diambil dengan menggunakan metode Cluster Random Sampling, dimana AOI dibagi ke dalam sebuah area kecil secara merata, kemudian titik sampel diambil secara acak dalam potongan area tersebut. Selanjutnya berdasarkan sampel yang dikumpulkan, 70% titik digunakan untuk proses klasifikasi, dan 30% titik untuk uji akurasi.

Sedangkan untuk proses klasifikasi, penelitian ini memanfaatkan metode klasifikasi RF untuk mengkategorikan tutupan lahan ke dalam dua kelas yang berbeda, yaitu mangrove (Mg) dan non mangrove (non Mg). Penelitian ini menggunakan

12 parameter yang digunakan sebagai input dalam proses klasifikasi (**Tabel 3**). Penggunaan RF didasarkan pada fakta bahwa metode ini dapat menghasilkan nilai akurasi yang tinggi dalam memprediksi hasil untuk masalah klasifikasi dan regresi (Breiman, 2001; Rodriguez-Galiano et al., 2012). Metode RF berjalan dengan menggabungkan sejumlah pohon keputusan (*decision tree*), dan masing-masing dilatih pada subset data yang berbeda. Studi ini memanfaatkan 100 pohon, dengan 5 variabel per *split* untuk melakukan proses klasifikasi. Dalam beberapa kasus, penggunaan 100 pohon pada metode RF dicatat mampu memberikan kinerja yang baik dalam melakukan klasifikasi, terutama untuk kumpulan data yang sedikit dan proses klasifikasi yang sederhana. Hal ini juga dikemukakan oleh Oshiro et al. (2012) yang menyebutkan bahwa metode RF bekerja baik untuk dijalankan pada jumlah pohon antara 64–128 pohon. Selain itu, pemilihan lima variabel per *split* dilakukan karena pengaturan ini dapat meningkatkan keanekaragaman dalam setiap pohon keputusan, menghasilkan kinerja yang lebih baik pada kumpulan data yang kompleks (Regier et al., 2023).

**Tabel 3.** Indeks yang digunakan dalam proses klasifikasi

Parameter	Formula	Sumber
Blue	B2	
Green	B3	
Red	B4	
NIR	B8	
NIR	B8A	
SWIR-1	B11	
SWIR-2	B12	
Simple Ratio (SR)	$\frac{NIR}{RED}$	(Jordan, 1969)
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	(Pettorelli et al., 2011)
Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)	$\frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}$	(Xu, 2006)
Greenness Chlorophyll Vegetation Index (GCVI)	$\frac{NIR}{GREEN} - 1$	(Gitelson et al., 2003)
Modular Mangrove Recognition Index (MMRI)	$\frac{ MNDWI  -  NDVI }{ MNDWI  +  NDVI }$	(Diniz et al., 2019)

**Uji Akurasi**

Langkah terakhir, dilakukan uji akurasi hasil klasifikasi dengan menggunakan metode *confusion matrix* (Congalton & Green, 2019). Langkah ini bekerja dengan cara membandingkan peta yang dihasilkan oleh klasifikasi citra dengan

data referensi. Matriks ini memberikan informasi mengenai *Overall Accuracy* (OA), dimana nilai ini menggambarkan seberapa akurat peta menggambarkan kenampakan nyata sesuai dengan data referensi (Congalton & Green, 2019). Perhitungan metode *confusion matrix* ditunjukkan pada **Persamaan (1)**.

$$Overall Accuracy = \frac{N \sum_{i=1}^k n_{ij}}{n} \dots\dots\dots(1)$$

- $k$  : jumlah kelas
- $n_{ij}$  : jumlah piksel sampel dalam sel (i,j)
- $n_{+j}$  : jumlah piksel sampel dalam kolom kelas referensi
- $n_{i+}$  : jumlah piksel sampel dalam baris kelas peta

Selanjutnya untuk mengukur nilai kesepakatan antara data referensi dan data hasil klasifikasi, dilakukan perhitungan statistik menggunakan metode Cohen Kappa yang dikembangkan pertama kali oleh Cohen (1960). Koefisien kappa Cohen bernilai antara -1 hingga 1, dengan nilai 1 menunjukkan kesepakatan sempurna, nilai 0 menunjukkan tingkat kesepakatan yang diharapkan secara kebetulan, dan nilai negatif menunjukkan kesepakatan yang lebih rendah dari tingkat kesepakatan yang diharapkan secara kebetulan. Perhitungan nilai Cohen Kappa menggunakan **Persamaan (2)**.

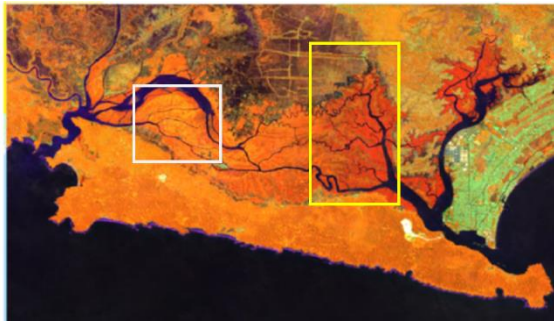
$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k m_{ij} - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)} \dots\dots\dots(2)$$

- di mana:
- $K$  : koefisien kappa
  - $N$  : jumlah nilai yang diklasifikasikan dibandingkan dengan nilai kebenaran
  - $m_{ij}$  : total nilai kebenaran kelas i yang telah diklasifikasikan ke dalam kelas i
  - $C_i$  : total nilai prediksi kelas i
  - $G_i$  : total nilai kebenaran kelas i

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Penampakan Visual Mangrove**

Berdasarkan tampilan citra Sentinel-2 LC2A komposit *RGB false color* (NIR, SWIR, red) terlihat perbedaan antara objek mangrove dengan objek non-mangrove lainnya. Objek bangunan dan lahan terbuka ditunjukkan dengan warna hijau, yang terdapat pada sisi timur wilayah kajian. Sementara objek yang mengandung air, seperti badan air dan juga sawah tadah hujan, ditunjukkan dengan warna biru gelap dan hitam. Semakin tinggi kandungan air, maka semakin gelap warna yang dihasilkan. Objek vegetasi non mangrove menjadi objek yang paling sulit dibedakan diantara seluruh objek yang ada. Objek ini memiliki warna oranye terang, sementara objek mangrove memiliki warna oranye yang lebih tua (**Gambar 4**).



**Gambar 4.** Tampilan mangrove dari komposit untuk RGB *false color* (NIR, SWIR, red). Kotak kuning menunjukkan lokasi mangrove sejati, sedangkan kotak putih menunjukkan lokasi mangrove asosiasi.

Perbedaan warna ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai yang cukup tinggi antara nilai mangrove dan non-mangrove yang terdeteksi oleh kanal NIR, SWIR, dan red. Kanal NIR dan red sensitif terhadap tingkat kehijauan vegetasi sedangkan SWIR sensitif pada tingkat kelembaban tanah. Reflektan kanal red, NIR, dan SWIR pada vegetasi non-mangrove memiliki pola yang hampir sama dimana nilai kanal NIR lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pada kanal SWIR dan red. Pada vegetasi mangrove, pola ini tidak berlaku. Nilai reflektan kanal NIR pada mangrove lebih tinggi dibandingkan dengan kanal SWIR dan red bahkan nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan nilai NIR pada vegetasi non-mangrove. Adapun nilai reflektan kanal SWIR dan red mangrove berbanding terbalik dengan nilai NIR bahkan lebih rendah dibandingkan dengan nilai pada vegetasi non-mangrove. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari kanal SWIR yang sensitif terhadap kelembaban dari permukaan tanah dimana lokasi tumbuh mangrove selalu lembab akibat adanya pasang surut.

Mangrove Segara Anakan tumbuh memanjang dari arah barat ke timur dengan berbagai variasi warna tampilan citra, terlihat dari warna oranye tua dan yang sedikit lebih cerah. Mangrove berwarna oranye muda terdeteksi di Segara Anakan bagian barat sedangkan warna oranye tua di bagian timur. Gradasi warna disebabkan oleh perbedaan spesies yang tumbuh di wilayah tersebut. Berdasarkan informasi dari berbagai literatur dan hasil survei yang telah dilakukan, diketahui bahwa mangrove yang tumbuh di bagian barat adalah mangrove asosiasi dan mangrove yang tumbuh di sisi bagian timur didominasi oleh mangrove sejati (Anggraini et al., 2019). Spesies mangrove asosiasi ini memiliki adaptasi khusus yang memungkinkannya tumbuh di tanah yang lebih kering dan tidak tergenang air laut secara terus-menerus. Sementara itu, mangrove sejati tumbuh di daerah yang lebih rendah di sepanjang garis pantai dan terendam air laut secara terus-menerus (Kandasamy & Bingham, 2001; Spalding et al., 2010; Tomlinson, 2016). Koswara et al. (2017) menyatakan bahwa mangrove di sisi bagian barat didominasi oleh

mangrove *Derris sp* dan *Acanthus sp*, bagian tengah dijumpai adanya mangrove sejati dan dominan mangrove ikutan lainnya, dan di bagian timur didominasi oleh mangrove sejati dengan kerapatan yang cukup tinggi.

### Penentuan AOI Mangrove

Pembatasan AOI dengan DEM kurang dari 50 meter, NDVI lebih besar dari 0,25, dan MNDWI lebih besar dari -0,5 digunakan dengan asumsi bahwa mangrove berada pada wilayah pesisir, dimana mangrove merupakan salah satu jenis vegetasi yang hanya hidup pada wilayah dengan ketinggian kurang dari 50 meter dan masih tergenang oleh air. Melalui penggunaan tiga parameter tersebut sebagai pembatas dalam menentukan AOI, didapatkan wilayah kajian secara spesifik sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Hasil median komposit untuk RGB *false color* (NIR, SWIR, Red) setelah ditambahkan fungsi *masking* melalui 3 parameter (DEM, NDVI, MNDWI).

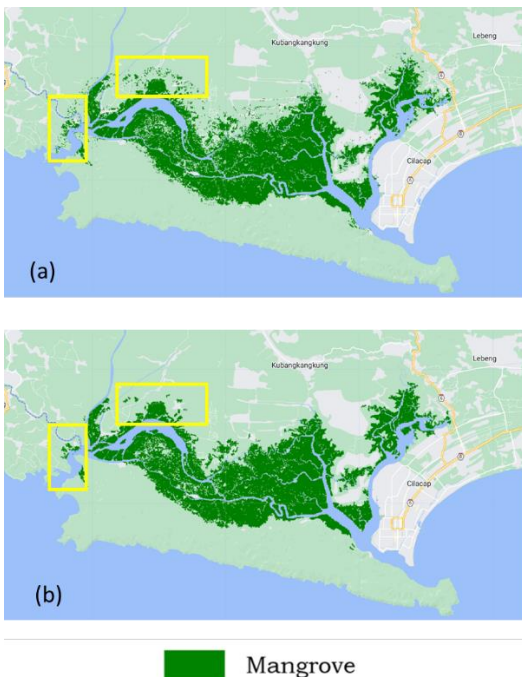
Penentuan AOI dalam rangkaian proses klasifikasi menjadi sebuah langkah yang penting untuk menghasilkan klasifikasi dengan nilai akurasi yang baik. Penggunaan AOI yang terlalu luas dapat menyebabkan banyaknya jenis tutupan lahan lain yang masuk ke dalam AOI, sehingga meningkatkan potensi adanya kesalahan klasifikasi (*misclassification*) yang cukup banyak. Pemotongan AOI secara spesifik di lokasi kajian dapat meminimalisir potensi kesalahan klasifikasi tersebut.

### Proses Filtering

Proses *filtering* dilakukan untuk menghasilkan klasifikasi bebas *noise*, sehingga informasi yang didapatkan jauh lebih akurat. Melalui fungsi filter "*connectedPixelCount*" pada *platform* GEE, *noise* teridentifikasi dalam piksel yang tidak terhubung dengan kumpulan piksel (mangrove). **Gambar 6** menunjukkan hasil pengolahan data citra sebelum dan sesudah dilakukannya proses *filtering*.

Pada hasil klasifikasi sebelum dilakukannya *filtering*, terlihat adanya sebaran piksel di sekitar daratan yang terdeteksi sebagai mangrove (kotak kuning). Ini adalah *noise*, dimana citra satelit gagal mendeteksi objek tersebut, sehingga terjadi

kesalahan klasifikasi dalam pendeteksian objek mangrove. *Noise* yang diperoleh pada pengolahan ini mungkin disebabkan karena beberapa faktor, seperti gangguan atmosfer, resolusi citra yang kurang detail atau karena adanya pembiasan radiometrik (Kumar & Jebarani, 2019). Penurunan kualitas dari hasil klasifikasi inilah yang selanjutnya diperbaiki dengan melakukan proses *filtering*. Setelah dilakukannya proses *filtering*, dapat terlihat bahwa beberapa kesalahan klasifikasi yang terjadi sebelumnya dapat dihilangkan dengan baik.



**Gambar 6.** Hasil klasifikasi mangrove berbasis piksel sebelum diterapkan fungsi filter (a), hasil klasifikasi mangrove setelah diterapkan filter (b). Kotak kuning menunjukkan area yang terpengaruh dengan adanya proses *filtering*.

### Hasil Uji Akurasi

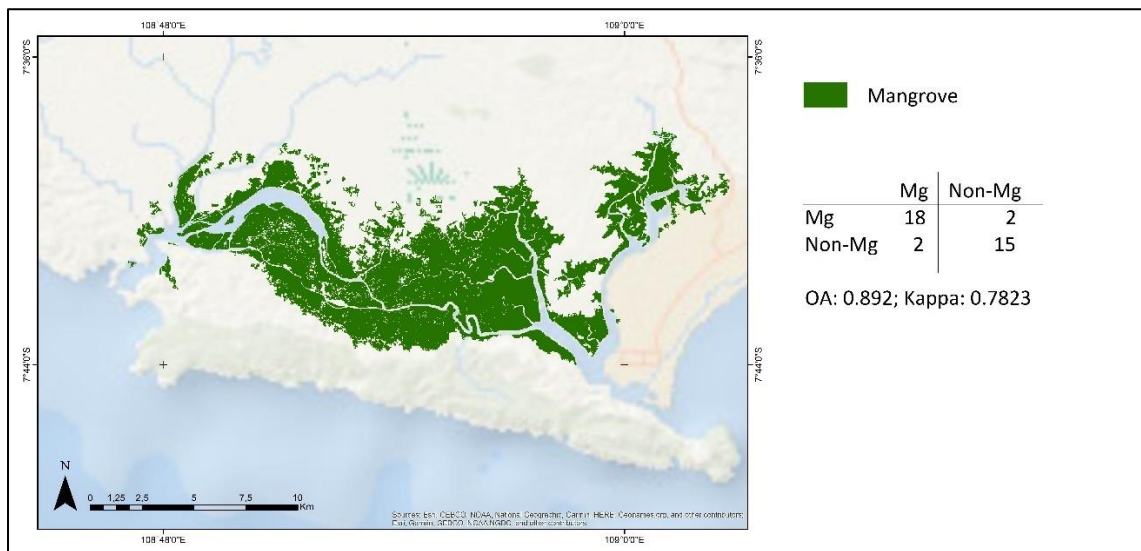
Metode RF dengan 12 parameter berhasil melakukan klasifikasi objek mangrove dengan hasil yang memuaskan, dengan OA mencapai 0,892 (**Gambar 7**). Hasil klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa citra Sentinel-2 dapat memberikan informasi yang akurat tentang objek mangrove di lokasi yang diuji. Koefisien kappa

yang mencapai 0,782 juga menunjukkan bahwa adanya tingkat kesepakatan yang baik antara titik uji dan hasil klasifikasi. Namun, perlu dicatat bahwa tingginya nilai akurasi dapat dipengaruhi oleh penggunaan kelas yang terbatas hanya Mangrove (Mg) dan Non-Mangrove (Non-Mg). Penggunaan kelas yang terbatas ini bertujuan untuk meminimalisir pemisahan data yang kompleks sehingga dapat menghasilkan klasifikasi dengan nilai akurasi yang lebih baik (Dwiputra et al., 2016).

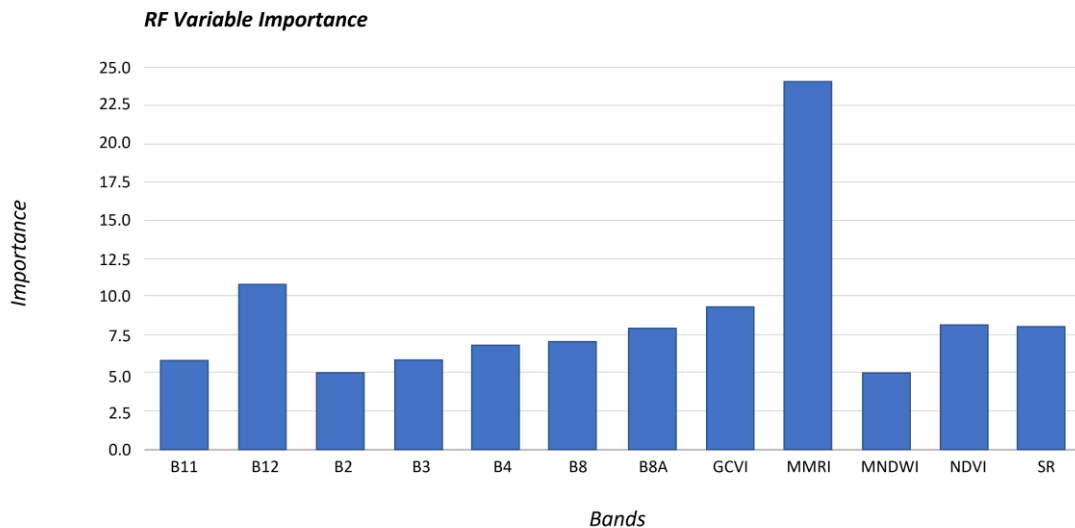
Melalui pengolahan RF juga dihasilkan informasi mengenai *variable importance*. Data ini selanjutnya dapat memberikan informasi yang penting dalam menentukan variabel mana yang memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil klasifikasi. Dalam studi ini hasil *variable importance* menunjukkan bahwa beberapa input memiliki nilai penting yang tinggi dalam melakukan klasifikasi objek mangrove (**Gambar 8**).

Pada indeks vegetasi yang digunakan, diketahui MMRI memiliki pengaruh yang besar dalam membedakan antara area mangrove dan non-mangrove. Hal ini sesuai dengan apa yang telah dilakukan oleh Diniz et al., (2019), dimana melalui penelitiannya disebutkan bahwa indeks MMRI memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memisahkan objek mangrove dan non-mangrove jika dibandingkan beberapa indeks lainnya, seperti NDVI, NDWI dan CMRI. Lebih lanjut, MMRI juga disebutkan mampu menghasilkan nilai OA yang lebih tinggi 1,5 kali lipat, dan nilai kappa yang lebih tinggi 4 kali lipat dibandingkan dengan nilai yang dilaporkan di indeks lainnya.

Selanjutnya jika dilihat dari masing-masing *band* yang dimiliki citra satelit Sentinel-2, diperoleh informasi bahwa *band* 12 (SWIR-2) memiliki kemampuan yang paling baik dalam memisahkan objek mangrove dan non-mangrove. Hal ini terjadi karena *band* tersebut memiliki tingkat reflektansi yang baik untuk objek vegetasi. MNDWI menjadi parameter yang memiliki nilai *variable importance* yang paling rendah. Ini terjadi karena satelit memiliki kesulitan untuk mendeteksi objek air di wilayah mangrove dengan tajuk yang lebat, sehingga informasi keberadaan air sedikit sulit diperoleh.



Gambar 7. Hasil klasifikasi RF menggunakan 12 parameter.



Gambar 8. Variable Importance dari 12 parameter yang digunakan dalam klasifikasi mangrove menggunakan metode Random Forest.

**KESIMPULAN**

Penelitian ini mengungkapkan bahwa algoritma RF memiliki kemampuan yang mumpuni dalam mengidentifikasi ekosistem mangrove. Klasifikasi menggunakan 12 parameter (*blue, green, red, red edge, NIR, SWIR-1, SWIR-2, NDVI, MNDWI, SR, GCVI, MMRI*) mampu menghasilkan nilai akurasi yang baik mencapai 0,892 dengan koefisien kappa mencapai 0,782. MMRI menjadi parameter yang diketahui memiliki kemampuan yang paling baik dalam memisahkan objek mangrove dan non-mangrove, diikuti selanjutnya oleh SWIR-2 (*band 12*).

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih Penulis ucapkan kepada Prof. Dr. M. Rokhis Khomarudin S.Si. M.Si., yang telah mendukung penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh petugas lapangan dan masyarakat lokal Segara

Anakan, Cilacap yang telah membantu dalam pengambilan data lapangan.

**DAFTAR PUSTAKA**

Achmad, E., Nursanti, N., Marwoto, Fazriyas, F. & Jayanti, D.P. (2020). Studi kerapatan mangrove dan perubahan garis pantai tahun 1989-2018 di Pesisir Provinsi Jambi. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(2), 138-152. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.138-152>.

Anggraini, N., Julzarika, A. & Adawiah, S.W. (2019). Detection of true mangroves in Indonesia using satellite remote sensing. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 4(3), 157-167. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.4.3.2019.2488.157-167>.

Arkwright, D. & Kaomaneng, I.S. (2018). Mangrove ecotourism development on Kakaralamo Island North Halmahera: Community perception, participation, and development strategies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

- Science, 175(012232). IOP Publishing Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012232>.
- Aviña-Hernández, J., Ramírez-Vargas, M., Roque-Sosa, F. & Martínez-Rincón, R.O. (2023). Predictive performance of random forest on the identification of mangrove species in arid environments. *Ecological Informatics*, 75(102040). DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102040>.
- Behera, M.D., Barnwal, S., Paramanik, S., Das, P., Bhattacharya, B.K., Jagadish, B., ... & Behera, S. K. (2021). Species-level classification and mapping of a mangrove forest using random forest—utilisation of AVIRIS-NG and Sentinel Data. *Remote Sensing*, 13(11), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13112027>.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Cipta, I.M., Sobarman, F.A., Sanjaya, H. & Darminto, M.R. (2021). Analysis of mangrove forest change from Multitemporal Landsat Imagery using Google Earth Engine Application: (Case Study: Belitung Archipelago 1990-2020). *2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology, AGERS 2021-Proceeding*, 90-95. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. DOI: <https://doi.org/10.1109/AGERS53903.2021.9617354>.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46. DOI: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>.
- Congalton, R. & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Third Edition*. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429052729>.
- Diniz, C., Cortinhas, L., Nerino, G., Rodrigues, J., Sadeck, L., Adami, M. & Souza-Filho, P.W.M. (2019). Brazilian mangrove status: Three decades of satellite data analysis. *Remote Sensing*, 11(7), 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11070808>.
- Dwiputra A.J., Suharyadi, R., & Danoedoro, P. (2016). Pengaruh jumlah kelas dan skema klasifikasi terhadap akurasi informasi penggunaan lahan hasil klasifikasi berbasis objek dengan teknik support vector machine di sebagian Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*, 30(2), 120-133. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.22146/mgi.15632>.
- Faturrohman, S. & Marjuki, B. (2017). *Identifikasi dinamika spasial sumberdaya mangrove di Wilayah Pesisir Kabupaten Demak Jawa Tengah*. Diakses dari <https://jurnal.ugm.ac.id/mgi>. [9 September 2022].
- Ghorbanian, A., Zaghian, S., Asiyabi, R.M., Amani, M., Mohammadzadeh, A. & Jamali, S. (2021). Mangrove ecosystem mapping using sentinel-1 and sentinel-2 satellite images and random forest algorithm in google earth engine. *Remote Sensing*, 13(13), 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13132565>.
- Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M. & Scholten, L. (2007). *Mangrove guidebook for Southeast Asia*. FAO and Wetlands International. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok. Thailand.
- Gitelson, A.A., Vina, A., Arkebauer, T.J., Rundquist, D. C., Keydan, G. & Leavitt, B. (2003). Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*, 30(5), 52-1-52-4. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002gl016450>.
- Hariyadi, S. & Madduppa, H. (2018). Condition and mangrove density in Segara Anakan, Cilacap Regency, Central Java Province, Indonesia. *AACL Bioflux*, 11(4), 1055-1068.
- Henri, H. & Ardiawati, S. (2020). Ecotourism development of Munjang Mangrove Forest and Conservation Efforts based on community approach. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 7(1), 106-116. DOI: <https://doi.org/10.31289/biolink.v7i1.2952>.
- Hinrichs, S., Nordhaus, I. & Geist, S.J. (2009). Status, diversity and distribution patterns of mangrove vegetation in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 9(4), 275-289. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-008-0074-4>.
- Hu, L., Xu, N., Liang, J., Li, Z., Chen, L. & Zhao, F. (2020). Advancing the mapping of mangrove forests at national-scale using Sentinel-1 and Sentinel-2 time-series data with Google Earth Engine: A case study in China. *Remote Sensing*, 12(19). DOI: <https://doi.org/10.3390/RS12193120>.
- Jamaluddin, I., Chen, Y.-N., Ridha, S.M., Mahyatar, P. & Ayudyanti, A.G. (2022). Two decades mangroves loss monitoring using Random Forest and Landsat Data in East Luwu, Indonesia (2000–2020). *Geomatics*, 2(3), 282-296. DOI: <https://doi.org/10.3390/geomatics2820016>.
- Jhonnerie, R., Siregar, V.P., Nababan, B., Prasetyo, L.B. & Wouthuyzen, S. (2015). Random Forest classification for mangrove land cover mapping using Landsat 5 TM and ALOS Palsar Imageries. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 215-221. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.028>.
- Jordan, C.F. (1969). Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50(4), 663-666. DOI: <https://doi.org/10.2307/1936256>.
- Kandasamy, K. & Bingham, B. (2001). Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40, 81-251. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(01\)40003-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(01)40003-4).
- Kesavan, S., Xavier, K.A.M., Deshmukhe, G., Jaiswar, A.K., Bhusan, S. & Shukla, S.P. (2021). Anthropogenic pressure on mangrove ecosystems: Quantification and source identification of surficial and trapped debris. *Science of the Total Environment*, 794, 148677. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148677>.
- Koswara, S.D., Ardli, E.R. & Yani, E. (2017). The monitoring of mangrove vegetation community structure in Segara Anakan Cilacap for the Period of 2009 and 2015. *Scripta Biologica*, 4(2), 113. DOI: <https://doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.2.414>.
- Kumar, L.A. & Jebarani, M.R. (2019). A comprehensive review on speckle denoising techniques in satellite images. *2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, India, 2019*, 0245-0248. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2019.8697926>.
- Mafi-Gholami, D., Zenner, E.K. & Jaafari, A. (2020). Mangrove regional feedback to sea level rise and drought intensity at the end of the 21st century.

- Ecological Indicators*, 110(105972). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105972>.
- Menéndez, P., Losada, I.J., Torres-Ortega, S., Narayan, S., & Beck, M.W. (2020). The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific Reports*, 10(4404), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61136-6>.
- Oshiro, T.M., Perez, P.S. & Baranauskas, J.A. (2012). *How many trees in a random forest?* 154-168pp. In P. Perner (Ed.) *Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. Germany.
- Ouyang, X. & Guo, F. (2021). *Patterns of mangrove productivity and support for marine fauna*. 1783-1802pp. In Grigore, M.N. (Ed) *Handbook of Halophytes*. Springer Nature. Switzerland A.G. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57635-6\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57635-6_70).
- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jedrzejewski, B., Lima, M. & Kausrud, K. (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46, 15-27. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00936>.
- Purwanto, A.D., Wikantika, K., Deliar, A. & Darmawan, S. (2023). Decision tree and random forest classification algorithms for mangrove forest mapping in Sembilang National Park, Indonesia. *Remote Sensing*, 15-16(1), 1-31. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15010016>.
- Rahmandhana, A.D., Kamal, M. & Wicaksono, P. (2022). Spectral reflectance-based mangrove species mapping from WorldView-2 Imagery of Karimunjawa and Kemujan Island, Central Java Province, Indonesia. *Remote Sensing*, 14(1), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14010183>.
- Regier, P., Duggan, M., Myers-Pigg, A. & Ward, N. (2023). Effects of random forest modeling decisions on biogeochemical time series predictions. *Limnology and Oceanography: Methods*, 21(1), 40-52. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/lom3.10523>.
- Fariz, T.R., Permana, P.I., Daeni, F. & Putra, A.C.P. (2021). Pemetaan Ekosistem Mangrove di Kabupaten Kubu Raya Menggunakan Machine Learning pada Google Earth Engine. *Jurnal Geografi*, 18(2), 83-89. DOI: <https://doi.org/10.15294/jg.v18i2.30231>.
- Rodriguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M. & Rigol-Sanchez, J.P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>.
- Rudianto, R., Bengen, D.G. & Kurniawan, F. (2020). Causes and effects of mangrove ecosystem damage on carbon stocks and absorption in East Java, Indonesia. *Sustainability*, 12(10319), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/su122410319>.
- Spalding, M., Kainuma, M. & Lorna Collins, L. (2010). *World Atlas of Mangroves*. Routledge. Taylor & Francis Group. London. UK. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781849776608>.
- Tomlinson, P.B. (2016). *The Botany of Mangroves* (2nd ed.). Cambridge University Press. Cambridge. UK. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139946575>.
- Ulqodry, T.Z., Aprianto, A.E., Agussalim, A., Aryawati, R. & Absori, A. (2021). Analisis tutupan mangrove Taman Nasional Berbak-Sembilang melalui Citra Landsat-8 dan Pemantauan LAI. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(3), 393-401. DOI: <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i3.12278>.
- Wang, M., Cao, W., Guan, Q., Wu, G., Jiang, C., Yan, Y. & Su, X. (2018). Potential of texture metrics derived from high-resolution Pleiades satellite data for quantifying aboveground carbon of Kandelia candel mangrove forests in Southeast China. *Wetlands Ecology and Management*, 26(5), 789-803. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11273-018-9610-2>.
- Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
- Xue, Z. & Qian, S. (2022). Generalized composite mangrove index for mapping mangroves using Sentinel-2 time series data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 5131-5146. DOI: <https://doi.org/10.1109/jstars.2022.3185078>.



*Halaman Ini Sengaja Kami Kosongkan*

# PENGARUH KENAIKAN MUKA AIR LAUT TERHADAP KEBERADAAN PULAU-PULAU KECIL

Studi Kasus di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu

*(The Impact of Sea Level Rise on Small Islands Existence: Case Study in Panggang Island and Pramuka Island, Administration District of Kepulauan Seribu)*

Herianto<sup>1</sup>, Baba Barus<sup>2</sup>, Vincentius P. Siregar<sup>3</sup>, Nadia Shalehah<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, FP-IPB, Bogor

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, FP-IPB, Bogor

<sup>3</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

<sup>4</sup>Pusat Pemetaan Kelautan dan Lingkungan Pantai, BIG, Bogor

Jl. Raya Darmaga, Gd. Andi Hakin Nasoetion, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

E-mail: [leeherianto@apps.ipb.ac.id](mailto:leeherianto@apps.ipb.ac.id)

Diterima: 07 Desember 2022; Direvisi: 17 Februari 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 5 April 2023

## ABSTRAK

Kenaikan muka air laut merupakan salah satu akibat yang disebabkan oleh pemanasan global. Pemanasan global mempercepat cairnya gletser di permukaan bumi yang menyebabkan kenaikan muka air laut. Kenaikan muka air laut menyebabkan pesisir dan pulau-pulau kecil yang elevasinya relatif rendah terhadap muka air laut secara perlahan akan terendam. Pulau Panggang dan Pulau Pramuka memiliki ketinggian relatif rendah terhadap muka air laut, sehingga pulau-pulau tersebut rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan luas pulau dan wilayah terdampak akibat kenaikan muka air laut. Metode yang digunakan yaitu melakukan pengolahan data pasang surut untuk referensi, menghitung luas pulau, melakukan interpolasi kenaikan muka air laut untuk mendapatkan nilai kenaikan muka air laut dan melakukan model kenaikan muka air laut dan dampaknya terhadap luas Pulau Pramuka dan Pulau Panggang tahun 2050 dan 2100. Hasil pengolahan pasang surut menghasilkan nilai *Highest Astronomical Tide* (HAT) 1,85 m, Mean Sea Level (MSL) 1,36 m, dan *Lowest Astronomical Tide* (LAT) 0,81 m terhadap nol palem, dengan tipe pasang surutnya harian tunggal. Luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2021 yaitu 15,09 ha dan 23,41 ha. Berdasarkan hasil interpolasi, terjadi kenaikan muka air laut di lokasi kajian sebesar 2,55 cm per tahun. Luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang berada di bawah HAT pada tahun 2050 yaitu seluas 7,53 ha dan 3,76 ha. Luas pulau yang berada di bawah HAT tahun 2100 menjadi 14,95 ha untuk Pulau Panggang dan 23,27 ha untuk Pulau Pramuka.

**Kata kunci:** muka air laut, pasang surut, perubahan iklim, pulau-pulau kecil

## ABSTRACT

*Sea level rise is one of the impacts of global warming. Global warming accelerates glaciers melting on the Earth's surface, which causes sea level rise. Sea level rise causes coastal and small islands, where the elevation is relatively low, to be submerged slowly. Panggang Island and Pramuka Island have relatively low elevations relative to sea level, making them vulnerable to the impacts of sea level rise. This study aims to determine the changes in the area of the island and the affected regions in the spatial utilization zone due to sea level rise. This research processed tidal data as reference, calculated the islands' area, interpolated the rise of sea level to obtain the increasing value of the sea level, and modeled the sea level rise and the impact to the extended area of Pramuka and Panggang Island in 2050 and 2100. The tidal data processing resulted in Highest Astronomical Tide (HAT) 1.85 m, Mean Sea Level (MSL) 1.36 m, Lowest Astronomical Tide (LAT) 0.81 m to zero tidal staff with tidal type diurnal. The total area of Panggang and Pramuka Island in 2021 are 15.09 ha and 23.41 ha, respectively. Based on the sea level interpolation, the sea level of the study area rises at 2.55 cm per year. The total area of Panggang and Pramuka Island under the HAT in 2050 will be 7.53 ha and 3.76 ha, respectively. In 2100, the total area will increase to 14.95 ha and 23.27 ha for Panggang and Pramuka Island, respectively.*

**Keywords:** sea level rise, tides, climate change, small islands

## PENDAHULUAN

Pemanasan global menjadi salah satu penyebab naiknya permukaan laut, dimana dapat mengakibatkan pulau-pulau kecil menghadapi

ancaman yang sangat nyata dari dampak perubahan iklim (Nurse et al., 2014). Kondisi tersebut terlihat semakin nyata dengan mencairnya lapisan es dan kandungan panas laut meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas

rumah kaca (Nerem et al., 2018). Kenaikan muka air laut menyebabkan berkurangnya wilayah daratan yang disebabkan karena tenggelamnya kawasan pesisir (Sitianingsih et al., 2018). Tenggelamnya kawasan pesisir dapat disebabkan oleh faktor alami ataupun akibat aktivitas manusia (antropogenik) (Handiani et al., 2019).

Dampak yang ditimbulkan dari pencairan gunung-gunung es bukan hanya mengakibatkan naiknya permukaan air laut, tetapi juga menghilangkan atau menenggelamkan pulau-pulau kecil suatu negara (Karlina & Viano, 2020). Indonesia sebagai negara kepulauan dapat mengalami dampak kenaikan muka air laut, karena kemungkinan yang dapat terjadi adalah adanya pulau kecil yang tenggelam sehingga dapat mengakibatkan kerugian yang besar (Mulyani, 2021). Eksistensi pulau-pulau kecil sangat dipengaruhi oleh faktor endogen (gempa bumi) maupun eksogen (abrasi, erosi, atau peningkatan permukaan air laut) (Prabowo & Salahudin, 2016). Pengelolaan wilayah pesisir merupakan tantangan global, mengingat adanya peningkatan ancaman dan tekanan baik dari aktivitas manusia maupun perubahan iklim (Brooks et al., 2020). Bukti nyata tenggelamnya pulau telah berhasil direkam dalam survei lapangan di 5 pulau oleh Ramdhan et al. (2019), yaitu Pulau Nyamuk Besar/Nirwana, Pulau Tala, Pulau Nusi, Pulau Ubi dan Pulau Dapur. Pulau-pulau tersebut teridentifikasi sebagai pulau yang tenggelam di Teluk Jakarta.

Kenaikan muka air laut di perairan Indonesia sangat beragam dengan kenaikan muka air laut tertinggi berada di Selat Sunda sebesar 27,06 mm/tahun sedangkan kenaikan terendah berada di Laut Flores sebesar 1,83 mm/tahun (Mayasari & Handoko, 2009). Kenaikan muka air laut merupakan salah satu penyebab terjadinya perubahan garis pantai (Darmiati et al., 2020) dengan indikasi adanya perubahan posisi garis pantai ke wilayah darat (Kisnarti & Prasita, 2012). Dampak utama dari kenaikan muka air laut adalah terjadinya perubahan pada kondisi fisik lingkungan (Dasanto et al., 2020). Berdasarkan data resmi yang dirilis oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) jumlah pulau yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia adalah sebanyak 17.000 pulau (BIG, 2021a). Sebagian besar pulau di Indonesia merupakan pulau kecil dengan luasan kurang dari 2.000 km<sup>2</sup> (RI, 2020).

Hilangnya ekosistem mangrove dan adanya kenaikan muka air laut serta besarnya energi gelombang laut yang menghempas ke daratan mengakibatkan bencana di wilayah pesisir, salah satunya adalah banjir rob (Handiani et al., 2019). Hal tersebut sesuai dengan yang disampaikan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) bahwa Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu memiliki ancaman gelombang ekstrim dan abrasi dengan tingkat ancaman tinggi (BNPB, 2021). Elevasi pulau yang relatif rendah memerlukan adanya pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan untuk mengantisipasi adanya

ancaman bencana akibat kenaikan permukaan air laut, hal tersebut perlu dijadikan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk melindungi wilayah pesisir (Meilianda et al., 2019). Perubahan luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang berada di bawah HAT berdampak terhadap penduduk yang tinggal di pulau-pulau tersebut. Hal tersebut dikarenakan jumlah penduduk yang tinggal di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka tergolong sudah padat. Oleh sebab itu maka perlu dilakukan mitigasi bencana agar dampak kenaikan muka air laut dapat diminimalisir. Tujuan dari tulisan ini yaitu untuk menganalisis perubahan luas pulau dan luas zona pemanfaatan terdampak kenaikan muka air laut di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka.

## METODE

### Lokasi Penelitian

Pulau Panggang secara geografis terletak pada posisi 106°36'04,00" BT, 05°44'17,00" LS, pulau pramuka terletak pada posisi 106°36'50,00" BT, 05°44'44,00" LS. Pulau Panggang dan Pulau Pramuka berada di Kelurahan Pulau Panggang, Kecamatan Kepulauan Seribu Utara, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu. Pulau Panggang dan Pulau Pramuka merupakan pulau-pulau kecil yang berada di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu yang merupakan kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKpS) (Afifah et al., 2019). Berdasarkan Perda No. 1 Tahun 2014 tentang rencana detail tata ruang dan rencana zonasi, Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dialokasikan sebagai zona perumahan.

Berdasarkan Peraturan Gubernur Nomor 31 Tahun 2022 tentang Rencana Detail Tata Ruang (RDTR), pemanfaatan ruang di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dibagi menjadi beberapa zona yang meliputi zona bahu jalan, zona pelayanan umum, zona kantor, zona perlindungan setempat, zona perumahan, zona ruang terbuka hijau dan zona transportasi.

Rata-rata elevasi Pulau Panggang dan Pulau Pramuka terhadap *mean sea level* yaitu 1,2 m dan 1,5 m. Tipe pasang surut di wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu *diurnal* atau harian tunggal (Suhery et al., 2017).

Jumlah penduduk yang tinggal di kedua pulau tersebut sebanyak 7.129 jiwa dengan rincian 5.864 jiwa tinggal di Pulau Panggang dan 1.265 jiwa tinggal di Pulau Pramuka (BPS Kabupaten Kepulauan Seribu, 2021).

Berdasarkan data iklim tahun 2021 menunjukkan bahwa suhu tertinggi yaitu 35,0° C dan suhu terendah 21,6° C, dengan rata-rata suhu bulanan berkisar antara 25,7-30,7° C. Lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

### Data Penelitian

Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data garis pantai tahun 2021 skala 1:5.000, data *Digital Elevation Model (DEM)* tahun 2021 dan data pasang surut tahun 2021 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG), Peta Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka tahun 2022 yang diakses di <https://jakartasatu.jakarta.go.id/>.

Selain data spasial dibutuhkan juga data non spasial yang berupa data kenaikan muka air laut berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tahun 2009. Data kenaikan muka air laut yang diamati di beberapa lokasi di Indonesia diinterpolasi untuk mengetahui kenaikan muka air laut di lokasi kajian.

Data pasang surut diperoleh dari BIG hasil survei tahun 2021 selama 57 hari. Data pasang surut digunakan untuk mengetahui nilai tipe pasang surut, nilai *Highest Astronomical Tide (HAT)*, *Mean Sea Level (MSL)* dan *Lowest Astronomical Tide (LAT)*. Data Garis pantai HAT digunakan sebagai dasar untuk menghitung luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2021. Nilai HAT digunakan sebagai referensi ketinggian untuk data DEM yang sebelumnya masih direferensikan terhadap MSL.

### Metode Penelitian

Metode penelitian secara keseluruhan disajikan melalui diagram alir ada **Gambar 2**.

### Pengolahan Data Pasang Surut

Pengamatan pasang surut dilakukan selama 15 atau 29 piantan dengan 1 piantan = 25 jam (Putra et al., 2019). Stasiun pasang surut terletak di dermaga Pulau Pramuka dengan menggunakan peralatan *veleport*. Data yang diperoleh berupa nilai ketinggian air laut per 5 menit. Data diolah dengan menggunakan metode *Least Square* dan diprediksi selama 18,6 tahun. Hal ini dikarenakan periode yang diperlukan untuk bulan untuk berputar dan kembali ke posisi semula, yaitu 18,6 tahun (Hicks, 2006). Hasil yang diperoleh berupa nilai tinggi air pada saat pasang tertinggi, tinggi muka air laut rata-rata, tinggi muka air laut surut terendah. Nilai tinggi

air pada saat pasang tertinggi digunakan referensi terhadap nilai ketinggian DEM Pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Data pasang surut diolah dengan menggunakan metode *least square*. Data pasang surut disusun berdasarkan urutan waktu dan tinggi kedudukan air (dd/mm/yyyy hh:mm:ss, *Heigth (m)*). **Tabel 1** menyajikan contoh hasil pengolahan data pasang surut pada bulan Mei dan Juli 2021.

### Perhitungan Luas Pulau

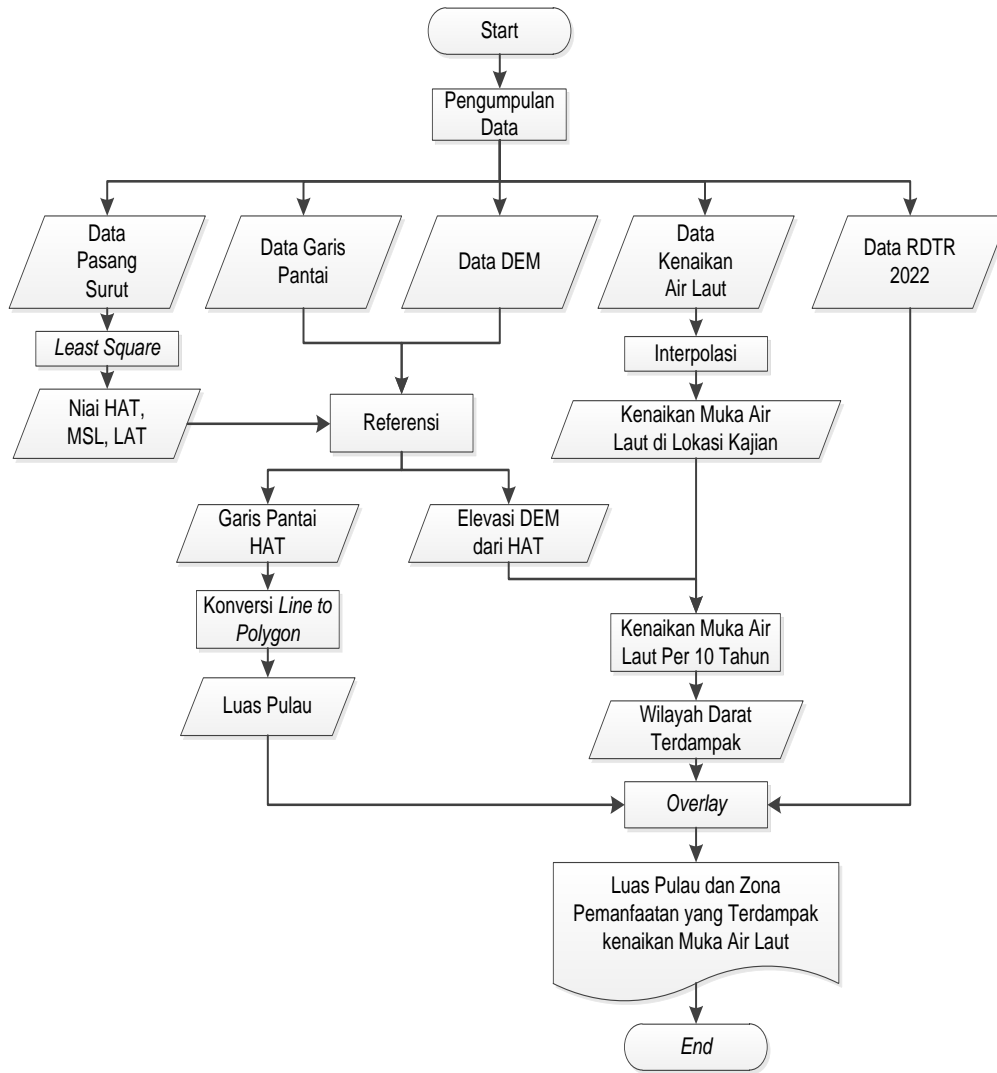
Pulau merupakan daratan yang terbentuk secara alami, selalu dikelilingi air dan tidak tenggelam pada saat pasang tinggi (UNCLOS, 1982). Pembentukan pulau dengan menggunakan data garis pantai dari BIG hasil survei tahun 2021 (BIG, 2021b) yang terdiri atas 3 garis pantai yaitu garis pantai air surut terendah (LAT), garis pantai muka air laut rata-rata (MSL), garis pantai air laut pasang tertinggi (HAT). Selanjutnya dipilih garis pantai HAT atau garis pantai pasang tertinggi untuk menghitung luas pulau dengan metode konversi *line to polygon*. *Feature* pulau yang berupa poligon selanjutnya dihitung luasnya dalam satuan hektar (ha).

