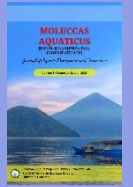




MOLUCCAS AQUATICUS Journal of Aquatic Management and Innovation

Laman Jurnal:
<https://e-journal.unkhair.ac.id/index.php/jma>



Estimasi Biomassa Mangrove menggunakan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) di Desa Soligi, Kabupaten Halmahera Selatan

Ardan Samman*, Supyan, Muhammad Nur Findra

Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Khairun
*e-mail korespondensi: ardan@unkhair.ac.id

Diterima: 12 Juni 2025

Direvisi: 27 Juni 2025

Disetujui: 27 Juni 2025

ABSTRAK

Mangrove merupakan tumbuhan tingkat tinggi yang tumbuh pada habitat intertidal antara daratan dan laut di daerah tropis serta subtropis. Keberadaan mangrove sangat penting dalam mengurangi risiko bencana akibat perubahan iklim karena kemampuannya yang signifikan dalam menyimpan karbon pada biomassa dan sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biomassa ekosistem mangrove berdasarkan kategori NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) di pesisir Desa Soligi, Kecamatan Obi Selatan, Kabupaten Halmahera Selatan dengan total luas area 12,12 hektar dan total biomassa mencapai 899,78 ton. Kategori NDVI dibagi menjadi empat kelas yaitu: Sangat Rendah, Rendah, Sedang, dan Tinggi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kategori Tinggi berkontribusi terbesar terhadap total biomassa dengan 639,94 ton/ha, terdiri dari 499,97 ton/ha untuk biomassa di atas tanah (AGB) dan 139,98 ton/ha untuk biomassa di bawah tanah (BGB). Sebaliknya, kategori Sangat Rendah menunjukkan nilai biomassa yang sangat rendah, yaitu 0,32 ton/ha. Temuan ini menekankan pentingnya pengelolaan dan konservasi ekosistem mangrove untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon dan mendukung keberlanjutannya.

Kata kunci: Biomassa, Ekosistem Mangrove, Keberlanjutan Lingkungan, NDVI, Penyimpanan Karbon

ABSTRACT

Mangroves are higher plants that grow in intertidal habitats between land and sea in tropical and subtropical areas. The existence of mangroves is essential in reducing the risk of disasters due to climate change because of their significant ability to store carbon in biomass and sediment. This research analyses mangrove ecosystem biomass based on categories of NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) in the Coastal Soligi Village, Obi Selatan District, South Halmahera Regency with a total area of 12.12 hectares and a total biomass reaching 899.78 tons. NDVI categories are divided into four classes: Very Low, Low, Medium, and High. The analysis results show that the High category contributed the most to total biomass with 639.94 tonnes/ha, consisting of 499.97 tonnes/ha for above-ground biomass (AGB) and 139.98 tonnes/ha for below-ground biomass (BGB). On the other hand, the Very Low category shows a very low biomass value, namely 0.32 tonnes/ha. These findings emphasize the importance of managing and conserving mangrove ecosystems to increase carbon storage capacity and support their sustainability.

Keywords: Biomass, Mangrove Ecosystem, Environmental Sustainability, NDVI, Carbon Storage

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki luas hutan mangrove sekitar 3.489.140,68 hektar, yang setara dengan 23% dari total ekosistem mangrove global sebesar 16.530.000 hektar. Mangrove merupakan tumbuhan tingkat tinggi yang tumbuh di habitat intertidal antara daratan dan laut di daerah tropis serta subtropis. Keberadaan mangrove sangat penting dalam mengurangi risiko bencana akibat perubahan iklim karena kemampuannya yang signifikan dalam menyimpan karbon pada biomassa

dan sedimen (Kasenda *et al.*, 2024). Biomassa mangrove mencakup seluruh bahan organik yang dihasilkan ekosistem ini, termasuk akar, batang, daun, dan cabang pohon mangrove (Lumbu *et al.*, 2022; Rizkiyani *et al.*, 2024).

Peran mangrove dalam ekosistem pesisir meliputi penyerap karbon, pencegah erosi pantai, dan pendukung keanekaragaman hayati (Findra *et al.*, 2016; Findra *et al.*, 2024a; Findra *et al.*, 2024b; Rizkiyani *et al.*, 2024). Ekosistem mangrove menjadi habitat bagi berbagai jenis flora dan fauna yang beragam. Keanekaragaman ini mencakup tidak hanya organisme yang hidup di perairan, tetapi juga sejumlah burung, mamalia, dan reptil yang bergantung pada mangrove sebagai sumber makanan, tempat berlindung, serta lokasi berkembang biak. Selain itu, mangrove sering kali menjadi rumah bagi spesies endemik yang keberadaannya terbatas pada ekosistem tertentu, sehingga peran mangrove sangatlah penting dalam mendukung pelestarian biodiversitas global (Bahtiar *et al.*, 2023; Findra *et al.*, 2024a; Gorda & Saputra, 2020; Pratama *et al.*, 2023). Namun, tekanan aktivitas manusia seperti alih fungsi lahan, eksploitasi sumber daya mangrove, dan lemahnya pengawasan telah menyebabkan kerusakan ekosistem secara luas (Hamzah *et al.*, 2022; Rosalina *et al.*, 2024). Untuk mendukung pengelolaan yang berkelanjutan, diperlukan estimasi biomassa mangrove melalui teknologi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) yang memanfaatkan citra satelit, seperti Sentinel-2 (Patty *et al.*, 2022; Pietersz *et al.*, 2024; Ramadhan & Suwadi, 2024). Desa Soligi di Kecamatan Obi Selatan, dengan potensi hutan mangrovenya, membutuhkan kajian biomassa untuk mendukung upaya konservasi.

Hutan mangrove di Indonesia, termasuk di Desa Soligi, menghadapi ancaman serius akibat alih fungsi lahan, yang menyebabkan hilangnya habitat spesies dan menurunnya kapasitas ekosistem dalam menyerap karbon. Kerusakan ini tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga kehidupan masyarakat yang bergantung pada sumber daya mangrove untuk kebutuhan sehari-hari (Noktasatria & Farid, 2021; Tiyo *et al.*, 2024; Zega *et al.*, 2024). Selain itu, sampah laut, terutama plastik, memperparah kondisi mangrove. Sampah yang terperangkap di akar mangrove mengurangi estetika lingkungan, mengganggu pertumbuhan mangrove, dan merusak biodiversitas ekosistem tersebut (Rahminda & Rijal, 2024).