### Perhitungan Kenaikan Muka Air Laut

Ancaman dan bencana terhadap pulau kecil dapat berbeda-beda tergantung pada karakteristik dan tipologi pulau tersebut (Mutaqin et al., 2022). Penentuan kenaikan muka air laut dilakukan dengan menggunakan metode interpolasi data hasil penelitian sebelumnya. Data kenaikan muka air laut di masing-masing stasiun disajikan pada **Tabel 2**.

Perhitungan kenaikan muka air laut setiap 10 tahun untuk mengetahui wilayah pulau (darat) yang posisinya berada di bawah nilai HAT. Sehingga dapat diketahui seberapa luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka mulai tahun 2021 sampai tahun 2100. Peta Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) yang berformat gambar dilakukan *georeferencing* dan didigitasi untuk mendapatkan peta RDTR format vektor selanjutnya dilakukan *topology*. Data peta RDTR di-*overlay* dengan area yang terdampak kenaikan muka air laut sampai tahun 2050 sehingga diperoleh luasan zona pemanfaatan yang terdampak di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka.

Metode interpolasi yang digunakan adalah *Spline*, *Natural Neighbor*, *Krigging* dan *Invers Distance Weighted (IDW)*. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Geographic Information System (GIS)*. Raster yang terbentuk dari metode interpolasi selanjutnya diambil nilai elevasinya dengan menggunakan metode *add surface information*. Karena merupakan salah satu bencana, maka kenaikan muka air laut yang tertinggi yang diambil. Kenaikan muka air laut dihitung kenaikannya pada tahun 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090 dan 2100 dengan nilai hasil interpolasi kenaikan air laut yang dipilih yaitu nilainya mendekati kenaikan muka air laut di lokasi terdekat.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Tabel 1. Hasil pengolahan data pasang surut.

dd/mm/yyyy	hh:mm:ss	Height (m)
26/05/2021	13:54:00	1,278
26/05/2021	13:59:00	1,287
26/05/2021	14:04:00	1,291
26/05/2021	14:09:00	1,296
26/05/2021	14:14:00	1,305
26/05/2021	14:19:00	1,307
26/05/2021	14:24:00	1,314
26/05/2021	14:29:00	1,323
26/05/2021	14:34:00	1,326
22/07/2021	8:38:00	0,907
22/07/2021	8:43:00	0,912
22/07/2021	8:48:00	0,917
22/07/2021	8:53:00	0,920
22/07/2021	8:58:00	0,924
22/07/2021	8:43:00	0,912
22/07/2021	8:48:00	0,917
22/07/2021	8:53:00	0,920
22/07/2021	8:58:00	0,924

Sumber: BIG (2021b)

Tabel 2. Kenaikan muka air laut.

Sta.	Latitude	Longitude	Kenaikan muka air laut (mm)
1	2 LU	98 BT	5,4
2	4 LU	99 BT	11,2
3	4 LU	107 BT	5,8
4	8 LS	102 BT	13,15
5	6,125 LS	105,25 BT	27,06
6	5 LS	111 BT	6,08
7	7,5 LS	114 BT	5,58
8	2,5 LS	119 BT	2,12
9	5 LS	121,75 BT	1,83
10	4 LS	127 BT	4,42
11	2 LS	130 BT	6,95
12	1 LU	130 BT	11,95
13	8 LS	137 BT	7,332
14	3 LU	138 BT	13,93

Sumber: Mayasari dan Handoko (2009)

**Penentuan Area Terdampak Kenaikan Muka Air Laut**

Data *Digital Elevation Model* (DEM) menggunakan data dari BIG hasil survei tahun 2021 yang ketinggiannya direferensikan terhadap HAT dengan memberikan koreksi sebesar 0,49 m. Data ini digunakan untuk mendapatkan elevasi Pulau Panggang dan Pulau Pramuka terhadap muka air laut pasang tertinggi. Area ketinggian diklasifikasikan menjadi sembilan dengan interval disesuaikan kenaikan muka air laut pada tahun 2021, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090, dan 2100 dengan menggunakan metode *reclassify* sesuai dengan kenaikan muka air laut. Hasil *reclassify* selanjutnya dibentuk menjadi poligon dengan metode *raster to polygon*. Poligon yang terbentuk dihitung luasnya yang terdampak kenaikan muka air laut.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengolahan data pasang surut di stasiun dermaga Pulau Pramuka dari data selama 57 hari yang dimulai dari tanggal 26 Mei 2021 sampai 22 Juli 2021 menghasilkan nilai MSL sebesar 1,36 m di atas nol palem. Konstanta harmonik yang dihasilkan sebanyak 37 konstanta dengan nilai fomalnya yaitu 5,66 termasuk tipe pasang surut *diurnal* atau harian tunggal. Nilai konstanta harmonik ini dapat digunakan untuk mengetahui sifat dan karakter pasut di suatu tempat dari hasil pengamatan pasut dalam kurun waktu tertentu (Dwiyuliani et al., 2020). Nilai *Frequency*, *Amplitudo* dan *Phase* disajikan pada **Tabel 3**.

Nilai konstanta harmonik selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan prediksi selama 18,6 tahun. Hasil prediksi selama 18,6 tahun diperoleh nilai LAT 0,81m, MSL 1,36 m dan HAT 1,85 m di atas nol palem, plot prediksi pasang surut disajikan dalam **Gambar 3**. Nilai yang digunakan sebagai koreksi ketinggian terhadap data DEM yaitu selisih antara nilai HAT terhadap MSL yaitu 0,49 m. Referensi yang digunakan untuk menghitung ketinggian daratan yang sebelumnya direferensikan terhadap MSL sehingga perlu diubah referensinya terhadap HAT. Data DEM yang digunakan merupakan data *Digital Terrain Model* (DTM) yang disurvei menggunakan lidar dan foto udara.

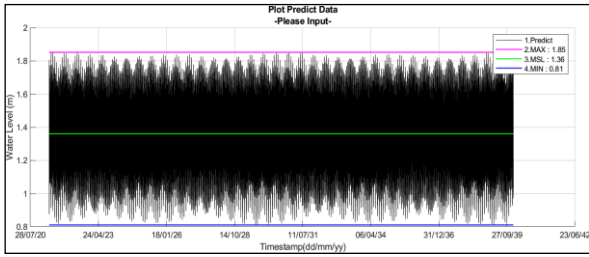
Hasil perhitungan luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka diperoleh dari data garis pantai pasang tertinggi yang dirubah ke poligon. Luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka masing-masing 15,09 ha dan 23,41 ha. Area Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

Berdasarkan kenampakan dari foto udara, kawasan terbangun di Pulau Panggang lebih padat dibandingkan dengan Pulau Pramuka. Kenaikan muka air laut akan membawa dampak yang serius terhadap wilayah yang elevasinya relatif rendah terhadap muka air laut, terutama yang

dimanfaatkan untuk permukiman di kedua pulau tersebut. Wilayah pesisir yang terdampak kenaikan permukaan air laut memiliki konsekuensi yang dapat merugikan bagi manusia (Hirschfeld & Hill, 2022), seperti seringnya terjadi banjir, erosi pantai, kerusakan infrastruktur dan hilangnya habitat laut. Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah Indonesia dengan metode *Spline* dapat dilihat pada **Gambar 6**. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun yaitu 25,47 mm/th.

**Tabel 3.** Konstanta harmonik.

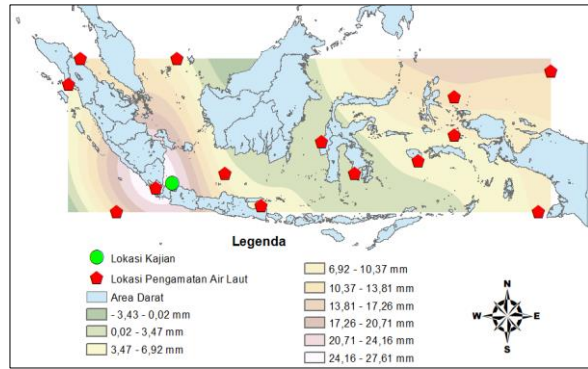
Const	Freq	Ampl	Phase
MM	0,00	0,02	234,36
MSF	0,00	0,00	62,64
ALP1	0,03	0,00	87,41
2Q1	0,04	0,01	22,47
Q1	0,04	0,04	88,99
O1	0,04	0,13	121,00
NO1	0,04	0,00	204,26
K1	0,04	0,28	138,65
J1	0,04	0,03	211,16
OO1	0,04	0,01	182,99
UPS1	0,05	0,00	95,63
EPS2	0,08	0,00	270,55
MU2	0,08	0,00	201,17
N2	0,08	0,02	324,89
M2	0,08	0,04	8,85
L2	0,08	0,00	349,32
S2	0,08	0,04	284,30
ETA2	0,09	0,00	106,05
MO3	0,12	0,00	327,16
M3	0,12	0,01	212,83
MK3	0,12	0,01	351,32
SK3	0,13	0,01	333,23
MN4	0,16	0,00	122,73
M4	0,16	0,01	125,20
SN4	0,16	0,00	52,26
MS4	0,16	0,01	171,33
S4	0,17	0,00	75,64
2MK5	0,20	0,00	316,02
2SK5	0,21	0,00	344,09
2MN6	0,24	0,00	235,10
M6	0,24	0,00	287,19
2MS6	0,24	0,00	22,62
2SM6	0,25	0,00	222,59
3MK7	0,28	0,00	257,12
M8	0,32	0,00	278,20
3MK7	0,28	0,00	257,12
M8	0,32	0,00	278,20



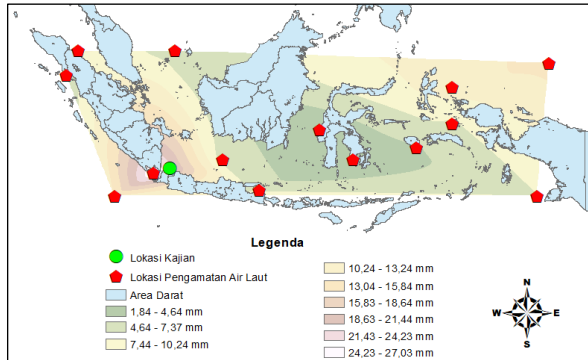
Gambar 3. Grafik prediksi pasang surut.

Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah indonesia dengan metode *Natural Neighbor* dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun berdasar interpolasi dengan metode *Natural Neighbor* yaitu 22,07 mm/tahun. Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah indonesia dengan metode *Krigging* dapat dilihat pada Gambar 8. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun yaitu 20,71 mm/th.

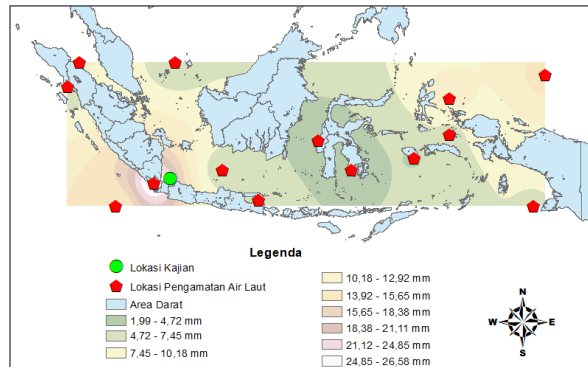
Hasil interpolasi kenaikan muka air laut di lokasi kajian dari 14 data di wilayah indonesia dengan metode metode metode IDW dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai kenaikan muka air laut setiap tahun berdasar interpolasi dengan metode IDW yaitu 22,70 mm/tahun. Rekapitulasi hasil interpolasi dengan menggunakan 4 (empat) metode disajikan pada Tabel 4.



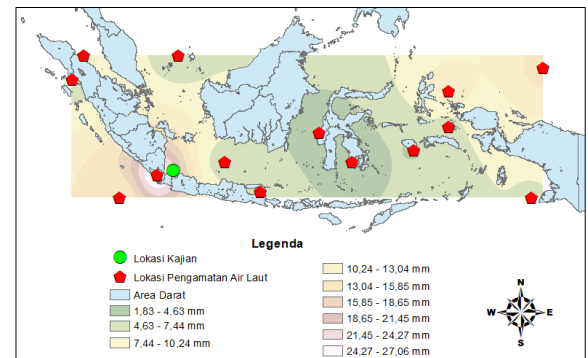
Gambar 6. Interpolasi dengan metode spline.



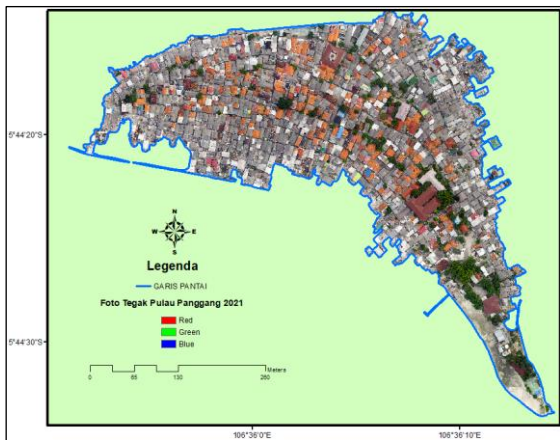
Gambar 7. Interpolasi dengan metode natural neighbor.



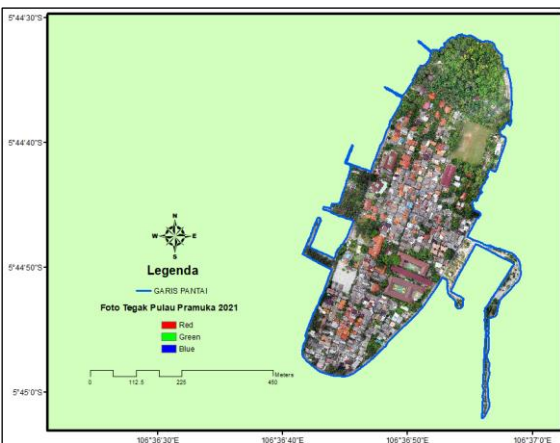
Gambar 8. Interpolasi dengan metode krigging.



Gambar 9. Interpolasi dengan metode IDW.



Gambar 4. Foto udara Pulau Panggang Tahun 2021.



Gambar 5. Foto udara Pulau Pramuka Tahun 2021.

Tabel 4. Metode interpolasi dan hasil.

No	Metode Interpolasi	Kenaikan Air Laut (mm/th)
1	Spline	25,47
2	Natural Neighbor	22,07
3	Krigging	20,71
4	IDW	22,70

Kenaikan muka air laut di lokasi kajian menggunakan nilai 25,47 mm/tahun yang diperoleh dengan metode interpolasi *spline*. Metode ini diambil karena kenaikan muka air laut merupakan suatu bencana sehingga diambil yang acamannya paling besar. Pada tahun 2021 luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang berada di atas HAT yaitu 15,09 ha dan 23,41 ha. Ketinggian Pulau Panggang dan Pulau Pramuka diatas HAT pada tahun 2021 ditunjukkan pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**.

Hasil perhitungan kenaikan muka air laut pada tahun 2030, 2040 dan 2050 terjadi kenaikan sebesar 0,74 m. Dampak yang ditimbulkan terhadap Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu area pulau yang berada di bawah HAT seluas 7,53 ha dan 3,76 ha. Wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang terdampak kenaikan muka air laut pada tahun 2050 dan wilayah yang masih berada diatas HAT dapat dilihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.

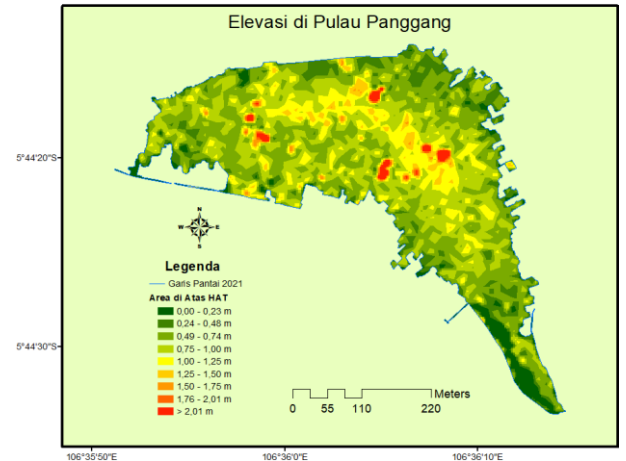
Zona pemanfaatan berdasarkan Pemprov DKI Jakarta (2022) yang terdampak yaitu zona perumahan. Hal ini dikarenakan luas zona untuk perumahan memiliki porsi yang paling luas dibandingkan dengan zona lainnya. Wilayah zona pemanfaatan di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang terdampak adanya kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050 disajikan pada **Gambar 14** dan **Gambar 15**.

Berdasarkan hasil perhitungan proyeksi kenaikan air laut dan elevasi di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, didapatkan nilai luasan pulau-pulau tersebut mulai tahun 2021 sampai tahun 2100 yang disajikan pada **Tabel 5**. Hasil perhitungan kenaikan muka air laut pada tahun 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080, 2090 dan 2100 terjadi kenaikan sebesar 2,01 m. Apabila tidak ada campur tangan manusia dalam melindungi Pulau Panggang dan Pulau Pramuka dan faktor geologi yang menyebabkan perubahan pulau, maka dampak yang ditimbulkan terhadap Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu area pulau yang berada di bawah HAT masing-masing seluas 14,95 ha dan 23,27 ha. Pada tahun 2100 masih terdapat wilayah yang elevasinya berada di atas HAT yaitu seluas 0,14 ha di Pulau Panggang dan 0,14 ha di Pulau Pramuka.

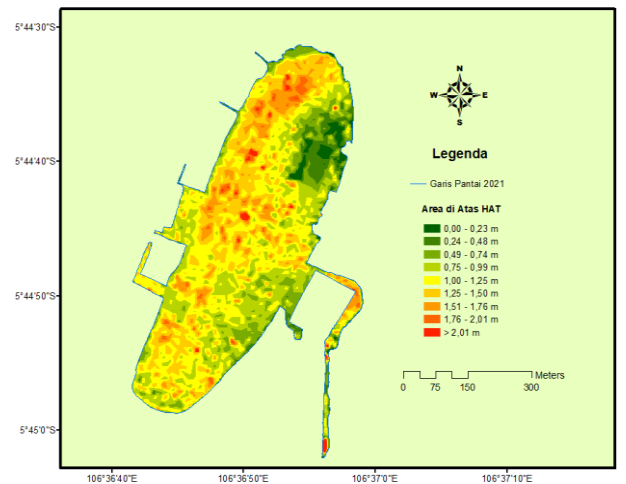
Pada tahun 2050 wilayah zona pemanfaatan di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yang terdampak kenaikan muka air laut disajikan pada **Tabel 6**. Zona pemanfaatan berdasarkan Pemprov DKI Jakarta (2022), yang terdiri dari bahu jalan, pelayanan umum, perkantoran, perlindungan setempat, perumahan, ruang terbuka hijau dan area transportasi akan terdampak oleh kenaikan seluas 6,86 ha di Pulau Panggang dan 3,21 ha di Pulau Pramuka.

Kenaikan permukaan laut menimbulkan ancaman signifikan bagi pulau kecil di negara berkembang karena padatnya konsentrasi penduduk, aset dan infrastruktur di wilayah pesisir (Hirschfeld & Hill, 2022).

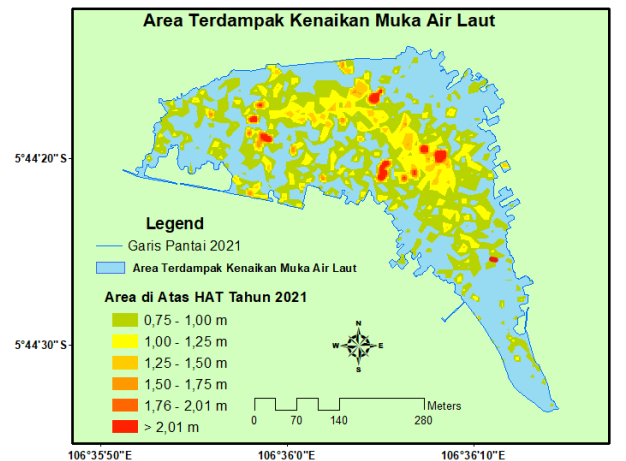
Kenaikan muka air laut tidak hanya berdampak terhadap pulau-pulau kecil namun juga mengancam kawasan pesisir pulau besar. Sebagai contoh, pesisir utara Banten terdampak kenaikan muka air laut dengan kenaikan muka air laut setinggi 0,25 m, mengakibatkan wilayah terdampak seluas 598,49 ha di Kecamatan Kaseman Kota Serang atau hampir 10% dari total wilayahnya yaitu 6.239,09 ha (Azhari et al., 2022).



**Gambar 10.** Kondisi aktual Pulau Panggang Tahun 2021.

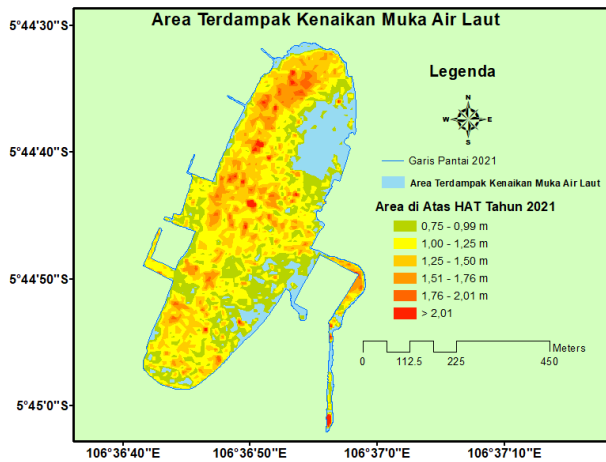


**Gambar 11.** Kondisi aktual Pulau Pramuka Tahun 2021.

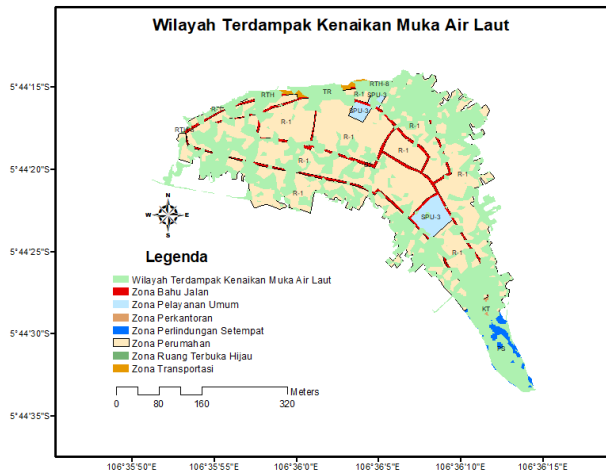


**Gambar 12.** Kondisi Pulau Panggang tahun 2050.

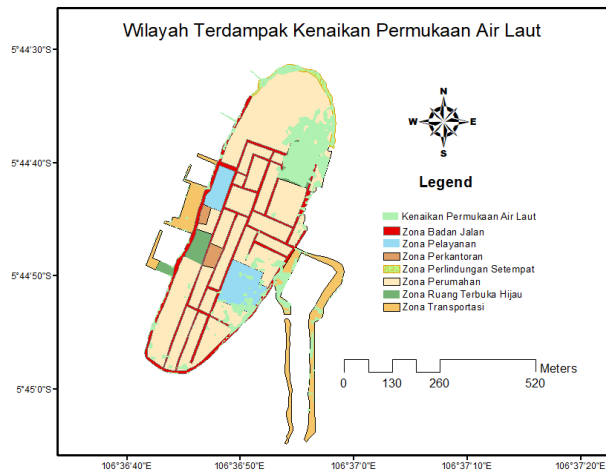




Gambar 13. Kondisi Pulau Pramuka Tahun 2050.



Gambar 14. Zona pemanfaatan di Pulau Panggang yang terdampak kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050 (modifikasi).



Gambar 15. Zona pemanfaatan di Pulau Pramuka yang terdampak kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050 (modifikasi).

Selain di wilayah Banten kenaikan muka air laut juga mengancam Wilayah Lampung dengan kenaikan 0,60 m, akan mengakibatkan 11,87 ha di Kecamatan Telukbetung Selatan akan terdampak (Ariawan, 2022). Masalah lebih penting yaitu jika kenaikan air laut mengancam keberadaan pulau yang digunakan sebagai referensi penarikan garis pangkal maka akan mempengaruhi wilayah

teritorial negara yang bersangkutan (Ersya & Novianti, 2020).

Oleh karena itu dibutuhkan komitmen bersama yang bersifat global, regional dan lokal yang mendukung keberlanjutan wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil sehingga keberlanjutan ekosistem dan kondisi sosial dan budayanya terjaga dengan baik.

Tabel 5. Perubahan luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka hingga tahun 2100.

Tahun	Pulau Panggang		Pulau Pramuka	
	Luas (ha)	Posisi di bawah HAT (ha)	Luas (ha)	Posisi di bawah HAT (ha)
2021	15,09	0,64	23,41	0,44
2030	14,45	1,61	22,97	1,06
2040	12,84	5,28	21,91	2,26
2050	7,56	5,03	19,65	5,07
2060	2,53	1,83	14,58	7,14
2070	0,70	0,42	7,44	4,96
2080	0,28	0,10	2,48	1,90
2090	0,18	0,04	0,58	0,44
2100	0,14		0,14	
Jumlah		14,95		23,27

Tabel 6. Zona pemanfaatan terdampak kenaikan permukaan air laut sampai tahun 2050.

No	Kode	Zona	Luas Terdampak (ha)	
			P. Panggang	P. Pramuka
1	BJ	Bahu Jalan	0,38	0,41
2	SPU	Pelayanan Umum	0,11	0,19
3	KT	Perkantoran	0,10	0,00
4	PS	Perlindungan Setempat	0,63	0,22
5	R-1	Perumahan	5,43	1,47
6	RTH	Ruang Terbuka Hijau	0,03	0,88
7	TR	Transportasi	0,18	0,45
Total Luas Terdampak			6,86	3,21

**KESIMPULAN**

Hasil pengolahan data pasang surut di lokasi kajian memiliki tipe pasang surut harian tunggal (*diurnal*) dengan nilai HAT 1,85 m, MSL 1,36 m dan LAT 0,81 m di atas nol palem. Kenaikan muka air laut di wilayah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka berdasarkan hasil interpolasi yaitu sebesar 2,55 cm per tahun. Kenaikan muka air laut memiliki dampak terhadap keberadaan Pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Jika tidak ada campur tangan dari manusia untuk melindungi pulau tersebut, maka luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2050 yaitu 7,65 ha dan 19,56 ha.

Dampak dari kenaikan muka air laut terhadap zona permukiman di Pulau Panggang seluas 5,43 ha dan di Pulau Pramuka 1,47 ha. Adanya ancaman nyata dari bencana kenaikan permukaan air laut ini menunjukkan betapa pentingnya mengambil

tindakan dalam mengatasi masalah dan mengurangi dampak negatifnya. Pemerintah dapat meningkatkan investasi pada sistem pengendalian bencana dan memperkuat infrastruktur untuk melindungi wilayah-wilayah yang rentan terhadap kenaikan muka air laut. Upaya yang lebih besar harus dilakukan oleh seluruh masyarakat dan dunia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan memperlambat perubahan iklim yang menyebabkan kenaikan muka air laut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah berkontribusi dalam memberikan data dan aplikasi yang digunakan dalam jurnal ini dan PUSDIKLATREN BAPPENAS yang telah memberikan biaya dalam penelitian ini, beserta semua pihak yang telah berpartisipasi dalam menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A.N., Sabila, F. & Hardi, O.S. (2019). Analisis karakteristik habitat penyu sisik Taman Nasional Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Siliwangi Seri Sains dan Teknologi*, 5(1), 23-27.
- Ariawan, I. (2022). Model prediktif genangan kenaikan muka air laut di Kecamatan Telukbetung Barat dan Telukbetung Selatan. *Jurnal Georaflesia*, 7(2), 182-195. DOI: <https://doi.org/10.32663/georaf.v7i2.3200>.
- Azhari, D.R., Lestari, D.A. & Arifin, W.A. (2022). Pemodelan spasial genangan banjir rob, Studi kasus: Pesisir Utara Banten (Kecamatan Kasemen). *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 7(2), 173-181. DOI: <https://doi.org/10.32663/georaf.v7i2.3201>.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2021a). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 51 Tahun 2021 tentang Nama Rupa Bumi Baku Tahun 2021. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2021b). Data Garis Pantai. Belum dipublikasikan. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). (2021). *Indeks Resiko Bencana Indonesia Tahun 2021*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Kepulauan Seribu. Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Seribu. Jakarta.
- Brooks, K., Barclay, K., Grafton, R.Q. & Gollan, N. (2020). Transforming coastal and marine management: Deliberative democracy and integrated management in New South Wales, Australia. *Marine Policy*, 139, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104053>.
- Darmiati, Nurjaya, I.W. & Atmadipoera, A.S. (2020). Analisis perubahan garis pantai di Wilayah Pantai Barat Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 211-222. DOI: <https://doi.org/http://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.22815>.
- Dasanto, B.D., Sulistiyanti, S., Anria, A. & Boer, R. (2020). Dampak perubahan iklim terhadap kenaikan muka air laut di Wilayah Pesisir Pangandaran. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 7(2), 82-94. DOI: <https://doi.org/10.29244/kjebijakan.v7i2.28039>.
- Dwiyuliani, I., Atmawidjaja, R.R. & Apriyanti, D. (2020). Penentuan komponen konstanta harmonik pasut dengan data satelit altimetri di Perairan Laut Bagian Selatan Pulau Jawa. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Geodesi*, 1(1), 1-10.
- Ersya, D. & Novianti. (2020). Pulau hilang: wilayah teritorial berkurang? *Uti Possidetis: Journal of International Law*, 1(2), 148-168. DOI: <https://doi.org/10.22437/up.v1i2.9936>.
- Handiani, D.N., Darmawan, S., Heriti, A. & Aditya, Y.D. (2019). Kajian kerentanan pesisir terhadap kenaikan muka air laut di Kabupaten Subang. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(3), 145-154. DOI: <https://doi.org/10.15578/jkn.v14i3.7583>.
- Hicks, S.D. (2006). *Understanding tides*. National Oceanic and Atmospheric Administration National Ocean Service (NOAA). U.S. Department Of Commerce. Washington D.C. USA.
- Hirschfeld, D. & Hill, K.E. (2022). The landscape of sea-level rise adaptation resources: Applying grounded theory in California. *Climate Services*, 28, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100332>.
- Karlina, W.R. & Viano, A.S. (2020). Pengaruh naiknya permukaan air laut terhadap perubahan garis pangkal pantai akibat perubahan iklim. *Jurnal Komunikasi Hukum (JKH) Universitas Pendidikan Ganesha*, 6(2), 575-586. DOI: <https://doi.org/10.23887/jkh.v6i2.28203>.
- Kisnarti, E.A. & Prasita, V.D. (2012). Kajian pasang surut dalam penentuan dampak kenaikan muka laut di Pantai Timur Surabaya. *Prosiding Seminar Nasional ke II: Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan, Faults Perikanan dan Kelautan, Universitas Diponegoro*, 3, 44-51.
- Mayasari, O.S. & Handoko, E.Y. (2009). Analisa sea level rise dari data satelit altimetri topex / poseidon dan data sea surface temperature menggunakan software brat 2.0.0 (Studi kasus: Perairan Indonesia). *Jurnal Geoid*, 5(1), 39-47. DOI: <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v5i1.7329>.
- Meilianda, E., Pradhan, B., Syamsidik, Comfort, L.K., Alfian, D., Juanda, R., ... & Munadi, K. (2019). Assessment of post-tsunami disaster land use/land cover change and potential impact of future sea-level rise to low-lying coastal areas: A case study of Banda Aceh coast of Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101292>.
- Mulyani, A.S. (2021). Antisipasi terjadinya pemanasan global dengan deteksi dini suhu permukaan air menggunakan data satelit. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(1), 22-29. DOI: <https://doi.org/10.33541/cen.v2i1.2807>.
- Mutaqin, B.W., Amanatulloh, D.A., Waskita, T.B., Marfai, M.A., Isnain, M.N., Alwi, M. & Khomarudin, M.R. (2022). Analisis geomorfologi dan oseanografi untuk identifikasi tipologi pulau kecil di Kepulauan Maluku Utara dan Karimunjawa. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 9(1), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.20527/jpg.v9i1.12459>.
- Nerem, R.S., Beckley, B.D., Fasullo, J.T., Hamlington, B.D., Masters, D. & Mitchum, G.T. (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(9), 2022-2025. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1718811115>.

- <https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115>.
- Nurse, L.A., Mclean, R.F., Agard, J., Briguglio, L.P., Duvat-Magnan, V., N., ... & Webb, A. (2014). *Small islands*. Cambridge University Press. USA.
- Pemprov (Pemerintah Provinsi) DKI Jakarta. (2022), Peraturan Gubernur Nomor 31 Tahun 2022 (DKI Jakarta, 2022) tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Pemerintah Provinsi) DKI Jakarta. Jakarta.
- Prabowo, H.H. & Salahudin, M. (2016). Potensi tenggelamnya pulau-pulau kecil terluar wilayah NKRI. *Jurnal Geologi Kelautan*, 14(2), 115-122. DOI: <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.14.2.2016.356>.
- Ramadhan, M., Amri, S.N. & Priyambodo, D.G. (2019). Survey Identifikasi pulau-pulau tenggelam di Teluk Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 1-6. DOI: <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i1.4>.
- RI (Republik Indonesia). (2023). Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang.
- Setianingsih, W., Sasmito, B. & Bashit, N. (2018). Analisis sea level rise di Laut Utara Jawa terhadap perubahan garis pantai wilayah Demak pada tahun 2006-2016. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(2), 53-64. DOI: <https://doi.org/10.14710/jgundip.2018.20657>.
- Suhery, N., Damar, A. & Effendi, H. (2017). Coral reef ecosystem vulnerability index to oil spill: Case of Pramuka Island and Belanda Island in Seribu Islands. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 67-89. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i1.17918>.
- UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea). (1982). The United Nations Convention on the Law of the Sea (A historical perspective). United Nations Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea. [15 September 2022].

# PENGARUH KONDISI TOPOGRAFI TERHADAP SEBARAN SUHU PERMUKAAN LAHAN

Studi Kasus di Hulu Sub DAS Cikapundung, Jawa Barat

*(Impacts of Topographic Condition on Land Surface Temperature Distribution, Case Study of the Upper Cikapundung Sub-Watershed, West Java)*

**Noviani Putri, Muhammad Amir Solihin**

Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21, Jatinangor, Indonesia 45363

E-mail: [noviani16001@mail.unpad.ac.id](mailto:noviani16001@mail.unpad.ac.id)

Diterima: 9 September 2022; Direvisi: 21 Maret 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 4 April 2023

## ABSTRAK

Wilayah hulu daerah aliran sungai (DAS) merupakan area resapan air yang penting dalam siklus hidrologi. Sebaran suhu permukaan lahan (*Land Surface Temperature/LST*) dapat menjadi prediktor perubahan kondisi hidrologi. Sebaran vegetasi dan kondisi topografi di Hulu Sub-DAS Cikapundung dapat mempengaruhi sebaran LST. Penelitian ini bertujuan mengetahui hubungan LST dengan kondisi topografi berupa elevasi, *slope* dan aspek melalui data penginderaan jauh. Nilai LST diperoleh dengan metode *Mono Window Algorithm* menggunakan citra multispektral Landsat 8 OLI, sedangkan sebaran vegetasi menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dari pengolahan citra Sentinel 2A-MSI. Kondisi topografi dianalisis menggunakan DEMNAS. Analisis statistik korelasi dan regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan LST dan kondisi topografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran LST berkorelasi negatif signifikan dengan NDVI, elevasi dan *slope*. Namun, LST tidak signifikan berkorelasi dengan aspek. Pengaruh elevasi terhadap LST pada bulan basah dan kering yaitu 41-45%, sedangkan pengaruh *slope* sebesar 26-31%. Karakteristik tutupan lahan melalui nilai NDVI juga mempengaruhi hubungan antara LST dan kondisi topografi. Elevasi rendah dan *slope* yang datar memperbesar ruang penerimaan radiasi matahari sehingga LST lebih tinggi. Tutupan lahan tegalan dan permukiman pada wilayah hulu DAS menyebabkan evapotranspirasi dan LST yang tinggi sehingga mengganggu fungsi hidrologi. Oleh karena itu, pemantauan LST dengan mempertimbangkan kondisi topografi sangat penting dilakukan terutama terhadap wilayah yang mengalami perubahan tutupan lahan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai basis data pemantauan kondisi hidrologi, perencanaan tata ruang dan antisipasi perubahan iklim di wilayah hulu DAS.

**Kata kunci:** aspek, elevasi, LST, NDVI, penginderaan jauh, *slope*, Sub-DAS Cikapundung

## ABSTRACT

*The Upper Watershed has an important role as water catchment area in hidrology cycle. The distribution of Land Surface Temperature (LST) can be used as predictor of hidrological changes condition. Vegetation and topographical conditions can influence LST in the Upper Cikapundung Sub-Watershed. This study aims to determine the relationship between LST and topographical conditions (eg. elevation, slope, and aspect) using remote sensing. LST value was analyzed using Mono Window Algorithm method on Landsat 8 OLI image, while the vegetation distribution was determined by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on Sentinel 2A-MSI. Topographical conditions were analyzed using DEMNAS. The relationship between LST and topographical conditions was assessed by using corellation and regression analysis. The results showed that the LST had a significant negative correlation with NDVI, elevation, and slope. However, LST is not significantly correlated with aspect. The impact of elevation on LST in the wet and dry months was 41-45%, while the impact of the slope was 26-31%. Land cover characteristics through NDVI values also influence the relationship between LST and topographical conditions. The high LST on lower elevation and flat slope caused by amount of solar radiation received. The cropland and settlement in the upper watershed area causes high evapotranspiration and LST, which decrease hidrological functions. Therefore, LST monitoring by considering topographical conditions is very important, especially with highly land cover changes area. The results of study can be used as basic data for monitoring hidrological conditions, urban planning, and anticipating climate change in the upper watershed area.*

**Keywords:** aspect, elevation, LST, NDVI, remote sensing, slope, Upper Cikapundung Sub-Watershed

## PENDAHULUAN

Keseimbangan siklus hidrologi dapat mendukung pemenuhan kebutuhan pangan

manusia (*food security*), membentuk siklus nitrogen dan karbon yang penting dalam tanah, serta menurunkan risiko erosi tanah (Brevik, 2013; Dagbegnon et al., 2016). Perubahan siklus

hidrologi dapat dideteksi melalui parameter hidrologi, salah satunya suhu. Pada negara sub tropis, peningkatan suhu dapat menyebabkan aliran permukaan karena es yang mencair di musim dingin (Soja et al., 2013). Perubahan suhu juga dapat mengakibatkan perubahan pada laju evapotranspirasi, presipitasi dan ketersediaan air dalam tanah (Brunsell, 2006; Wohl et al., 2012; Xu et al., 2010). Penelitian Silvestro et al. (2013) mengungkapkan suhu permukaan lahan telah berhasil digunakan sebagai komponen kalibrasi dalam model hidrologi.

Pengukuran suhu permukaan lahan (*Land Surface Temperature* -LST) secara spasial telah banyak dikembangkan melalui penginderaan jauh menggunakan sensor inframerah termal (*Thermal Inframerah-TIR*) (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2003; Li et al., 2013; Trigo et al., 2008). Citra satelit yang biasa digunakan diantaranya MODIS (Schwarz et al., 2011; Zhu et al., 2013), NOAA-AVHRR (Qin et al., 2001a; Wang et al., 2020), dan Landsat (Jiménez-Muñoz et al., 2014; Sobrino et al., 2004; Yue et al., 2007). Perbedaan setiap citra tersebut terletak pada resolusi spektral, spasial dan temporal. Algoritma LST yang telah dikembangkan diantaranya *Single Channel Algorithm* (Jimenez-Munoz et al., 2009), *Mono-Window Algorithm* (Qin et al., 2001b), dan *Split Window Algorithm* (Sobrino et al., 1996). Estimasi LST melalui citra Landsat 8 dapat melalui *band* 10 dan 11 TIR. Namun, gangguan cahaya pada *band* 11 menyebabkan nilai yang tidak stabil dan tidak direkomendasikan dalam perhitungan LST tanpa kalibrasi lapangan (Barsi et al., 2014; Guo et al., 2020; Niclòs et al., 2021).

Estimasi LST dihitung dari hasil konversi radiasi *Top of Atmospheric* (TOA) yang dipengaruhi oleh absorpsi, reflektansi dan pancaran radiasi, efek sudut radiasi, serta emisivitas dari permukaan (Tomlinson et al., 2011). Perbedaan tipe tutupan lahan dapat mempengaruhi nilai LST melalui penilaian emisivitas objek dan indeks vegetasi (Bindajam et al., 2020; Hulley et al., 2019). Xue et al. (2021) menyebutkan terjadi hubungan timbal balik negatif antara LST dan vegetasi pada wilayah dengan iklim hangat. Penelitian Solihin & Putri (2020) telah menyebutkan terdapat perbedaan nilai LST dan tingkat kerapatan vegetasi pada berbagai tutupan lahan di wilayah hulu Sub-DAS Cikapundung. Namun, penelitian tersebut belum dapat mengungkapkan faktor lain yang dapat mempengaruhi LST.

Sebaran nilai LST secara spasial pada lanskap pegunungan dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya elevasi, *slope*, aspek, vegetasi dan kelembaban tanah (Bertoldi et al., 2010). Pada wilayah sub tropis, secara jelas hubungan LST dengan elevasi dan *slope* berkorelasi negatif. Namun, hubungan LST dengan aspek berkorelasi

negatif lemah (Bertoldi et al., 2010; He et al., 2019; Peng et al., 2020; Zhu et al., 2021). Dalam hal ini, hubungan tersebut erat kaitannya dengan pengaruh keberadaan vegetasi terhadap LST (Bindajam et al., 2020; Njoku & Tenenbaum, 2022). Pertumbuhan dan pembentukan pola vegetasi dipengaruhi oleh lamanya pancaran radiasi yang berbeda pada setiap tingkat *slope*, tingkat elevasi dan aspek (Kayiranga et al., 2017; Pierce et al., 2005). Perbedaan musim juga mempengaruhi kuat lemahnya hubungan LST dengan topografi. Khandelwal et al. (2018) mengungkapkan hubungan LST dan elevasi lebih kuat pada musim dingin dibandingkan musim panas. Pengaruh dari kumulatif radiasi matahari yang datang lebih kuat pada musim dingin dibandingkan musim panas (He et al., 2019).

Penelitian sebelumnya berfokus pada identifikasi indeks vegetasi dan LST menggunakan Landsat 8 di hulu Sub-DAS Cikapundung (Solihin & Putri, 2020; Solihin et al., 2020). Karakteristik tutupan lahan dapat tergambarkan melalui indeks vegetasi menggunakan penginderaan jauh. Estimasi LST dengan mempertimbangkan kondisi topografi pada wilayah hulu Sub-DAS Cikapundung perlu diketahui sebagai awal pemantauan siklus hidrologi. Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-2A untuk mengukur indeks vegetasi, Landsat 8 (*band* 10) untuk nilai TOA, dan DEM Nasional (DEMNAS) untuk karakterisasi kondisi topografi. Hipotesis yang diungkapkan pada penelitian ini yaitu topografi dapat mempengaruhi nilai LST terutama pada musim kemarau. Maka penelitian ini membandingkan dua bulan pada musim hujan dan musim kemarau, serta mengungkapkan kuat lemahnya pengaruh topografi terhadap LST.

## METODE

### Lokasi dan Data Penelitian

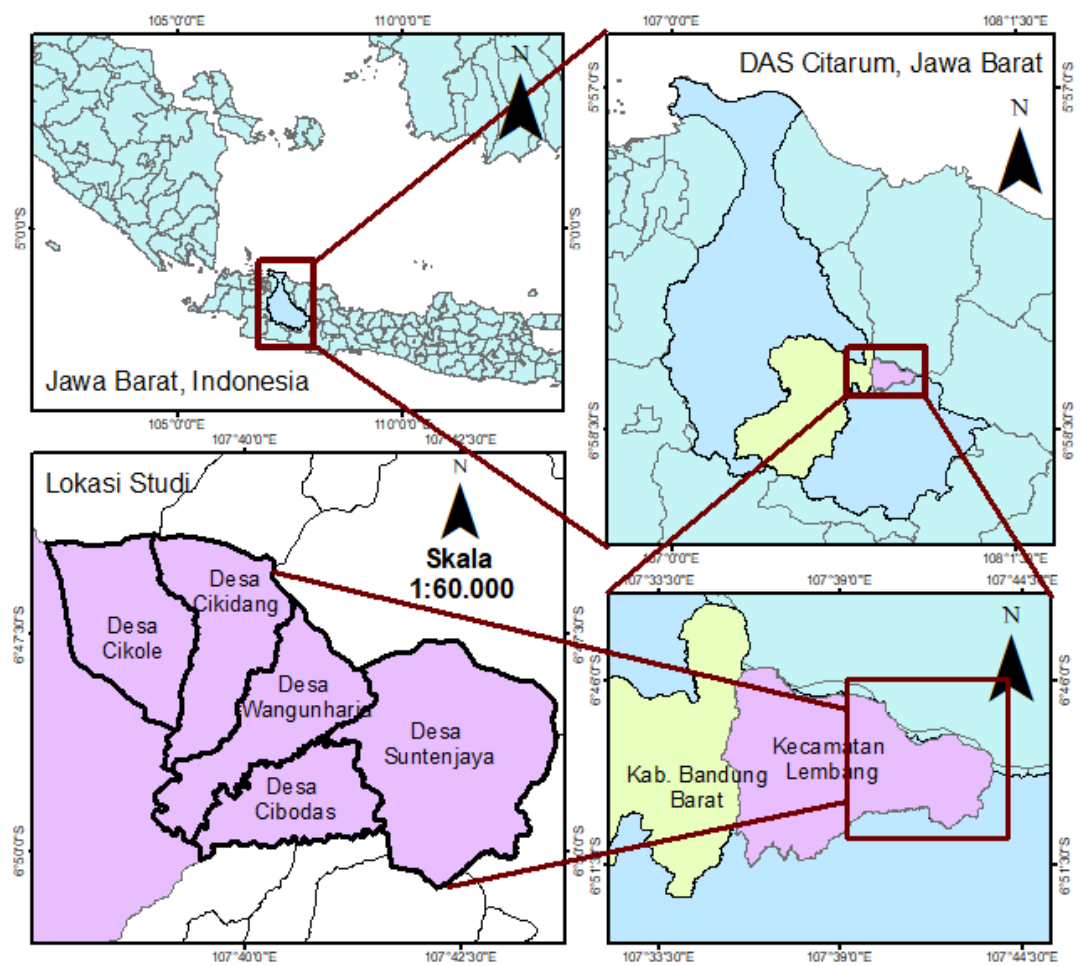
Lokasi penelitian berada di Kecamatan Lembang dengan Desa Cikole, Cikidang, Cibodas, Wangunharja dan Suntenjaya yang termasuk Wilayah Hulu Sub-DAS Cikapundung (**Gambar 1**). Luas area penelitian sekitar 4.590 ha. Terletak pada posisi geografis 06° 43' 12"- 06° 58' 48" LS dan 107° 33' 36"- 107° 45' 36" BT.

Citra satelit yang digunakan mewakili waktu perekaman pada musim hujan dan musim kemarau. Data curah hujan dari stasiun hujan Dago Pakar dan Cipeusing menunjukkan terdapat hujan pada bulan Mei 2019 sebesar 77-79 mm, sedangkan pada bulan Agustus tidak terjadi hujan (BBWS, 2019). Citra satelit Sentinel 2A-MSI yang digunakan yaitu pada waktu perekaman 22 Mei 2019 dan 18 Agustus 2019, sedangkan citra Landsat 8 pada waktu perekaman 22 Mei 2019 dan 10 Agustus 2019 (**Gambar 2**).

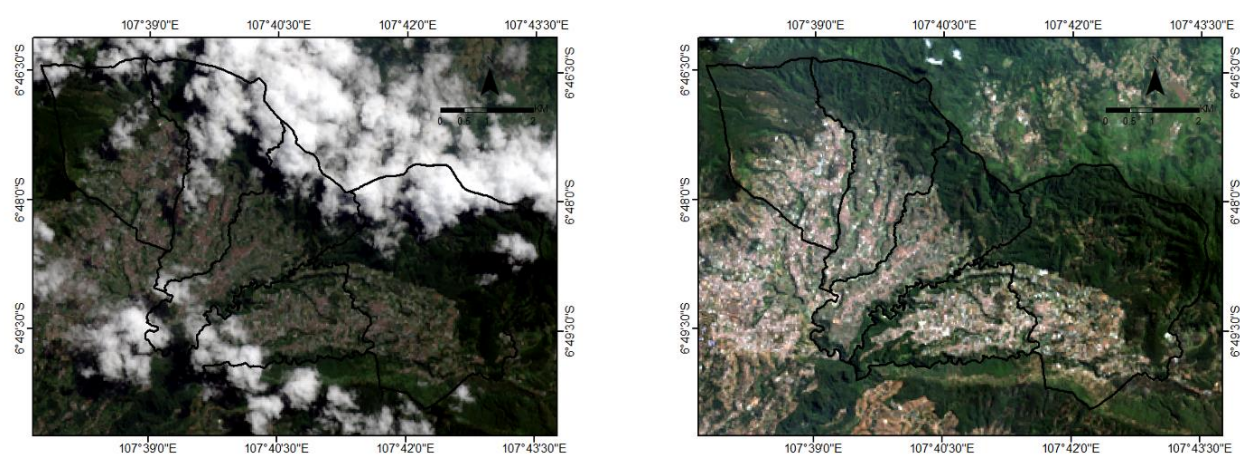
Pengolahan citra Sentinel 2A bertujuan mendapatkan sebaran nilai indeks vegetasi, dan memperbarui peta tutupan lahan. Estimasi LST

didapatkan dari hasil pengolahan citra Landsat 8 yang dikombinasikan dengan nilai NDVI Sentinel 2A-MSI. Teknik resampling ditujukan untuk menyamakan ukuran resolusi spasial Landsat 8 dengan Sentinel 2A. Kondisi topografi berupa elevasi, *slope*, dan aspek didapat dari hasil analisis data DEMNAS. Selain itu digunakan juga Peta

Rupa Bumi Indonesia wilayah Kabupaten Bandung Barat pada skala 1:50.000 berupa peta administrasi dan peta tutupan lahan dengan format *shapefile* dari laman Ina-geoportal Badan Informasi Geospasial (BIG). Tahapan pengolahan dan analisis data terdapat pada **Gambar 3**.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian.



(a) (b)

**Gambar 2.** Citra Landsat 8 waktu perekaman bulan Mei (a) dan waktu perekaman bulan Agustus (b)

### Analisis Sebaran Vegetasi

Perhitungan indeks vegetasi menggunakan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dengan memanfaatkan band merah dan inframerah dekat dari citra Sentinel 2A-MSI dengan resolusi spasial 10 m (**Persamaan 1**).

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

di mana:

NIR = band 8 (inframerah dekat)

Red = band 4 (merah)

### Analisis Sebaran Suhu Permukaan Lahan

Perhitungan LST menggunakan metode *Mono Window Algorithm* (MWA) yang dikembangkan Qin et al. (2001b). Band termal berasal dari band 10 Landsat 8 dengan resolusi spasial 100 m. *Resampling* piksel citra Landsat 8 (band 10) dari 100 m menjadi 10 m dilakukan untuk mengatasi perbedaan resolusi spasial dan dapat menghasilkan distribusi LST dengan keragaman NDVI dari Sentinel 2A-MSI (**Persamaan 2**).

$$LST = \frac{BT}{1+\lambda*\left(\frac{BT}{P}\right)*ln(e)} \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

BT<sub>10</sub> = Nilai suhu kecerahan band 10

λ = Panjang gelombang radiasi yang diemisikan

E = Emisivitas

P = 14.380 mK (h: Konstanta Planck-6,626\*10<sup>-34</sup> Js)

c = Kecepatan cahaya-2,998\*10<sup>8</sup> m/s;

δ =Konstanta Boltzman-1.38\*10<sup>-23</sup> J/K)

Nilai untuk BT<sub>10</sub> menggunakan nilai spektral radian band 10 yang selanjutnya dikonversi menggunakan konstanta termal (dari file metadata Landsat 8) menjadi suhu kecerahan (BT) (**Persamaan 3**).

$$BT = \frac{K2}{ln\left(\frac{K1}{L\lambda}+1\right)} \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

BT = Suhu kecerahan (K)

Lλ = Spektral radian TOA (Watts/(m<sup>2</sup>\*srad\*μm)

K1 = Konstanta kalibrasi (W/(m<sup>2</sup>\*srad\*μm))

K2 = Konstanta kalibrasi dalam Kelvin

Nilai emisivitas (e) mengacu pada **Persamaan 5** (Sobrino et al., 2008) dengan menggunakan nilai *Proportion of Vegetation* (PV) (**Persamaan 4**).

$$PV = \left[ \frac{NDVI-NDVI_{min}}{NDVI_{max}-NDVI_{min}} \right]^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$e = 0,004PV + 0,986 \dots\dots\dots (5)$$

di mana:

NDVI = Nilai NDVI dari citra Sentinel 2A-MSI

NDVI<sub>min</sub> = Nilai NDVI minimum (tanah)

NDVI<sub>max</sub> = Nilai NDVI maksimum (vegetasi)

### Peta Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan menggunakan data dari Peta Rupa Bumi Indonesia tahun 2016 (BIG, 2016) yang diperbarui dengan citra Sentinel 2A-MSI perekaman 18 Agustus 2019. Digitasi ulang dimaksudkan untuk menyesuaikan perubahan luasan pada setiap kelas tutupan lahan. Klasifikasi tutupan lahan berdasarkan klasifikasi tutupan lahan pada SNI Peta Rupa Bumi Skala 1:50.000 (BSN, 2010) yaitu hutan, perkebunan, tegalan/ladang semak belukar, lahan bera dan lahan terbangun.

### Analisis Kondisi Topografi

Kondisi topografi berupa elevasi, *slope* dan aspek didapat dari data DEMNAS dengan resolusi 0,27-arcsecond. Data *slope* dalam bentuk persen dikelaskan berdasarkan klasifikasi Marsoedi et al., (1997) yaitu datar (0-<3%), agak landai (3-8%), landai (>8-15%), agak curam (>15-25%), curam (>25-40%), sangat curam (>40-60%) dan terjal (>60%).

### Analisis Statistik

Jumlah piksel pada citra tanpa awan di bulan basah sebanyak 358.230, sedangkan di bulan kering sebanyak 464.631. Preparasi data dilakukan berupa penghapusan nilai pencilan (*outlier*). Sampel uji untuk analisis statistik diambil 100 titik secara acak pada setiap tutupan lahan sehingga jumlah sampel uji sebanyak 600 titik data.

Analisis deskriptif bertujuan untuk identifikasi karakteristik sebaran nilai LST dan NDVI pada setiap kelas tutupan lahan, elevasi, *slope* dan aspek di lokasi studi. Hubungan antara variabel dependen (LST) dengan variabel independen (NDVI, elevasi, *slope*, aspek) diketahui melalui analisis korelasi Pearson, sedangkan pengaruh antar variabel dilakukan melalui analisis regresi linier dan polinomial (**Persamaan 6** dan **Persamaan 7**).

$$Y = b_0 + b_1X \dots\dots\dots(6)$$

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_nX^n + \varepsilon \dots\dots\dots(7)$$

di mana:

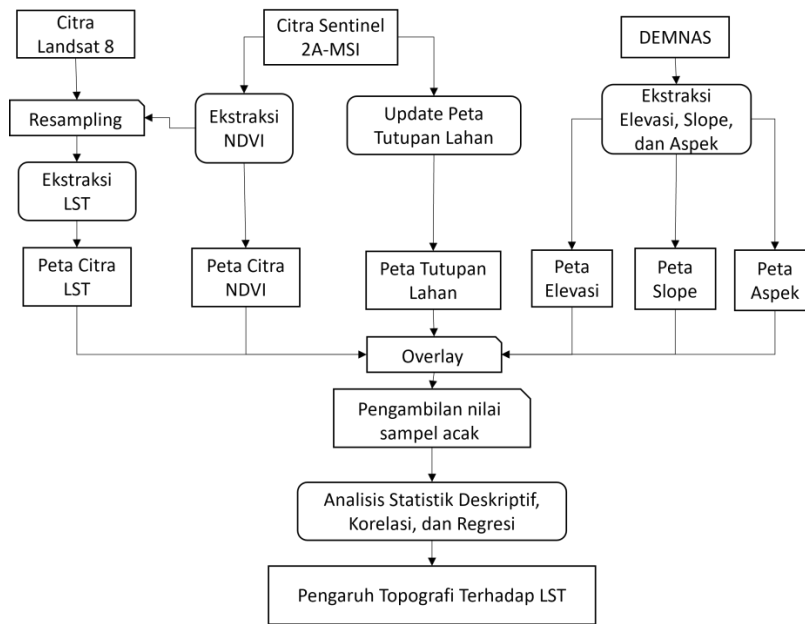
Y = variabel dependen

b<sub>0</sub> = intersep

b<sub>1,2,...n</sub> = koefisien regresi

X = variabel independen

E = kesalahan (*error*)



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

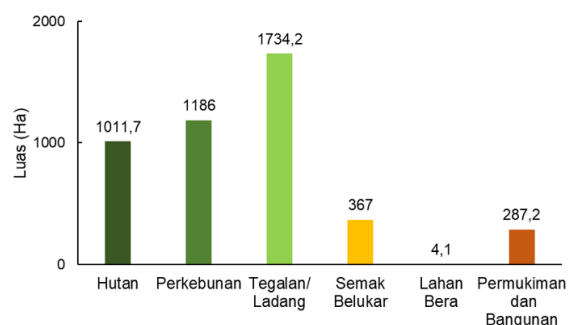
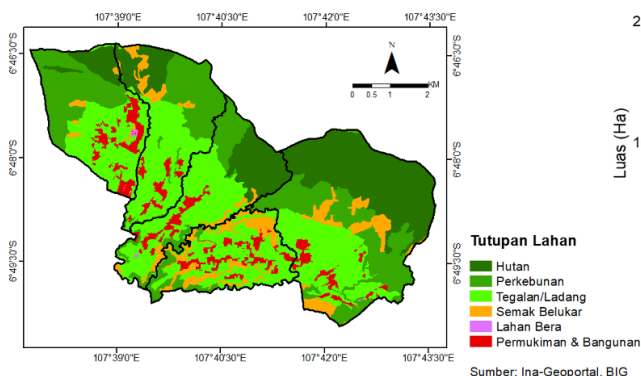
**Sebaran LST dan NDVI pada Berbagai Tutupan Lahan**

Karakteristik pada setiap tutupan lahan dapat ditunjukkan dari perbedaan sebaran nilai NDVI dan LST. **Gambar 4** menunjukkan tegalan/ladang memiliki luasan terbesar 1.734,2 ha, sedangkan lahan bera memiliki luasan terkecil 4,1 ha. Tingginya luas tegalan/ladang terjadi akibat konversi dari lahan hutan dan perkebunan menjadi hortikultura di wilayah hulu DAS Citarum, hal ini salah satu sebabnya karena curah hujan yang cukup tinggi (Salim et al., 2019). Konversi lahan yang tidak terkontrol menyebabkan terganggunya siklus hidrologi (Brauman et al., 2012; Degife et al., 2019; Siswanto & Francés, 2019).

**Tabel 1** menunjukkan perbedaan rerata nilai NDVI dan LST pada bulan basah dan bulan kering. Nilai LST terendah berada pada hutan masing-masing sebesar 19,11°C dan 21,19°C terjadi pada bulan basah dan kering, sedangkan nilai LST tertinggi berada pada permukiman dan bangunan

masing-masing sebesar 25,64°C dan 29,99°C. Keberadaan vegetasi pada setiap tutupan lahan akan menentukan nilai LST.

Nilai NDVI menunjukkan tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi. Nilai NDVI terendah terdapat pada lahan permukiman dan bangunan sedangkan nilai NDVI tertinggi berada pada lahan hutan. Nilai NDVI pada tutupan lahan hutan di bulan basah (0,68) lebih tinggi dibandingkan bulan kering (0,66). Hal yang sama ditunjukkan pada semua tutupan lahan. Kandungan air pada permukaan objek akan membuat warna objek lebih gelap sehingga serapan gelombang akan lebih tinggi. Selain itu, di bulan basah, kandungan air di atmosfer yang lebih tinggi menyebabkan nilai NDVI lebih tinggi dibandingkan bulan kering (**Tabel 1**). Secara keseluruhan, urutan nilai NDVI dari yang terendah yaitu permukiman dan bangunan < lahan bera < tegalan/ladang < perkebunan < semak belukar < hutan. Sedangkan urutan nilai LST dari yang terendah yaitu hutan < perkebunan < semak belukar < tegalan/ladang < lahan bera < permukiman dan bangunan.



Sumber: Ina-Geoportal, BIG

(a)

(b)

Gambar 4. Peta tutupan lahan (a) dan luas setiap kelas tutupan lahan (b).



**Tabel 1.** Perbedaan rata-rata elevasi, NDVI dan LST pada setiap tutupan lahan.

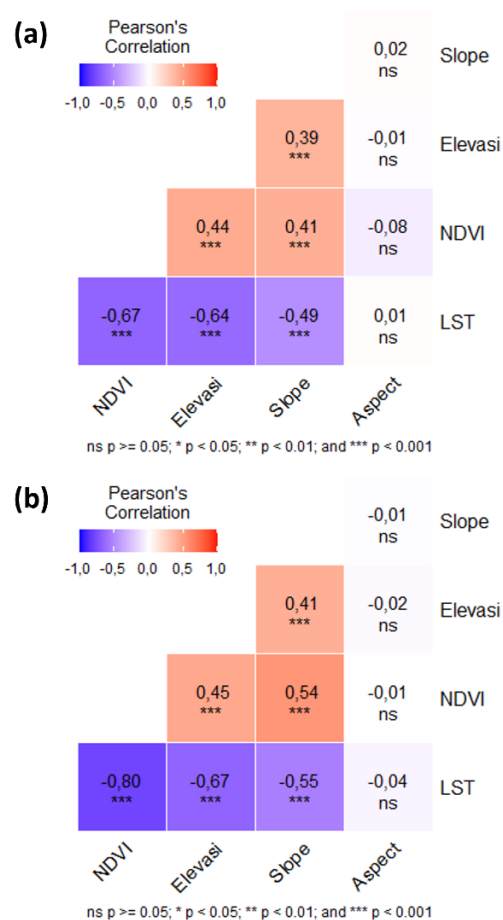
Tutupan Lahan	Rata-rata Elevasi (m dpl)	Rata-rata Nilai NDVI		Rata-rata Nilai LST (°C)	
		Bulan Basah	Bulan Kering	Bulan Basah	Bulan Kering
		Hutan	1.140,95	0,68	0,66
Perkebunan	1.254,39	0,67	0,61	20,42	22,34
Tegalan/Ladang	1.222,88	0,57	0,47	23,94	28,06
Semak Belukar	1.290,98	0,68	0,62	21,31	23,94
Lahan Bera	1.245,52	0,51	0,42	23,92	28,35
Permukiman dan Bangunan	1.242,53	0,41	0,27	25,64	29,99

Sebaran vegetasi yang berbeda pada setiap tutupan lahan menyebabkan penyerapan dan pemantulan radiasi matahari yang berbeda. Kerapatan vegetasi yang tinggi menyebabkan rendahnya suhu udara dan permukaan, dikarenakan vegetasi dapat menjadi pengatur evaporasi, sifat termal dan keseimbangan radiasi permukaan (He et al., 2019). Penelitian Gorgani et al. (2016) menyebutkan korelasi dan koefisien regresi antara LST dan NDVI adalah negatif. Vegetasi dapat menurunkan nilai LST dengan meningkatnya laju evapotranspirasi dan memberikan efek pendinginan. Sementara bangunan menahan panas lebih lama dibandingkan dengan vegetasi sehingga keberadaan bangunan dapat meningkatkan suhu permukaan sekitarnya.

**Gambar 5** menunjukkan secara signifikan koefisien korelasi NDVI dengan LST pada bulan basah (-0,63) lebih rendah dibandingkan pada bulan kering (-0,80). Namun, korelasi tersebut masih tergolong kuat. Rendahnya koefisien korelasi NDVI dengan LST pada bulan basah disebabkan oleh kandungan air di atmosfer yang lebih tinggi sehingga deteksi termal dan reflektansi spektral terhambat. Duan et al. (2017) menyebutkan area yang tertutup awan akan mempengaruhi pertukaran radiasi energi, mengurangi area terpapar radiasi dan meningkatkan pemantulan kembali emisi ke bumi sehingga nilai LST pada area berawan memiliki RMSE yang lebih tinggi yaitu 3,5-4,4 K dibandingkan area bebas awan 2 K.

**Hubungan kondisi topografi terhadap LST**

Hubungan antara LST dengan elevasi, *slope* dan aspek terlihat pada **Gambar 5**. Secara signifikan LST memiliki hubungan linier dengan elevasi dan *slope*, tetapi tidak ada hubungan linier dengan aspek. Hubungan LST dengan elevasi lebih kuat dibandingkan dengan *slope*. Pada bulan kering, nilai koefisien korelasi LST dengan elevasi (-0,67) dan *slope* (-0,55) lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi (-0,64) dan *slope* (-0,49) pada bulan basah. Tanda bintang pada **Gambar 5**, menunjukkan hubungan yang signifikan sedangkan ns adalah tidak signifikan antara kedua faktor yang dikorelasikan.



**Gambar 5.** Nilai korelasi antara LST, NDVI, ketinggian tempat, dan kemiringan lereng pada bulan basah (a) dan bulan kering (b).

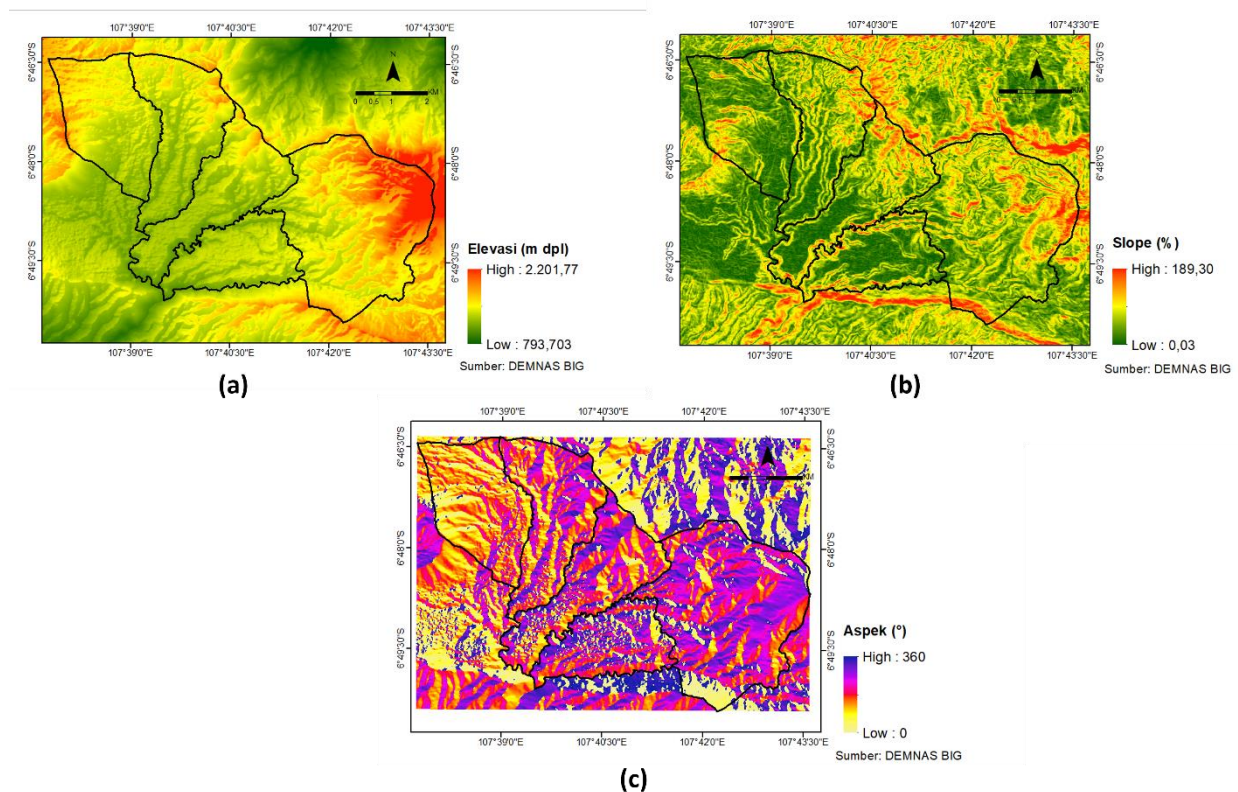
Kondisi topografi di lokasi studi terlihat pada **Gambar 6**. Rata-rata elevasi di lokasi studi 1.337,40 m dpl, dengan elevasi minimum 1.061,49 m dpl dan maksimum 2.201,76 m dpl. Permukiman dan bangunan berada pada rata-rata elevasi yang lebih rendah (1.242 m dpl) dibandingkan dengan hutan dan perkebunan (1.440 m dpl dan 1.254 m dpl) (**Tabel 1**). Rentang nilai *slope* pada lokasi studi yaitu 0,03 sampai 189%, dengan dominansi kelas *slope* curam (25-40%) dan sangat curam (40-60%). Lokasi studi memiliki dominansi aspek ke arah tenggara (112,5-157,5°), selatan (157,5-202,5°), dan barat daya (202,5-247,5°).

Pengaruh elevasi terhadap LST ditunjukkan oleh regresi linier (**Gambar 7a** dan **Gambar 7b**). Nilai  $R^2$  pada bulan basah dan kering sebesar 0,41 dan 0,45. Pengaruh pada elevasi (X) terhadap LST (Y) sebesar 41%-45%. Persamaan regresi pada bulan basah yaitu  $Y= 41-0,014X$ , sedangkan persamaan pada bulan kering  $Y=52-0,02X$ . Maka dapat diartikan terjadi penurunan suhu sebesar 1,4-2°C pada setiap kenaikan elevasi 100 m dpl. Hal ini sejalan dengan penelitian Khandelwal et al. (2018) menunjukkan bahwa terjadi korelasi yang kuat pada penurunan LST terhadap setiap peningkatan ketinggian tempat sehingga ketinggian tempat memiliki peran penting dalam dinamika LST. Heint et al. (2012) menyebutkan peningkatan radiasi matahari pada setiap tingkat elevasi ditunjukkan oleh adanya peningkatan radiasi aktif fotosintesis yang meningkat seiring peningkatan elevasi, baik pada kondisi berawan atau bebas awan. Radiasi gelombang pendek yang besar terjadi pada elevasi tinggi, *slope* rendah dan lahan yang datar (Firozjaei et al., 2019). Peningkatan tersebut tidak bersifat linier, karena di udara terdapat lapisan troposfer yang tinggi dari permukaan bumi yang menyebabkan rendahnya energi radiasi gelombang panjang yang diserap, rendahnya panas yang tersimpan di atmosfer menghasilkan suhu semakin rendah (Peng et al., 2020).

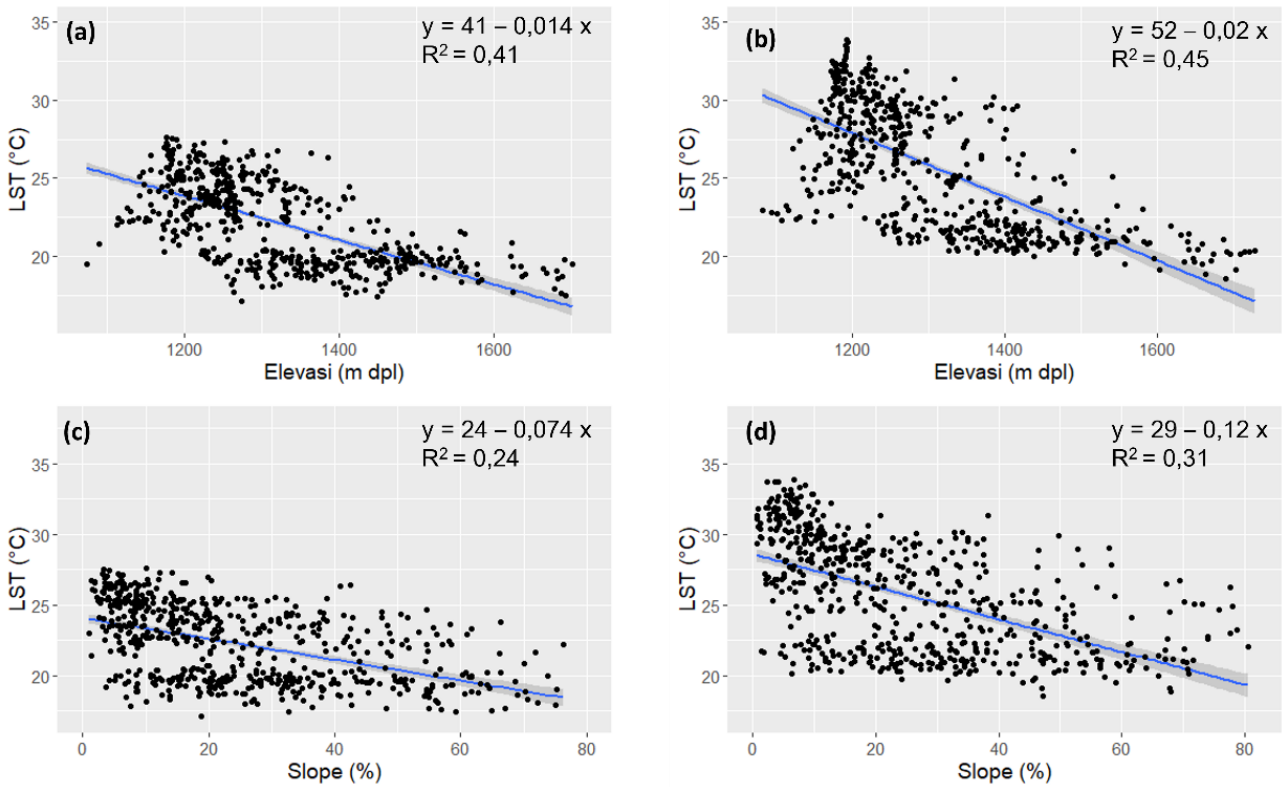
Sebaran nilai LST ditentukan oleh datangnya radiasi matahari, tingkatan vegetasi dan kemiringan

lereng (Körner, 2003). Pengaruh *slope* terhadap LST pada kedua bulan berbeda ditunjukkan dengan regresi linier pada **Gambar 7c** dan **Gambar 7d**. Pada bulan basah, *slope* memiliki pengaruh sebesar 24% ( $R^2$  0,24), sedangkan pada bulan kering sebesar 31% ( $R^2$  0,31). Peningkatan *slope* sebesar 5% akan terjadi penurunan suhu sekitar 0,37°C pada bulan basah dan 0,6°C pada bulan kering. Distribusi penyinaran matahari pada suatu dataran dipengaruhi oleh perbedaan *slope*. He et al. (2019) menyatakan kemiringan lereng dapat mengatur jumlah radiasi langsung yang diterima, radiasi matahari yang masuk pada permukaan tanah cukup sensitif terhadap kemiringan tanah dan mempengaruhi proses pemanasan permukaan tanah.

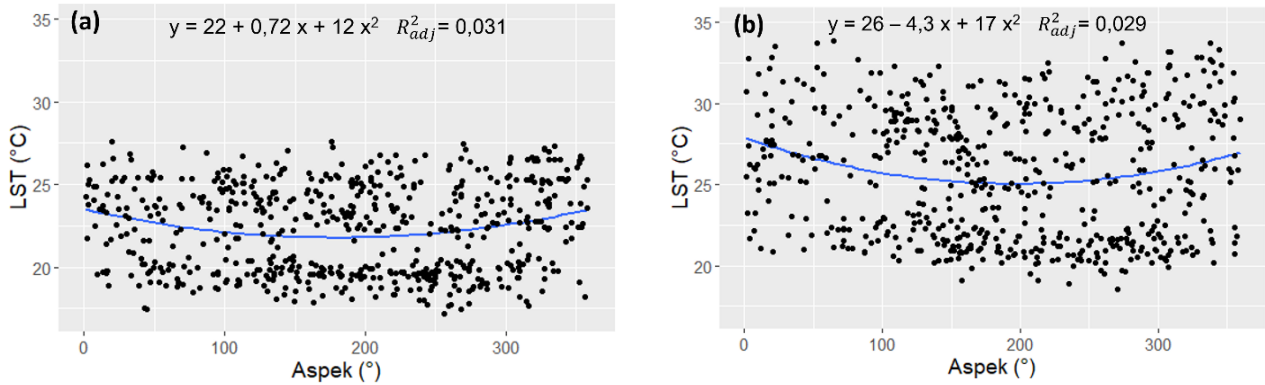
Pengaruh aspek terhadap LST ditunjukkan oleh regresi polinomial pada **Gambar 8a** dan **Gambar 8b**. Besarnya pengaruh aspek tergolong lemah sekitar 2,9-3,1%. Aspek berkaitan dengan paparan radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi pada sudut tertentu. Hasil penelitian Peng et al. (2020) mengungkapkan hubungan antara LST dan aspek tidak dapat dijelaskan melalui analisis regresi. Sejalan dengan penelitian He et al. (2019) yang menyebutkan aspek memiliki peran penting dalam variasi nilai LST kecuali pada wilayah tropis karena penerimaan radiasi matahari yang lebih tinggi dan merata dibandingkan wilayah subtropis.



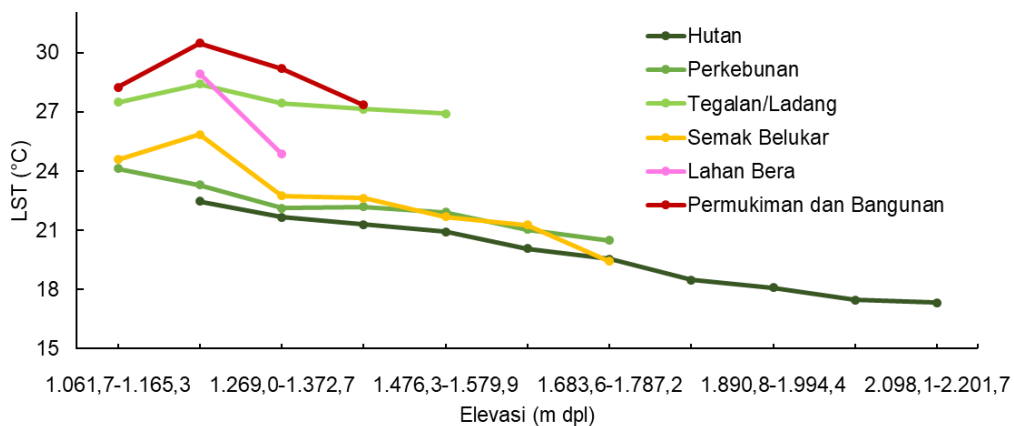
**Gambar 6.** Kondisi topografi berupa elevasi (a), *slope* (b) dan aspek (c) pada lokasi penelitian.



**Gambar 7.** Regresi linier antara LST dengan elevasi pada bulan basah/hujan (a) dan bulan kering/kemarau (b); dan regresi linier antara LST dengan slope pada bulan basah/hujan (c) dan bulan kering/kemarau (d).



**Gambar 8.** Regresi polinomial antara LST dengan aspek pada bulan basah (a) dan bulan kering (b).



**Gambar 9.** Nilai LST bulan kering terhadap tingkatan elevasi pada setiap tutupan lahan di lokasi studi.

Secara umum, peningkatan elevasi akan diikuti oleh penurunan LST. Sejalan dengan hasil penelitian Bindajam et al. (2020), LST berbanding

terbalik dengan elevasi, tetapi pengaruh penggunaan lahan sangat kuat menentukan nilai LST. Pola penurunan LST terhadap peningkatan

elevasi terjadi pada semua tutupan lahan seperti disajikan pada **Gambar 9**.

Kanopi vegetasi yang rapat pada hutan menghasilkan laju evapotranspirasi yang tinggi sehingga dapat menurunkan LST pada siang hari. Efek pendinginan kanopi vegetasi dalam hutan juga akibat suhu dingin dari malam hari yang terperangkap di bawah kanopi. Sedangkan pada tegalan/ladang dengan kanopi vegetasi yang jarang dan elevasi yang rendah lebih peka terhadap radiasi sehingga LST akan lebih tinggi.

Korelasi negatif antara LST dengan elevasi dan *slope* menunjukkan adanya pengaruh kondisi topografi terhadap iklim mikro di sekitarnya. Istiawan & Kastono (2019) menyatakan semakin tinggi elevasi maka intensitas cahaya sebagai sumber panas akan semakin kecil, sehingga suhu udara akan lebih rendah dibandingkan area lain. Namun, pengaruh topografi ini tidak terlepas dari faktor aktivitas manusia (antropogenik). Zhang et al. (2016) menyatakan perubahan penggunaan lahan dan iklim basah dan panas dapat meningkatkan aliran permukaan, *discharge* air tanah, *streamflow*, air limpasan dan evapotranspirasi. Didukung juga oleh Marhaento et al. (2018), bahwa keseimbangan hidrologi pada wilayah DAS akan berubah karena adanya perubahan penggunaan lahan dan perubahan iklim.

Fadhil et al. (2021) menyatakan terjadi peningkatan lahan terbangun di DAS Citarum sebesar 39,7%. Hasil penelitian Siswanto & Francés (2019) juga menunjukkan terjadi potensi peningkatan kawasan permukiman sebesar tiga kali lipat di DAS Citarum dari tahun 1994 sampai 2029 melalui metode *Land Change Modeler*. Wilayah hulu DAS seharusnya menjadi tempat reservoir dan *recharge* air dalam siklus hidrologi. Semakin sedikit lahan bervegetasi pada area resapan maka semakin tinggi tingkat kehilangan air akibat limpasan permukaan dan evapotranspirasi yang tinggi. Suhu permukaan lahan akan meningkat pada area dengan kemampuan resapan air yang rendah, lebih lanjut dapat terjadi penurunan fungsi lahan yang ditandai dengan adanya degradasi lahan.

## KESIMPULAN

Sebaran vegetasi dan kondisi topografi dapat mempengaruhi nilai LST di wilayah Hulu Sub DAS Cikapundung. Pada bulan basah dan kering, keberadaan vegetasi yang rapat pada hutan memiliki LST terendah 19,11°C dan 21,19°C, sedangkan vegetasi yang jarang pada permukiman bangunan memiliki LST tertinggi 25,64°C dan 29,99°C. Secara signifikan terdapat hubungan negatif antara LST dengan elevasi dan *slope*. Elevasi memiliki pengaruh sekitar 41-45% terhadap LST, sedangkan *slope* berpengaruh sebesar 24-

31%. Namun, aspek tidak memiliki hubungan linier dan berpengaruh 2,9-3,1% terhadap LST.

Faktor antropogenik berupa tutupan lahan sangat menentukan nilai LST. Perubahan tutupan lahan yang masif terjadi pada wilayah hulu DAS dapat menyebabkan perubahan kondisi hidrologi. Pemantauan sebaran LST menggunakan citra satelit dapat menjadi basis data penilaian kondisi hidrologi dan masih perlu dikembangkan dalam skala yang lebih luas.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *United States Geological Survey* (USGS), Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum yang telah memfasilitasi data dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barsi, J.A., Schott, J.R., Hook, S.J., Raqueno, N.G., Markham, B.L. & Radocinski, R.G. (2014). Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs61111607>.
- Bertoldi, G., Notarnicola, C., Leitinger, G., Endrizzi, S., Zebisch, M., Della Chiesa, S. & Tappeiner, U. (2010). Topographical and ecohydrological controls on land surface temperature in an alpine catchment. *Ecohydrology*, 3(2), 189-204. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.129>.
- Bindajam, A.A., Mallick, J., AlQadhi, S., Singh, C.K. & Hang, H. T. (2020). Impacts of Vegetation and Topography on Land Surface Temperature Variability over the Semi-Arid Mountain Cities of Saudi Arabia. *Atmosphere*, 11(7), 762-762. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11070762>.
- Brauman, K.A., Freyberg, D.L. & Daily, G.C. (2012). Land cover effects on groundwater recharge in the tropics: ecohydrologic mechanisms. *Ecohydrology*, 5(4), 435-444. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.236>.
- Brevik, E.C. (2013). The potential impact of climate change on soil properties and processes and corresponding influence on food security. *Agriculture*, 3(3), 398-417. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture3030398>.
- Brunsell, N. (2006). Characterization of land-surface precipitation feedback regimes with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 100(2), 200-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.025>.
- Dagbegnon, C., Djebou, S. & Singh, V.P. (2016). Impact of climate change on the hydrologic cycle and implications for society. *Environment and Social Psychology*, 1(1), 36-49. DOI: <https://doi.org/10.18063/ESP.2016.01.002>.
- Degife, A., Worku, H., Gizaw, S. & Legesse, A. (2019). Land use land cover dynamics, its drivers and environmental implications in Lake Hawassa Watershed of Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 178-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.03.005>.
- Duan, S.-B., Li, Z.-L. & Leng, P. (2017). A framework for the retrieval of all-weather land surface temperature at a high spatial resolution from polar-orbiting

- thermal infrared and passive microwave data. *Remote Sensing of Environment*, 195, 107-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.008>.
- Fadhil, M.Y., Hidayat, Y. & Baskoro, D.P.T. (2021). Identifikasi Perubahan Penggunaan Lahan dan Karakteristik Hidrologi DAS Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2), 213-220. DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.213>.
- Firozjaei, M.K., Kiavarz, M., Nematollahi, O., Karimpour Reihan, M. & Alavipanah, S.K. (2019). An evaluation of energy balance parameters, and the relations between topographical and biophysical characteristics using the mountainous surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *International Journal of Remote Sensing*, 40(13), 5230-5260. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1579385>.
- Gorgani, S.A., Panahi, M. & Rezaie, F. (2016). The relationship between NDVI and LST in the urban area of Mashhad, Iran. *International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development*, 27-28 November 2013, Tabriz, Iran.
- Guo, J., Ren, H., Zheng, Y., Lu, S. & Dong, J. (2020). Evaluation of land surface temperature retrieval from Landsat 8/TIRS images before and after stray light correction using the SURFRAD dataset. *Remote Sensing*, 12(6), 1023, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12061023>.
- He, J., Zhao, W., Li, A., Wen, F. & Yu, D. (2019). The impact of the terrain effect on land surface temperature variation based on Landsat-8 observations in mountainous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 40(5-6), 1808-1827. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466082>.
- Heinl, M., Leitinger, G. & Tappeiner, U. (2012). Diurnal Surface Temperature Regimes in Mountain Environments. *Physical Geography*, 33(4), 344-359. DOI: <https://doi.org/10.2747/0272-3646.33.4.344>.
- Hulley, G.C., Ghent, D., Göttsche, F.M., Guillevic, P.C., Mildrexler, D.J. & Coll, C. (2019). 3 - Land surface temperature. 57-127pp. In Hulley, G.C. & Ghent, D. (Eds.) *Taking the temperature of the earth*. Elsevier. ii, 246p. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814458-9.00003-4>.
- Istiawan, N.D. & Kastono, D. (2019). Pengaruh ketinggian tempat tumbuh terhadap hasil dan kualitas minyak cengkih (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & Perry.) di Kecamatan Samigaluh, Kulon Progo. *Vegetalika*, 8(1), 27-41. DOI: <https://doi.org/10.22146/veg.35744>.
- Jimenez-Munoz, J.C., Cristobal, J., Sobrino, J.A., Soria, G., Ninyerola, M., Pons, X. & Pons, X. (2009). Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(1), 339-349. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2007125>.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Skoković, D., Mattar, C. & Cristóbal, J. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840-1843. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2312032>.
- Jiménez-Muñoz, J.C. & Sobrino, J.A. (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22), 2-1-2-9. DOI: <https://doi.org/10.1029/2003JD003480>.
- Kayiranga, A., Ndayisaba, F., Nahayo, L., Karamage, F., Nsengiyumva, J.B., Mupenzi, C. & Nyeshaja, E.M. (2017). Analysis of climate and topography impacts on the spatial distribution of vegetation in the Virunga Volcanoes Massif of East-Central Africa. *Geosciences*, 7(1), 17, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences7010017>.
- Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N. & Mathew, A. (2018). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 87-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.01.005>.
- Körner, C. (2003). *Alpine plant life: Functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer Berlin, Heidelberg. 2<sup>nd</sup> Edition. xi, 349p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-18970-8>.
- Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I.F. & Sobrino, J.A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.
- Marhaento, H., Booij, M.J. & Hoekstra, A.Y. (2018). Hydrological response to future land-use change and climate change in a tropical catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 63(9), 1368-1385. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1511054>.
- Marsoedi, D.S., Widagdo, D.J., Suharta, N., Darul, S.W.P. & Hardjowigeno, S. (1997). *Guidelines for landform classification*. 33p. Puslittanak-the Indonesian Agency for Agricultural Research and Development, Ministry of Agriculture in Agricultural Science And Technology Information, FAO.
- Niclòs, R., Puchades, J., Coll, C., Barberà, M. J., Pérez-Planells, L., Valiente, J.A. & Sánchez, J.M. (2021). Evaluation of Landsat-8 TIRS data recalibrations and land surface temperature split-window algorithms over a homogeneous crop area with different phenological land covers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 174(2017), 237-253. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.02.005>.
- Njoku, E.A. & Tenenbaum, D.E. (2022). Quantitative assessment of the relationship between land use/land cover (LULC), topographic elevation and land surface temperature (LST) in Ilorin, Nigeria. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27(2022), 100780, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100780>.
- Peng, X., Wu, W., Zheng, Y., Sun, J., Hu, T., & Wang, P. (2020). Correlation analysis of land surface temperature and topographic elements in Hangzhou, China. *Scientific Reports*, 10(1), 10451-10451. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67423-6>.
- Pierce, K.B., Lookingbill, T. & Urban, D. (2005). A simple method for estimating potential relative radiation (PRR) for landscape-scale vegetation analysis. *Landscape Ecology*, 20(2), 137-147. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-004-1296-6>.
- Qin, Z., Dall'Olmo, G., Karnieli, A. & Berliner, P. (2001a). Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high

- resolution radiometer data. *Journal of geophysical Research: Atmospheres*, 106(D19), 22655-22670. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000JD900452>.
- Qin, Z., Karnieli, A. & Berliner, P. (2001b). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719-3746. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160010006971>.
- Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175-3186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.003>.
- Silvestro, F., Gabellani, S., Delogu, F., Rudari, R. & Boni, G. (2013). Exploiting remote sensing land surface temperature in distributed hydrological modelling: the example of the Continuum model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 39-62. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-39-2013>.
- Siswanto, S.Y. & Francés, F. (2019). How land use/land cover changes can affect water, flooding and sedimentation in a tropical watershed: a case study using distributed modeling in the Upper Citarum watershed, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 78, 50(2019) 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8561-0>.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434-440. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>.
- Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. & Martinez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.904834>.
- Sobrino, J.A., Li, Z.L., Stoll, M.P. & Becker, F. (1996). Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11), 2089-2114. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169608948760>.
- Soja, G., Züger, J., Knoflacher, M., Kinner, P., & Soja, A.-M. (2013). Climate impacts on water balance of a shallow steppe lake in Eastern Austria (Lake Neusiedl). *Journal of Hydrology*, 480, 115-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.013>.
- Solihin, M.A. & Putri, N. (2020). Keragaman penggunaan lahan eksisting di hulu sub DAS Cikapundung berdasarkan indeks vegetasi dan temperatur permukaan lahan. *Agrikultura*, 31(3), 251-262. DOI: <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i3.29467>.
- Solihin, M.A., Putri, N., Setiawan, A., Siliwangi, D. & Arifin, M. (2020). Karakteristik indeks vegetasi pada berbagai penggunaan lahan di hulu sub DAS Cikapundung melalui interpretasi citra satelit Landsat 8. *Kultivasi*, 19(3), 1202-1209. DOI: <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i3.28625>.
- Tomlinson, C.J., Chapman, L., Thornes, J.E. & Baker, C. (2011). Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. *Meteorological Applications*, 18(3), 296-306. DOI: <https://doi.org/10.1002/met.287>.
- Trigo, I.F., Monteiro, I.T., Olesen, F. & Kabsch, E. (2008). An assessment of remotely sensed land surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D17). DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JD010035>.
- Wang, Z., Lu, Z. & Cui, G. (2020). Spatiotemporal Variation of Land Surface Temperature and Vegetation in Response to Climate Change Based on NOAA-AVHRR Data over China. *Sustainability*, 12(9), 3601. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12093601>.
- Wohl, E., Barros, A., Brunzell, N., Chappell, N.A., Coe, M., Giambelluca, T., Goldsmith, S., Harmon, R., Hendrickx, J.M. & Juvik, J. (2012). The hydrology of the humid tropics. *Nature Climate Change*, 2(9), 655-662. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1556>.
- Xu, C., Chen, Y., Yang, Y., Hao, X., & Shen, Y. (2010). Hydrology and water resources variation and its response to regional climate change in Xinjiang. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 599-612. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11442-010-0599-6>.
- Xue, Y., Lu, H., Guan, Y., Tian, P. & Yao, T. (2021). Impact of thermal condition on vegetation feedback under greening trend of China. *Science of the Total Environment*, 785(2021), 147380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147380>.
- Yue, W., Xu, J., Tan, W. & Xu, L. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3205-3226. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160500306906>.
- Zhang, L., Nan, Z., Xu, Y. & Li, S. (2016). Hydrological impacts of land use change and climate variability in the Headwater Region of the Heihe River Basin, Northwest China. *PLoS ONE*, 11(6), e0158394-e0158394. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158394>.
- Zhu, W., Lü, A. & Jia, S. (2013). Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing of Environment*, 130(2013), 62-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.034>.
- Zhu, X., Duan, S.-B., Li, Z.-L., Zhao, W., Wu, H., Leng, P., Gao, M. & Zhou, X. (2021). Retrieval of Land surface temperature with topographic effect correction from Landsat 8 Thermal Infrared Data in Mountainous Areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(8), 6674-6687. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3030900>.

***Halaman ini sengaja kami kosongkan***

# ANALISIS KEBERLANJUTAN EKOSISTEM BARCHAN PASCA PENETAPAN KAGUNGAN NDALEM GUMUK PASIR PARANGTRITIS MENJADI ZONA GEOHERITAGE DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

(Sustainability Analysis on the Barchan Ecosystem Following the Establishment of the Kagungan Dalem Gumuk Pasir Parangtritis as A Geoheritage Zone in Yogyakarta Special Region)

Suprajaka<sup>1,2</sup>, Putri Meissarah<sup>3</sup>, Edwin Maulana<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Badan Informasi Geospasial

<sup>2</sup>Universitas Esa Unggul

<sup>3</sup>Badan Informasi Geospasial, Parangtritis Geomaritime Park

<sup>4</sup>Universitas Gadjah Mada

Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong Kab. Bogor Jawa Barat 16911

email: [suprajaka@big.go.id](mailto:suprajaka@big.go.id)

Diterima: 3 Februari 2023; Direvisi: 10 Maret 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 April 2023

## ABSTRAK

Gumuk pasir barchan merupakan salah satu bentukan alam unik yang mulai terancam eksistensinya. Pemerintah menetapkan kawasan gumuk pasir menjadi warisan geologi (*geoheritage*) di tahun 2021 sebagai salah satu upaya konservasi gumuk pasir barchan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keberlanjutan ekosistem gumuk pasir, pasca ditetapkan menjadi kawasan *geoheritage*. Indikator yang digunakan untuk menganalisis keberlanjutan ekosistem gumuk pasir adalah aspek sosial, ekonomi dan lingkungan. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan teknik skoring. Kelas keberlanjutan dibagi menjadi lima kelas, yaitu sangat buruk, buruk, sedang, baik dan sangat baik. Akuisisi data dilakukan melalui wawancara dengan metode *purposive sampling*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai akumulatif dari seluruh parameter keberlanjutan gumuk pasir adalah 3,402 dan tergolong pada kelas sedang. Aspek yang perlu mendapatkan perhatian serius adalah keberlanjutan dari sisi parameter sosial karena nilainya paling rendah 3,246. Meskipun tergolong dalam kategori sedang, aspek sosial perlu disoroti untuk meminimalkan timbulnya permasalahan di masa mendatang. Hasil kajian ini dapat dimanfaatkan pihak berwenang untuk merumuskan perencanaan pengelolaan zona *geoheritage* gumuk pasir sehingga dapat meningkatkan nilai keberlanjutan ekosistem gumuk pasir Parangtritis.

**Kata Kunci:** barchan, *geoheritage*, gumuk pasir, keberlanjutan pesisir

## ABSTRACT

*Barchan dunes are a unique natural landform whose existence is threatened. The government designated the dune area a geological heritage (geoheritage) in 2021 as one of the efforts to conserve barchan dunes. This research was conducted to determine the sustainability of the dune ecosystem after being designated as a geoheritage area. The indicators used to analyze the sustainability of the dune ecosystem are social, economic, and environmental. The approach used is a quantitative approach with scoring techniques. Sustainability class is divided into five classes: very bad, bad, moderate, good, and very good. Data acquisition was carried out by interviewing with a purposive sampling method. The results showed that the accumulative value of the sustainability of dunes was 3.402 and belonged to the medium class. The aspect that needs serious attention is social sustainability because it gets the lowest score of 3,246. Even though it was in the moderate category, social aspects need to be highlighted to minimize the emergence of problems in the future. The results of this study can be utilized by the authorities to formulate a management plan for the dune geoheritage zone to increase the sustainability value of the Parangtritis sand dune ecosystem.*

**Keywords:** barchan, *geoheritage*, sand dunes, coastal sustainability

## PENDAHULUAN

Gumuk pasir barchan di Parangtritis merupakan sebuah kenampakan alam unik yang dimiliki Daerah Istimewa Yogyakarta. Gumuk pasir Parangtritis yang merupakan bagian dari sumbu imajiner dan filosofis Yogyakarta patut dilestarikan karena menjadi salah satu dari sekian faktor yang berperan dalam mendukung keistimewaan Yogyakarta (Anny et al., 2022). Keistimewaan dari

bentuk barchan menjadi sorotan di gumuk pasir Parangtritis karena tidak semua gumuk pasir di dunia memiliki kenampakan barchan. Bentuk barchan biasanya ditemukan di daerah arid atau semi-arid, namun Parangtritis yang terletak di daerah tropis memiliki bentukan barchan (Khatimah et al., 2018; Ningrum et al., 2021).

Gumuk pasir Parangtritis merupakan produk lanskap dari proses aeolian. Bentuk lahan aeolian



merupakan semua kenampakan alam yang terbentuk akibat proses angin (Altameemi & Al-Taie, 2022). Produk utama dari proses aeolian adalah gumuk pasir, yang biasanya ditemukan di daerah gurun pasir maupun wilayah pesisir (Zheng et al., 2022). Itulah mengapa kelestarian gumuk pasir sangat dipengaruhi oleh proses hembusan angin. Sayangnya saat ini proses aeolian yang ada di kawasan gumuk pasir mengalami distraksi oleh beberapa fenomena di lapangan. Sunarto et al. (2018) menyebutkan bahwa faktor antropogenik berperan dominan dalam menghambat proses aeolian.

Gangguan terhadap proses aeolian di gumuk pasir Parangtritis disebabkan oleh tersumbatnya lorong angin di arah selatan. Lorong angin merupakan jalur transportasi angin yang membawa material berupa pasir ke arah daratan. Ningrum et al., (2021) mengungkapkan bahwa salah satu faktor yang menghambat lorong angin adalah pembangunan infrastruktur dan kegiatan wisata yang kurang tertata dan terorganisir. Lebih lanjut, penanaman kawasan di bibir pantai seperti pohon cemara udang (*Casuarina equisetifolia*) juga berpengaruh terhadap proses pembentukan gumuk pasir. Perubahan penggunaan lahan yang tidak terkontrol juga turut mengganggu suplai material gumuk pasir (Sunarto et al., 2018; Ningrum et al., 2021).

Pemerintah berupaya menjaga kelestarian gumuk pasir melalui penetapan gumuk pasir sebagai kawasan *geoheritage* yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 13.K/HK.1/MEM.G/2021 tentang Penetapan Warisan Geologi (Geoheritage) Daerah Istimewa Yogyakarta (Kem. ESDM, 2021). Penetapan gumuk pasir sebagai kawasan *geoheritage* berimplikasi pada pembagian gumuk pasir menjadi tiga zona, yaitu zona inti, zona terbatas dan zona penyangga. Zona inti seluas 141,5 ha merupakan kawasan yang harus dikonservasi, sehingga eksistensi gumuk pasir barchan di kawasan ini tetap terjaga. Berdasarkan hasil analisis kenampakan visual perubahan penggunaan lahan di zona inti gumuk pasir masih terus terjadi, sehingga diperlukan sebuah kajian strategis untuk menjaga kelestarian ekosistem gumuk pasir barchan.

Kajian terkait gumuk pasir Parangtritis merupakan tema menarik untuk dipelajari. Beberapa peneliti terdahulu fokus pada kajian tutupan lahan di gumuk pasir Parangtritis (Handayani & Hidayat, 2019; Laksono et al., 2020; Azahra et al., 2021). Kajian terkait penggunaan lahan gumuk pasir kemudian mulai berkembang ke berbagai sektor seperti aspek ekonomi (Khatimah et al., 2018), proses pembentukan (Malawani et al., 2019), kebencanaan (Putri et al., 2019), *stakeholder*

(Ningrum et al., 2021). Menariknya, belum ada satupun peneliti yang mengkaji tentang keberlanjutan ekosistem gumuk pasir padahal keberadaannya mulai terancam.

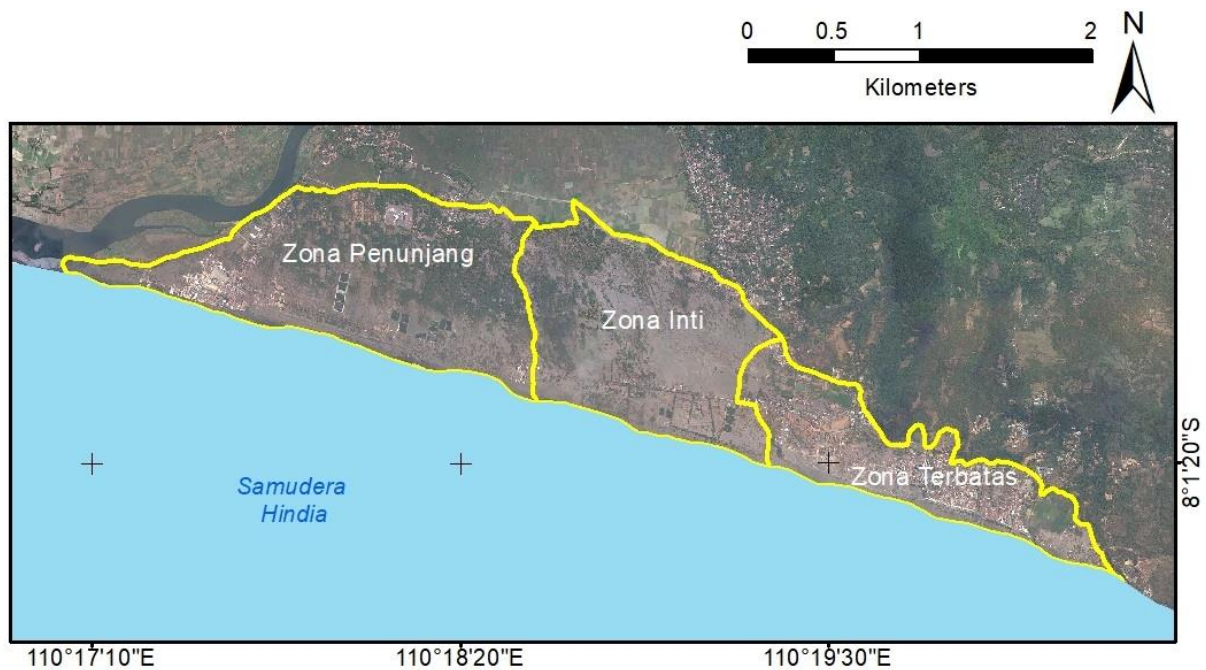
Analisis keberlanjutan ekosistem gumuk pasir barchan mendesak untuk dilakukan sebagai langkah awal dalam menentukan arah pengelolaan gumuk pasir pasca ditetapkan sebagai *geoheritage*. Analisis keberlanjutan secara sederhana diartikan sebagai sebuah kajian yang bertujuan untuk menilai sejauh mana ekosistem dapat bertahan atau berkembang tanpa adanya intervensi. Lebih lanjut, Thies et al., (2019) mengungkapkan bahwa analisis keberlanjutan merupakan hasil analisis terhadap sistem ekonomi, sosial dan lingkungan. Pengukuran terhadap tiga sistem tersebut dilakukan untuk mengetahui gambaran kondisi keberlanjutan ekosistem gumuk pasir pada masa pasca pandemi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis keberlanjutan ekosistem gumuk pasir barchan pasca ditetapkan sebagai kawasan *geoheritage*. Analisis keberlanjutan dapat diukur dengan studi persepsi masyarakat seperti yang dilakukan oleh Arifiani & Mussadun (2016) dengan modifikasi dan disesuaikan dengan kondisi ekosistem gumuk pasir. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan pemangku kepentingan untuk merumuskan strategi pengelolaan gumuk pasir barchan agar ekosistemnya tetap lestari.

## METODE

### Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan Kagungan Dalem Gumuk Pasir Barchan, Desa Parangtritis, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul ( $8^{\circ} 00' 41,6''$  -  $8^{\circ} 01' 42,3''$  LS dan  $110^{\circ} 20' 25,5''$  -  $110^{\circ} 18' 8,3''$  BT). Kawasan gumuk pasir memiliki luas 412 hektar dengan kelas kelerengan berkisar  $0-3^{\circ}$  dan elevasi maksimal 41 mdpal. Gumuk Pasir Parangtritis berbatasan dengan Sungai Opak di sebelah barat dan utara, Samudera Hindia di selatan dan perbukitan karst di sebelah timur. Penggunaan lahan di gumuk pasir terdiri dari hutan pantai, sawah, peternakan, permukiman, tambak, tanah kosong, padang rumput, dan pertanian lahan kering (Sunarto et al., 2018). Mata pencaharian utama penduduk di sekitar gumuk pasir didominasi dari sektor wisata dan pertanian. Beberapa objek wisata di Kawasan Parangtritis terdiri dari wisata alam (pantai dan pemandian air panas), kuliner serta keolahragaan (berkuda, berkendara jeep dan *sand-boarding*). Pertanian yang menjadi primadona adalah bawang merah dan cabai rawit. Detil lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian Geoheritage Gumuk Pasir Parangtritis.

### Metode Penelitian

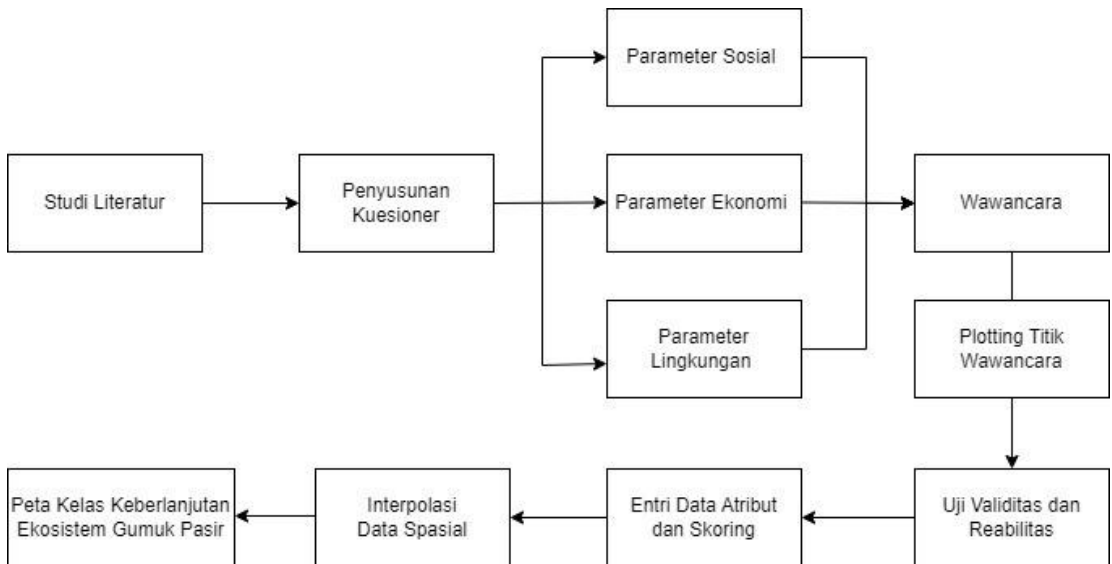
Indikator yang digunakan untuk mengukur keberlanjutan ekosistem gumuk pasir mengacu pada penelitian Arifiani & Mussadun (2016) dengan modifikasi. Setidaknya, ada tiga indikator utama yang akan diukur, yaitu ekonomi, sosial dan lingkungan. Parameter yang digunakan untuk mengukur indikator ekonomi adalah a) pendapatan; b) peluang pekerjaan; c) jumlah pekerja; d) tabungan; e) daya beli. Sedangkan parameter sosial yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: a) hubungan sosial; b) kesehatan; c) skill dan keterampilan; d) kriminalitas; e) jam bekerja. Lebih lanjut, parameter yang digunakan untuk mengukur indikator lingkungan terdiri dari: a) perubahan luas gumuk pasir; b) kenampakan gumuk pasir barchan; c) bencana kepebisiran; d) volume sampah; e) kualitas lingkungan.

Perolehan data dilakukan melalui wawancara terhadap masyarakat di sekitar ekosistem gumuk pasir Parangtritis. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 responden, yang dibagi ke dalam tiga zona *geoheritage* secara *random sampling*. Survei dilaksanakan pada bulan Desember 2022 hingga Januari 2023. Jumlah tersebut dianggap mewakili karena telah memenuhi jumlah sampel minimal berdasarkan teorema limit sentral (Alwi, 2015). Tipe pertanyaan dalam kuesioner bersifat tertutup, dengan lima pilihan jawaban yaitu: a) satu (sangat menurun); b) dua (menurun); c) tiga (tetap); d) empat (meningkat); dan e) lima (sangat meningkat). Pilihan tersebut dikonversikan ke dalam bentuk angka dengan metode skoring. Pengujian terhadap instrumen yang digunakan dilakukan dalam dua tahapan, yaitu uji validitas dan reabilitas. Uji validitas dilakukan

untuk menguji tingkat kevalidan dari instrumen yang digunakan (Hartati et al., 2020). Selanjutnya, uji realibilitas dilakukan untuk menguji konsistensi jawaban responden (Fahmeyzan et al., 2018).

Penjumlahan dari 15 parameter keberlanjutan ekosistem dikalkulasi pada data atribut dari kuesioner. Hasil kalkulasi tersebut kemudian dikategorikan menjadi lima kelas, yaitu: a) keberlanjutan sangat tinggi (skor: 4,2-5,0); b) tinggi (skor: 3,5-4,1); c) sedang (skor 2,7-3,4); d) rendah (skor 1,9-2,6); dan e) sangat rendah (skor 1,0-1,8). Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk gambar, tabel dan uraian deskriptif serta peta. Interpolasi dilakukan untuk mendapatkan sebaran spasial dari keberlanjutan ekosistem gumuk pasir barchan. *Ordinary kriging* merupakan metode geostatistik untuk mendapatkan nilai interpolasi berdasarkan kombinasi linear nilai kadar sampel dan bobot korelasi spasial. *Ordinary kriging* digunakan untuk interpolasi data hasil survei lapangan (Mustika et al., 2022).

Setiap indikator yang berpengaruh terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir dianalisis dengan pendekatan deskriptif eksploratif. Tahapan analisis deskriptif eksploratif yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: 1) membaca dan memahami secara berulang jawaban responden; 2) menguraikan jawaban dengan basis teori terkait; 3) menjelaskan hubungan antar parameter; dan 4) menarik kesimpulan. Uji regresi linear berganda digunakan untuk menjelaskan pengaruh variabel independent (aspek sosial, ekonomi dan lingkungan) paling berpengaruh terhadap variabel dependen (keberlanjutan ekosistem gumuk pasir) yang diteliti (Al Arif & Nurashiah, 2016). Secara sederhana, diagram alir penelitian disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Statistik Deskriptif, Uji Validitas dan Reabilitas Instrumen

Analisis statistik deskriptif bertujuan untuk memberikan gambaran terhadap karakteristik responden yang diteliti. Hasil analisis menunjukkan bahwa jumlah responden didominasi oleh laki-laki dengan persentase sebesar 63,33% dengan mayoritas umur berkisar 30-40 tahun. Rata-rata pekerjaan responden adalah pekerja pada sektor wisata dengan jumlah 10 responden, disusul pekerja sektor perdagangan dengan jumlah 8 responden dan sisanya berprofesi di bidang pertanian, jasa dan pemerintahan. Tingkat pendidikan responden didominasi oleh lulusan dari Sekolah Menengah Atas (SMA) dengan persentase sebesar 53,3% disusul dengan responden dari lulusan Sekolah Dasar (SD) dan Sekolah Menengah Pertama (SMP) dengan persentase masing-masing 16,67%. Sebagian besar responden (74,4%) sudah mengetahui mengenai ditetapkannya gumuk pasir sebagai kawasan *geoheritage* dan hanya 26,6% responden masih belum mengetahuinya.

Kalkulasi uji validitas terhadap instrumen menghasilkan nilai R-Hitung berkisar antara 0,19 hingga 0,66. Nilai signifikansi yang digunakan merupakan signifikansi dua arah dengan tingkat kepercayaan 0,1% sehingga nilai R-Tabel adalah 0,4409. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hampir keseluruhan instrumen tergolong valid kecuali pada aspek bencana kepebisiran dengan nilai R-Hitung sebesar 0,19. Hal ini disebabkan oleh jawaban responden pada butir pertanyaan tersebut sangat bervariasi.

Tahap selanjutnya adalah menghitung reabilitas instrumen dengan tahap awal menghitung jumlah dan total varian. Berdasarkan nilai varian tahap selanjutnya adalah menghitung Cronbach's Alpha (CA) yang merupakan metode untuk mengukur validitas internal dari skala atau

instrumen pengukuran, sehingga diketahui reabilitas instrumen. Nilai CA merupakan ukuran yang baik jika nilainya di atas 0,7 (Schrepp, 2020). Hasil analisis nilai CA sebesar 0,733, sehingga instrumen dapat dikategorikan baik.

### Analisis Kondisi Ekonomi Masyarakat

Aspek ekonomi merupakan sebuah isu krusial yang sering disoroti ketika terjadi sebuah perubahan dalam suatu tatanan yang berimbas terhadap masyarakat. Perubahan fungsi kawasan Kagungan Dalem Gumuk Pasir menjadi zona *geoheritage* tentunya juga akan berimbas terhadap kehidupan dan penghidupan masyarakat di sekitar gumuk pasir. Hal tersebut dikarenakan adanya aturan-aturan terkait konservasi untuk menjaga eksistensi gumuk pasir barchan di Parangtritis. Analisis keberlanjutan gumuk pasir dari sektor ekonomi dinilai berdasarkan lima aspek yang dikaji, yaitu daya beli, tabungan, jumlah pekerja, peluang pekerjaan dan pendapatan.

Hasil analisis dari sisi pendapatan responden menilai bahwa cenderung terjadi peningkatan meskipun jumlahnya kecil. Hal tersebut tidak lepas dari mulai dibukanya sektor pariwisata setelah pandemi. Lebih lanjut peningkatan pendapatan juga disebabkan oleh peluang pekerjaan dan jumlah pekerja yang meningkat di gumuk pasir. Nilai rata-rata peluang pekerjaan baru dan jumlah pekerja adalah 3,50 dan 3,70. Responden memberikan respon positif terhadap peluang pekerjaan baru yang ada setelah penetapan kawasan Kagungan Dalem Gumuk Pasir adalah karena jumlah pengunjung mingguan cenderung meningkat dibanding sebelumnya (Pratiwi & Prakosa, 2021). Fakta tersebut memberikan peluang pelaku wisata untuk membuka wahana wisata baru seperti persewaan jeep, jasa fotografi, maupun menjadi pedagang di sekitar gumuk pasir.

Aspek daya beli dan tabungan mendapat nilai yang cenderung lebih rendah dibanding tiga aspek lainnya. Aspek daya beli dan tabungan memperoleh

nilai total 102 dan 94 dengan rata-rata sebesar 3,40 dan 3,13 (**Gambar 3**). Penambahan tingkat pendapatan yang kurang berimbang pada peningkatan jumlah tabungan dan daya beli menjadi fokus kajian yang menarik untuk dijadikan fokus penelitian lanjutan. Mutiara & Agustian, (2022) menyoroti pentingnya literasi keuangan untuk mengatasi permasalahan serupa, sehingga tidak terjadi kesalahan pengelolaan keuangan rumah tangga.

Nilai akumulatif dari aspek ekonomi adalah 3,46 sehingga berada pada rentang keberlanjutan tingkat sedang. Nilai keberlanjutan pada tingkat sedang belum sepenuhnya aman, sehingga tidak bisa dibiarkan berjalan tanpa ada upaya intervensi. Beberapa upaya intervensi yang dapat dilakukan adalah ekoturisme (Kinanthi, 2022), digitalisasi jasa wisata (Masruroh, 2022) serta melalui kolaborasi *penta helix* (Sari et al., 2022). Perencanaan komprehensif bersama antara masyarakat, pemerintah dan swasta dapat dilakukan untuk pengembangan kawasan wisata di gumuk pasir. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menyusun *roadmap* pengembangan kawasan konservasi gumuk pasir barchan dalam aspek ekonomi, sosial dan lingkungan.

Pemanfaatan segala sarana untuk meningkatkan potensi wisata dapat dilakukan dengan syarat bahwa segala upaya yang dilakukan tidak berpotensi untuk menghalangi lorong angin dan pembentukan gumuk pasir barchan. Hal tersebut sangat perlu diperhatikan dalam pengembangan kegiatan wisata di zona *geoheritage*, mengingat kondisi gumuk pasir barchan mulai mengalami ancaman serius dalam beberapa tahun terakhir (Hendrastuti et al., 2018). Pengembangan ekoturisme di kawasan *geoheritage* gumuk pasir cukup sesuai untuk diterapkan, mengingat gumuk pasir termasuk wisata minat khusus. Konsep ekoturisme cenderung untuk mengedepankan aspek konservasi dibandingkan pemanfaatan sehingga eksistensi gumuk pasir barchan bisa tetap lestari (Hendrastuti et al., 2018; Kinanthi, 2022).

### Analisis Kondisi Sosial Masyarakat

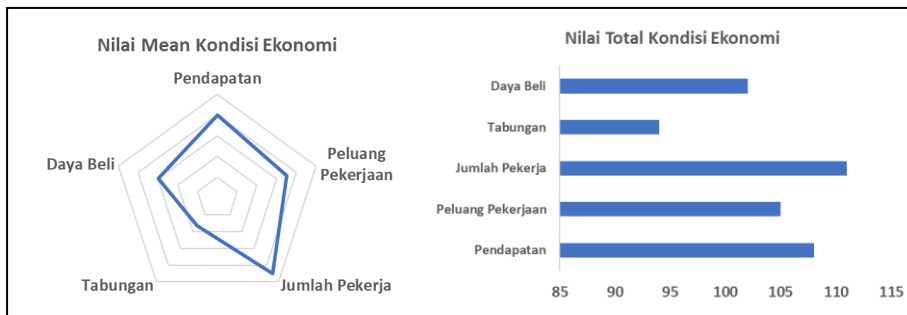
Penetapan kawasan gumuk pasir Parangtritis sebagai zona *geoheritage* dapat memiliki dampak positif dan negatif terhadap masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan gumuk pasir. Dampak positif yang mungkin dapat terjadi pasca penetapan menjadi zona *geoheritage* adalah peningkatan pariwisata di kawasan gumuk pasir sehingga dapat meningkatkan pendapatan masyarakat melalui usaha-usaha yang terkait dengan pariwisata, seperti penginapan, makanan dan jasa-jasa lainnya. Namun, dampak negatif juga dapat terjadi, seperti aktivitas pariwisata yang berlebihan dapat merusak lingkungan dan mengganggu kehidupan

masyarakat lokal. Lebih lanjut, batasan-batasan yang diberikan karena penetapan kawasan gumuk pasir menjadi zona *geoheritage* juga berpotensi untuk menimbulkan gesekan kepentingan secara vertikal dan horisontal di lapangan. Parameter yang digunakan untuk menilai keberlanjutan dari sisi sosial terdiri dari a) hubungan sosial; b) kesehatan; c) *skill* dan keterampilan; d) kriminalitas; dan e) jam bekerja.

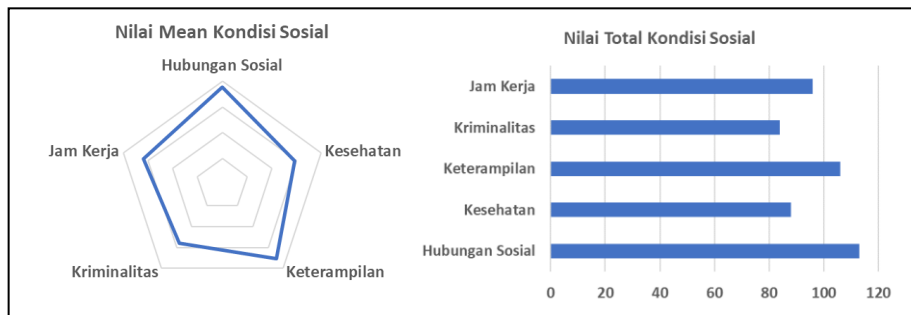
Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa aspek kondisi sosial cenderung naik pasca penetapan menjadi zona *geoheritage*. Aspek yang mengalami kenaikan adalah hubungan sosial, keterampilan dan jam kerja. Aspek hubungan sosial adalah aspek yang paling meningkat dengan nilai total 113 dengan nilai *mean* 3,77. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi komunikasi yang baik antar masyarakat pasca penetapan kawasan gumuk pasir menjadi zona *geoheritage*. Bentuk dan strategi komunikasi antar pemangku kepentingan termasuk masyarakat tentang penetapan kawasan *geoheritage* perlu ditindaklanjuti dalam penelitian selanjutnya.

Sebagai tambahan, keterampilan masyarakat dan jam kerja masyarakat juga turut meningkat. Peningkatan keterampilan diindikasikan terjadi secara tidak langsung karena berdasarkan wawancara belum ada penyuluhan maupun pelatihan secara resmi dari berbagai pihak. Komunikasi verbal antara pelaku wisata diduga dapat meningkatkan keterampilan pelaku wisata mengingat jam kerja pelaku wisata juga meningkat, sehingga komunikasi terjalin lebih intensif. Peningkatan keterampilan pelaku wisata di gumuk pasir merupakan nilai tambah bagi kegiatan wisata, karena berdasarkan pendapat (Istiyanti, 2020), keterampilan dapat meningkatkan inovasi untuk mengantarkan pada kemandirian sehingga memainkan peranan penting terhadap pembangunan, khususnya pembangunan pariwisata.

Penurunan kondisi sosial terjadi pada aspek kesehatan dan kriminalitas dengan nilai total masing-masing 88 dan 84 serta *mean* 2,93 dan 2,80 (**Gambar 4**). Penurunan dari aspek kesehatan ditandai dengan beberapa penyakit musiman seperti flu, maupun penyakit lain yang sifatnya lokal. Penurunan dalam aspek kriminalitas diartikan sebagai peningkatan jumlah kejadian kriminal yang terjadi di kawasan gumuk pasir selama periode 2021-2022. Penurunan dari aspek kesehatan dan kriminalitas diindikasikan bukan disebabkan karena perubahan status zonasi gumuk pasir, namun ada faktor lain yang perlu ditelusuri lebih mendalam pada penelitian selanjutnya. Berdasarkan kajian Sinuraya, (2022), salah satu bentuk kriminalitas pada kawasan wisata di DIY adalah klitih. Fenomena klitih inilah yang diindikasikan membuat penilaian responden terhadap aspek kriminalitas menjadi rendah.



Gambar 3. Nilai mean dan total sektor kondisi ekonomi masyarakat.



Gambar 4. Nilai mean dan total sektor kondisi sosial masyarakat.

Nilai akumulatif dari aspek sosial adalah 3,25 dan dikategorikan pada kelas sedang. Nilai tersebut tergolong rendah dibandingkan dari aspek ekonomi yang terjadi dan menandakan respon masyarakat masih belum cukup baik terhadap penetapan zona *geoheritage* gumuk pasir. Isu sosial di gumuk pasir dikaji oleh Dwimartanti (2016) yang diperoleh hasil bahwa terdapat tanggapan pro dan kontra terhadap kegiatan restorasi gumuk pasir. Lebih lanjut, Widiyanto (2019) juga menyoroti isu sosial terkait konservasi di gumuk pasir sehingga tidak merugikan berbagai pihak yang berkepentingan. Pemahaman mendalam dan sosialisasi terhadap masyarakat perlu dilakukan untuk meningkatkan keberlanjutan sektor sosial di zona *geoheritage* gumuk pasir.

### Analisis Kondisi Lingkungan

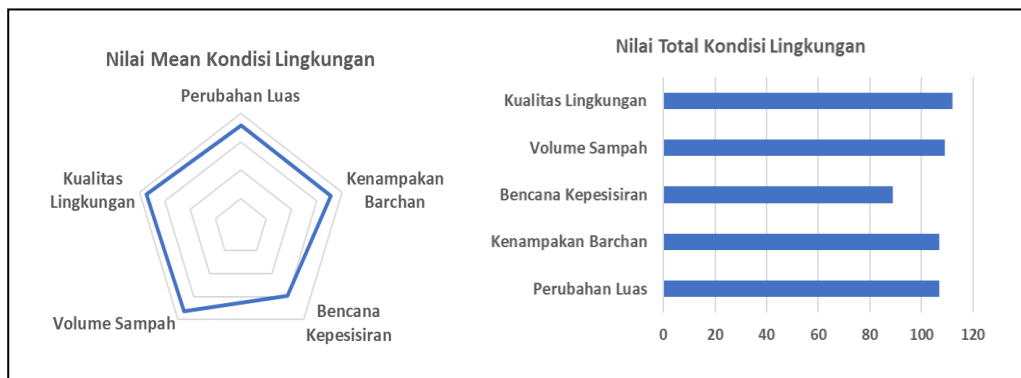
Penetapan Kawasan Kagungan Dalem Gumuk Pasir Parangtritis menjadi Zona *Geoheritage* diharapkan dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya pelestarian dan pengelolaan sumberdaya geologi serta keanekaragaman hayati yang ada. Bentuk dari upaya konservasi ini telah lama digagas dan mulai diresmikan melalui aturan yang tertuang ketentuan dalam Kem. ESDM (2021). Indikator yang digunakan untuk menilai keberlanjutan sektor lingkungan terdiri dari: a) perubahan luas gumuk pasir; b) kenampakan gumuk pasir barchan; c) bencana kepebisiran; d) volume sampah; dan e) kualitas lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persepsi masyarakat terhadap keberlanjutan sektor lingkungan di gumuk pasir tergolong baik. Satu aspek yang mendapat penilaian cenderung negatif adalah aspek bencana kepebisiran dengan nilai total 89 dengan *mean* 2,97. Berdasarkan penuturan

responden, di tahun 2022 cenderung lebih banyak kejadian bencana seperti angin besar maupun gelombang tinggi. Diperkirakan bahwa dua bencana tersebut bukan diakibatkan oleh perubahan fungsi kawasan gumuk pasir sehingga tidak perlu dilakukan intervensi terhadap aspek lingkungan gumuk pasir.

Empat aspek lingkungan lainnya mendapat penilaian lebih dari tiga poin, sehingga tergolong pada kelas sedang. Nilai tertinggi terdapat pada aspek lingkungan dengan *mean* 3,73 disusul oleh volume sampah dengan *mean* 3,63. Dengan jumlah peningkatan wisatawan mingguan yang meningkat, jumlah volume sampah pada periode 2022 dinilai responden cenderung mengalami penurunan. Temuan ini perlu diteliti lebih mendalam terkait isu hubungan jumlah wisatawan yang meningkat dengan volume sampah di kawasan gumuk pasir. *Detail* nilai total dan *mean* sektor lingkungan dapat dilihat pada **Gambar 5**.

*Mean* akumulatif pada sektor lingkungan adalah 3,49 dan tergolong pada kelas keberlanjutan sedang. Aspek perubahan penggunaan lahan dan kenampakan barchan adalah dua aspek yang perlu disoroti oleh berbagai pihak secara mendalam. Hal tersebut karena berdasarkan penelitian Nurkukuh & Candra (2021) menunjukkan bahwa luas gumuk pasir cenderung berkurang setiap tahunnya. Laily et al., (2019) menambahkan bahwa Zona Inti Gumuk Pasir yang harusnya menjadi zona konservasi juga mengalami penurunan luas gumuk pasir. Maulana & Wulan (2015) menambahkan bahwa kenampakan barchan mengalami penurunan dari sisi jumlah luas gumuk pasir dan hanya ditemukan beberapa embrio. Fakta tersebut menunjukkan bahwa upaya konservasi mendesak untuk dilakukan dengan melibatkan peran masyarakat dan berbagai pihak terkait.



Gambar 5. Nilai mean dan total sektor kondisi lingkungan masyarakat.

### Analisis Keberlanjutan Ekosistem Gumuk Pasir Barchan

Gumuk pasir barchan merupakan sebuah ekosistem unik dan memiliki kenampakan landskap yang tidak biasa. Gumuk pasir barchan terbentuk dari material pasir yang dibawa oleh angin dan terakumulasi menjadi bentuk seperti bulan sabit terbalik. Gumuk pasir barchan di Parangtritis menjadi unik karena idealnya bentuk barchan terjadi di daerah beriklim arid, namun Parangtritis yang memiliki iklim tropis memiliki gumuk pasir barchan (Laksono et al., 2020). Untuk menjaga keberlanjutan ekosistem gumuk pasir barchan, perlu ada upaya-upaya untuk melindungi dan mengelola ekosistem tersebut dengan baik, sehingga kajian terhadap keberlangsungan ekosistem gumuk pasir barchan mendesak untuk dilakukan.

Gambar 6 memperlihatkan nilai total keberlanjutan ekosistem gumuk pasir Parangtritis. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai keberlanjutan paling tinggi adalah aspek lingkungan dengan nilai mean 3,49. Secara klasifikasi, aspek keberlanjutan lingkungan tergolong pada kelas sedang. Penilaian responden cenderung tinggi pada aspek lingkungan karena responden beranggapan dengan ditetapkannya kawasan Kagungan Dalem Gumuk Pasir Parangtritis menjadi kawasan *geoheritage*, maka ekosistem gumuk pasir akan lebih terjaga.

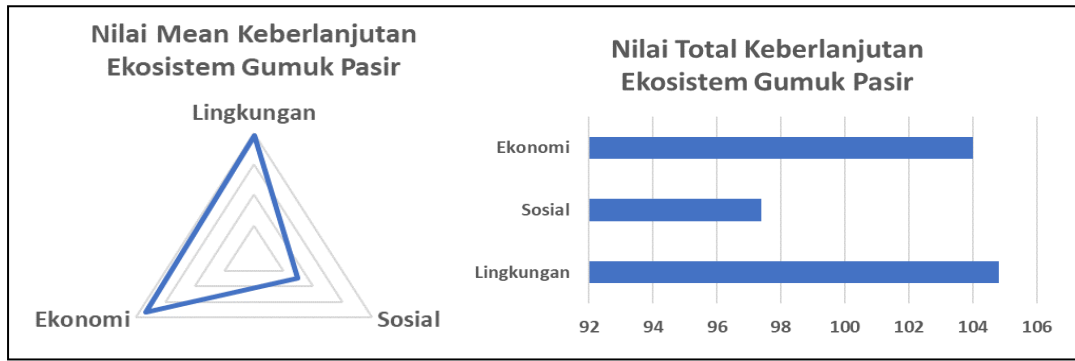
Nilai terbesar kedua dalam kajian keberlanjutan ekosistem gumuk pasir adalah aspek ekonomi dengan nilai mean 3,46. Fakta lapangan menunjukkan bahwa tingkat pendapatan masyarakat cenderung naik dibandingkan sebelum ditetapkan sebagai kawasan *geoheritage*. Hal ini juga dapat dipengaruhi oleh peningkatan jumlah wisatawan yang meningkat pasca pandemi berakhir.

Sektor yang harus mendapatkan perhatian paling tinggi adalah sektor sosial karena berdasarkan pemaparan responden (yang rata-rata penduduk lokal), mendapatkan nilai paling rendah dibanding dua sektor lainnya. Hal tersebut tidak lepas dari pro-kontra warga lokal terkait upaya konservasi gumuk pasir Parangtritis (Dwimartanti, 2016).

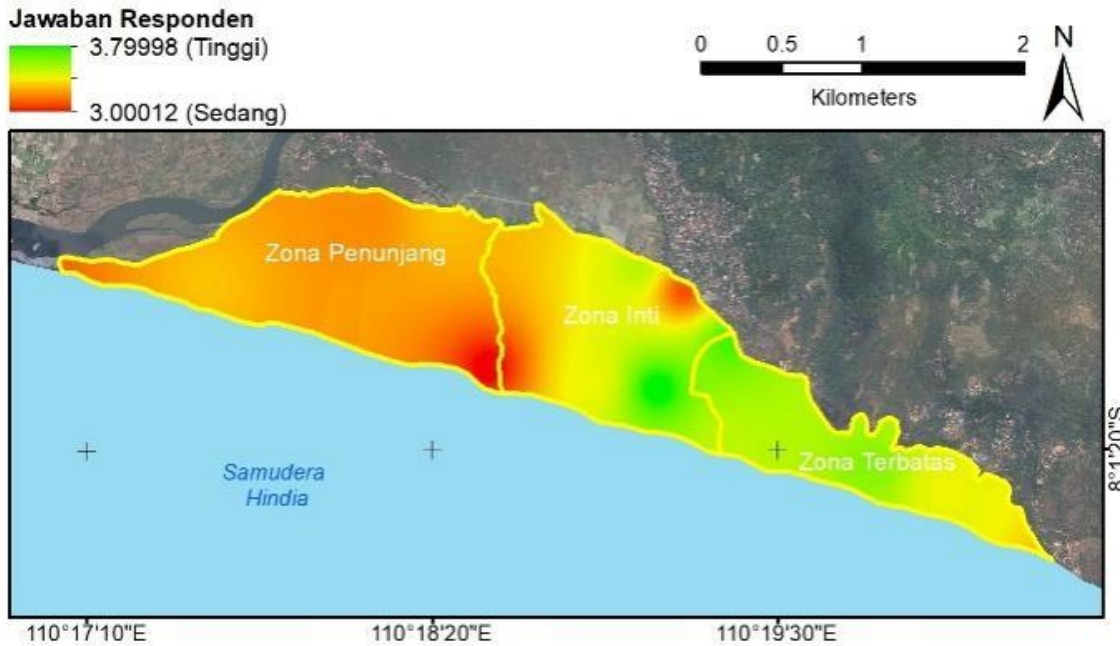
Lebih lanjut, untuk melihat tipologi jawaban responden dari sisi spasial, maka interpolasi dengan metode *ordinary krigging* dilakukan. Secara umum, masyarakat pada Zona Penunjang menilai keberlanjutan ekosistem cenderung lebih rendah dibandingkan dengan Zona Inti dan Terbatas. Kenampakan spasial jawaban responden disajikan pada Gambar 7.

Hasil interpolasi data spasial menunjukkan bahwa rentang rata-rata jawaban responden terkait keberlanjutan gumuk pasir barchan berkisar pada kelas sedang hingga tinggi. Kelas sedang ditunjukkan oleh warna merah hingga kuning, sedangkan tinggi ditunjukkan dengan warna hijau. Menariknya, responden di Zona Inti Gumuk Pasir menganggap keberlanjutan ekosistemnya masih tergolong tinggi. Hal tersebut kontradiktif dengan data yang menunjukkan penurunan luas gumuk pasir dari tahun ke tahun (Laily et al., 2019). Masyarakat di Zona Penunjang dan Terbatas menilai keberlanjutan ekosistem gumuk pasir cenderung sedang dikarenakan kenampakan gumuk pasir barchan sudah mengalami banyak perubahan dibanding tahun 1990-an.

Hasil analisis regresi linear berganda dari tiga parameter yang dikaji menunjukkan bahwa pengaruh kondisi sosial memiliki pengaruh paling tinggi terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai *multiple R* hasil analisis menunjukkan bahwa parameter sosial memiliki pengaruh 0,82953 terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir. Nilai parameter sosial dalam korelasinya terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir diinterpretasikan dengan koefisien korelasi Pearson, tergolong pada kelas sangat kuat, sedangkan parameter ekonomi (0,73) dan lingkungan (0,72) tergolong pada kelas kuat. Nilai koefisien determinasi (*Adjusted R-Square*) dari tiga parameter yang dikaji menunjukkan bahwa parameter sosial juga masih menduduki peringkat paling tinggi, dengan nilai sebesar 0,623146. Nilai ini menunjukkan bahwa keberlanjutan ekosistem gumuk pasir Parangtritis sebesar 0,62% nilainya dipengaruhi oleh parameter sosial dan sisanya dipengaruhi oleh parameter lain.



Gambar 6. Nilai mean dan total sektor keberlanjutan ekosistem gumuk pasir.



Gambar 7. Nilai rata-rata jawaban responden terkait keberlanjutan ekosistem gumuk pasir.

Tabel 1. Hasil analisis regresi linear berganda tiga sektor yang dikaji terhadap nilai keberlanjutan akumulatif.

Parameter	Multiple R	R Square	Adjusted R Square	Significance F	Standard Error
Ekonomi	0,72801	0,530002	0,432086	0,00179	0,252231
Sosial	0,82953	0,688121	0,623146	1,85E-05	0,205468
Lingkungan	0,71729	0,514514	0,413371	0,002553	0,256354

Nilai signifikansi F dari tiga parameter yang dikaji semua nilainya di bawah nilai  $\alpha$  (0,05) sehingga tiga faktor tersebut pengaruhnya signifikan terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir Parangtritis. Hasil analisis regresi linear berganda secara konsisten menunjukkan bahwa parameter sosial memiliki korelasi sangat kuat dan pengaruh signifikan terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir Parangtritis bila dibandingkan dengan parameter lainnya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa isu sosial perlu mendapatkan perhatian serius bagi para pemangku kepentingan dalam upaya konservasi gumuk pasir Parangtritis. Terlebih lagi hasil penelitian Dwimartanti (2016) menunjukkan bahwa masih

terdapat suara kontra dalam upaya konservasi gumuk pasir Parangtritis.

**KESIMPULAN**

Gumuk pasir barchan di Parangtritis merupakan sebuah keunikan alam unik yang perlu dikonservasi sehingga eksistensinya tetap terjaga. Penetapan Kawasan Kagungan Dalem Gumuk Pasir Barchan menjadi Zona Geoheritage adalah upaya nyata pemerintah untuk melakukan konservasi gumuk pasir Parangtritis. Sebagai upaya untuk mengidentifikasi dinamika masyarakat atas perubahan status gumuk pasir, studi terkait keberlanjutan ekosistem gumuk pasir mendesak untuk dilakukan. Secara akumulatif kelas keberlanjutan ekosistem gumuk pasir Parangtritis

dikategorikan dalam kelas sedang. Parameter yang memiliki pengaruh paling besar dalam kajian keberlanjutan ekosistem gumuk pasir adalah parameter sosial, saat masyarakat memberikan respon cenderung lebih rendah dibanding parameter lain. Hal ini perlu mendapat perhatian pemerintah sehingga nilai keberlanjutan ekosistem gumuk pasir dapat ditingkatkan.

Secara spasial, masyarakat di Zona Inti memahami keberlanjutan ekosistem gumuk pasir masih tinggi. Nilai rata-rata keberlanjutan ekosistem responden di Zona Inti mencapai 3,6, sehingga dapat disimpulkan optimisme masyarakat terhadap keberlanjutan ekosistem gumuk pasir tergolong baik. Fakta tersebut kontradiktif dengan kenyataan di lapangan yang menunjukkan bahwa luasan gumuk pasir di Zona Inti cenderung mengalami penurunan setiap tahun. Optimisme masyarakat sudah seharusnya ditindaklanjuti sebagai modal sosial dalam upaya konservasi untuk mengaktifkan kembali gumuk pasir barchan. Isu sosial terkait upaya konservasi gumuk pasir harus diperhatikan oleh pemerintah dan berbagai pihak terkait.

Sejauh ini fokus pemerintah lebih banyak terpusat pada aspek lingkungan gumuk pasir barchan, sementara isu sosial dan ekonomi masih menjadi tantangan bagi pemerintah untuk diselesaikan di masa mendatang. Berbagai upaya sosialisasi dan pendekatan kultural dapat menjadi pertimbangan untuk meningkatkan nilai keberlanjutan ekosistem gumuk pasir, khususnya untuk merespon dinamika sosial ekonomi yang terjadi di masyarakat.

Penelitian lanjutan yang dapat dilakukan adalah terkait: a) penambahan tingkat pendapatan yang kurang berimbang pada peningkatan jumlah tabungan dan daya beli masyarakat; b) bagaimana peningkatan *skill* pelaku wisata dapat meningkat tanpa media sosialisasi; c) penurunan nilai dari aspek kesehatan dan kriminalitas pengaruhnya terhadap perubahan status zonasi gumuk pasir; dan d) menumbuhkan kembali rasa cinta masyarakat terhadap eksistensi gumuk pasir tidak hanya dari sisi ekonomi, sosial dan lingkungan namun juga menekankan dari sisi kultural. Keberhasilan konservasi di Parangtritis dapat dijadikan percontohan dalam pengelolaan gumuk pasir di lokasi lain dimana ekosistem gumuk pasirnya juga mulai terancam, seperti di Slopeng Madura, Oetune Nusa Tenggara Timur dan Tungtung Karang Jawa Barat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan pada tim survei dan responden yang bersedia untuk diwawacarai. Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan kerja penulis yang tidak pernah lelah mendukung penulis untuk menyelesaikan tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Arif, M.N.R. & Nurashia, T. (2016). Customer relationship management dan pengaruhnya terhadap loyalitas nasabah bank: Studi pada Bank Muamalat Indonesia. *Esensi: Jurnal Bisnis dan Manajemen*, 5(1), 51-64. DOI: <https://doi.org/10.15408/ess.v5i1.2332>.
- Altameemi, Z.A. & Al-Taie, A.J. (2022). Sand dunes reviewing: Wind effect and dunes classification. *Algerian Journal of Engineering and Technology*, 07(2022), 1-8. Retrieved from <https://www.jetjournal.org/index.php/ajet/article/view/213>.
- Alwi, I. (2015). Kriteria empirik dalam menentukan ukuran sampel pada pengujian hipotesis statistika dan analisis butir. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 2(2), 140-148. DOI: <https://doi.org/10.30998/formatif.v2i2.95>.
- Arifiani, N.A., & Mussadun, M. (2016). Studi persepsi masyarakat terhadap tingkat keberlanjutan wilayah pesisir Kecamatan Sarang. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 4(3), 171-186. DOI: <https://doi.org/10.14710/jwl.4.3.171-186>.
- Anny, A.A.R., Yuliadi, K. & Winahyuningsih, M.H. (2022). Proses adaptasi pertunjukan panggung ke video : Studi kasus karya Tari Colohok Ciptaan Anter Asmorotedjo. *JOGED: Jurnal Seni Tari*, 20(2), 193-215. DOI: <https://doi.org/10.24821/joged.v20i2.8206>.
- Azahra, M.F., Jumadi, J. & Sigit, A.A. (2021). The use of small format air photos for mapping land cover changes in Gumuk Pasir Parangtritis Core-Zone, 2015-2019. *International Journal for Disaster and Development Interface*, 1(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.53824/ijddi.v1i1.1>.
- Fahmeyzan, D., Soraya, S. & Etny, D. (2018). Uji normalitas data omzet bulanan pelaku ekonomi mikro Desa Senggigi dengan menggunakan skewness dan kurtosis. *Jurnal Varian*, 2(1), 31-36. DOI: <https://doi.org/10.30812/varian.v2i1.331>.
- Handayani, T. & Hidayat, N. (2019). Analysis of tree stratum vegetation in Sand Dune Core Zone in Parangtritis Village Kretek Sub-District Bantul Regency Yogyakarta as learning sources on biodiversity for Grade X Senior High School. *Proceedings of the 4th Progressive and Fun Education International Conference*. Profunedu 2019, 6-8 August 2019, Makassar, Indonesia. DOI: <https://doi.org/10.4108/eai.7-8-2019.2288418>.
- Hartati, E., Indriyani, R. & Trianingsih, I. (2020). Analisis Kepuasan pengguna website SMK Negeri 2 Palembang menggunakan regresi linear berganda. *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 20(1), 47-58. DOI: <https://doi.org/10.30812/matrik.v20i1.736>.
- Hendrastuti, B., Ibrahim, F. & Wahyuningsih, D.S. (2018). Evaluasi implementasi kajian restorasi Kawasan Kagungan Dalem Gumuk Pasir Parangtritis. *Prosiding Seminar Nasional Geotik: Literasi Digital untuk Pendidikan Aman Berkelanjutan*, 205-213.
- Istiyanti, D. (2020). Pemberdayaan masyarakat melalui pengembangan desa wisata di Desa Sukawening. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2(1), 53-62. Diakses dari <https://journal.ipb.ac.id/index.php/pim/article/view/29563>.
- Khatimah, K., Syaukat Y. & Ismail, A. (2018). Analisis penilaian ekonomi gumuk pasir Parangtritis di Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, DIY. *Jurnal*



- Ekonomi dan Pembangunan Indonesia, 17(2), 138-150. DOI: <https://doi.org/10.21002/jepi.v17i2.03>.
- Kinanthi, M. (2022). Ecotourism sebagai adaptasi kegiatan pariwisata pasca pandemi (Kasus: Desa Wisata Brayut, Sleman, Yogyakarta). *SMART, Seminar on Architecture Research and Technology*, 6(1), 37-48. DOI: <https://doi.org/10.21460/smart.v6i1.181>.
- Laily, A.N., Sawiji, A. & Junaidi, R. (2019). Kajian dinamika penggunaan lahan zona inti gumuk pasir tipe barkhan pasca restorasi di Parangtritis, Bantul, Yogyakarta. *Seminar Nasional Geomatika 2018: Penggunaan dan Pengembangan Produk Informasi Geospasial Mendukung Daya Saing Nasional*, 3, 261-268. DOI: <https://doi.org/10.24895/sng.2018.3-0.965>.
- Laksono, A., Saputri, A.A., Pratiwi, C.I.B., Arkan, M.Z. & Putri, R.F. (2020). Vegetation covers change and its impact on barchan dune morphology in Parangtritis Coast, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 200,02026(2020), 1-6. The 1<sup>st</sup> Geosciences and Environmental Sciences Symposium (ICST 2020). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020002026>.
- Malawani, M.N., Mardiatno, D. & Sunarto. (2019). Sand transport characterization on the foredune area of Parangtritis, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 76,04007(2019), 1-5. The 4<sup>th</sup> International Conference on Science and Technology (ICST 2018). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197604007>.
- Masruroh, U. (2022). Pemulihan ekonomi masyarakat pasca pandemi melalui digitalisasi pemasaran produk dan jasa wisata. *Jurnal Pengabdian West Science*, 1(01), 42-50. Diakses dari: <https://wnj.westsciencepress.com/index.php/jpws/article/view/118/58>.
- Kem. ESDM (Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral). *Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 13.K/HK.1/MEM.G/2021 tentang Penetapan Warisan Geologi (Geoheritage) Daerah Istimewa Yogyakarta*. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. Jakarta.
- Mutiara, I. & Agustian, E. (2022). Pentingnya literasi keuangan (*financial literacy*) bagi pengelolaan keuangan rumah tangga ditengah pandemi covid-19. *Journal of Sustainable Business Hub*, 3(1), 26-32. Diakses dari: <http://journal.pdmipusat.org/index.php/jsbh/article/view/63%0Ahttp://journal.pdmipusat.org/index.php/jsbh/article/download/63/52>.
- Ningrum, E.R., Laili, A., Yasiroh, I.I., Wardani, W.T.K., Al Tumus, M.G.R., Amri, I., Aditya, B. & Putri, R.F. (2021). Stakeholder analysis for controlling land utilization in Parangtritis sand dunes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 686(012019), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/686/1/012019>.
- Nurkukuh, D.K. & Candra, R. (2021). Dinamika peruntukkan lahan Kawasan Gumuk Pasir Parangtritis berdasarkan citra satelit. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVI Tahun 2021 (ReTII)*, 2021(November), 131-134. Diakses dari: <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII>.
- Putri, R.F., Wibirama, S., Mardiatno, D., Giyarsih, S.R. & Sumantyo, J.T.S. (2019). Investigating a conservation area based on tsunami hazard mapping in landuse planning of Sand Dune Parangtritis area, Yogyakarta, Indonesia. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences* 56(2): 7-18. Diakses dari: <https://ppaspk.org/index.php/PPAS-B/article/view/134>
- Mustika, T.P.M., Wulandari, A., Wulandari, S.L., Pahmi, P. & Amelia, R. (2022). Penerapan metode ordinary kriging terhadap pendugaan kriminalitas dalam upaya mengurangi aksi kejahatan di Kota Pangkalpinang dan Kabupaten Bangka. *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat 2022*. Pangkalpinang, 11-12 Oktober 2022, Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung, 70-74. DOI: <https://doi.org/10.33019/snppm.v6i0.3692>.
- Pratiwi, Z. & Prakosa, A. (2021). Pengaruh media sosial, event pariwisata, dan fasilitas pelayanan terhadap minat berkunjung ulang di Sandboarding Gumuk Pasir Parangkusumo. *Jurnal Fokus Manajemen Bisnis*, 11(1), 74-94. DOI: <https://doi.org/10.12928/fokus.v11i1.3851>.
- Sari, Y.R., Marta, A., Wiranata, I.J. & Handayani, D.W. (2022). Peluang kolaborasi penta helix bagi pengembangan desa wisata di Provinsi Lampung. *JIIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 7(2), 119-135. DOI: <https://doi.org/10.14710/jiip.v7i2.14465>.
- Schrepp, M. (2020). On the usage of Cronbach's Alpha to measure reliability of UX Scales. *Journal of Usability Studies*, 15(4), 247-258. Diakses dari: [https://luxpajournal.org/wp-content/uploads/sites/7/pdf/JUS\\_Schrepp\\_Aug2020.pdf](https://luxpajournal.org/wp-content/uploads/sites/7/pdf/JUS_Schrepp_Aug2020.pdf).
- Sinuraya, S.I. (2022). Dampak klithih terhadap pariwisata dan pendidikan di Kabupaten Sleman. *Indonesian Governance Journal (Kajian Politik-Pemerintahan)*, 05(02), 129-141. DOI: <https://doi.org/10.24905/igj.5.2.2022.129-141>.
- Sunarto, Malawani, M.N., Fatchurohman, H. & Cahyadi, A. (2018). Identification of landscape disturbance in the Parangtritis sand dune area for sustainable environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 179(012030), 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/179/1/012030>.
- Thies, C., Kieckhäfer, K., Spengler, T.S. & Sodhi, M.S. (2019). Operations research for sustainability assessment of products: A review. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.039>.
- Widianto, H.W. (2019). Tanah untuk rakyat: Studi fenomenologi makna pengurusan penghuni gumuk pasir Parangtritis. *Jurnal Administrasi dan Kebijakan Publik*, 3(1), 1-18. DOI: <https://doi.org/10.25077/jakp.3.1.1-18.2017>.
- Zheng, Z., Du, S., Taubenböck, H. & Zhang, X. (2022). Remote sensing techniques in the investigation of aeolian sand dunes: A review of recent advances. *Remote Sensing of Environment*, 271(2021), 112913, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112913>.

## ESTIMASI STOK KARBON BIOMASSA PADA EKOSISTEM MANGROVE MENGUNAKAN DATA SATELIT DI PULAU NUNUKAN KABUPATEN NUNUKAN KALIMANTAN UTARA

(*Estimation of Biomass Carbon Stock in Mangrove Ecosystems using Remote Sensing on  
Nunukan Island Nunukan Regency North Kalimantan*)

**Marzuki, Nurjannah Nurdin, Inayah Yasir, Supriadi Mashoreng, Muhammad Banda Selamat**

Departemen Ilmu Kelautan, FIKP UNHAS,  
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10, Tamalanrea Indah, Makassar 90245  
e-mail: [marzukisaleh27@gmail.com](mailto:marzukisaleh27@gmail.com)

Diterima: 20 April 2022; Direvisi: 2 April 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 21 April 2023

### ABSTRAK

Ekosistem mangrove mempunyai kemampuan yang sangat efektif dalam mengurangi konsentrasi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di alam. Estimasi stok karbon dapat dilakukan menggunakan teknologi penginderaan jauh yang mengacu pada indeks vegetasi dari suatu area. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Desember 2020 di Pulau Nunukan, Kabupaten Nunukan, Kalimantan Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi stok karbon permukaan (*Above Ground Carbon*) di Pulau Nunukan menggunakan citra Landsat-8 dan pengukuran *in situ*. Pengukuran nilai cadangan karbon di lapangan dengan menggunakan persamaan alometrik yang dihitung berdasarkan jenis vegetasi. Penggunaan citra Landsat-8 OLI dilakukan setelah *pra-processing* dengan koreksi geometrik dan radiometrik. Selanjutnya citra Landsat-8 OLI dilakukan klasifikasi *unsupervised* untuk menentukan batas wilayah sebaran mangrove, lalu ditransformasi ke persamaan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Nilai NDVI dengan nilai stok karbon pada setiap titik sampel diuji dengan 3 jenis regresi. Dari 3 jenis uji regresi nilai R<sup>2</sup> tertinggi ditetapkan sebagai persamaan untuk membangun model estimasi stok karbon permukaan. Dua jenis model estimasi stok karbon yang dibangun, yaitu model yang menggunakan seluruh jenis yang teridentifikasi sebagai sampel, dan model yang hanya menggunakan jenis dominan yang ditemukan pada wilayah kajian. Jenis mangrove yang mendominasi di Pulau Nunukan yaitu *Rhizophora apiculata*, sehingga jenis tersebut digunakan sebagai sampel dalam model estimasi stok karbon jenis dominan. Nilai R<sup>2</sup> yang tertinggi dari persamaan regresi yang digunakan untuk mengestimasi stok karbon yaitu persamaan regresi kuadratik. Sehingga persamaan regresi kuadratik digunakan sebagai dasar model estimasi cadangan karbon. Nilai estimasi stok karbon permukaan (C) yang menggunakan model estimasi stok karbon seluruh jenis adalah 6.401.988,95 ton, sedangkan nilai estimasi stok karbon untuk model estimasi stok karbon jenis dominan adalah 5.616.404,46 ton.

**Kata Kunci:** Landsat-8 OLI, mangrove, NDVI, penginderaan jauh, stok karbon

### ABSTRACT

*Mangrove ecosystems can be very effective in reducing the concentration of carbon dioxide gas (CO<sub>2</sub>) in nature. Carbon stock estimation using remote sensing technology refers to the vegetation index of an area. This research was conducted from March to December 2020 on Nunukan Island, Nunukan Regency, North Kalimantan. This study aims to estimate the Above Ground Carbon on Nunukan Island using Landsat-8 imagery and in situ measurements. Measurement of the value of carbon stocks in the field using allometric Equations is calculated based on the species of vegetation. The use of Landsat-8 OLI imagery is conducted after Pre-processing of geometric and radiometric corrections. Furthermore, the Landsat-8 OLI image is classified using unsupervised method to determine the boundaries of the mangrove distribution area, then transformed into the equation Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The NDVI Values and the carbon stock values of each sample point were tested by 3 types of regression. The regression type with the highest R<sup>2</sup> is set as the equation to build a model of the carbon stock estimation. Two types of carbon stock estimation models are built, namely a model that uses all identified species as sample, and a model that only uses the dominant species found in the study area. The dominant mangrove species on Nunukan Island is *Rhizophora apiculata*, so this species was used as the sample in the dominant species carbon stock estimation model. The highest R<sup>2</sup> value of the regression equation used to estimate carbon stocks is the quadratic regression equation. Therefore, the quadratic regression equation was used as the basis for the carbon stock estimation model. The estimated value of surface carbon stock (C) using the carbon stock estimation model of all species is 6,401,988.95 ton, while the estimated carbon stock value for the carbon stock estimation model of dominant species is 5,616,404.46 ton.*

**Keywords:** Landsat-8 OLI, mangroves, NDVI, remote sensing, carbon stock

## PENDAHULUAN

Hutan mangrove, padang lamun dan rawa asin berpotensi mengikat CO<sub>2</sub> dari atmosfer yang biasa disebut *blue carbon* (McLeod et al., 2011). Hutan mangrove memiliki fungsi ekologis yang sangat penting bagi ekosistem pesisir. Salah satu fungsi ekologisnya yaitu mangrove sebagai penyerap dan penyimpanan karbon sehingga dapat mengurangi peningkatan emisi karbon di alam (Savana, 2019). Kemampuan mangrove dalam menyimpan karbon lebih besar dari semua hutan daratan pada umumnya. Hutan mangrove tiap satu hektarnya dapat menyimpan sampai lima kali lipat lebih banyak karbon dibandingkan hutan hujan tropis di seluruh dunia (Nellemann et al., 2009; Donato et al., 2011; Fitrah, 2019).

Jumlah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang terus meningkat di udara menjadi penyebab utama terjadinya pemanasan global yang berdampak pada terjadinya perubahan iklim dunia. Perubahan iklim dan isu pemanasan global menjadi pemicu meningkatnya kebutuhan informasi tentang karbon pada saat ini. Peningkatan jumlah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di atmosfer sebagai akibat dari aktivitas manusia, baik itu secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu aktivitas itu adalah pembukaan lahan hutan sehingga menurunkan luasan hutan yang diketahui berfungsi sebagai penyimpanan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

Mangrove dapat menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer melalui mekanisme fotosintesis. CO<sub>2</sub> yang diserap akan disimpan dalam bentuk biomassa atas (*above ground-biomass*), biomassa bawah (*below ground-biomass*) serta terakumulasi di dalam sedimen (Kauffman et al., 2011). Pengestimasian biomassa dihitung dengan menggunakan metode estimasi biomassa, salah satunya adalah dengan metode alometrik. Metode alometrik ini dilakukan dengan cara mengukur diameter batang pohon setinggi dada (*diameter at breast height*, DBH). Kemudian, DBH digunakan sebagai variabel bebas dari persamaan alometrik yang menghubungkan biomassa sebagai variabel terikat. Metode ini telah banyak diaplikasikan untuk estimasi stok karbon pada berbagai tipe vegetasi di Indonesia (Hairiah et al., 2001; van Noordwijk et al., 2001; Roshetko et al., 2002; Irsadi et al., 2017; Syukri et al., 2018). Provinsi Kalimantan Utara mempunyai garis pantai yang 90%-nya ditumbuhi oleh mangrove (RZWP3K, 2018). Salah satu Kabupaten yang terletak di Provinsi Kalimantan Utara adalah Kabupaten Nunukan.

Kabupaten Nunukan, yang terletak paling utara di Provinsi Kalimantan Utara, memiliki lokasi yang strategis karena berbatasan langsung dengan Malaysia. Kabupaten ini memiliki 29 pulau, salah satu diantaranya adalah Pulau Nunukan. Pulau Nunukan menjadi pusat kota dari Kabupaten Nunukan, sehingga Pulau Nunukan memiliki potensi sumber daya alam yang besar. Khususnya yang terkait dengan ekosistem mangrove yang tersebar di sekeliling Pulau Nunukan. Luas hutan

mangrove di wilayah Pulau Nunukan sebesar 3.165,27 ha, dengan 71,8% atau 2.271,79 ha diantaranya berada dalam kondisi masih baik (Beze & Suparjo, 2015).

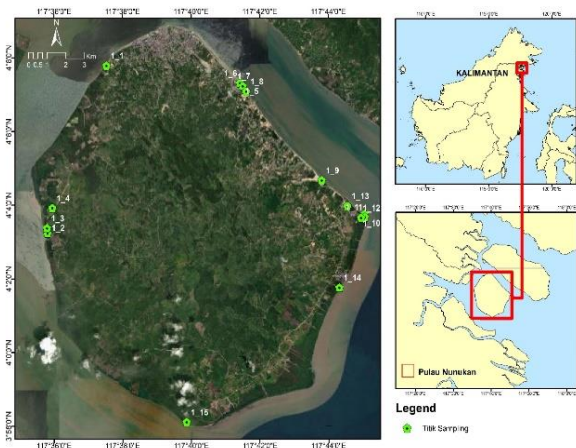
Terdapat dua cara untuk memperoleh informasi mengenai estimasi stok biomassa karbon yaitu menggunakan pendekatan dengan menghitung secara manual dan pendekatan dengan teknologi penginderaan jauh. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dalam proses perhitungan cadangan karbon berguna untuk menghindari metode pengukuran karbon secara destruktif melalui penebangan pohon mangrove. Tetapi metode penginderaan jauh dalam kajian cadangan karbon masih jarang dilakukan karena memiliki akurasi yang masih rendah. Akurasi yang rendah disebabkan karena teknologi penginderaan jauh hanya mampu merekam obyek yang ada di permukaan bumi sedangkan analisis pengukuran karbon berkaitan dengan karbon yang disimpan oleh biomassa yang ada di atas permukaan dan di bawah permukaan (Pambudhi, 2014; Husna et al., 2018).

Keunggulan data penginderaan jauh telah banyak dimanfaatkan untuk mendapatkan parameter biofisik hutan seperti biomassa. Terdapat tiga sensor citra penginderaan jauh yang dapat dimanfaatkan dalam untuk mengekstraksi data biofisik biomassa yaitu sensor optik, LiDAR, dan Radar. Sensor optik menggunakan pendekatan berbasis spektral sering digunakan untuk penilaian biomassa (Sharma et al. 2013; Rahadian 2019). Ketersediaan data sensor optik yang melimpah dan tidak berbayar sangat potensial digunakan seperti citra Landsat. Oleh karena itu, pendekatan dengan teknologi penginderaan jauh dinilai lebih efisien dan efektif dari segi biaya, waktu dan ketepatan estimasi khususnya pada daerah yang luas. Karena keunggulan inilah tujuan penelitian ini yaitu membangun model untuk mengestimasi stok karbon biomassa di Pulau Nunukan menggunakan citra satelit.

## METODE

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Desember 2020 yang meliputi studi literatur, pengambilan data lapangan, pengolahan data dan penyusunan hasil penelitian. Pengambilan data lapangan dilaksanakan pada bulan Maret 2020 di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara. Lokasi titik sampel dapat dilihat pada **Gambar 1**. Titik berwarna hijau merupakan lokasi titik sampel untuk mengukur stok karbon secara in situ. Titik sampel ditentukan sebelum melakukan kerja lapangan, yang didasarkan pada kelas-kelas satuan lahan yang diperoleh. Penentuan titik sampel menggunakan teknik *stratified sampling*, dimana sampel diambil dari setiap pembagian yang diperoleh dari pendekatan-pendekatan indeks vegetasi yang digunakan yaitu NDVI.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara.

**Metode Penelitian**

*Pengolahan Citra*

Sebelum dilakukan pengolahan citra, terlebih dahulu dilakukan tahapan pra pengolahan citra. Tahap ini terdiri dari koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Tahapan pengolahan data citra dalam penelitian ini meliputi komposit *band* (*layer stacking*), pemotongan citra (*cropping*), interpretasi citra secara visual dan interpretasi citra secara digital. Proses komposit *band* mengacu pada nilai *Optimum Index Factor* (OIF) (Chavez et al., 1982). Nilai OIF tertinggi untuk menunjukkan vegetasi mangrove, pada Landsat 8 merupakan gabungan spektrum elektromagnetik *visible*, NIR, dan SWIR (Manoppo et al., 2015). Proses identifikasi sebaran mangrove digunakan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised*). Metode klasifikasi tidak terbimbing dilakukan menggunakan algoritma *Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique* (ISODATA) *classification* (LAPAN, 2015).

Citra satelit yang telah diklasifikasi, selanjutnya ditransformasikan dengan formula NDVI (*Normalized Different Vegetation Index*) menggunakan algoritma NDVI Rouse et al. (1973) seperti pada **Persamaan 1**.

$$NDVI = ((NIR - R))/((NIR + R)) \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

- NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*
- NIR = Nilai reflektansi spektral pada *band* inframerah dekat
- R = Nilai reflektansi spektral pada *band* merah

*Stok Karbon*

Pengumpulan data lapangan berupa pohon pohon setinggi dada pada ketinggian ± 130 cm untuk kemudian dihitung diameter setinggi dada (*diameter at breast height/DBH* kadang-kadang disingkat menjadi D), pengamatan jenis-jenis mangrove (p), dan menghitung jumlah pohon di setiap jenis mangrove yang ditemukan. Plot yang digunakan adalah plot persegi empat 10 m x 10 m dengan luas 100 m<sup>2</sup>. Plot tersebut menjadi batasan

pengambilan data biomassa, selanjutnya data biomassa dikonversi menjadi data stok karbon permukaan. Plot 10 m x 10 m menjadi perwakilan setiap 1 piksel pada citra Landsat. Pasangan data diambil untuk tiap kelas-kelas NDVI, pasangan data lapangan digunakan untuk membangun persamaan dengan statistik dan data lapangan untuk uji akurasi.

Pengukuran dilakukan pada daerah sampel yang telah ditentukan, dengan asumsi bahwa daerah lain yang homogen memiliki karakteristik yang sama dengan daerah sampel. Sehingga data lapangan yang diperoleh diasumsikan telah mewakili karakteristik wilayah yang telah dikelompokkan sebelumnya.

*Persentase Tutupan Kanopi*

Metode yang digunakan dalam menentukan persentase tutupan kanopi adalah metode *hemispherical photography*. Pengambilan tutupan kanopinya menggunakan kamera. Pengambilan gambar tutupan kanopi pohon dilakukan pada plot sampel mangrove terdiri dari 4-9 titik agar hasil gambar dapat mewakili kondisi vegetasi dalam satu plot sampel (Dharmawan & Pramudji, 2017). Hasil foto *hemispherical* kemudian dianalisis menggunakan software ImageJ untuk mengetahui persen tutupan kanopi pohon (Dharmawan & Pramudji, 2017).

*Tipe Sedimen*

Cara untuk mengetahui tipe sedimen dari komunitas mangrove tersebut dilakukan dengan cara visual dimana analisis visual ini dengan mengambil sedimen dengan tangan kemudian diidentifikasi warna, tekstur dan bau dari sampel sedimen, kemudian dikategorikan apakah termasuk dalam kategori pasir, lumpur atau campuran pasir dan lumpur (Rahmawati et al., 2014).

**Analisis Data**

*Pengolahan Citra*

Analisis pengolahan citra yang dilakukan setelah proses pengumpulan data lapangan perlu dilakukan agar dapat mengoreksi dan memperbaiki hasil klasifikasi yang salah. Oleh karena itu, proses reklasifikasi dilakukan berdasarkan hasil pengamatan lapangan. Tutupan lahan mangrove di citra namun di lapangan bukan tutupan lahan mangrove, perlu dikoreksi agar luasan mangrove yang dihasilkan sesuai dengan kenyataan di lapangan. Hasil reklasifikasi nantinya akan dilakukan proses *masking* yang membatasi hanya wilayah vegetasi mangrovenya saja. Sehingga perhitungan stok karbon dibatasi pada wilayah vegetasi mangrove saja.

**Perhitungan Biomassa dan Stok Karbon Pohon**

Perhitungan biomassa dilakukan setelah memperoleh hasil reklasifikasi citra. Penentuan biomassa mangrove menggunakan data lapangan hasil pengukuran lingkaran batang pohon yang dikonversi menjadi diameter pohon, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan alometrik untuk masing-masing jenis sehingga diperoleh biomassa plot. Data analisis vegetasi kemudian dikuantifikasi menggunakan persamaan alometrik dengan pendekatan jenis (**Tabel 1**). Pada beberapa persamaan alometrik yang digunakan beberapa memerlukan nilai berat jenis tumbuhan. Sehingga beberapa berat jenis ( $\rho$ ) mangrove yang dapat digunakan pada persamaan alometrik dapat dilihat pada **Tabel 2** (Simpson, 1996).

Data biomassa plot tersebut dikalikan dengan 0,47 untuk mendapatkan estimasi stok karbonnya pada setiap plot (BSN, 2011). **Persamaan 2**.

$$C = Biomassa \times 0,47 \dots\dots\dots (2)$$

**Analisis Regresi**

Analisis korelasi dilakukan sebelum menggunakan persamaan regresi. Analisis korelasi digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antar variabel. Analisis korelasi menggunakan metode Pearson. Analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa besar variabel bebas mampu menjelaskan variabel terikat, dimana pada penelitian ini terdapat tiga perlakuan untuk analisis regresi linear sederhana yang dilakukan yaitu:

hubungan antara karbon dengan nilai indeks vegetasi (NDVI); hubungan antara karbon dengan persentase tutupan kanopi; dan hubungan antara persentase kanopi dengan nilai indeks vegetasi (NDVI).

Model untuk mengestimasi stok karbon menggunakan persamaan regresi. Persamaan regresi yang digunakan sebagai dasar model estimasi stok karbon permukaan yaitu persamaan regresi linear dengan **Persamaan 3**, kuadratik seperti pada **Persamaan 4**, dan eksponensial dengan **Persamaan 5**. Dari ketiga jenis regresi tersebut, persamaan regresi yang menghasilkan nilai koefisien determinasi yang paling tinggi dijadikan sebagai model penduga atau estimasi stok karbon.

a) Linear

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e \dots\dots\dots (3)$$

b) Kuadratik

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \dots\dots\dots (4)$$

c) Eksponensial

$$Y = \beta_0 e^{\beta_1 X} \dots\dots\dots (5)$$

**Uji Akurasi**

Uji akurasi dilakukan pada pengolahan citra yang telah dilakukan sebelumnya dengan kondisi di lapangan. Uji akurasi dihitung berdasar nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) menggunakan **Persamaan 6**.

**Tabel 1.** Persamaan alometrik beberapa jenis mangrove dari berbagai sumber.

No	Jenis Mangrove	Persamaan Alometrik
1	<i>Avicennia</i> sp.	$B = 0,251 \rho (D)^{2,46}$ (Komiyama et al., 2005)
2	<i>Avicennia marina</i>	$B = 0,1848 (D)^{2,3624}$ (Dharmawan & Siregar, 2008)
3	<i>Avicennia alba</i>	$B = 0,079211 (D)^{2,470895}$ (Tue et al., 2014)
4	<i>Ceriops tagal</i>	$B = 0,251 \rho (D)^{2,46}$ (Komiyama et al., 2005)
5	<i>Lumnitzera littorea</i>	$B = 0,251 \rho (D)^{2,46}$ (Komiyama et al., 2005)
6	<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043 (D)^{2,63}$ (Amira, 2008)
7	<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 (D)^{2,3136}$ (Dharmawan, 2010)
8	<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0,3841 (D)^{2,101} \rho$ (Kauffman & Cole, 2010)
9	<i>Xylocarpus granatum</i>	$B = 0,1832 D^{2,21}$ (Tarlan, 2008)

Keterangan:

$B =$  Biomassa ( $kg/m^2$ ),

$\rho =$  berat jenis tumbuhan ( $g/cm^3$ )

$D =$  diameter setinggi data (cm)

**Tabel 2.** Beberapa berat jenis kayu mangrove.

No	Jenis	Berat jenis kayu ( $g/cm^3$ )
1.	<i>Avicennia officinalis</i>	0,670
2.	<i>Avicennia marina</i>	0,661
3.	<i>Ceriops tagal</i>	0,803
4.	<i>Lumnitzera</i> sp.	0,565
5.	<i>Rhizophora apiculata</i>	1,050
6.	<i>Rhizophora mucronata</i>	0,867
7.	<i>Sonneratia alba</i>	0,780
8.	<i>Xylocarpus granatum</i>	0,700

Sumber : (Simpson, 1996).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - y_i')^2}{n}} \dots\dots\dots (6)$$

di mana:

- RMSE = nilai Root Mean Square error
- y<sub>i</sub> = nilai pengukuran
- y<sub>i</sub>' = nilai dugaan
- n = jumlah sampel

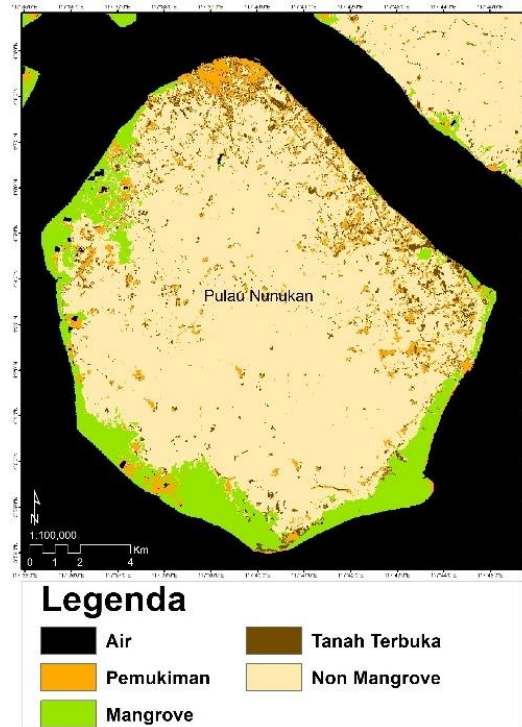
**Pendugaan Total Stok Karbon**

Nilai total hasil estimasi stok karbon permukaan diperoleh berdasarkan hasil ekstraksi nilai dari model estimasi stok karbon yang dilakukan pada setiap pikselnya. Selanjutnya, nilai estimasi stok karbon pada setiap pikselnya dijumlahkan secara keseluruhan untuk memperoleh nilai total estimasi stok karbon permukaan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengolahan Citra Landsat-8 OLI**

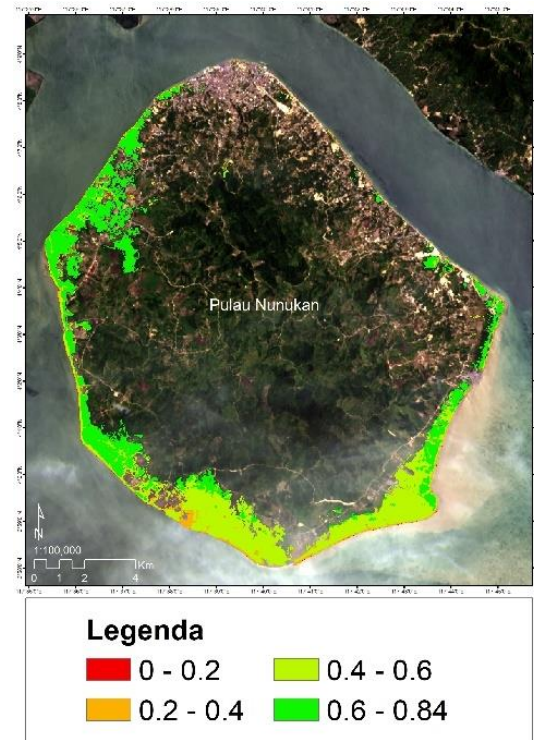
Penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat-8 OLI dengan akuisisi perekaman pada tanggal 16 Maret 2019 dan WRS Path/Row-nya yaitu 117/57. Pemilihan citra didasarkan pada kualitas citra yang baik, dimana tutupan awan pada citra sebesar <10% dan kondisi cuaca pada saat perekaman citra cukup baik dengan tidak adanya kabut di atmosfer. Awan dianggap sebagai pengganggu karena ia akan menutupi sebagian wilayah dari citra satelit sehingga mengganggu proses interpretasi suatu citra satelit. Kondisi akuisisi citra seperti ini maka akan diperoleh citra yang memiliki kualitas yang baik.



**Gambar 2.** Hasil reklasifikasi *unsupervised*.

Citra Landsat-8 OLI yang telah dilakukan proses *pra-processing* selanjutnya dilakukan proses komposit *band* dan *cropping* citra. Komposit *band* untuk menunjukkan vegetasi mangrove pada citra Landsat-8 OLI yang mengacu pada nilai OIF dilakukan komposit *band* RGB 564 (*false color*). Pada komposit citra tersebut vegetasi mangrove terlihat berwarna merah gelap, vegetasi non mangrove berwarna merah lebih terang, perairan dangkal berwarna biru terang dan laut dalam merefleksikan warna sangat gelap (hitam).

Proses identifikasi sebaran mangrove menggunakan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised*) dengan algoritma *isodata*. Klasifikasi ini menghasilkan peta satuan lahan yang selanjutnya digunakan untuk membedakan daerah sebaran vegetasi mangrove. Kluster-kluster yang dihasilkan oleh metode *isodata* selanjutnya dilakukan proses reklasifikasi. Hasil reklasifikasi citra seperti terlihat pada **Gambar 2**, merupakan peta kelas penutupan lahan yang digunakan untuk menentukan batas wilayah sebaran mangrove di Pulau Nunukan, Kalimantan Utara yang ditandai dengan kelas penutupan lahan mangrove. Kelas mangrove tersebut selanjutnya ditransformasikan ke persamaan indeks vegetasi NDVI.



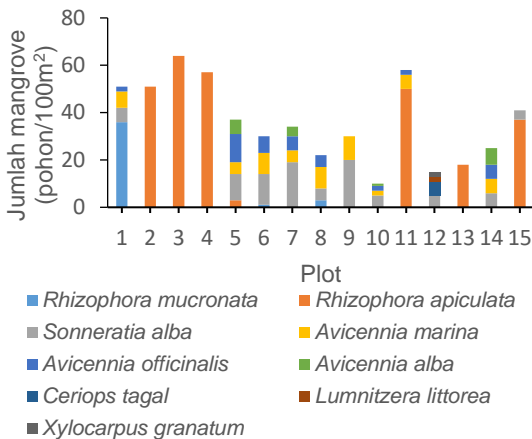
**Gambar 3.** Kerapatan mangrove berdasarkan nilai NDVI.

Transformasi indeks vegetasi NDVI dilakukan untuk merepresentasikan tingkat kerapatan vegetasi pada lokasi kajian yaitu Pulau Nunukan. Peta kerapatan mangrove seperti pada **Gambar 3**, diperoleh dari hasil *overlay* antara hasil klasifikasi tutupan lahan mangrove dengan citra hasil NDVI. Rentang nilai NDVI pada daerah vegetasi mangrove berkisar pada 0,008225 – 0,84327. Rentang data yang diperoleh termasuk dalam

kisaran ambang batas nilai NDVI yang dihasilkan yaitu -1 sampai +1. Hasil transformasi NDVI menunjukkan bahwa semakin berwarna merah mengindikasikan rendahnya nilai NDVI dan semakin berwarna hijau mengindikasikan tingginya nilai NDVI.

**Komposisi Jenis Mangrove**

Hasil survei lapangan diperoleh beberapa jenis vegetasi mangrove yang dihitung dalam plot 100 m<sup>2</sup>. Jumlah keseluruhan plot yang diukur yaitu 15 plot. Jenis mangrove yang teridentifikasi dalam plot hanya berjumlah 9 jenis (**Gambar 4**). Jenis yang paling mendominasi pada wilayah kajian yaitu jenis *Rhizophora apiculata*.



**Gambar 4.** Komposisi jenis mangrove.

Komposisi jenis vegetasi mangrove secara khas memperlihatkan adanya pola zonasi pada suatu wilayah. Pola zonasi vegetasi mangrove berkaitan erat dengan tipe tanah (lumpur, pasir atau gambut), keterbukaan (terhadap hempasan gelombang), salinitas serta pengaruh pasang surut (Noor et al., 2006). Pola zonasi vegetasi mangrove

umumnya tumbuh dalam empat zona yaitu pada daerah terbuka, daerah tengah, daerah yang memiliki sungai berair payau sampai hampir tawar, serta daerah ke arah daratan yang memiliki air tawar. Komposisi jenis juga dipengaruhi oleh karakteristik substrat yang menjadi faktor pembatas terhadap pertumbuhan mangrove. Jenis mangrove *Rhizophora* dapat tumbuh baik pada substrat yang berlumpur tebal sedangkan jenis *Avicennia* dan *Brugueiera* hidup pada substrat lumpur berpasir.

**Analisis Survei Lapangan**

Hasil survei lapangan dan pengolahan citra yang telah dilakukan diperoleh nilai biomassa, nilai karbon, persentase tutupan kanopi, jenis substrat, dan ekstraksi nilai NDVI pada setiap plotnya. Persentase tutupan kanopi yang diperoleh berkisar antara 9,02-89,95% (**Tabel 3**). Berdasarkan kriteria penutupan oleh KepMen LH No. 201 Tahun 2004 (KLH, 2004), kondisi persentase tutupan kanopi tergolong dalam kategori jarang sampai padat. Tutupan kanopi terendah (9,02%) ditemukan pada plot 13 (**Tabel 3**). Jenis yang ditemukan pada plot tersebut yaitu *Acrostichum* sp. lebih dominan daripada *Rhizophora apiculata*. Tipe tumbuhan dalam bentuk pohon yang ada pada plot tersebut tidak banyak, sehingga menyebabkan persentase tutupan kanopinya rendah.

Pada plot lainnya diperoleh persentase tutupan kanopi >50%. Perbedaan nilai persentase tutupan kanopi diakibatkan adanya perbedaan dominansi jenis mangrove dan kerapatan pohon yang menyusun pada plot penelitian. Menurut Pretzsch et al. (2015), umumnya semakin besar luas permukaan daun, maka semakin rapat tutupan kanopi. Luas permukaan daun berbeda setiap jenisnya, perbedaan tersebut disebabkan karena setiap jenis mangrove memiliki karakteristik morfologi berbeda.

**Tabel 3.** Hasil survei lapangan.

Plot	Biomassa (toh/ha)	Karbon (ton/ha)	Kanopi (%)	NDVI	Substrat
1	209,53	98,48	80,82	0,70458	lumpur berpasir
2	197,36	92,76	89,95	0,70050	lumpur berpasir
3	132,78	62,41	82,53	0,74712	lumpur berpasir
4	221,94	104,31	85,09	0,75217	lumpur berpasir
5	120,22	56,50	65,54	0,54299	lumpur berpasir
6	72,93	34,28	57,04	0,46482	lumpur berpasir
7	105,43	49,55	59,22	0,48338	lumpur berpasir
8	73,38	34,49	54,61	0,36597	pasir berlumpur
9	57,08	26,83	56,66	0,38193	lumpur berpasir
10	62,62	29,43	58,50	0,46446	pasir berlumpur
11	113,05	53,13	84,37	0,65149	lumpur berpasir
12	79,53	37,38	53,72	0,54335	pasir berlumpur
13	10,43	4,90	9,02	0,36129	lumpur berpasir
14	87,76	41,25	45,97	0,45718	lumpur berpasir
15	126,68	59,54	51,51	0,40578	lumpur

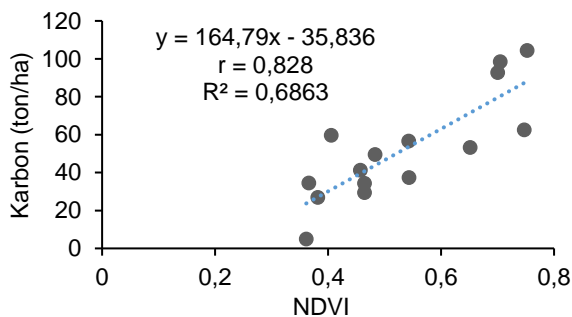
Umumnya *Rhizophora* mempunyai morfologi daun yang lebar, ukuran daun bisa mencapai 11-23 cm x 5-13 cm (Noor et al., 2006). Proses perkembangbiakan jenis *Rhizophora* yang buahnya sudah berkecambah sewaktu masih di pohon induknya (vivipar). Saat lepas dari induknya, propagul yang dilengkapi dengan hipokotil yang runcing akan jatuh dan menancap pada substrat dekat dari induknya. Jenis *Rhizophora* juga memiliki struktur perakaran yang rapat (Noor et al., 2006).

Hal tersebut yang menyebabkan pada area komunitas *Rhizophora* memiliki kerapatan yang tinggi sehingga banyak ditemukan persentase tutupan kanopi yang tinggi. Berbeda dengan jenis *Avicennia* dan *Sonneratia*, morfologi daunnya memiliki ukuran yang cenderung lebih kecil dan kerapatannya juga lebih rendah dibandingkan dengan jenis *Rhizophora*, sehingga tutupan kanopi yang dihasilkan oleh jenis ini juga cenderung lebih kecil.

### Analisis Regresi

#### Hubungan Karbon dengan Nilai NDVI

Besarnya koefisien determinasi menunjukkan bahwa pengaruh variabel bebas (NDVI) terhadap nilai karbon sebesar 68,6%. Sisanya sebesar 31,4% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam penelitian ini. Grafik hubungan antara nilai karbon dengan nilai NDVI pada persamaan regresi linear disajikan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Regresi linear antara karbon dengan NDVI dari citra Landsat-8 OLI.

Nilai tersebut tergolong tidak terlalu tinggi karena nilai NDVI hanya menunjukkan tingkat kehijauan suatu vegetasi berdasarkan nilai reflektan suatu citra, sedangkan nilai karbon menunjukkan besarnya kandungan karbon tegakan pohon. Nilai NDVI digambarkan secara dua dimensi, sedangkan nilai karbon merupakan nilai yang digambarkan secara tiga dimensi (Rakhmawati, 2012). Perbedaan tersebut menjadi sebab tidak optimalnya nilai  $R^2$  tersebut.

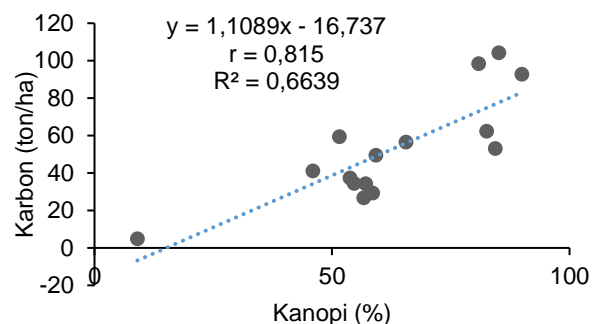
Penelitian mengenai hubungan antara karbon atau biomassa dengan nilai NDVI sudah banyak dilakukan (Fitrah, 2019; Rakhmawati, 2012; Winarso et al., 2015). Pada penelitian yang dilakukan oleh Fitrah (2019) di Pulau Bauluang, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, diperoleh

nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,69 dengan rentang nilai NDVI antara 0-0,45. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Rakhmawati (2012) di Kabupaten Mamuju Utara, Sulawesi Barat, diperoleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,609 dengan rentang nilai NDVI antara 0,24-0,73. Nilai  $R^2$  menunjukkan hubungan antara nilai NDVI dengan nilai biomassa atau karbon permukaan. Nilai  $R^2$  tidak selalu bagus ( $R^2 \geq 0,8$ ) (Nduru et al., 2014) untuk semua kondisi vegetasi. NDVI untuk biomassa hanya bagus untuk merepresentasikan nilai biomassa hutan yang ketinggian pohonnya homogen (Winarso et al., 2015).

#### Hubungan Karbon dengan Persentase Kanopi

Koefisien determinasi menunjukkan bahwa pengaruh variabel bebas (persentase kanopi) terhadap nilai karbon sebesar 66,4% sedangkan sisanya sebesar 33,6% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam penelitian ini. Grafik hubungan antara nilai karbon dengan persentase kanopi dengan persamaan regresi linear disajikan pada **Gambar 6**.

Nilai karbon yang diperoleh dari perhitungan nilai biomassa menggunakan persamaan alometrik setiap jenisnya. Dimana dengan persamaan alometrik yang digunakan pada penelitian ini hanya menerapkan diameter batang mangrove dan berat jenis mangrove sebagai nilai penduga.



**Gambar 6.** Regresi linear antara karbon dengan persentase kanopi.

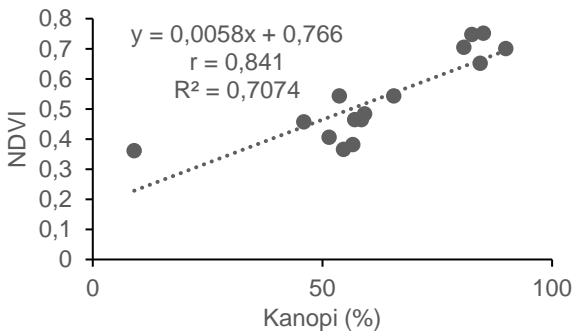
Tinggi rendahnya nilai biomassa yang dihasilkan suatu ekosistem mangrove disebabkan oleh tingkat kesuburan tanah dan kerapatan mangrove yang terdapat di kawasan tersebut (Dharmawan & Siregar, 2008). Chiraz (2013), juga menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat antara tinggi tegakan, diameter batang, cakupan akar dan diameter kanopi. Karena nilai persentase tutupan kanopi tergantung pada luas permukaan daun dan kerapatan pohon, maka tinggi rendahnya nilai karbon dipengaruhi oleh nilai persentase tutupan kanopi pada suatu kawasan.

#### Hubungan Persentase Kanopi dengan NDVI

Besarnya koefisien determinasi menunjukkan bahwa pengaruh variabel bebas (persentase kanopi) terhadap nilai NDVI sebesar 70,7%



sedangkan sisanya sebesar 29,3% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam penelitian ini. Grafik hubungan antara persentase kanopi dengan nilai NDVI pada persamaan regresi linear disajikan pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Regresi linear antara persentase kanopi dengan NDVI.

Nilai NDVI diperoleh dari nilai reflektan objek yang diterima oleh citra satelit, semakin lebat tutupan kanopi semakin tinggi nilai NDVI. Nilai NDVI akan semakin tinggi di saat umur suatu pohon bertambah yang diiringi oleh penambahan luas kanopi dan bertambahnya diameter pohon. Bertambahnya luas kanopi akan mengakibatkan kandungan khlorofil di area tersebut menjadi meningkat. Khlorofil yang semakin tinggi akan menyebabkan meningkatnya reflektan spektrum hijau. Peningkatan reflektan spektrum hijau menyebabkan nilai NDVI di area tersebut juga semakin tinggi. Gelombang elektromagnetik yang tidak dapat menembus kanopi sehingga langsung dipantulkan dan diterima oleh sensor satelit. Beberapa penelitian serupa menunjukkan bahwa keduanya memiliki hubungan yang tinggi seperti penelitian yang dilakukan oleh Hendrawan et al. (2018), untuk citra Landsat 8 diperoleh koefisien korelasi  $r=0,82$  dan koefisien determinasi  $R^2=0,67$  sedangkan untuk citra SPOT 6 diperoleh koefisien korelasi  $r=0,85$  dan koefisien determinasi  $R^2=0,72$ .

**Model Estimasi Stok Karbon**

Nilai estimasi stok karbon diperoleh dari hasil perhitungan model estimasi stok karbon. Model yang dibangun diperoleh dari persamaan regresi antara variabel terikat yaitu nilai karbon piksel dengan variabel bebas yaitu nilai NDVI. Nilai karbon piksel diperoleh dari perhitungan nilai biomassa dan karbon lapangan yang hanya mencakup area plot 10m x 10m selanjutnya dikonversi menjadi area plot 30m x 30m sesuai dengan resolusi spasial citra Landsat 8-OLI yaitu 30 meter.

Terdapat dua jenis model estimasi stok karbon yang dibangun, yaitu model yang menggunakan seluruh jenis yang teridentifikasi sebagai sampel, dan model yang hanya menggunakan jenis dominan yang ditemukan pada wilayah kajian. Model yang menggunakan seluruh jenis sebagai sampel mengacu pada penggunaan seluruh persamaan alometrik untuk setiap jenis mangrove,

sedangkan model yang menggunakan jenis dominan sebagai sampel hanya mengacu pada persamaan alometrik jenis *Rhizophora*, dengan *Rhizophora apiculata* sebagai jenis yang mendominasi wilayah kajian.

**Model Estimasi Stok Karbon Seluruh Jenis Mangrove**

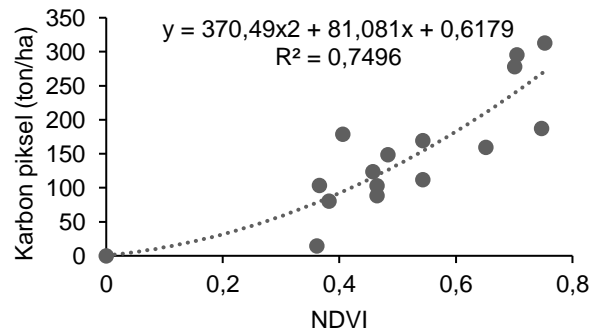
Model penduga atau estimasi stok karbon seluruh jenis mangrove yang dibangun, menggunakan persamaan regresi linear, kuadratik, dan eksponensial seperti disajikan pada **Tabel 4**.

Persamaan regresi kuadratik menghasilkan nilai koefisien determinasi yang paling tinggi. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang dihasilkan sebesar 0,7496. Dari ketiga jenis regresi tersebut, persamaan regresi kuadratik menghasilkan nilai koefisien determinasi yang paling tinggi sehingga persamaan regresi kuadratik dipilih sebagai model penduga atau estimasi stok karbon. Persamaan regresi kuadratik digunakan untuk mengestimasi stok karbon permukaan, dengan y adalah karbon dan x adalah nilai ekstraksi NDVI. Grafik hubungan antara nilai karbon piksel dengan nilai NDVI pada model regresi disajikan pada **Gambar 8**.

Persamaan kuadratik pada **Persamaan 7** yang tersaji pada **Tabel 4**, yang digunakan sebagai model penduga atau estimasi stok karbon diterapkan pada citra Landsat-8 OLI. Data raster citra Landsat-8 OLI yang telah ditransformasikan menjadi citra NDVI, kemudian dikalkulasi dengan menggunakan *raster calculator*. Sehingga diperoleh distribusi nilai karbon permukaan yang direpresentasikan oleh nilai piksel. Berikut hasil perhitungan estimasi stok karbon permukaan pada setiap piksel titik plot sampel seperti tersaji pada **Tabel 5**.

**Tabel 4.** Persamaan masing-masing regresi untuk model seluruh jenis.

Persamaan Regresi	$R^2$
Linear	
$Y = 395,95x - 51,409$ .....(6)	0,7003
Kuadratik	
$Y = 370,49x^2 + 81,081x + 0,6179$ ..... (7)	0,7496
Eksponensial	
$Y = 17,527e^{3,7496x}$ ..... (8)	0,5139



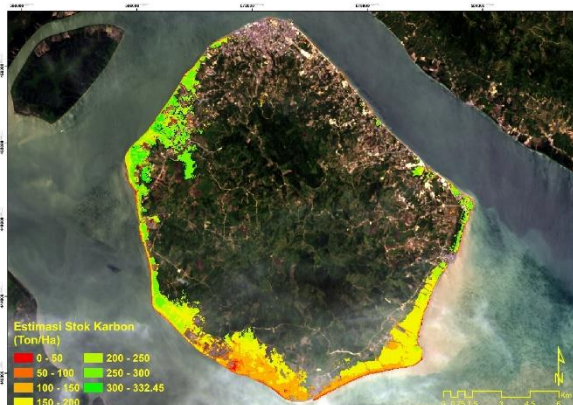
**Gambar 8.** Hubungan nilai karbon piksel dengan nilai NDVI dengan metode persamaan regresi kuadratik.

**Tabel 5.** Nilai biomassa per piksel, karbon per piksel, dan estimasi stok karbon.

Plot	NDVI	Biomassa per piksel (ton/ha)	Karbon per piksel (ton/ha)	Estimasi stok karbon (ton/ha)
1	0,704577	628,58	295,43	241,67
2	0,700498	592,09	278,28	239,21
3	0,747117	398,34	187,22	268,00
4	0,752172	665,83	312,94	271,21
5	0,542992	360,66	169,51	153,88
6	0,464823	218,80	102,83	118,35
7	0,483382	316,28	148,65	126,38
8	0,365965	220,13	103,46	79,91
9	0,381934	171,25	80,49	85,63
10	0,464463	187,87	88,30	118,20
11	0,651494	339,15	159,40	210,69
12	0,543351	238,60	112,14	154,05
13	0,361292	31,30	14,71	78,27
14	0,457184	263,27	123,74	115,13
15	0,405776	380,04	178,62	94,52

Peta distribusi nilai karbon permukaan pada Pulau Nunukan disajikan pada **Gambar 9**. Total nilai estimasi stok karbon permukaan yang diperoleh sebesar 6.401.988,95 ton C pada area mangrove seluas 3155,85 ha. Nilai estimasi stok karbon yang diperoleh berada kisaran 0-322,45 ton/ha setiap pikselnya.

Model estimasi stok karbon seluruh jenis yang dibangun belum memberikan hasil yang terbaik, jika dibandingkan dengan model yang dibangun oleh Rahadian (2019), dalam mengestimasi biomassa dan karbon mangrove di seluruh Indonesia menggunakan citra Landsat-8 yang diintegrasikan dengan ALOS PALSAR. Nilai koefisien determinasi yang diperoleh sebesar  $R^2=0,806$  dengan menggunakan persamaan regresi eksponensial.



**Gambar 9.** Peta sebaran stok karbon permukaan.

Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan semua sampel dari keseluruhan sampel yang diperoleh di lapangan sebanyak 15 sampel, dimana sampel tersebut juga dipergunakan untuk membangun model. Penentuan titik uji akurasi sebaiknya titik independen yang tidak digunakan sebagai pembangun model agar hasil uji akurasi lebih reliabel. Namun pada penelitian ini titik sampel yang diperoleh sangat terbatas sehingga pengujian akurasi masih menggunakan titik yang sama

untuk membangun model. Nilai akurasi ditentukan berdasarkan besar *Root Mean Square Error* (RMSE) antara hasil pengukuran karbon di lapangan dengan citra. Nilai RMSE hasil pengukuran lapangan dengan estimasi menggunakan citra dapat dilihat pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** RMSE antara hasil pengukuran karbon di lapangan dengan hasil estimasi karbon menggunakan citra satelit.

Plot	NDVI	Karbon (ton/ha)	Estimasi karbon (ton/ha)	Selisih estimasi karbon dengan karbon
1	0,704577	295,43	241,67	-53,77
2	0,700498	278,28	239,21	-39,07
3	0,747117	187,22	268,00	80,78
4	0,752172	312,94	271,21	-41,73
5	0,542992	169,51	153,88	-15,63
6	0,464823	102,83	118,35	15,52
7	0,483382	148,65	126,38	-22,27
8	0,365965	103,46	79,91	-23,55
9	0,381934	80,49	85,63	5,14
10	0,464463	88,30	118,20	29,90
11	0,651494	159,40	210,69	51,29
12	0,543351	112,14	154,05	41,91
13	0,361292	14,71	78,27	63,56
14	0,457184	123,74	115,13	-8,61
15	0,405776	178,62	94,52	-84,10
Total				-0,61
RMSE				45,25

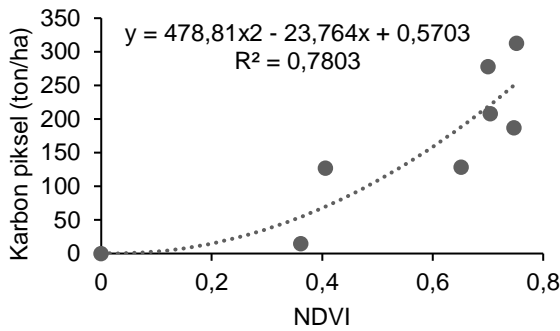
*Model Estimasi Stok Karbon Jenis Dominan*

Model penduga atau estimasi stok karbon jenis dominan yang dibangun, menggunakan persamaan regresi linear, kuadratik, dan eksponensial (**Tabel 7**). Dari ketiga jenis regresi tersebut, persamaan regresi kuadratik menghasilkan nilai koefisien determinasi yang paling tinggi sehingga persamaan regresi kuadratik dipilih sebagai model penduga atau estimasi stok karbon.

**Tabel 7.** Persamaan masing-masing regresi untuk jenis dominan.

Persamaan Regresi	$R^2$
Linear $Y = 360,42x - 37,607$ ..... (9)	0,7209
Kuadratik $Y = 478,81x^2 - 23,764x + 0,5703$ ..... (10)	0,7803
Eksponensial $Y = 5,5435e^{5,1698x}$ ..... (11)	0,6679

Persamaan regresi kuadratik menghasilkan nilai koefisien determinasi yang paling tinggi. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang dihasilkan sebesar 0,7803. Persamaan regresi kuadratik (**Persamaan 10**) digunakan untuk mengestimasi stok karbon permukaan, dengan y adalah karbon dan x adalah nilai ekstraksi NDVI. Grafik hubungan antara nilai karbon piksel dengan nilai NDVI pada model regresi disajikan pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** Hubungan nilai karbon piksel dengan nilai NDVI dengan metode persamaan regresi kuadratik.

Perhitungan nilai biomassa dan karbon yang hanya mencakup area plot 10m x 10m selanjutnya dikonversi menjadi area plot 30m x 30m sesuai dengan resolusi spasial citra Landsat 8-OLI yaitu 30 meter, sehingga diperoleh nilai biomassa setiap piksel dan nilai karbon setiap pikselnya (**Tabel 8**). Sampel yang digunakan untuk membangun persamaan model dalam regresi kuadratik adalah sampel yang memiliki jenis mangrove yang homogen yaitu jenis *Rhizophora* sp. Sampel dengan jenis *Rhizophora* sp. tersebut dipilih untuk membangun model karena dari keseluruhan wilayah kajian, jenis *Rhizophora* sp merupakan jenis mangrove yang mendominasi wilayah kajian. Pada saat diterapkan pada citra Landsat-8 OLI untuk estimasi cadangan karbon, tetap menggunakan persamaan yang berasal dari sampel *Rhizophora* sp, meskipun di daerah kajian juga terdapat jenis mangrove yang lain.

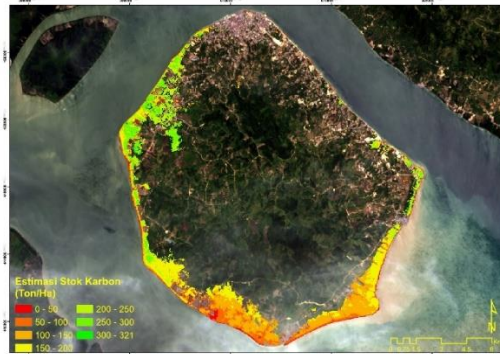
Persamaan yang digunakan sebagai model penduga atau estimasi stok karbon diterapkan pada citra Landsat-8 OLI. Data raster citra Landsat-8 OLI yang telah ditransformasikan menjadi citra NDVI, kemudian dikalkulasi dengan menggunakan *raster calculator*. Sehingga diperoleh distribusi nilai karbon permukaan yang direpresentasikan oleh nilai piksel. Berikut hasil perhitungan estimasi stok karbon permukaan pada setiap piksel titik plot sampel dari hasil filterisasi sample model (**Tabel 9**).

**Tabel 8.** Perhitungan biomassa piksel dan karbon piksel.

Plot	NDVI	Biomassa piksel (ton/ha)	Karbon piksel (ton/ha)
1	0,704577	628,58	295,43
2	0,700498	592,09	278,28
3	0,747117	398,34	187,22
4	0,752172	665,83	312,94
5	0,542992	360,66	169,51
6	0,464823	218,80	102,83
7	0,483382	316,28	148,65
8	0,365965	220,13	103,46
9	0,381934	171,25	80,49
10	0,464463	187,87	88,30
11	0,651494	339,15	159,40
12	0,543351	238,60	112,14
13	0,361292	31,30	14,71
14	0,457184	263,27	123,74
15	0,405776	380,04	178,62

**Tabel 9.** Nilai biomassa per piksel, karbon per piksel, dan estimasi stok karbon.

Plot	NDVI	Biomassa per piksel (ton/ha)	Karbon per piksel (ton/ha)	Estimasi stok karbon (ton/ha)
1	0,704577	442,92	208,17	221,52
2	0,700498	592,09	278,28	218,87
3	0,747117	398,34	187,22	250,08
4	0,752172	665,83	312,94	253,59
11	0,651494	339,15	159,40	128,84
13	0,361292	31,30	14,71	92,98
15	0,405776	380,04	178,62	100,96



**Gambar 11.** Peta sebaran stok karbon permukaan.

Peta distribusi nilai karbon permukaan pada Pulau Nunukan disajikan pada **Gambar 11**. Total nilai estimasi stok karbon permukaan yang diperoleh sebesar 5.616.404,46 ton C pada area mangrove seluas 3155,85 ha. Nilai estimasi stok karbon yang diperoleh berada kisaran 0-321 ton/ha setiap pikselnya. Model estimasi stok karbon jenis dominan yang dibangun menunjukkan nilai yang terbaik, jika dibandingkan model yang dibangun oleh Husna et al. (2018), dalam mengestimasi cadangan karbon hutan mangrove di Tongketongke, Sulawesi Selatan. Nilai koefisien determinasi yang diperoleh sebesar  $R^2=0,588$  dan  $R^2=0,629$  dengan menggunakan persamaan regresi kuadratik. Pada penelitian tersebut citra satelit yang digunakan yaitu citra Landsat dan ALOS PALSAR, kemudian yang menjadi jenis yang dominan yaitu *Rhizophora* sp. Berdasarkan penelitian tersebut dapat mempertegas bahwa penggunaan indeks vegetasi (NDVI) dapat dijadikan acuan untuk mengestimasi stok karbon mangrove.

**Uji Akurasi**

Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan sampel sebanyak 8 sampel yang tersisa dari keseluruhan sampel yang diperoleh di lapangan, dimana sebagian besar sampel lain sudah dipergunakan untuk membangun model. Nilai akurasi ditentukan berdasarkan besar *Root Mean Square Error* (RMSE) antara hasil pengukuran karbon di lapangan dengan citra.

Perbandingan antara nilai stok karbon dan nilai estimasi stok karbon berdasarkan model yang dibangun diuji menggunakan persamaan *Root*

Mean Square Error (RMSE). Nilai akurasi yang diperoleh dari model estimasi stok karbon seluruh jenis yaitu 45,25 (**Tabel 6**) dan nilai akurasi yang diperoleh dari model estimasi stok karbon jenis dominan yaitu 31,82 (**Tabel 10**).

**Tabel 10.** RMSE antara hasil pengukuran karbon di lapangan dengan hasil estimasi karbon menggunakan citra satelit.

Plot	NDVI	Karbon (ton/ha)	Estimasi karbon (ton/ha)	Selisih estimasi karbon dengan karbon
5	0,54299	169,51	128,84	40,67
6	0,46482	102,83	92,98	9,86
7	0,48338	148,65	100,96	47,69
8	0,36597	103,46	56,00	47,46
9	0,38193	80,49	61,34	19,15
10	0,46446	88,30	92,82	-4,52
12	0,54335	112,14	129,02	-16,87
14	0,45718	123,74	89,79	33,95
Total				177,38
RMSE				31,82

Hasil dari perhitungan RMSE tergolong besar karena nilai akurasi yang didapat masih jauh dari kisaran 0,0-1,0. Nilai akurasi yang diperoleh mengindikasikan bahwa terdapat nilai bias yang besar pada model estimasi stok karbon yang dibangun. Hal tersebut disebabkan karena nilai stok karbon diperoleh dari perhitungan persamaan alometrik setiap jenis mangrove yang menggunakan diameter batang pohon sebagai nilai penduga sedangkan nilai NDVI hanya menunjukkan tingkat kehijauan atau kerapatan tajuk suatu vegetasi berdasarkan nilai reflektan suatu citra. Lebih jauh, nilai kerapatan tajuk atau tutupan kanopi dipengaruhi oleh luas permukaan daun yang berbeda setiap jenis mangrove.

Nilai total estimasi stok karbon yang dihasilkan dari kedua model yang dibangun mempunyai selisih yang besar. Hal tersebut disebabkan karena penggunaan sampel jenis dominan hanya menggunakan jenis *Rhizophora* sebagai nilai penduga dan mengabaikan jenis lain yang ada pada plot sampel. Sehingga terjadinya pengurangan nilai karbon pada plot sampel yang dijadikan nilai penduga. Sedangkan pada penggunaan sampel seluruh jenis menggunakan semua jenis yang teridentifikasi sebagai nilai penduga.

Model yang menggunakan jenis dominan dibangun karena hasil indeks vegetasi (NDVI) belum mampu secara spesifik membedakan setiap jenis mangrove. Sehingga diasumsikan bahwa seluruh hasil NDVI merupakan suatu jenis yang homogen. Sampel yang digunakan sebagai nilai penduga yaitu jenis mangrove yang bertipe pohon, sedangkan jenis mangrove yang bertipe semak tidak dijadikan sebagai sampel nilai penduga. Nilai NDVI yang hanya menunjukkan nilai kerapatan tajuk suatu vegetasi menjadi sebuah alasan untuk membangun model yang hanya menggunakan jenis dominan. Penggunaan jenis dominan sebagai sampel mengindikasikan bahwa bentuk dan ukuran

daun dari jenis mangrove tersebut lebih merata dan lebih seragam. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Winarso et al. (2015), nilai NDVI untuk stok karbon hanya bagus merepresentasikan nilai stok karbon untuk hutan yang mempunyai jenis yang homogen.

Nilai akurasi dan koefisien determinasi model yang hanya menggunakan jenis dominan lebih tinggi dibandingkan dengan model yang menggunakan seluruh jenis. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan dari kedua model tersebut hanya selisih 3% dan nilai RMSE yang dihasilkan dari keduanya juga masih tergolong besar. Nilai RMSE semakin rendah maka nilai hasil pendugaan semakin akurat.

### Stok Karbon Mangrove di Pulau Nunukan

Perhitungan stok karbon menggunakan model yang dibangun diperoleh total stok karbon permukaan sebesar 6.401.988,95 ton C untuk model estimasi stok karbon yang menggunakan seluruh jenis dan 5.616.404,46 ton C untuk model estimasi stok karbon yang menggunakan jenis dominan. Perbedaan hasil nilai stok karbon dari kedua model yang digunakan disebabkan karena adanya proses generalisasi *training* data dalam membangun model estimasi stok karbon yang menggunakan jenis dominan. Penggunaan jenis dominan diasumsikan bahwa di dalam satu piksel citra Landsat (30x30 m) didominasi oleh satu jenis saja. Namun, ini berdampak pada hasil yang diperoleh dari model tersebut. Nilai stok karbonnya lebih rendah daripada model yang dibangun berdasarkan seluruh jenis. Perbedaan setiap jenis penting dilakukan, karena setiap jenis memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda sehingga nilai pantulan spektralnya juga berbeda-beda. Setiap jenis mangrove memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menyerap dan menyimpan karbon. Sehingga pada proses estimasi stok karbon menggunakan data penginderaan jauh perlu memperhatikan komposisi jenis yang diwakili oleh satuan resolusi spasial citra.

Pemilihan model estimasi stok karbon sangat tergantung dari kondisi vegetasi mangrove pada wilayah yang dikaji dan karakteristik data penginderaan jauh yang ingin digunakan baik dari segi resolusi spasial maupun spektral. Model estimasi stok karbon mangrove menggunakan jenis dominan sebaiknya digunakan pada komposisi jenis mangrove di suatu wilayah hanya didominasi oleh satu jenis saja. Tetapi jika komposisi jenis mangrove di suatu wilayah itu beragam, sebaiknya model estimasi stok karbon menggunakan seluruh jenis. Karena setiap jenis mangrove telah memiliki persamaan alometriknya masing-masing.

Dari segi data penginderaan jauh, jika data citra yang digunakan memiliki resolusi spasial menengah seperti Landsat maka perlu mempertimbangkan komposisi jenis yang terdapat di dalam *pure pixel* mangrove. Sehingga, jika dalam satu pikselnya hanya terdapat satu jenis yang

dominan maka sebaiknya menggunakan model estimasi karbon jenis dominan, namun jika dalam satu pikselnya terdapat berbagai jenis yang mendominasi maka sebaiknya menggunakan model estimasi stok karbon seluruh jenis. Tetapi yang perlu dipertimbangkan yaitu membuat fraksi-fraksi komposisi jenis mangrove dalam setiap pikselnya, agar keterwakilan setiap jenis di dalam satu piksel itu terwakili. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kedua model untuk membandingkan hasilnya dengan penelitian-penelitian lainnya.

Nilai stok karbon mangrove di Pulau Nunukan jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian lainnya, diperoleh lebih besar dari stok karbon permukaan dari hutan mangrove di Tongke-Tongke, Sulawesi Selatan (Husna et al., 2018), dan hutan mangrove di Pulau Bauluang, Sulawesi Selatan (Fitrah, 2019), karena luasan vegetasi mangrove di Pulau Nunukan juga lebih luas yaitu sebesar 3.155,85 ha. Nilai estimasi stok karbon yang diperoleh lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai stok karbon mangrove di Indonesia (Rahadian, 2019), karena luasan vegetasi mangrove pada penelitian tersebut mencakup pada seluruh wilayah mangrove di Indonesia (**Tabel 11**).

**Tabel 11.** Penelitian estimasi karbon di beberapa wilayah di Indonesia.

No	Sumber	Luas kajian (ha)	Stok karbon permukaan (ton C)
1	Fitrah, (2019)	252,90	66.911,73
2	Husna et al., (2018)	100,56	5.662,85 dan 6.431,46
3	Rahadian (2019)	3.156.744,78	1.817.994.407,02

Perbedaan nilai stok karbon yang ditemukan disebabkan karena penggunaan persamaan alometrik yang berbeda (Kauffman & Donato, 2012). Selain itu, perbedaan ukuran diameter batang juga mempengaruhi. Seiring dengan pertambahan waktu, jenis penyusun tegakan juga akan tumbuh yang berarti akan meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon pada tegakan mangrove tersebut. Tinggi rendahnya nilai biomassa suatu ekosistem mangrove disebabkan tingkat kesuburan tanah dan kerapatan mangrove yang terdapat di kawasan tersebut (Dharmawan & Siregar, 2008). Informasi nilai stok karbon permukaan yang diperoleh dapat dijadikan landasan *blue economy* dan investasi ekologi, serta menjadi bahan pertimbangan untuk pemerintah Kabupaten Nunukan maupun yayasan pengelolaan kawasan hutan mangrove di Pulau Nunukan.

## KESIMPULAN

Pulau Nunukan, Kalimantan Utara memiliki keanekaragaman jenis mangrove yang tinggi namun jenis mangrove yang mendominasi pada pulau tersebut yaitu *Rhizophora apiculata*.

Hasil pengolahan citra transformasi NDVI pada citra Landsat-8 OLI menunjukkan tingkat kerapatan mangrove yang didominasi kategori mangrove rapat.

Terdapat dua model yang dibangun untuk mengestimasi stok karbon permukaan mangrove dan diperoleh nilai estimasi stok karbon permukaan sebesar 6.401.988,95 ton C untuk model estimasi stok karbon seluruh jenis dan 5.616.404,46 ton C untuk model estimasi stok karbon jenis dominan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Puslitbang Laut, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil LPPM Universitas Hasanuddin, Makassar yang telah memfasilitasi penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amira, S. (2008). Pendugaan biomassa jenis *Rhizophora apiculata* Bl. di hutan mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. In Skripsi (Tidak dipublikasikan). Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- BSN (Badan Standar Nasional). (2011). Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (*Ground based forest carbon accounting*) (SNI 7724:2011). Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Beze, H. & Suparjo, S. (2015). Analisa tutupan hutan Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara. *Jurnal Digit (Jurnal Ilmiah Digital of Information Technology)*, 5(1), 1-12. Diakses dari: <https://jurnaldigit.org/index.php/DIGIT/article/view/56>.
- Chavez, P.S., Berlin, G.L. & Sowers, L.B. (1982). Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of Applied Photographic Engineering*, 8(1), 23-30. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.1982.350424>.
- Chiraz, M.-C. (2013). Growth of young olive trees: Water Requirements in relation to canopy and root development. *American Journal of Plant Sciences*, 4(7), 1316-1344. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.47163>.
- Dharmawan, I.W.E. & Pramudji. (2017). *Panduan pemantauan komunitas mangrove*. Edisi 2. CRITC Coremap CTI LIPI. Jakarta. 54 hlm.
- Dharmawan, I.W.S. (2010). Pendugaan biomassa karbon di atas tanah pada tegakan *Rhizophora Mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1), 50-56.
- Dharmawan, I.W.S. & Siregar, C.A. (2008). Karbon tanah dan pendugaan karbon tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di ciasem, Purwakarta. *Jurnal penelitian hutan dan konservasi alam*, 5(4), 317-328. DOI: <https://doi.org/10.20886/jphka.2008.5.4.317-328>.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kumianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>.
- Fitrah, M.N. (2019). Dinamika perubahan stok karbon biomassa pada ekosistem mangrove menggunakan data satelit dan pengukuran karbon

- permukaan di Pulau Bauluang. Tesis (Tidak diterbitkan). Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekolah Pascasarjana. Universitas Hasanuddin.. Makassar.
- Hairiah, K., Sitompul, S.M., van Noordwijk, M. & Palm, C. (2001). *Methods of sampling for sampling above and below-ground organic pools*. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Southeast Asian Regional Research Programme. Bogor. v, 24p.
- Hendrawan, H., Gaol, J.L. & Susilo, S.B. (2018). Studi kerapatan dan perubahan tutupan mangrove menggunakan citra satelit di Pulau Sebatik Kalimantan Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 99-109. DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.18595>.
- Husna, V.N., Siregar V.P., Agus, S.B. & Arifin, T. (2018). Estimasi cadangan karbon biomassa di atas permukaan tanah pada mangrove menggunakan penginderaan jauh di Tongke-Tongke, Sulawesi Selatan. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(2), 456-466. DOI: <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.456-466>.
- Irsadi, A., Martuti, N.KT. & Nugraha, S.B. (2017). Estimasi stok karbon mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 15(2), 119-128. DOI: - <https://doi.org/10.15294/saintekno.v15i2.12402>.
- Kauffman, J.B & Cole, T.G. (2010). Micronesian mangrove forest structure and tree responses to a severe typhoon. *Wetlands*, 30(2010), 1077-1084. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0114-y>
- Kauffman, J.B., & Donato, D.C. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Working Paper 86 CIFOR, Bogor. vii, 40p.
- Kauffman, J.B., Heider, C., Cole, T.G., Dwire, K.A. & Donato, D.C. (2011). Ecosystem carbon stocks of micronesian mangrove forests. *Wetlands*, 31(2011), 343-352. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0148-9>.
- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). (2004). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Kementerian Lingkungan Hidup Jakarta.
- Komiyama, A., Pongpam, S. & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), 471-477. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>.
- LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional). (2015). *Pedoman pengolahan data satelit multispektral secara digital supervised untuk klasifikasi*. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. Jakarta. Diakses dari: [http://pusfatja.lapan.go.id/files\\_uploads\\_ebook/pedoman/000\\_Buku\\_Pedoman\\_Klasifikasi\\_final.pdf](http://pusfatja.lapan.go.id/files_uploads_ebook/pedoman/000_Buku_Pedoman_Klasifikasi_final.pdf).
- Manoppo, A. K., Anggraini, N., & Marini, Y. (2015). Identifikasi Mangrove Dengan Metode Optimum Index Factor (OIF) Pada Data SPOT 6 dan Landsat 8 di Pulau Lingayan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX dan Kongres VI Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN): Perkembangan Penginderaan Jauh di Indonesia dan Pemanfaatannya untuk Perencanaan Wilayah, Pengelolaan DAS, dan Mitigasi Bencana Alam*, 68-76. Institut Pertanian Bogor, Darmaga Bogor, 5-6 Feb 2015.
- McLeod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H. & Silliman, B.R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560. DOI: <https://doi.org/10.1890/110004>.
- Nduru, R.E., Situmorang, M. & Tarigan, G. (2014). Analisa faktor-faktor yang mempengaruhi hasil produksi padi di Deli Serdang. *Saintia Matematika*, 2(1), 71-83.
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L. & Grimsditch, G. (Eds) (2009). *Blue Carbon. A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal. [www.grida.no](http://www.grida.no). ix, 73p.
- Noor, Y.R., Khazali, M. & Suryadiputra, I.N.N. (2006). *Pengenalan mangrove di Indonesia*. Cetakan Kedua. Ditjen PHPA-Wetlands International, Indonesia Programme (PHPA-WI-IP). Bogor. viii, 219hlm.
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Rötzer, T., Caldentey, J., Koike, T., van Con, T., Chavanne, A., Seifert, T., du Toit, B. Farnden, C. & Pauleit, S. (2015). Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(3), 466-479. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.006>.
- Rahadian, A. (2019). *Model spasial pendugaan biomassa dan karbon mangrove di Indonesia*. Tesis (Tidak diterbitkan). Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Rahmawati, S., Irawan, A., Supriyadi, I.H. & Azkab, M.H. (2014). Panduan *monitoring padang lamun*. Di dalam M. Hutomo & A. Nontji (Ed.). Edisi Pertama. COREMAP-CTI. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Sarana Komunikasi Utama. Bogor. viii, 37hlm.
- Rakhmawati, M. (2012). Hubungan biomassa penutup lahan dengan indeks vegetasi di Kabupaten Mamuju Utara. *Globe*, 14(2), 157-169.
- Roshetko, J.M., Delaney, M., Hairiah, K. & Purnomosidhi, P. (2002). Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage?. *American Journal of Alternative Agriculture*, 17(3), 138-148. DOI: <https://doi.org/10.1079/AJAA200116>.
- Savana, M.S. (2019). *Profil stok karbon di area ekosistem mangrove Pulau Sangiang, Banten*. Skripsi (Tidak diterbitkan). Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Simpson, W.T. (1996). *Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: Tropical and temperate hardwoods*. Res. Pap. FPL-RP-548. Madison. Forest Products Laboratory, Forest Service. U.S. Department of Agriculture. Washington, DC. USA. 57 p.
- Syukri, M., Mashoreng, S., Werorilangi, S., Isyri, R., Rastina, R., Faizal, A., Tahir, A. & Gosalam, S. (2018). Kajian stok karbon mangrove di Bebanga Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat. *Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan*, V(2018) 335-342. Diakses dari <https://journal.unhas.ac.id/index.php/proceedingsimnaskp/article/view/4665>.
- van Noordwijk, M. Susswein, P.M., Tomich, T.P., Diaw, C. & Vosti, S. (Eds). (2001). *Land use practices in*

*the humid tropics and introduction to ASB benchmark areas.* International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Southeast Asian Regional Research Programme. Bogor. v, 38p.  
Winarso, G., Vetrira, Y., Purwanto, A.D., Anggraini, N., Darmawan, S. & Yuwono, D.M. (2015). Mangrove

above ground biomass estimation using combination of Landsat 8 and ALOS PALSAR data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 12(2), 85-96. DOI: <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2015.v12.a2687>.

*Halaman ini sengaja kami kosongkan*

# ANALISIS DAYA DUKUNG LAHAN UNTUK PERMUKIMAN BERBASIS ANCAMAN BENCANA DI PULAU-PULAU KECIL

## Studi Kasus di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu

*(Land Carrying Capacity Analysis for Settlement Based on Disaster Threats in Small  
Islands, Case Study in Panggang Island and Pramuka Island, Administration Regency of  
Kepulauan Seribu)*

**Baba Barus<sup>1</sup>, Herianto<sup>2</sup>, Vincentius P. Siregar<sup>3</sup>, Mira Harimurti<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, FP-IPB, Bogor

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Perencanaan Wilayah, FP-IPB, Bogor

<sup>3</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

<sup>4</sup>Pusat Standardisasi dan Kelembagaan Informasi Geospasial, BIG, Bogor

Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Indonesia

E-mail: [bbarus@apps.ipb.ac.id](mailto:bbarus@apps.ipb.ac.id)

*Diterima: 20 Desember 2022; Direvisi: 10 Maret 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 April 2023*

### ABSTRAK

Pulau-pulau kecil merupakan wilayah yang memiliki lahan terbatas namun banyak dimanfaatkan manusia sebagai tempat bermukim. Peningkatan jumlah penduduk dan ancaman bencana merupakan tantangan dalam pengelolaan pulau-pulau kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung lahan untuk permukiman dan ancaman bencana di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Daya dukung lahan didasarkan pada ketersediaan lahan dengan mengacu Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/ Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 17 Tahun 2016 dan sempadan pantai dengan metode *buffer* dari garis pantai pasang tertinggi ke arah daratan sejauh 10 m untuk Pulau Panggang, sedangkan 20 m untuk Pulau Pramuka. Kebutuhan lahan setiap individu dihitung dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1733:2004. Ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi ditentukan berdasarkan Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 2 Tahun 2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan yang tersedia untuk permukiman di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu 5,91 ha dan 8,65 ha. Kebutuhan lahan untuk permukiman penduduk tahun 2021 Pulau Panggang dan Pulau Pramuka masing-masing 16,89 ha dan 3,64 ha. Ketersediaan potensi lahan yang dapat dimanfaatkan untuk permukiman di Pulau Panggang sudah melebihi dari kebutuhannya 10,98 ha sedangkan ketersediaan potensi lahan untuk permukiman di Pulau Pramuka 5,01 ha. Hasil perhitungan ancaman gelombang ekstrim dan abrasi kawasan pesisir Pulau Panggang dan Pulau Pramuka untuk ancaman tinggi seluas 67,12%, ancaman sedang 1,55% dan ancaman rendah sebesar 31,34%. Adanya analisis kebutuhan dan ketersediaan lahan serta ancaman bencana pada pulau kecil yang dialokasikan untuk permukiman akan menjadi dasar dalam penyusunan Rencana Detail Tata Ruang di suatu wilayah.

**Kata kunci:** abrasi, gelombang ekstrim, penduduk

### ABSTRACT

*Small islands usually have limited land but mainly used as a settlement area. The increasing population and disaster threat are the challenge for small island governance. This research aims to assess land carrying capacity for settlement area and disaster threats in Panggang Island and Pramuka Island. Land availability was determined based on Ministerial Regulation of Ministry of Agrarian Affairs and Spatial Planning/National Land Agency Regulation No. 17 2016 while coastal border was determined using a buffer method that was measured 10 m and 20 from the highest astronomical tide coastal line to the land in Panggang Island and Pramuka Island respectively. Land required for every person is calculated based on the national standard (SNI) 03-1733:2014. Extreme wave disaster and abrasion threat was determined based on the Regulation of National Disaster Management Authority (BNPB) No. 2 2012. This study finds that land availability for settlement in Panggang Island and Pramuka Island is 5,91 ha and 8,65 ha respectively. The analysis shows Land required as settlement area in 2021 was 16.89 ha and 3.64 ha in Panggang Island and Pramuka Island respectively. Land potential for settlement area in Panggang Island has exceeded the need of 10.98 ha, while in Pramuka Island is 5,01 ha. The Extreme wave disaster and abrasion threat in coastal area of Panggang Island and Pramuka Island calculations specihigh threat of 67,12%, a moderattek threat of 1,55%, and the low-threat of 31,34%. An analysis of the needs and availability of land and disaster threats on small islands allocated for settlements will provide the basis for developing a Detailed Spatial Plan of an area.*

**Keywords:** abrasion, extreme wave, population



## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar pulau-pulainya merupakan tergolong sebagai pulau kecil (Andréfouët et al., 2022). Pulau kecil merupakan pulau yang memiliki luas kurang dari 2.000 km<sup>2</sup> (RI, 2007). Salah satu pemanfaatan pulau-pulau kecil yaitu digunakan sebagai tempat untuk bermukim oleh masyarakat. Pemanfaatan pulau kecil sebagai tempat bermukim merupakan salah satu bentuk pemanfaatan ruang di tengah isu keterbatasan ruang (Ketjulan et al., 2019). Jumlah penduduk yang terus meningkat menyebabkan ruang yang ada di pulau-pulau kecil terkonversi menjadi kawasan terbangun. Ketersediaan tanah yang bersifat terbatas, hal tersebut mendorong sebagian besar masyarakat menempati tanah-tanah kawasan di pinggiran pantai yang memiliki fleksibilitas terhadap akses transportasi jika dibandingkan dengan di wilayah daratan (Sam et al., 2020). Pembangunan permukiman di kawasan pesisir mengakibatkan ekosistem pesisir mengalami perubahan dan lingkungan pantai menjadi rusak (Nimah, 2022).

Kawasan pesisir di pulau kecil cenderung lebih penting dibandingkan dengan pulau besar, karena kawasan pesisir di pulau kecil umumnya dijadikan sebagai pusat kegiatan penduduk (Muhammad & Mardiatno, 2022). Pemanfaatan ruang di pulau-pulau kecil banyak ditemukan yang tidak sejalan dengan peraturan tentang sempadan pantai. Salah satu tujuan dari peraturan tentang sempadan pantai yaitu untuk melindungi kelestarian alam di wilayah pesisir dan kehidupan masyarakat dari ancaman bencana (RI, 2016). Adanya perubahan fungsi sempadan pantai menjadi lahan tambak dan permukiman telah mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan di wilayah pesisir (Hasibuan et al., 2020).

Sempadan pantai merupakan daratan sepanjang pantai, yang lebarnya proporsional dengan bentuk dan kondisi fisik pantai, minimal 100 m (seratus meter) dari titik pasang tertinggi ke arah darat (KKP, 2018). Daerah sempadan pantai hanya diperbolehkan untuk tanaman yang berfungsi sebagai pelindung dan pengaman pantai, penggunaan fasilitas umum yang tidak merubah fungsi lahan sebagai pengaman dan pelestarian pantai (Reskiyanti et al., 2018). Pengaturan sempadan pantai sebagai wujud penataan ruang dalam mendukung keberlangsungan kehidupan masyarakat di tengah ancaman bencana. Penataan ruang yang dilandasi dengan pengetahuan potensi bencana dapat menjadi salah satu upaya penanggulangan bencana (Nugroho et al., 2017).

Wilayah pulau-pulau kecil merupakan wilayah rentan terhadap dampak perubahan iklim (Ningsih et al., 2021). Salah satu ancaman bencana di pulau-pulau kecil di wilayah Kepulauan Seribu yaitu gelombang tinggi dan abrasi (BNPB, 2021). Oleh sebab itu penting untuk memperhatikan nasib pulau-pulau kecil dalam menghadapi perubahan iklim (Doorga, 2022). Tinggi gelombang pada

musim barat berbeda dengan musim timur dengan masing-masing nilainya yaitu 0,5-1 m dan 2-3 m (Sachoemar, 2008). Hasil pengukuran tinggi gelombang di Pulau Pramuka menunjukkan tinggi gelombangnya berkisar antara 0,7-69,6 cm dengan periode 2,4-6,3 detik (Sachoemar, 2008). Salah satu pemanfaatan pulau-pulau kecil di Kepulauan Seribu dialokasikan untuk tempat perumahan penduduk (Darmawan, 2022). Keterbatasan ruang di pulau-pulau kecil menyebabkan pemanfaatannya perlu diatur. Pengaturan ruang di pulau-pulau kecil seringkali memerlukan pendekatan yang melibatkan banyak sektor, hal ini dikarenakan banyaknya kepentingan yang hadir untuk memanfaatkan ruang di wilayah tersebut (Djunarsjah et al., 2021).

Data per Juni 2021 jumlah penduduk yang tinggal di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu sebanyak 7.129 jiwa (Statistik Sektor DKI Jakarta, 2021). Luas hunian yang dibutuhkan oleh seorang dewasa yaitu sebesar 9,6 m<sup>2</sup> dan seorang anak yaitu 4,8 m<sup>2</sup> (BSN, 2004). Berdasarkan Kem. ATR/BPN (2016) disebutkan bahwa maksimum pemanfaatan ruang pulau yaitu 70% dari luas pulau dan harus menyediakan 30% ruang terbuka hijau. Adanya peraturan tersebut maka pemanfaatan ruang di pulau kecil khususnya untuk permukiman semakin terbatas. Lebih jauh, pemanfaatan ruang di perairan dangkal di wilayah Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu khususnya yang masuk wilayah taman nasional tidak diperbolehkan untuk permukiman. Kenyataannya di wilayah lain banyak ditemukan keberadaan permukiman di atas air sudah sejak lama secara turun temurun dan tetap eksis keberadaannya hingga saat ini (Irman et al., 2021).

Kebijakan yang diambil oleh pemerintah terhadap pembangunan daerah tidak hanya terfokus pada daratan utama, tetapi juga mulai fokus di wilayah pesisir, seperti penataan ruang pesisir dan pulau-pulau kecil (Hidayat et al., 2016). Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya sarana dan fasilitas di pulau-pulau kecil. Adanya peningkatan jumlah penduduk yang tinggal di pulau-pulau kecil menyebabkan ruang terbangunnya semakin luas. Keterbatasan ruang membuat masyarakat di pulau-pulau kecil cenderung kurang memperhatikan peraturan yang ada dalam memanfaatkan ruang sehingga menyebabkan ancaman bencana di pulau-pulau kecil semakin nyata.

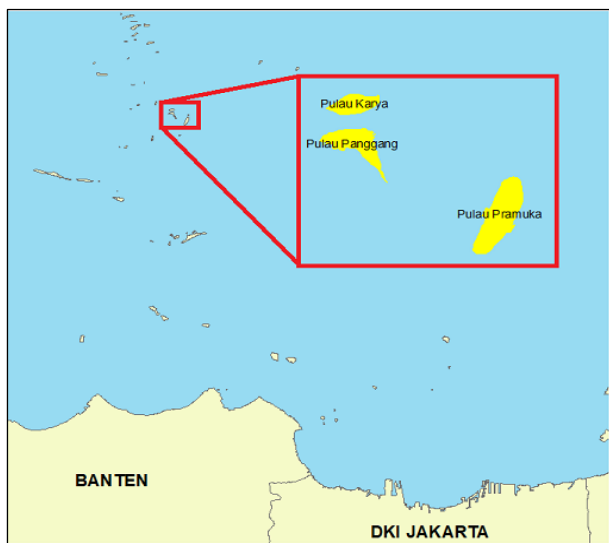
Kawasan pulau-pulau kecil dikenal sebagai kawasan penyedia sumberdaya yang dapat dimanfaatkan oleh manusia (Ruwayan et al., 2020). Pemanfaatan pulau-pulau kecil secara umum akan berdampak terhadap kerusakan lingkungan sehingga pengelolaannya menjadi krusial untuk dilakukan (Marasabessy et al., 2018). Pulau-pulau kecil yang pada umumnya memiliki lahan terbatas cenderung mendorong pemanfaatan wilayah di kawasan pesisir dijadikan sebagai pusat kegiatan penduduk (Muhammad & Mardiatno, 2022).

Permasalahan pemanfaatan ruang di Kepulauan Seribu diantaranya kebutuhan lahan di pulau-pulau kecil yang dimanfaatkan untuk permukiman yang semakin meningkat dan ketersediaan lahan yang semakin terbatas serta adanya peraturan tentang pemanfaatan ruang. Permasalahan lainnya yaitu wilayah Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu yang masuk ke dalam wilayah yang memiliki ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi dengan tingkat ancaman tinggi. Memperhatikan permasalahan tersebut maka tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis daya dukung lahan untuk permukiman di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka berbasis ancaman bencana

**METODE**

**Lokasi dan Data Penelitian**

Lokasi penelitian ini adalah Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta. Kedua pulau ini merupakan pulau yang berpenduduk. Lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**. Data yang digunakan dalam kajian ini meliputi data garis pantai, data jumlah penduduk, foto udara, data gelombang, data arus dan data tipologi pantai. Berbagai data dan sumber diperolehnya disajikan pada **Tabel 1**.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian.

**Tabel 1.** Data yang digunakan

No	Data	Sumber
1	Foto udara resolusi 5 cm tahun 2021	BIG
2	Garis pantai tahun 2021 skala 1:5.000	BIG
3	Gelombang	ERA5
4	Arus	Copernicus
5	Tipologi pantai	Portal Kemen ESDM
6	Jumlah Penduduk 2021	Pemda Kab. Adm. Kepulauan Seribu

**Metode Penelitian**

Alur pelaksanaan penelitian ini seperti digambarkan pada **Gambar 2**.

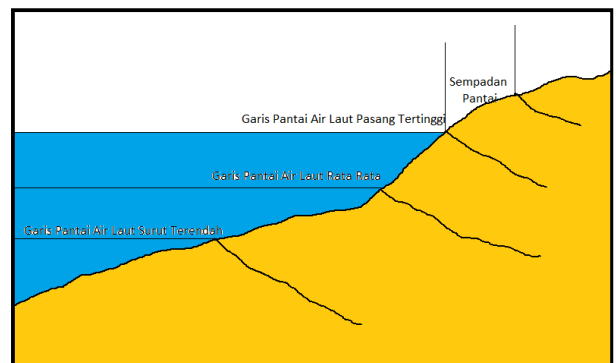


**Gambar 2.** Alur pelaksanaan penelitian.

**Penentuan Sempadan Pantai**

Sempadan pantai merupakan daratan sepanjang tepian pantai, yang lebarnya proporsional dengan bentuk dan kondisi fisik pantai, minimal 100 m di wilayah pesisir yang ditarik dari garis pasang tertinggi ke arah daratan. Data yang digunakan untuk penentuan sempadan pantai yaitu data garis pantai pasang tertinggi yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) hasil survei tahun 2021 (BIG, 2021)

Metode yang digunakan untuk menentukan area sempadan pantai yaitu menggunakan metode *buffer* dengan menggunakan *software GIS*. Penentuan garis sempadan untuk Pulau Panggang 10 m dan sempadan Pulau Pramuka 20 m dari garis pantai pasang tertinggi. Lebar sempadan pantai ini karena Pulau Panggang dan Pulau Pramuka sudah dimanfaatkan sebagai tempat untuk permukiman secara turun temurun. Kawasan sempadan pantai diilustrasikan pada **Gambar 3**.

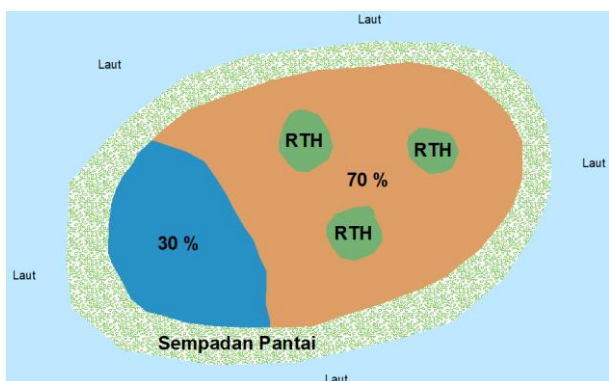


**Gambar 3.** Ilustrasi sempadan pantai.

**Pemanfaatan Ruang Maksimum**

Berdasarkan Peraturan Menteri Agraria & Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Negara No. 17 Tahun 2016 disebutkan bahwa paling sedikit 30%

dari luas pulau dikuasai langsung oleh Negara (sebagai kawasan lindung dan untuk kepentingan publik), paling banyak 70% dari luas pulau dapat dimanfaatkan dan perlu adanya pengalokasikan paling sedikit 30% dari luasan lahan yang dimanfaatkan untuk ruang terbuka hijau (Kem. ATR/BPN, 2016). Salah satu maksud dari pengaturan tersebut untuk mempertegas pemanfaatan tanah di pulau-pulau kecil. Perhitungan luas didasarkan pada luas pulau kemudian dilakukan pembagian luas sesuai dengan proporsinya masing-masing. Ilustrasi pemanfaatan ruang di pulau kecil disajikan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Ilustrasi pemanfaatan ruang maksimum di pulau-pulau kecil.

**Perhitungan Kawasan Terbangun**

Kawasan terbangun di wilayah pulau ditentukan dengan menggunakan digitasi secara *onscreen* dari data citra foto udara dengan menggunakan *software GIS*. Ruang pulau yang sudah beralih fungsi menjadi lahan terbangun dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1**.

$$LLT_n = ALT_n / AP_n \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- LLT<sub>n</sub> = Persentase luas lahan terbangun terhadap luas pulau ke-n
- ALT<sub>n</sub> = Luas lahan terbangun pulau ke-n
- AP<sub>n</sub> = Luas pulau ke-n

**Kebutuhan Ruang**

Kebutuhan ruang penduduk dihitung dengan menggunakan SNI 03-1733-2004 tentang Tata Cara Pelaksanaan Perumahan di Perkotaan (BSN, 2004). Berdasarkan kegiatan yang terjadi di dalam rumah hunian, yaitu; tidur (ruang tidur), masak, makan (dapur), mandi (kamar mandi), duduk (ruang duduk/ruang tamu), kebutuhan udara segar per orang dewasa per jam 16-24 m<sup>3</sup> dan per anak-anak per jam 8-12 m<sup>3</sup> dengan pergantian udara dalam ruang sebanyak-banyaknya 2 kali per jam dan tinggi plafon rata-rata 2,5 m, maka diperoleh kebutuhan luas lantai per orang. Perhitungan kebutuhan ruang minimum per orang disajikan pada **Persamaan 2**, **Persamaan 3**, **Persamaan 4** dan **Persamaan 5**.

$$\sum \text{Luas lantai} = A L \text{ utama} + A L \text{ pelayanan} \dots\dots\dots (2)$$

$$A L \text{ utama} = (9,6 \times \sum \text{ Jiwa orang dewasa}) + (4,8 \times \sum \text{ Jiwa anak anak}) \dots\dots\dots (3)$$

$$\sum A L \text{ pelayanan} = 50 \% \times A L \text{ utama} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

- A L utama = Luas lantai utama
- A L pelayanan = Luas lantai pelayanan

Jika koefisien dasar bangunan 50%, maka luas kavling minimum setiap orang menggunakan **Persamaan 5**.

$$\text{Luas kav min} = \frac{100}{50} \times \sum \text{ Luas lantai} \dots\dots\dots (5)$$

**Penilaian Kawasan Rawan Bencana Gelombang Tinggi**

Wilayah Kepulauan Seribu terdiri atas perairan dan pulau-pulau kecil. Sebagaimana besar pulau-pulau kecil masuk ke dalam zona Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKpS). TNKpS terbagi menjadi 4 zona yaitu zona inti, zona perlindungan, zona pemanfaatan wisata dan zona permukiman. Terdapat 11 pulau yang dialokasikan sebagai zona perumahan termasuk pulau Panggang dan Pulau Pramuka. Berdasarkan Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI) tahun 2021 yang dikeluarkan Pusat Data Informasi dan Komunikasi Kebencanaan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), wilayah Kepulauan Seribu masuk dalam ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi dengan kelas tinggi (BNPB, 2021).

Kawasan rawan bencana dihitung dengan menggunakan metode yang dituangkan di dalam Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 (BNPB, 2012). Area pulau dibentuk dari garis pantai pasang tertinggi dari Badan Informasi Geospasial (BIG) kemudian di konversi menjadi data poligon (area) pulau. Data gelombang diperoleh dari data prediksi global *reanalysis* data ERA5 (ECMWF) dengan resolusi 1/2<sup>o</sup>. Data diolah dengan menggunakan *Software Ocean Data View* (ODV) kemudian dibuat kontur dengan interval 0,25 m. Data arus diperoleh dari dataset *Global Ocean Physics Analysis and Forecast* yang diunduh dari situs *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (SMEMS) dengan resolusi 1/12<sup>o</sup>. Data selanjutnya dikonversi menjadi data format \*.txt dengan menggunakan *software* ODV dan dilakukan perhitungan kecepatan dan arah dengan menggunakan *software* Ms. Excel.

Data tutupan lahan diperoleh dengan melakukan interpretasi foto udara dan didelineasi mengikuti tutupan vegetasi. Hasil delineasi tutupan vegetasi selanjutnya dihitung luasnya untuk mengetahui persentase tutupan lahannya. Bentuk garis pantai dianalisis menggunakan data garis pantai tahun 2021. Penentuan jenis tipologi pantai berdasarkan pada peta geologi yang diakses di portal Kementerian ESDM tanggal 27 September 2022 (Kem. ESDM, 2022).

**Tabel 2.** Kriteria perhitungan ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi.

Parameter	Bobot (%)	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Tinggi Gelombang	30	<1 m	1-2.5 m	>2,5
Arus ( <i>current</i> )	30	<0,2	0,2-0,4	>0,4
Tutupan vegetasi	15	>80 %	40-80 %	<40%
Bentuk garis pantai	15	berteluk	berteluk-lurus	lurus
Tipologi Pantai	10	berbatu karang	berbatu pasir	berlumpur

Setelah semua parameter memiliki skor selanjutnya dilakukan penjumlahan untuk mengetahui nilai ancaman gelombang ekstrim dan abrasi. Nilai ancaman gelombang ekstrim dan abrasi ini diklasifikasikan menjadi ancaman tinggi, ancaman sedang dan ancaman rendah, dengan kriteria perhitungan disajikan pada **Tabel 2**. Perhitungan nilai ancaman gelombang ekstrim dan abrasi menggunakan **Persamaan 6**.

Setelah semua parameter memiliki skor selanjutnya dilakukan penjumlahan untuk mengetahui nilai ancaman gelombang ekstrim dan abrasi. Nilai ancaman gelombang ekstrim dan abrasi ini dibagi menjadi tiga kelas untuk diklasifikasikan menjadi ancaman tinggi, ancaman sedang dan ancaman rendah. Pembagian interval untuk mengelaskan ancaman dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 7** (Purbani et al., 2019). Selanjutnya ditentukan kelas ancaman menjadi 3 kelas yaitu kelas ancaman rendah, kelas ancaman sedang dan kelas ancaman tinggi (**Persamaan 8**).

$$\text{Nilai Ancaman Gelombang Ekstrim dan Abrasi} = (0,3 \times \text{skor tinggi gelombang}) + (0,3 \times \text{skor arus}) + (0,15 \times \text{skor tutupan vegetasi}) + (0,15 \times \text{skor bentuk garis pantai}) + (0,1 \times \text{skor tipologi pantai}) \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Nilai skor} = \text{Kelas/Nilai Maksimum Kelas} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{GEA} = (\text{NT} - \text{NR}) / 3 \dots\dots\dots (8)$$

dimana:

GEA = Ancaman gelombang ekstrim dan abrasi

NT = Nilai tertinggi

NR = Nilai terendah

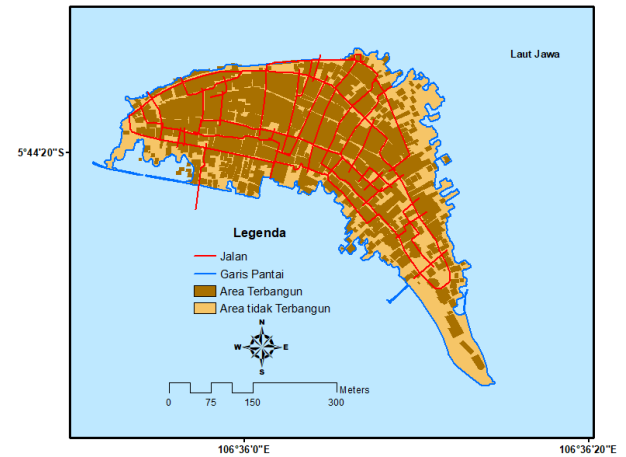
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Sempadan Pantai dan Pemanfaatan Ruang**

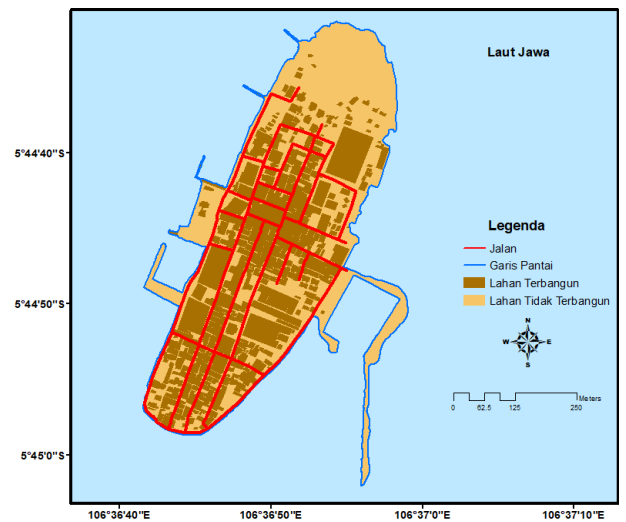
**Ruang Terbangun**

Pulau Panggang dan Pulau Pramuka merupakan pulau yang dialokasikan sebagai zona perumahan. Luas kawasan terbangun di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka hasil digitasi secara *onscreen* dengan menggunakan data foto udara yaitu 9,21 ha dan 10,36 ha. Persentase luas bangunan terhadap luas pulau untuk panggang sebesar 61,04% dan untuk Pulau Pramuka sebesar 44,25 %. Kepadatan bangunan di Pulau Panggang lebih tinggi dibandingkan Pulau Pramuka. Hasil digitasi wilayah terbangun di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka disajikan pada **Gambar 5** dan

**Gambar 6.** Luas lahan terbangun pada kedua pulau tersebut disajikan pada **Tabel 6**.



**Gambar 5.** Lahan terbangun di Pulau Panggang.



**Gambar 6.** Lahan terbangun di Pulau Pramuka.

**Tabel 3.** Luas lahan terbangun.

Pulau	Luas (ha)	
	Pulau	Lahan Terbangun
Panggang	15,09	9,21
Pramuka	23,41	10,36

**Kebutuhan Lahan Permukiman**

Jumlah penduduk Pulau Panggang sebanyak 5.864 jiwa memerlukan lahan untuk permukiman 16,89 ha. Penduduk yang tinggal di Pulau Pramuka sebanyak 1.265 jiwa membutuhkan lahan untuk

permukiman seluas 3,64 ha. Berdasarkan data jumlah penduduk, dibutuhkan ruang untuk maka selanjutnya dapat ditentukan daya dukung lahan untuk permukiman berdasarkan ketersediaan lahan dan kebutuhan lahan.

**Daya Dukung Lahan untuk Permukiman Tahun 2021**

Daya dukung lahan untuk permukiman merupakan ketersediaan lahan yang dapat dimanfaatkan untuk permukiman untuk menampung jumlah penduduk di suatu tempat yang digunakan sebagai tempat tinggal secara layak (Pantow et al., 2018). Hasil perhitungan ketersediaan lahan yang dapat dimanfaatkan untuk permukiman di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2021 dengan adanya sempadan pantai dan pemanfaatan ruang 70 % diperoleh luas Pulau Panggang dan Pulau Pramuka yaitu 5,91 ha dan 8,65 ha. Daya tampung di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka pada tahun 2019 diproyeksikan sudah melebihi daya tampungnya (Kuswara, 2013). Daya dukung lahan untuk permukiman yang dihitung berdasarkan kebutuhan dan ketersediaan lahan di Pulau Pramuka dan Pulau Panggang disajikan pada **Tabel 7**.

**Tabel 4.** Daya dukung lahan untuk Permukiman di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka.

No.	Nama Pulau	Lahan aktual (ha)	Kebutuhan lahan (ha)	Daya dukung lahan (ha)
1	Panggang	5,91	16,89	- 10,98
2	Pramuka	8,65	3,64	5,01

Berdasarkan analisis terhadap ketersediaan lahan Pulau Panggang memiliki lahan yang lebih sempit dibandingkan dengan Pulau Pramuka. Luas lahan yang lebih sempit ini tidak sebanding dengan kebutuhan lahannya. Jumlah penduduk Pulau Panggang 5.864 jiwa memerlukan lahan untuk permukiman 16,89 ha, sehingga masih kekurangan lahan sekitar 10,98 ha untuk permukiman yang layak dengan asumsi tempat tinggal hanya satu lantai.

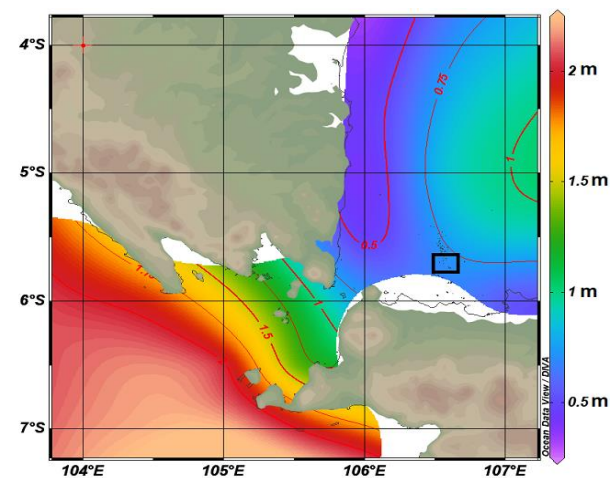
Pulau Pramuka yang memiliki lahan yang bisa dimanfaatkan untuk permukiman seluas 8,65 ha dengan penduduk 1.265 memiliki kebutuhan lahan untuk permukiman seluas 3,64 ha jika tempat tinggal hanya satu lantai. Lahan untuk permukiman Pulau Pramuka masih memiliki potensi sisa luas lahan 5,01 ha. Namun dikarenakan pemanfaatan Pulau Pramuka tidak hanya untuk permukiman mengakibatkan luas lahan terbangun 10,36 ha.

**Gelombang dan Arus**

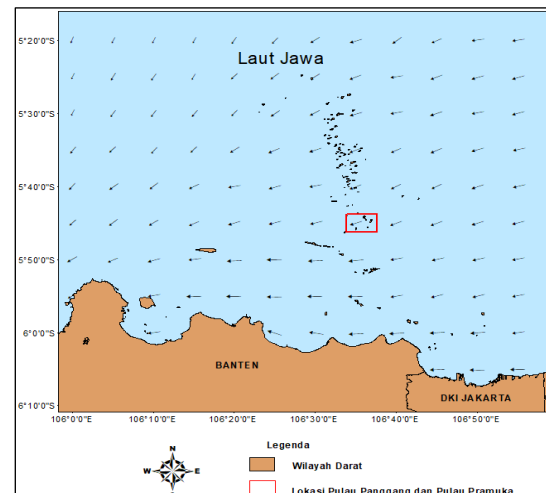
Hasil dari visualisasi dengan menggunakan software *Ocean Data View (ODV)* dengan menggunakan data gelombang bulan Oktober 2021 dengan interval kontur 0,25 m menunjukkan bahwa di wilayah kajian tinggi gelombang berkisar antara

0,5 s.d. 0,75 m. Data gelombang tersebut jika dimasukkan ke dalam kriteria kelas ancaman bencana **Tabel 2**, maka masuk ke dalam kategori kelas rendah. Sebaran tinggi gelombang di lokasi kajian disajikan pada **Gambar 7**.

Data yang diperoleh dari SMEMS masih berupa data vektor yang terdiri atas vektor *eastward velocity (uo)* atau komponen zonal dan vektor *northward velocity (vo)* atau komponen meridional. Kecepatan arus merupakan resultan dari kedua vektor tersebut. Kecepatan arus di lokasi kajian berkisar antara 0,2 s.d. 0,4 m/s dengan arah barat daya, jika dikonversikan ke dalam parameter kelas kriteria ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi pada **Tabel 2**, maka wilayah penelitian tergolong ke dalam kelas sedang. Arah arus permukaan pada bulan Juli 2022 disajikan pada **Gambar 8**.



**Gambar 7.** Tinggi gelombang di lokasi kajian.



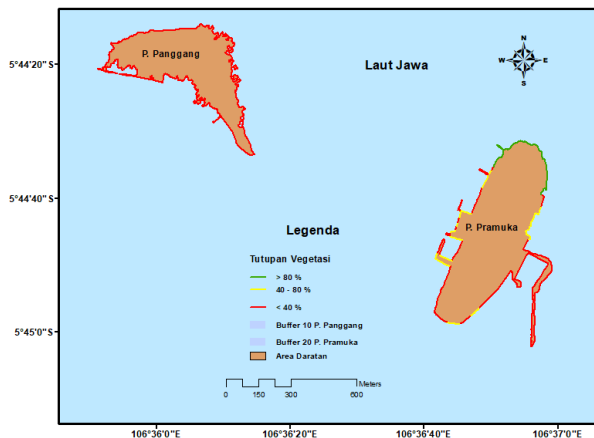
**Gambar 8.** Arah arus di lokasi kajian.

**Tutupan Vegetasi**

Hasil analisis tutupan vegetasi di Pulau Panggang mempunyai besaran < 40% karena seluruh wilayah garis pantai tidak ditemukan vegetasi hampir semua berupa wilayah terbangun, wilayah ini termasuk ke dalam kelas tinggi terhadap ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi (lihat **Tabel 2**).

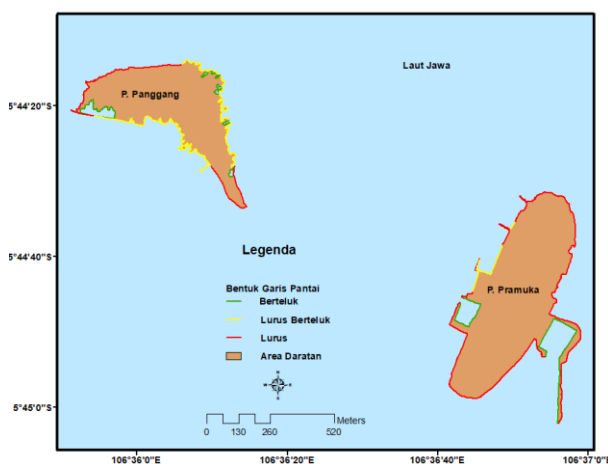
Sedangkan tutupan vegetasi di Pulau Pramuka bervariasi dengan kelas tinggi atau tutupan lahan < 40% sebesar 66,14%, kelas sedang atau tutupan lahan 40-80% sebesar 18,77% dan kelas rendah atau tutupan lahan > 80% sebesar 15,09%. Sebagaimana besar wilayah yang tidak ada vegetasinya dibangun infrastruktur untuk mencegah terjadinya abrasi. Penentuan tutupan lahan ini dilakukan dengan deliniasi terhadap foto udara yang sudah dikoreksi secara geometri (ditegakkan). Data foto yang sudah ditegakkan dapat digunakan sebagai alternatif sumber data dalam membuat peta dasar berskala besar (Damayanti & Harintaka, 2021).

Selanjutnya wilayah pesisir dilakukan *buffer* 10 m untuk Pulau Panggang dan 20 m untuk Pulau Pramuka ke arah darat dari garis pantai pasang tertinggi. Sempadan pantai ini berfungsi untuk melindungi wilayah pesisir dari ancaman bencana. Hasil penentuan tutupan vegetasi disajikan pada **Gambar 9**.



**Gambar 9.** Sebaran tutupan vegetasi.

**Bentuk Garis Pantai**



**Gambar 10.** Bentuk garis pantai.

Penentuan bentuk garis pantai dilakukan dengan memanfaatkan data garis pantai pasang tertinggi. Hasil yang diperoleh dari penentuan bentuk garis pantai untuk Pulau Panggang dan Pulau Pramuka bentuk garis pantai lurus atau kelas tinggi, lurus berteluk atau kelas sedang dan berteluk

atau kelas rendah. Klasifikasi bentuk garis pantai disajikan pada **Gambar 10**.

Pesisir dengan bentuk garis pantai yang lurus cenderung lebih mudah terabrasi dibandingkan dengan garis pantai yang berteluk. Hal tersebut disebabkan garis pantai wilayah berteluk terlindung dari ancaman gelombang dan arus sehingga energi gelombang dan arus tersebut tidak berdampak signifikan terhadap wilayah pesisir yang berteluk dibandingkan dengan pesisir dengan garis pantai yang lurus. Adanya pengaruh energi gelombang laut secara terus menerus terhadap wilayah pantai dapat menyebabkan abrasi di wilayah tersebut (Darmiati et al., 2020).

**Tipologi Pantai**

Data tipologi pantai yang di peroleh dari portal Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) diperoleh bahwa di wilayah pesisir Pulau Panggang dan Pulau Pramuka berupa jenis batugamping terumbu atau masuk dalam kategori kelas rendah. Topologi pantai yang berupa batuan ini sangat bermanfaat bagi pulau-pulau kecil untuk melindunginya dari ancaman gelombang sehingga dapat memperlambat terjadinya proses abrasi. Berkurangnya luasan pulau-pulau kecil selain disebabkan gelombang dan terjadinya abrasi juga dapat disebabkan oleh pemanasan global dan juga aktivitas manusia (Ningsih et al., 2021).

**Ancaman Bencana Gelombang Ekstrim dan Abrasi (GEA)**

Hasil analisis terhadap ancaman gelombang ekstrim dan abrasi dengan menggunakan parameter tinggi gelombang, kecepatan arus, tutupan vegetasi, bentuk garis pantai dan tipologi pantai menghasilkan nilai GEA terendah 0,48 dan tertinggi 0,63. Nilai GEA tersebut, selanjutnya dikelaskan menjadi tiga kelas ancaman untuk mengklasifikasikan tingkat ancamannya, kelas ancaman dan tingkat ancamannya disajikan pada **Tabel 6**. Sedangkan sebaran kelas ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi disajikan pada **Gambar 11**.

**Tabel 5.** Klasifikasi tingkat ancaman.

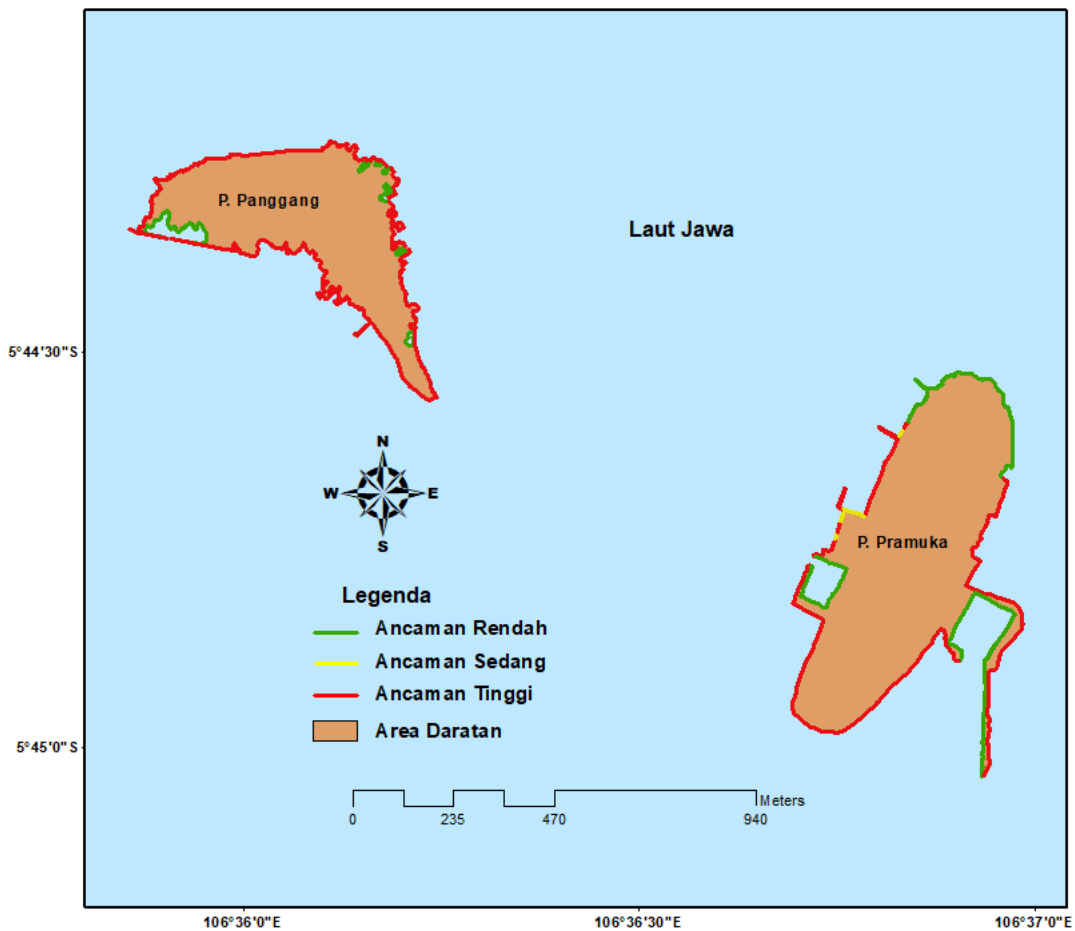
No	Interval	Kelas Ancaman	Tingkat Ancaman
1	0,48 - 0, 53	GEA < 0, 53	Rendah
2	0,53 - 0, 58	0,53 ≥ GEA < 0,58	Sedang
3	0,58 - 0,63	GEA ≥ 0,58	Tinggi

Hasil perhitungan panjang garis pantai di Pulau Panggang yang memiliki ancaman gelombang ekstrim dan abarsi dengan tingkat ancaman tinggi sebesar 77,36 % dari total panjang garis pantai (**Gambar 12**). Tingkat ancaman tinggi ancaman gelombang ekstrim dan abaris di Pulau

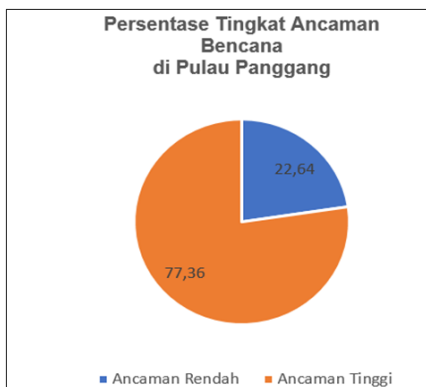
Pramuka sebesar 57,11% dari total panjang garis pantainya (**Gambar 13**).

Bencana gelombang ekstrem perlu ditanggulangi dengan membangun infrastruktur dan penempatan kegiatan budidaya perikanan di lokasi yang aman (Risandi et al., 2021). Selain itu kerugian yang ditimbulkan dari bencana gelombang ekstrem dan abrasi yaitu penduduk kehilangan lahan tempat tinggal, lahan pertanian dan lahan pertambakan

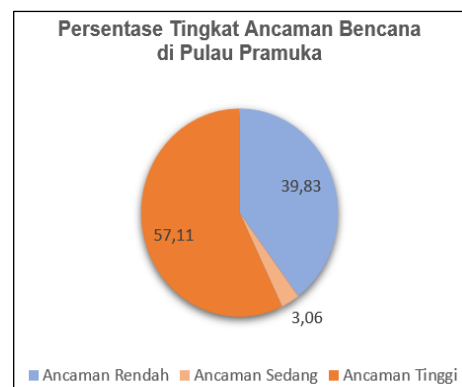
yang berdampak pada hilangnya mata pencaharian dan berkurangnya penghasilan penduduk (Permatasari, 2021). Bencana gelombang ekstrem dan abrasi dapat menyebabkan perubahan posisi garis pantai yang cenderung ke wilayah daratan (Isdianto et al., 2020). Wilayah yang rawan bencana perlu membangun permukiman yang adaptif terhadap bencana terutama di wilayah pesisir (Priyatna & Kusumaningayu, 2022).



**Gambar 11.** Sebaran kelas ancaman bencana gelombang ekstrem dan abrasi.



**Gambar 12.** Presentase kelas ancaman di Pulau Panggang



**Gambar 13.** Presentase kelas ancaman di Pulau Pramuka.

## KESIMPULAN

Hasil analisis terhadap daya dukung lahan untuk permukiman di Pulau Pramuka dan Pulau Panggang pada tahun 2021 dengan memperhatikan ketersediaan lahan dan kebutuhan lahan menunjukkan bahwa di Pulau Panggang kebutuhan lahannya sudah melebihi ketersediaan lahan, sedangkan ketersediaan lahan di Pulau Pramuka masih bisa memenuhi kebutuhan lahan untuk permukiman pada tahun 2021.

Pembangunan permukiman di wilayah pesisir Pulau Panggang dan Pulau Pramuka perlu memperhatikan ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi. Model bangunan untuk permukiman di wilayah pesisir Pulau Panggang dan Pulau Pramuka sebaiknya dibuat yang adaptif terhadap bencana. Hal tersebut dikarenakan sebagian besar pesisir Pulau Panggang dan Pulau Pramuka memiliki potensi ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi dengan potensi tingkat ancaman tinggi.

Pemerintah daerah sebaiknya memperhatikan pulau-pulau kecil yang dimanfaatkan untuk permukiman yang memiliki tingkat ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi dengan kategori tinggi dengan membangun infrastruktur pemecah gelombang.

Penelitian ini dalam menganalisis daya dukung lahan untuk permukiman hanya menggunakan parameter ketersediaan lahan dan kebutuhan lahan sehingga untuk ke depannya bisa ditambahkan sumberdaya alam, lingkungan fisik untuk permukiman dan faktor pendukung dalam permukiman. Penelitian ini juga belum menyertakan data Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) sehingga ke depannya perlu ditambahkan, agar dampak dari ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi bisa digunakan untuk mengetahui zona apa saja yang terdampak.

Adanya penelitian ini dapat digunakan sebagai peringatan dini bagi pemerintah daerah dalam untuk melakukan mitigasi bencana di Pulau Panggang dan Pulau Pramuka serta perencanaan pemanfaatan ruang untuk permukiman berbasis ancaman bencana gelombang ekstrim dan abrasi. Penelitian selanjutnya sebaiknya bisa memberikan masukan mengenai lebar sempadan pantai di pulau-pulau kecil yang aman untuk permukiman.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah berkontribusi dalam memberikan data dan aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini dan

PUSDIKLATREN BAPPENAS yang telah memberikan yang telah memberikan biaya dalam penelitian ini, beserta semua pihak yang telah berpartisipasi dalam menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andréfouët, S., Paul, M., & Farhan, A.R. (2022). Indonesia's 13558 islands: A new census from space and a first step towards a One Map for Small Islands Policy. *Marine Policy*, 135(2022), 104848. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104848>.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2021). Data Garis Pantai. Belum dipublikasikan. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). (2021). *IRBI Indeks Resiko Bencana Indonesia Tahun 2021*. Pusat Data dan Informasi Komunikasi Kebencanaan, Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta. 354hlm.
- BSN (Badan Standardisasi Nasional). (2004). *Standar Nasional Indonesia Nomor 03-1733-2004 Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 58hlm.
- Damayanti, A.P. & Harintaka, H. (2021). Kajian keandalan true orthophoto untuk pemetaan skala besar 1 : 5.000. *Geoid*, 16(2), 177-188. DOI: <https://doi.org/10.12962/j24423998.v16i2.8220>.
- Darmawan, F. (2022). Local community perception about the planning and development of tourism destinations in Kepulauan Seribu Regency, Jakarta. *Jurnal Infrastruktur*, 8(1), 17-24. DOI: <https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v8i1.2933>.
- Darmiati, Nurjaya, I.W., & Atmadipoera, A.S. (2020). Analisis perubahan garis pantai di Wilayah Pantai Barat Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 211-222. DOI: <https://doi.org/http://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.22815>.
- Djunarsjah, E., Rogers, B.W. & Putra, A.P. (2021). Model konsep dan manajemen seamless cadastre (Wilayah studi : Pulau Pramuka). *Prosiding FIT ISI*, 1, 283-287. Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang. <http://proceedings.undip.ac.id/index.php/isiundip2021/article/view/638>.
- Doorga, J.R.S. (2022). Climate change and the fate of small islands: The case of Mauritius. *Environmental Science and Policy*, 136(2022), 282-290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.06.012>.
- Hasibuan, G.P., Johan, Y. & Brata, B. (2020). Kajian kedudukan garis pantai untuk penetapan sempadan pantai Kota Bengkulu. *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 9(2), 119-131. DOI: <https://doi.org/10.31186/naturalis.9.2.13513>.
- Hidayat, A.R.T., Wijayanti, W.P., Kurniati, S. & Maha, E.A. (2016). Challenge and opportunity of settlement and infrastructure development in the Small Island (Case study: Pulau Laut Kelautan District, Kotabaru Regency). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227(2016), 286-293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.073>.
- Irman, I., Adhayanto, O., Sari, R.K. & Suryadi, S. (2021). Analisis yuridis terhadap status hak kepemilikan permukiman penduduk di atas Air. *Jurnal Hukum & Pembangunan*, 51(2), 399-414. DOI:



- <https://doi.org/10.21143/jhp.vol51.no2.3057>.
- Isdianto, A., Asyari, I.M., Haykal, M.F., Adibah, F., Irsyad, M.J. & Supriyadi, S. (2020). Analisis pengaruh garis pantai dalam mendukung ketahanan ekosistem pesisir. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(2), 168-181. DOI: <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i2.9260>.
- Kem. ATR/BPN (Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional). (2016). *Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 17 Tahun 2016 tentang Penataan Pertanahan di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional. Jakarta.
- Kem. ESDM (Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral). (2022). Kegeologian. Diakses dari: <https://geoportal.esdm.go.id/geologi/>. [17 November 2022].
- Ketjulan, R., Boer, M., Imran, Z. & Siregar, V.P. (2019). Daya dukung lahan untuk pemukiman penduduk dan implikasinya terhadap kualitas perairan di pulau-pulau kecil (Kasus Pulau-Pulau Kecil Selat Tiworo Kabupaten Muna Barat). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(3), 569-582. DOI: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v11i3.25731>.
- KKP (Kementerian Kelautan dan Perikanan). (2018). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 21/PERMEN-KP/2018 tentang Tata Cara Perhitungan Batas Sempadan Pantai*. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta. 21hlm.
- Kuswara, K. (2013). Daya dukung lahan untuk pengembangan perumahan di Pulau Panggang, Pulau Pramuka, Pulau Kelapa dan Pulau Tunda. *Jurnal Permukiman*, 8(1), 24-29.
- Marasabessy, I., Fahrudin, A., Imran, Z. & Agus, S.B. (2018). Strategi pengelolaan berkelanjutan pesisir dan laut Pulau Nusa Manu dan Nusa Leun di Kabupaten Maluku Tengah. *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 2(1), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2018.2.1.11-22>.
- Muhammad, D.T.N. & Mardiatno, D (2022). Kerentanan pesisir pulau kecil (Studi kasus: Pulau Karimunjawa dan Kemujan). *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(1), 91-103. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2022.006.01.11>.
- Nimah, R. (2022). Pelaksanaan Perda Kabupaten Tuban Nomor 09 Tahun 2012 terhadap pemukiman di Sempadan Pantai Glondonggede. *Joong-Ki: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 361-373. DOI: <https://doi.org/10.56799/joongki.v1i3.819>.
- Ningsih, E.N., Setiawan, A., Hartoni, H. & Fauziyah, F. (2021). Perubahan luasan Pulau Pramuka, Pulau Panggang dan Pulau Karya Kepulauan Seribu DKI Jakarta menggunakan data citra satelit penginderaan jauh. *Jurnal Penelitian Sains*, 23(2), 84-90. DOI: <https://doi.org/10.56064/jps.v23i2.628>.
- Nugroho, A.S., Wicaksono, A. & Kurniawan, I.A. (2017). Evaluasi tata ruang pesisir terhadap bencana abrasi di Kabupaten Jepara. *Seminar Nasional Geografi 2017*, 747-754. Program Studi S2 Geografi, Fakultas Geografi, UGM. Yogyakarta.
- Pantow, M., Moniaga, I. & Takumansang, E. (2018). Daya dukung permukiman dalam konsep pengembangan wilayah di Kecamatan Langowan Timur. *Jurnal Spasial*, 5(3), 417-426. DOI: <https://doi.org/10.35793/sp.v5i3.22006>.
- Permatasari, I.N. (2021). Kajian resiko, dampak, kerentanan dan mitigasi bencana abrasi di beberapa pesisir Indonesia (A Literatur Review). *J-Tropimar (Jurnal Riset Kelautan Tropis)*, 3(1), 43-53. DOI: <https://doi.org/10.30649/jrkt.v3i1.56>.
- Priyatna, A.B. & Kusumaningayu, I. (2022). Penerapan konsep permukiman adaptif bencana banjir pada Kampung Nelayan Nambangan Surabaya. *Senakama: Prosiding Seminar Karya Ilmiah Mahasiswa*, 1(1), 383-392.
- Purbani, D., Salim, H.L., Kusuma, L.P.A.S.C., Tussadiah, A. & Subandriyo, J. (2019). Ancaman gelombang ekstrim dan abrasi pada penggunaan lahan di pesisir Kepulauan Karimunjawa (Studi Kasus: Pulau Kemujan, Pulau Karimunjawa, Pulau Menjangan Besar dan Pulau Menjangan Kecil). *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(1), 33-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v14i1.7207>.
- Reskiyanti, R., Rachman, T. & Paotonan, C. (2018). Tinjauan Batasan Sempadan Pantai Tanjung Bunga Sebagai Implementasi Undang-Undang No 1 Tahun 2014. *SENSISTE: Seminar Sains dan Teknologi Kelautan*, 33-39. Gedung CSA Kampus Fakultas Teknik UNHAS Gowa 27 September 2018. Makassar.
- RI (Republik Indonesia). (2016). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2016 tentang Batas Sempadan Pantai. Sekretariat Negara. Jakarta. 21hlm.
- Risandi, J., Pranowo, W.S. & Candra, D.P. (2021). Prediksi gelombang ekstrim di Kepulauan Seribu untuk aplikasi kelautan dan perikanan. *Jurnal Riset Jakarta*, 14(2), 51-56. DOI: <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v14i2.49>.
- Ruwayan, D.K., Kumurur, V. & Mastutie, F. (2020). Analisis daya dukung dan daya tampung lahan di Pulau Bunaken. *Spasial*, 7(1), 94-103. DOI: <https://doi.org/10.35793/sp.v7i1.27788>.
- Sachoemar, S.I. (2008). Evaluasi kondisi lingkungan perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 4(1), 19-25. DOI: <https://doi.org/10.29122/jrl.v4i1.1839>.
- Sam, I.M., Setiowati, S. & Riyadi, R. (2020). Analisis penguasaan, pemilikan, penggunaan dan pemanfaatan tanah di Sempadan Pantai di Kelurahan Bintarore. *Tunas Agraria*, 3(2), 122-139. DOI: <https://doi.org/10.31292/jta.v3i2.112>.
- Statistik Sektorial DKI Jakarta. (2021). Kepulauan Seribu. Diakses dari <https://statistik.jakarta.go.id/kepulauan-seribu/>. [17 November 2022].

# LAND USE AND LAND COVER (LULC) CLASSIFICATION WITH MACHINE LEARNING APPROACH USING ORTHOPHOTO DATA

(Klasifikasi Penggunaan Lahan dan Penutup Lahan dengan Pendekatan Machine Learning Menggunakan Data Orthophoto)

Mochamad Irwan Hariyono<sup>1</sup>, Rokhmatuloh<sup>2</sup>, Ratna Sari Dewi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research Center for Geospatial, National Research and Innovation Agency (BRIN)

<sup>2</sup>Department of Geography, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Indonesia

<sup>3</sup>Geospatial Information Agency

Jl. Raya Jakarta- Bogor Km 46. Cibinong, Bogor Regency, West Java, 16911

E-mail: [moch053@brin.go.id](mailto:moch053@brin.go.id)

Diterima: 4 Februari 2023; Direvisi: 26 Maret 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 29 April 2023

## ABSTRACT

The use of remote sensing technology is growing, one application of which is the analysis of changes in land use and land cover (LULC). LULC information is needed for various analyses related to the Earth's surface. Various types of data are used in the analysis of the Earth's surface by utilizing remote sensing data. The purpose of this study is to classify LULC using a machine learning approach with orthophoto data. The research location is Tanjung Karang Village, Mataram, West Nusa Tenggara. The method used for the classification process is a machine learning algorithm called Support Vector Machine (SVM). A band slicing process is carried out to separate the bands in the orthophoto data, namely the Red, Green, Blue, and Near Infra Red (NIR) bands. The Normalized Difference Water Index (NDWI) band is used for the analysis of water bodies, which is a reflection of the Red and NIR bands. The classification scheme applied in this research is to compare the classification between single band and band combination to find the best classification result. The results of this study indicate that classification with a combination of bands has better accuracy. Classification with a single band has an average accuracy of below 55%, while a combination of bands has an average accuracy of above 60%. The classification result with the highest accuracy value is the R-B-NDWI band combination with a value of 71.81%.

**Keywords:** LULC, machine learning, orthophoto, remote sensing

## ABSTRAK

Penggunaan teknologi penginderaan jauh semakin berkembang, salah satu aplikasinya adalah analisis perubahan penggunaan dan tutupan lahan (LULC). Informasi LULC dibutuhkan untuk berbagai analisis terkait permukaan bumi. Berbagai jenis data digunakan dalam analisis permukaan bumi dengan memanfaatkan data penginderaan jauh. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengklasifikasikan LULC dengan pendekatan machine learning menggunakan data orthophoto. Lokasi penelitian adalah Desa Tanjung Karang, Mataram, Nusa Tenggara Barat. Metode yang digunakan untuk proses klasifikasi adalah algoritma machine learning yaitu Support Vector Machine (SVM). Dilakukan proses pemisahan band (band slicing) pada data orthophoto yaitu Red, Green, Blue, dan Near Infra Red (NIR). Band Normalized Difference Water Index (NDWI) digunakan untuk analisis badan air yang merupakan refleksi dari band Red dan NIR. Skema klasifikasi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah membandingkan klasifikasi antara satu band dan kombinasi band untuk mendapatkan hasil klasifikasi terbaik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa klasifikasi dengan kombinasi band memiliki akurasi yang lebih baik. Klasifikasi dengan satu band memiliki akurasi rata-rata di bawah 55%, sedangkan kombinasi band memiliki akurasi rata-rata di atas 60%. Hasil klasifikasi dengan nilai akurasi tertinggi adalah kombinasi band R-B-NDWI dengan nilai 71,81%.

**Kata kunci:** LULC, machine learning, orthophoto, penginderaan jauh

## INTRODUCTION

Technological developments, such as remote sensing, have become increasingly significant. Remote sensing technology can provide information on land cover, which includes physical materials on the earth's surface, such as water, vegetation, impermeable surfaces, and bare soil (Cai et al., 2018). Currently, the most common data sources for land cover analysis are satellite imagery and aerial photography. Aerial

photography is particularly useful for accurately analyzing changes in land cover (Huang et al., 2019). Remote sensing data collected from satellite and aerial sensors with very high spatial resolution is now widely available, with data resolution available down to sub-meter precision.

Land use/land cover (LULC) information is crucial for various purposes, such as thematic requirements, infrastructure planning, disaster management, and spatial planning. To obtain this information, available data sources are processed.

Remote sensing data, including satellite imagery, aerial photographs, and lidar, is commonly used for the extraction of land use and land cover classes. The use of this data is often cheaper than using terrestrial survey methods to obtain information on a large scale with wide area coverage.

One of the key tasks in utilizing remote sensing data is extracting information, which typically involves land use/land cover (LULC) classification. The extraction process can be performed manually through on-screen digitization, but this can be costly and time-consuming. To overcome these challenges, software applications and machine learning and deep learning algorithms have been developed for remote sensing data processing. Machine learning algorithms are particularly effective because they can be adapted to specific data processing needs, unlike rule-based software.

Classification is interesting research themes since the last two decades, especially in remote sensing hyperspectral data. Many development algorithms for LULC classification use orthophoto data (Ramanath et al., 2019; Jamil & Bayram, 2018; López-jiménez et al., 2019). The extraction technique in machine learning is generally supervised classification by training a model to be used for other input data. Classification of LULC using raster data generally uses object-based and pixel-based methods.

Aerial photography is a part of remote sensing technology with high resolution. The result of processing aerial photos (raw data) is Orthophoto, which is an aerial photo that has undergone a rectification process, or a photo image whose appearance has been enforced, meaning that the coordinates have been adjusted to the existing field.

Interpretation of aerial photographs generally still uses visual interpretation manually by digitizing on screen. Besides that, field surveys are also carried out to validate the results of the interpretation. This is quite time-consuming and expensive (Thasveen & Suresh, 2021). Because of that, there is a need for innovation to overcome this, one of which is by conducting various studies related to accelerating mapping by developing machine learning algorithms to achieve automation or semi-automation of mapping.

Several previous studies have used orthophoto data for LULC extraction and classification, including tree species classification and extraction (Jamil & Bayram, 2018), land cover classification using machine learning (Jozdani et al. 2019), object recognition with deep learning and land cover reconstruction (Ratajczak et al., 2019).

The purpose of this research is to classify land use/cover using orthophoto data with machine learning algorithms. The machine learning method utilized in this research is the Support Vector Machine (SVM), which was chosen due to its development in multi-class classification. Previous

research results (Ahmad et al., 2018) have shown that the SVM algorithm produces higher classification accuracy compared to other algorithms such as Neural Network and Classification and Regression Trees. Additionally, (Noi & Kappas, 2017) found SVM to have advantages over Random Forest and K-Nearest Neighbor algorithms and to be suitable for multispectral data classification such as Sentinel-2 Multispectral Instrument (MSI).

In the machine learning community, SVM is one of the most commonly used classifiers to categorize data using an optimal separator hyperplane (Cortes & Vapnik, 1995). One of the main advantages of using SVM for remote sensing data applications is its ability to handle high-dimensional data using relatively few training samples. Beside that, the importance of using SVM in data classification lies in its ability to overcome the problems of "overfitting" and "noise" in the data. Overfitting occurs when the model is too complex and capable of capturing the uniqueness of the training dataset, but cannot be applied effectively to new data. SVM can help overcome overfitting by optimizing the margin (closest distance between the decision boundary and data points from different classes) which can help clearly distinguish between different classes.

## METHOD

The LULC classification in this study uses aerial photos as the primary data. The data used in the study consists of orthophotos of the Tanjung Karang Village area in Mataram City, Lombok. The aerial photo data was acquired by the Geospatial Information Agency (BIG) in 2016. Data acquisition is carried out using specially designed aircraft for aerial photography, which is able to perform work according to predetermined specifications.

The aerial camera used is a digital metric aerial camera designed for aerial surveying with a Normal Angle lens type, equipped with Kinematic Global Positioning System (GPS) and Inertial Measurement Unit (IMU) and has radiometric spectrum capabilities that can cover Red, Green, Blue (RGB) and Near InfraRed (NIR). The data has a resolution of 0.15 m and was acquired using a LEICA RCD 30 camera (60 mpix), a medium format camera with a GSD of 11.09 cm.

The location was selected based on the diverse LULC objects in the area, with the aim of ensuring that the results of the classification using the machine learning approach would be sufficiently representative of other areas with similar LULC conditions. The research area covers approximately 2.57 km<sup>2</sup>. The orthophoto data for the research locations is shown in **Figure 1**. In this study, the classification process employs machine learning based on Support Vector Machine (SVM) technology, and utilizing spectral information from the orthophoto data. It is primarily used for binary classification, as shown in **Figure 2**.

**Figure 2** has meaning, where green dots denote the samples of class A, blue dots denote the samples of class B, red circles denote the support vector and purple dots denote the noise samples in (b). This algorithm utilizes non-parametric methods and does not make assumptions about the distribution of data. The objective of SVM is to find the hyperplane with the maximum margin, which is the distance between the hyperplane and the closest points from each class. This approach aims to find the optimal hyperplane that can correctly classify new data points with high accuracy. The main goal is to achieve the highest possible classification performance with a low error rate and the best generalization ability for new data, as shown in **Equation (1)**.

$$f(x) = [\omega \cdot \varphi(x) + b] \dots \dots \dots (1)$$

where:

- $f(x)$  = SVM function
- $\omega$  = orientation hyperplane

- $\varphi(x)$  = non-linear mapping function
- $b$  = hyperplane distance

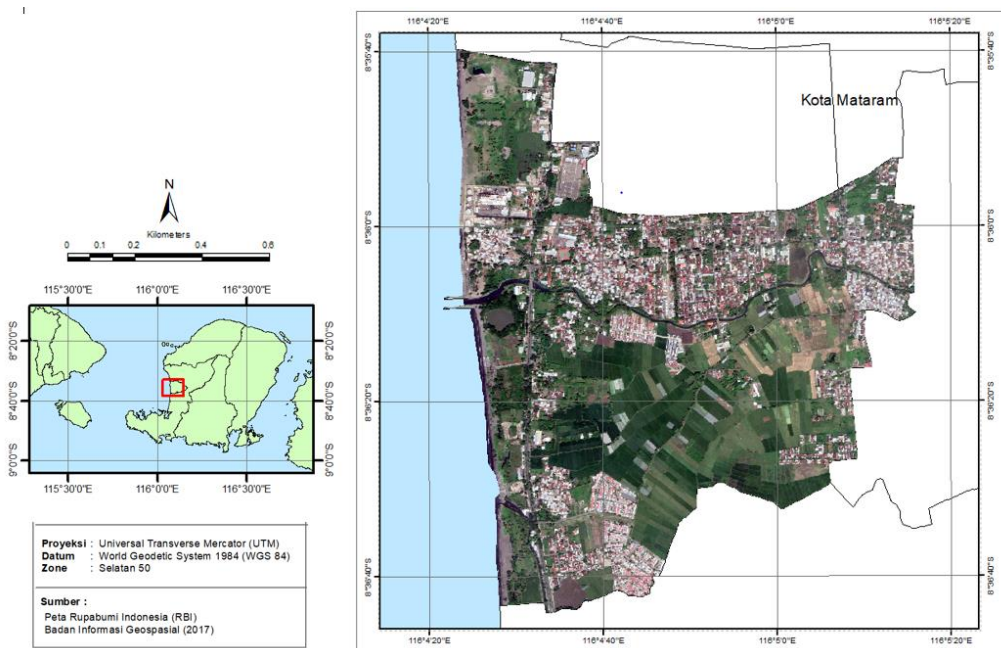
The Kernel function (**Equation (2)**) was used in SVM to assume that the separation of nonlinear data is linear in a high-dimensional space (Jamil & Bayram, 2018).

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{1}{\sigma^2} \|x_i - x_j\|\right) \dots \dots \dots (2)$$

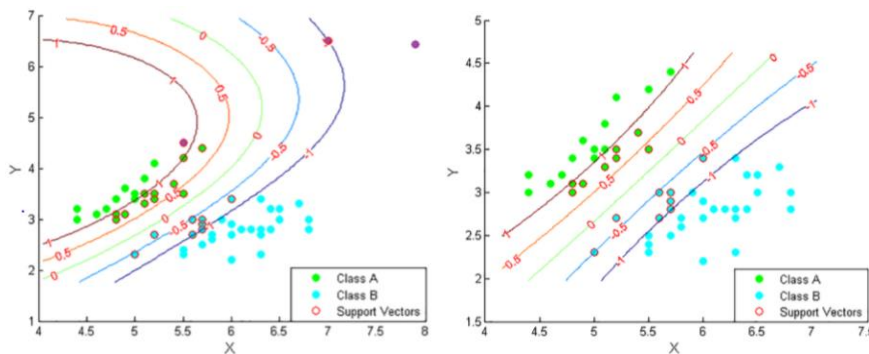
where:

- $K(x_i, x_j)$  = Kernel function
- $\sigma$  = parameter value

Qin, (2015) states that SVM has the advantage of being able to handle high-dimensional data with a small number of training samples, and can produce accurate classification results. However, under these conditions, when the number of occur features is greater than the number of experimental data (training sample), classification failure may.



**Figure 1.** Study area, Tanjung Karang Village, Mataram City, Lombok.



Source : Liu & Huang, (2019)

**Figure 2.** Visualization of SVM classification.

To overcome these problems, the Kernel Radial Basis Function (RBF) function is generally used to efficiently train data and improve accuracy results Dumitru et al., (2016). The process of tuning the two free parameters of this classifier, which are C (the penalty parameter of the error term) and  $\xi$  (the margin of tolerance), usually involves cross-validation of the training data and grid-search to select the optimal values. The  $\xi$  algorithm as in **Equation (3)**.

$$yi(\omega, \varphi(xi) + b) + \xi i \geq 1 \dots\dots\dots(3)$$

$$\xi i \geq 0, \quad 1 \leq i \leq n$$

where:

- $y_i$  = dataset training
- $\omega$  = hyperplane orientation
- $\varphi(x_i)$  = non-linear mapping function
- $b$  = hyperplane distance
- $\xi$  = positive slack variable
- $n$  = number of samples

In addition, SVM is more efficient for classification. However, normalization of differences in dataset features (scale normalization) greatly affects the classification results (Pal et al., 2020). The analysis of processing results is carried out based on several variables, namely the level of accuracy, precision, and similarity to the reference data. The land cover classification is based on reference data, which consists of buildings, vegetation (high and low), bare land, roads, and water.

process consist of R, G, B, and NIR. For the analysis of water bodies using the NDWI band, this band uses reflections from G and NIR band radiation.

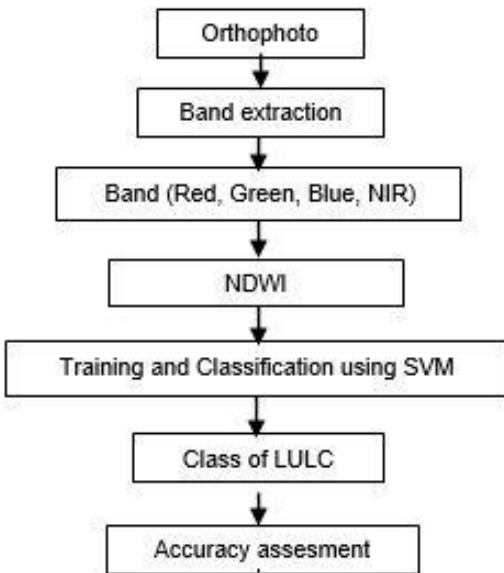
NDWI is used to sharpen water body objects and eliminate the appearance of land and vegetation objects (Mcfeeters, 1996). Another study (Chai et al., 2020) used NDWI for river and lake extraction on Landsat imagery. The NDWI equation is shown in **Equation (4)**.

With data characteristics that have high spatial resolution, an increase in classification accuracy is expected. The classification scheme applied was classification with a single band (R, G, B, NDWI) and a combination of bands (**Table 1**). In this study, a combination of 3 bands was used, referring to previous studies (El-ashmawy et al., 2011). Generally, this combination is used in LULC classification because it can provide enough information to distinguish between natural features such as vegetation, water, and land surface. The use of a 3-band combination also allows for the generation of a color image that can aid in visualizing and understanding the classification results. Additionally, using only 3 bands can reduce data complexity and speed up the classification process, especially for large areas that require fast processing times.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \dots\dots\dots(4)$$

**Table 1.** Band combination for LULC classification using orthophoto data.

Band Combination		
R	G	B
R	G	NIR
R	G	NDWI
R	B	NIR
R	B	NDWI
R	NIR	NDWI
G	B	NIR
G	B	NDWI
G	NIR	NDWI
B	NIR	NDWI



**Figure 3.** Research workflow.

The orthophoto data used in this study has four bands, namely red, green, blue (RGB), and Near-Infra Red (NIR), with a resolution of 0.15 m. The process of separating the bands (band slicing) is carried out using an algorithm in Python. Orthophoto data processing can be seen in **Figure 3**. The band extraction process aims to extract spectral, spatial, textural, and vegetation index information. The bands used for the classification

SVM has advantages compared to other machine learning methods, such as the use of limited training data and producing good output using spectral data (Xu et al., 2018). The data training process in this study was carried out by taking samples from each land cover class. This sample data is used as a reference in classifying pixel values that represent the appearance of LULC from the data source. Training data collection was carried out in an evenly distributed manner for each LULC class, with approximately

25 samples for each class, namely class of vegetation, buildings, roads, bare land, water bodies. Data sampling was based on similarities (color, hue, association, and texture) for the class or same object. For the training data and accuracy test data in this study, they were carried out in the same location area.

The accuracy test of the classification results used the Indonesia Topographic Map (RBI) scale 1:5000 in 2017 as the reference data. To assess the accuracy of the classification results, the Kappa Coefficient and Overall Accuracy were calculated based on the Confusion Matrix. This classification test was carried out to evaluate the performance of the Support Vector Machine algorithm using the reference data.

The classification results were compared with the 1:5000 scale RBI map to obtain the overall accuracy value based on the principles of the confusion matrix. The confusion matrix was used to evaluate the classification results for different LULC conditions (Foody, 2002), and an illustration of the confusion matrix can be seen in **Figure 4**. The equation of OA, producer accuracy and user accuracy are shown in **Equation 5**, **Equation 6**, and **Equation 7**.

k,k	A	B	C	...	q	$\Sigma$
A	$n_{AA}$	$n_{AB}$	$n_{AC}$	...	$n_{Aq}$	$n_{A+}$
B	$n_{BA}$	$n_{BB}$	$n_{BC}$	...	$n_{Bq}$	$n_{B+}$
C	$n_{CA}$	$n_{CB}$	$n_{CC}$	...	$n_{Cq}$	$n_{C+}$
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮
q	$n_{qA}$	$n_{qB}$	$n_{qC}$	...	$n_{qq}$	$n_{q+}$
$\Sigma$	$n_{+A}$	$n_{+B}$	$n_{+C}$	...	$n_{+q}$	n

Source: Foody (2002), Reprocessed.

**Figure 4.** Confusion matrix to calculate overall accuracy (OA).

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{k=1}^q a_{kk}}{n} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{User Accuracy} = \frac{n_{kk}}{n_{k+}} \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{Producer Accuracy} = \frac{n_{kk}}{n_{+k}} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

There is another aspect to accuracy testing, which does not involve using specific standards or parameters, but by documenting the time required at each stage of the process being carried out and comparing it with empirical data processing experience.

**RESULTS AND DISCUSSION**

The extraction results from the orthophoto data include the R, G, B, and NIR bands, which can be separated for further geospatial analysis. These bands are used to carry out the classification process using single band and combination band schemes with the SVM method

approach. In this scheme, the aim is to determine how well the results obtained from the LULC classification process using a single band compare to the utilization of band combinations. This is because each band has its own advantages and limitations for LULC analysis. In this study, a minimum of 25 samples were utilized for each LULC class during the machine learning process. The total for all LULC sampling is approximately 150 samples. The extraction results for the single band scheme can be seen in **Figure 5**.

A new band was derived from the extraction results for water body analysis in image data, called NDWI, which is derived from the G and NIR reflection bands. The NDWI bands can be seen in **Figure 6**. In previous studies using satellite imagery of water bodies (Chen et al., 2009), NDWI results are shown in bright colors or look brighter. However, in this study, the appearance and index values for river objects (bodies of water), asphalt roads, and shadows are almost the same because they appear black in natural colors.

The first classification process used the single band scheme, including the R, G, B, and NDWI bands. The classification results for each band can be seen in **Figure 7** (a, b, c, d). The classification results indicate that the use of a single band is insufficient to accurately identify all LULC classes. As a result, some classes may be misclassified as other classes.

**Table 2.** Overall accuracy value of single band classification.

Band	Overall Accuracy (OA)
R	55.86 %
G	49.50 %
B	50.08 %
NDWI	49.58 %

In the Red band, the classification results were close to the specified classes, as buildings, vegetation, roads, and bare land were identified. However, for the other bands, the classification results mostly only identified building and vegetation classes. The overall accuracy calculation results for the single band classification can be seen in **Table 2**.

**Table 3.** Overall accuracy value of band combination.

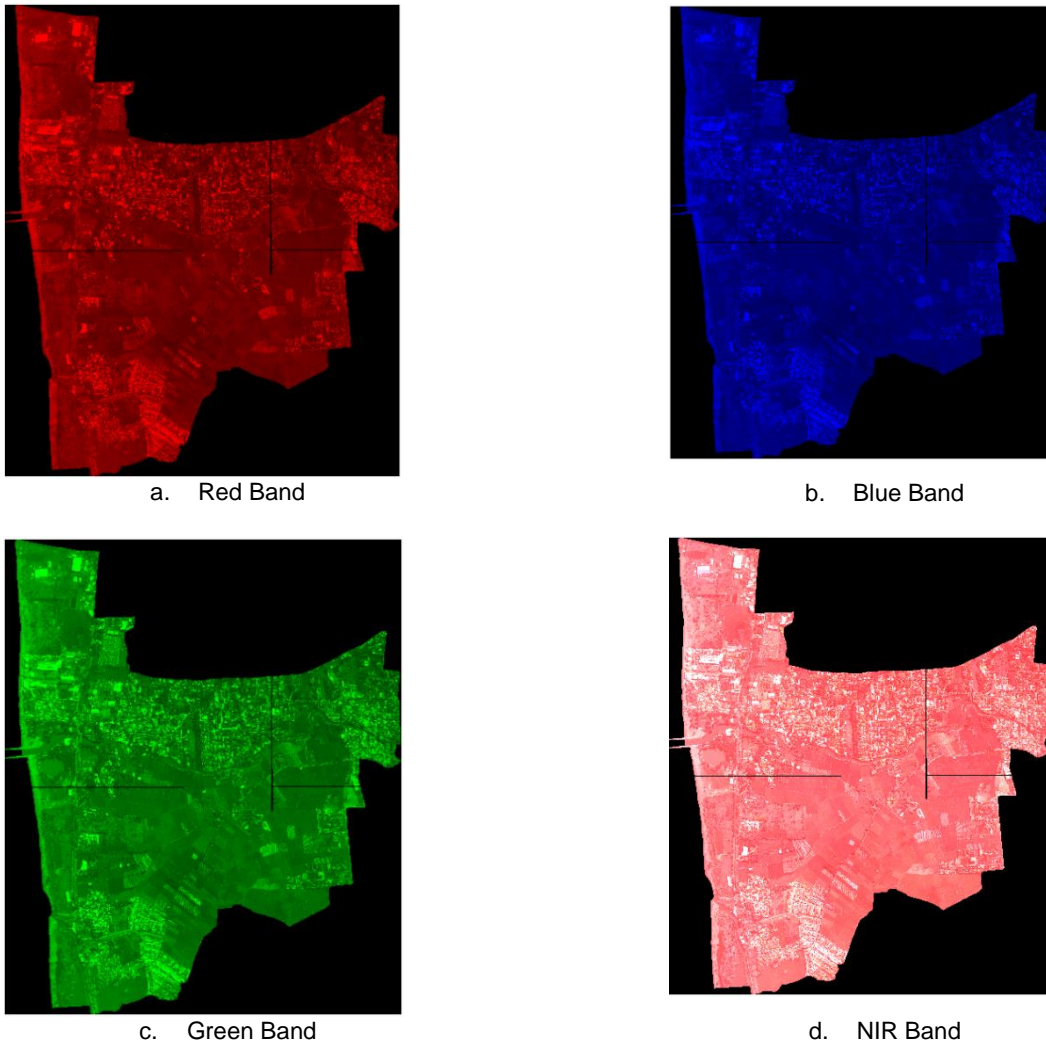
Band Combination			Overall Accuracy (OA)
R	G	B	71.73 %
R	G	NIR	61.32 %
R	G	NDWI	61.65 %
R	B	NIR	63.55 %
R	B	NDWI	71.81 %
R	NIR	NDWI	61.40 %
G	B	NIR	63.71 %

Band Combination			Overall Accuracy (OA)
G	B	NDWI	62.80 %
G	NIR	NDWI	50.00 %
B	NIR	NDWI	63.05 %

The next step is the classification process that employs a band combination scheme. The RGB and NDWI band combination was chosen because it can distinguish several classes that cannot be distinguished by a single band, such as water bodies, vegetation, and urban areas. This process revealed that classification using band combinations yielded better average accuracy

values than the single-band scheme. **Table 3** shows the overall accuracy value of the band combination. For the results of the confusion matrix of the highest OA values, we can see in **Table 4**.

Discussion or analysis of the classification results using a combination of bands only for the lowest and highest results. **Table 3** shows that the band combination with the lowest overall accuracy (OA) value is the G-NIR-NDWI combination, which yielded an accuracy of 50.00%. On the other hand, the R-B-NDWI band combination had the highest OA value with an accuracy of 71.81%, can be observed in **Figure 8**.



**Figure 5.** Result of single band ekstraktion.



Figure 6. NDWI Band.



Figure 7. LULC classification result using single band data.



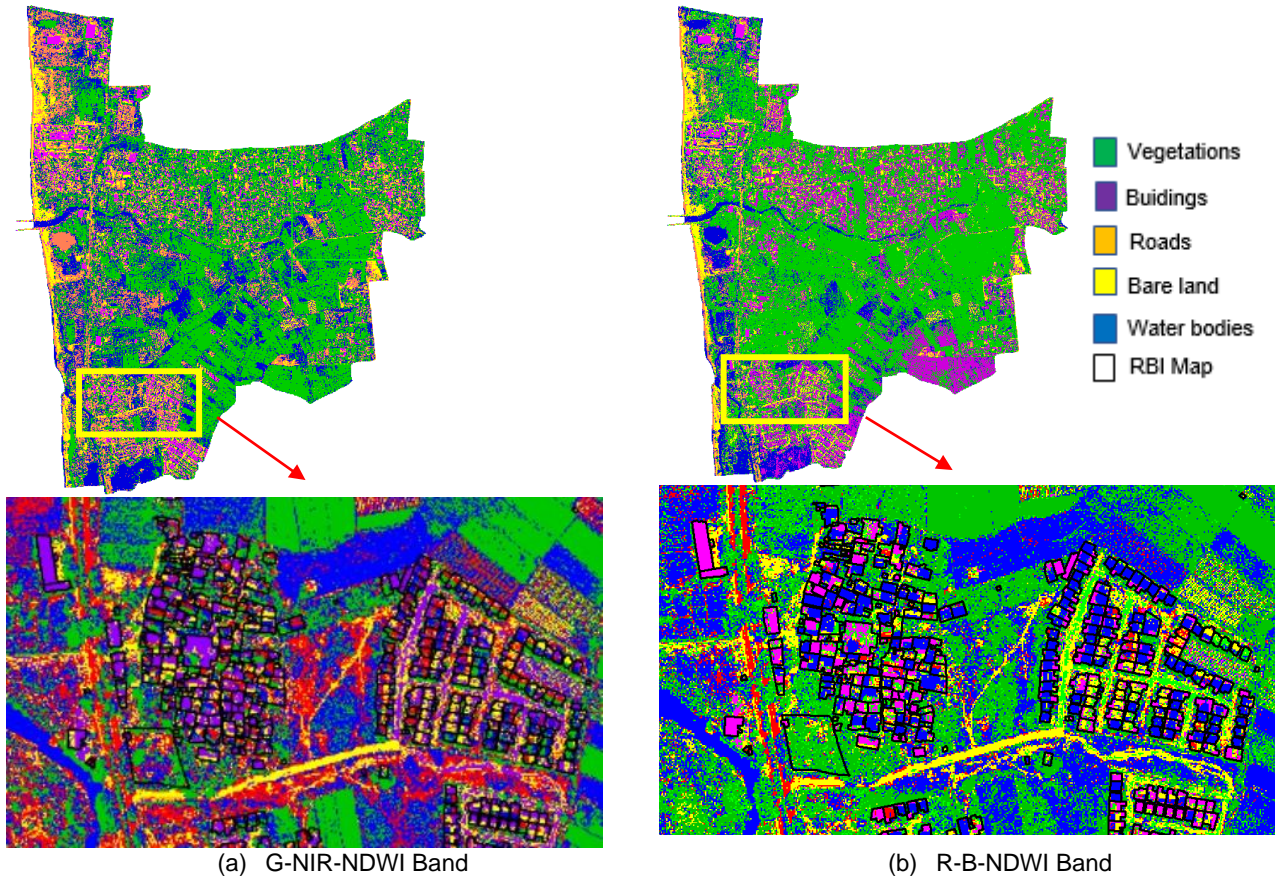


Figure 8. LULC classification result using combination band data.

Table 4. Confusion matrix for LULC classification using R-B-NDWI.

		Reference class					Total	User acc	Commission
		Vegetation	Buildings	Bare land	Roads	Water bodies			
Classification results	Vegetation	58	7	5	5	4	79	0.734	0.266
	Buildings	6	56	4	4	4	74	0.757	0.243
	Bare land	5	5	50	3	6	69	0.725	0.275
	Roads	4	2	4	42	2	54	0.778	0.222
	Water bodies	4	7	7	6	34	58	0.586	0.414
	Total	77	77	70	60	50	334		
Producer acc		0.753	0.727	0.714	0.700	0.680		Overall Accuracy	71.81%
Omission		0.247	0.273	0.286	0.300	0.320			

Figure 8 (a) G-NIR-NDWI band indicates that this combination is not representative for vegetation classes as most locations that should be classified as vegetation are identified as buildings. In the image section, we can analyze that the overlay result with the RBI map shows that the building class has been identified according to its location. Most of the vegetation classes are identified as water objects. The road object has not yet been classified. Bare land class has been identified, but it is still not well identified, some are still classified in other classes.

In the next image, Figure 8 (b) R-B-NDWI band shows better results, as all classes have been identified. In the image section, we can see that the overlay with the RBI map shows that the building class is already consistent with its area. The vegetation class has been identified well, although it is still identified as another class. The road and open land classes have also been identified, although some of them are still identified as another class. The results show that the classes of buildings, vegetation, roads, water bodies, and bare land have been identified more accurately compared to the single band classification.

## CONCLUSION

The use of single band data in orthophoto classification resulted in poor LULC classification, with an OA value below 55%. In contrast, the band combination classification scheme yielded an average OA value above 60%. The best classification result was achieved using the R-B-NDWI band combination with an OA value is 71.81%, which identified most LULC classes accurately, although not all were identified perfectly. Nevertheless, this result suggests that the LULC classification process can be accelerated using SVM machine learning with a band combination scheme for orthophoto data.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our gratitude to all parties who supported this research, particularly the Geospatial Information Agency (BIG) for facilitating the provision of data, as well as the reviewers and editors of the journal for their help in improving our manuscript.

## REFERENCES

Ahmad, A., Hashim, U.K.M., Mohd, O., Abdullah, M.M., Sakidin, H. & Sufahani, S.F. (2018). Comparative analysis of support vector machine maximum likelihood and neural network classification on multispectral remote sensing data. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(9): 529-37. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090966>.

Cai, L., Shi, W., Miao, Z. & Hao, M. (2018). Accuracy assessment measures for object extraction from remote sensing images. *Remote Sensing*, 10(2), 303, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10020303>.

Chai, L., Jiang, H., Crow, W. T., Liu, S., Zhao, S., Liu, J. & Yang, S. (2020). Estimating corn canopy water content from normalized difference water index (NDWI): An optimized NDWI-Based scheme and its feasibility for retrieving corn VWC. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(10), 8168-8181. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3041039>.

Chen, Y., Su, W., Li, J. & Sun, Z. (2009). Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and LIDAR data over urban areas. *Advances in Space Research*, 43(7), 1101-1110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2008.11.008>.

Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). Support-Vector Networks. *Machine Learning* 20, 273-297. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00994018>.

Dumitru, C.O., Schwarz, G. & Datcu, M. (2016). Land cover semantic annotation derived from high-resolution SAR images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(6), 2215-2232. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2549557>.

El-ashmawy, N., Shaker, A. & Yan, W. (2011). Pixel vs object-based image classification techniques for LiDAR intensity data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-5(W12), 43-48. DOI:

<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W12-43-2011>, 2011.

Foody, G.M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185-201. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4).

Huang, J., Zhang, X., Xin, Q., Sun, Y. & Zhang, P. (2019). Automatic building extraction from high-resolution aerial images and LiDAR data using gated residual refinement network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 151(2019), 91-105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.02.019>.

Jamil, A. & Bayram, B. (2017). Tree species extraction and land use/cover classification from high-resolution digital orthophoto maps. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(1), 89-94. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2756864>.

Jozdani, S.E., Johnson, B.A. & Chen, D. (2019). Comparing deep neural networks, ensemble classifiers, and support vector machine algorithms for object-based urban land use/land cover classification. *Remote Sensing*, 11(14), 1713, 1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11141713>.

Liu, Y. & Huang, L. (2019). A novel ensemble support vector machine model for land cover classification. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(4), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1177/1550147719842732>.

López-Jiménez, E., Vasquez-Gomez, J.I., Sanchez-Acevedo, M.A., Herrera-Lozada, J.C. & Uriarte-Arcia, A.V. (2019). Columnar cactus recognition in aerial images using a deep learning approach. *Ecological Informatics*, 52(2019), 131-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.05.005>.

McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

Noi, P.T. & Kappas, M. (2017). Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for land cover classification using Sentinel-2 Imagery. *Sensors*, 18(1), 18, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18010018>.

Pal, M., Akhsay, Rohilla, H. & Teja, B.C. (2020). Patch based land cover classification: A comparison of Deep Learning, SVM and NN classifiers. *IGARSS 2020-2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1933-1936. Waikoloa, Hawaii. USA. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS39084.2020.9323755>.

Qin, R. (2014). A mean shift vector-based shape feature for classification of high spatial resolution remotely sensed imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(5), 1974-1985. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2357832>.

Ramanath, A., Muthusrinivasan, S., Xie, Y., Shekhar, S. & Ramachandra, B. (2019). NDVI versus CNN features in Deep Learning for land cover classification of aerial images. *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 6483-6486. Yokohama, Japan. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8900165>.

Ratajczak, R., Crispim-Junior, C.F., Faure, E., Fervers, B. & Tougne, L. (2019). Automatic land cover

- reconstruction from historical aerial images: An evaluation of features extraction and classification algorithms. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(7), 3357-3371. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2019.2896492>.
- Thasveen, M.S. & Suresh, S. (2021). Land-use and land-cover classification methods: A review. *2021 Fourth International Conference on Microelectronics, Signals & Systems (ICMSS)*, 1-6. Kollam, India. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICMSS53060.2021.9673623>.
- Xu, Z., Chen, J., Xia, J., Du, P., Zheng, H. & Gan, L. (2018). Multisource earth observation data for land-cover classification using random forest. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(5), 789-793. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2806223>.

Indeks Penulis

**A**

A. A. Md. Ananda Putra Suardana, 21  
Arif Prasetya, 13  
Azwar Sidiq, 13

**B**

Baba Barus, 31,77

**D**

Dietriech G. Bengen, 1

**E**

Edwin Maulana, 53

**G**

Gaby Nanda Kharisma, 13

**H**

Harsanto Mursyid, 13  
Herianto, 31,77

**I**

I Wayan Nurjaya, 1  
Inayah Yasir, 63  
Iradaf Mandaya, 13

**L**

La Ode Abdul Fajar Hasidu, 13

**M**

Marzuki, 63

Mira Harimurti, 77

Mochamad Irwan Hariyono, 87

Muhammad Amir Solihin, 41

Muhammad Banda Selamat, 63

Muhammad Rizki Nandika, 21

**N**

Nadia Shalehah, 31

Nanin Anggraini, 21

Noviani Putri, 41

Nurjannah Nurdin, 63

**P**

Putri Meissarah, 53

**R**

Ratna Sari Dewi, 87

Rokhmatuloh, 87

**S**

Saenudin, 1

Suhaemi, 1

Suprajaka, 53

Supriadi Mashoreng, 63

**T**

Tri Hartanto, 1

Try Al Tanto, 1

**V**

Vincentius P. Siregar, 31,77

MAJALAH ILMIAH GLOBE  
Volume 25 Tahun 2023

Indeks Subjek

- A**  
Abrasi, 32,77,78,79,80,81,83,84,85,86  
Akurasi, 21,23,24,26,27,28,64,65,66,71,72,73,87  
Analisis Koresponden, 1, 4, 10  
Arus Laut, 1, 2, 3, 4, 5,6,7,8,9,10  
Aspek,  
9,13,16,21,41,42,43,44,46,47,48,49,53,54,55,56,5  
7,58,59,61
- B**  
Barchan, 53,54,55,56,57,58,59,60,61,62  
Bentuk Pertumbuhan Karang, 1,2
- E**  
Elevasi,  
23,32,33,35,38,41,42,43,44,46,47,48,49,54
- G**  
Gelombang Ekstrim, 32,77,79,80,81,83,84,85,86  
Geoheritage, 53,54,55,56,57,58,59,60,61,62  
Gumuk Pasir, 53,54,55,56,57,58,59,60,61,62
- I**  
Indeks Vegetasi,  
17,19,21,23,27,42,43,44,51,63,64,66,67,72,73,75
- K**  
Keberlanjutan Pesisir, 53  
Kota Padang 1,2,3,5,6,8,9,10,11
- L**  
Landsat 8 OLI, 13,14,15,18,41  
LST, 41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51  
LULC, 87,88,90,91,93,94,95
- M**  
*Machine Learning*, 21,28,29,87,88,90,91,95
- Mangrove,  
13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,  
29,32,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75
- N**  
NDVI,  
17,19,20,21,23,25,27,29,41,43,44,45,46,50,51,63,  
64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,95
- O**  
*Orthophoto*,87,88,90,91,95
- P**  
Pasang Surut,  
1,2,3,4,5,10,11,13,23,25,31,32,33,34,35,38,39  
Penduduk,  
14,32,33,38,39,54,59,77,78,79,80,82,85,86  
Penginderaan Jauh,  
14,21,41,42,63,64,73,75,86,87  
Perubahan Iklim, 21,31,32,39,41,49,64,78  
Pulau,  
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,19,31,32,33,34,35,36,3  
7,38,39,63,64,65,67,69,70,72,73,74,75,77,78,79,8  
0,81,82,83,84,85,86
- R**  
*Random Forest*,21,22,27,28,29,88,96  
*Remote Sensing*,  
21,27,28,29,41,50,51,62,63,75,87,88,95,96
- S**  
Sentinel-2 13,15,18,19,21,22,23,24,26,28,29,88  
Sentinel-2A Level 1C, 13,15,18  
*Slope*, 41,42,43,44,46,47,48,49  
Stok Karbon, 19,63,64,65,67,70,71,72,73,74,75  
Sub-DAS Cikapundung, 41,42  
*Supervised Classification*, 13,15

UCAPAN TERIMA KASIH  
KEPADA MITRA BESTARI MAJALAH ILMIAH GLOBE  
VOLUME 25 TAHUN 2023

1. Prof. Dr. Ir. I Nengah Surati Jaya, M.Agr
2. Prof. Dr. Ir. Lailan Syaufina, M.Sc
3. Prof. Dr. Dewayany Sutrisno, M.App.Sc
4. Prof. Dr. Ir. Muhamad Buce Saleh, M.S
5. Dr. Ati Rahadiati, M.Sc
6. Dr. Ing. Widodo Setiyo Pranowo, S.T., M.Si
7. Dr. Pramaditya Wicaksono, M.Sc
8. Dr. Ir. Wiwin Ambarwulan, M.Sc
9. Dr. rer. nat. Djati Mardiatno, S.Si., M.Si
10. Dr. Ir. Sri Lestari Munajati, M.Agr
11. Dr. Elyta Widyaningrum, S.T., M.Sc
12. Ahmad Cahyadi, M.Sc

## 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

Pusat Penelitian Promosi 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](mailto:majalah.globe@big.go.id), [majalahglobe@gmail.com](mailto: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, urutan kata sesuai abjad.

**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 (*supplementary file*).

**Kesimpulan** kesimpulan 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:

Jamil, A. & Bayram, B. (2017). Tree species extraction and land use/cover classification from high-resolution digital orthophoto maps. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(1), 89-94. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2756864>.

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

Aziz, N. (2006). *Analisis ekonomi alternatif pengelolaan ekosistem mangrove di Kecamatan Barru, Kabupaten Barru*. Tesis. (Tidak diterbitkan) Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 105 hlm.

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

Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forest. Retrieved from <http://cdm.unfccc.int/Panels/ar>. [September 17, 2007]

(Contoh referensi **Naskah Online**)

Danoedoro, P. (2009). Land-use information from the satellite imagery: Versatility and contents for local physical planning. LAP Lambert Acad. Publisher. Queensland. Australia.

(Contoh referensi dalam **Buku**)

RI (Republik Indonesia). (2011). Undang-undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial. Sekretariat Negara. Jakarta.

Kem. ESDM (Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral). Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 13.K/HK.1/MEM.G/2021 tentang Penetapan Warisan Geologi (Geoheritage) Daerah Istimewa Yogyakarta. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. Jakarta.

(Contoh referensi dalam **Undang-Undang/Peraturan**)

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

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

Setiawan, I.B. (1999). Studies on environmental change and sustainable development of Cidanau Watershed. *International Workshop on Sustainable Resources Management of Cidanau Watershed*, 5(2 atau 2015), 235-245. Bogor.

Sunarto, Malawani, M.N., Fatchurohman, H. & Cahyadi, A. (2018). Identification of landscape disturbance in the Parangtritis sand dune area for sustainable environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 179(012030), 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/179/1/012030>.

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

**Catatan:**

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



## **Sekretariat**

Badan Informasi Geospasial  
Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong  
Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia  
Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064  
e-mail: [majalah.globe@big.go.id](mailto:majalah.globe@big.go.id)  
Homepage: [jurnal.big.go.id/index.php/GL](http://jurnal.big.go.id/index.php/GL)

P-ISSN 1411-0512

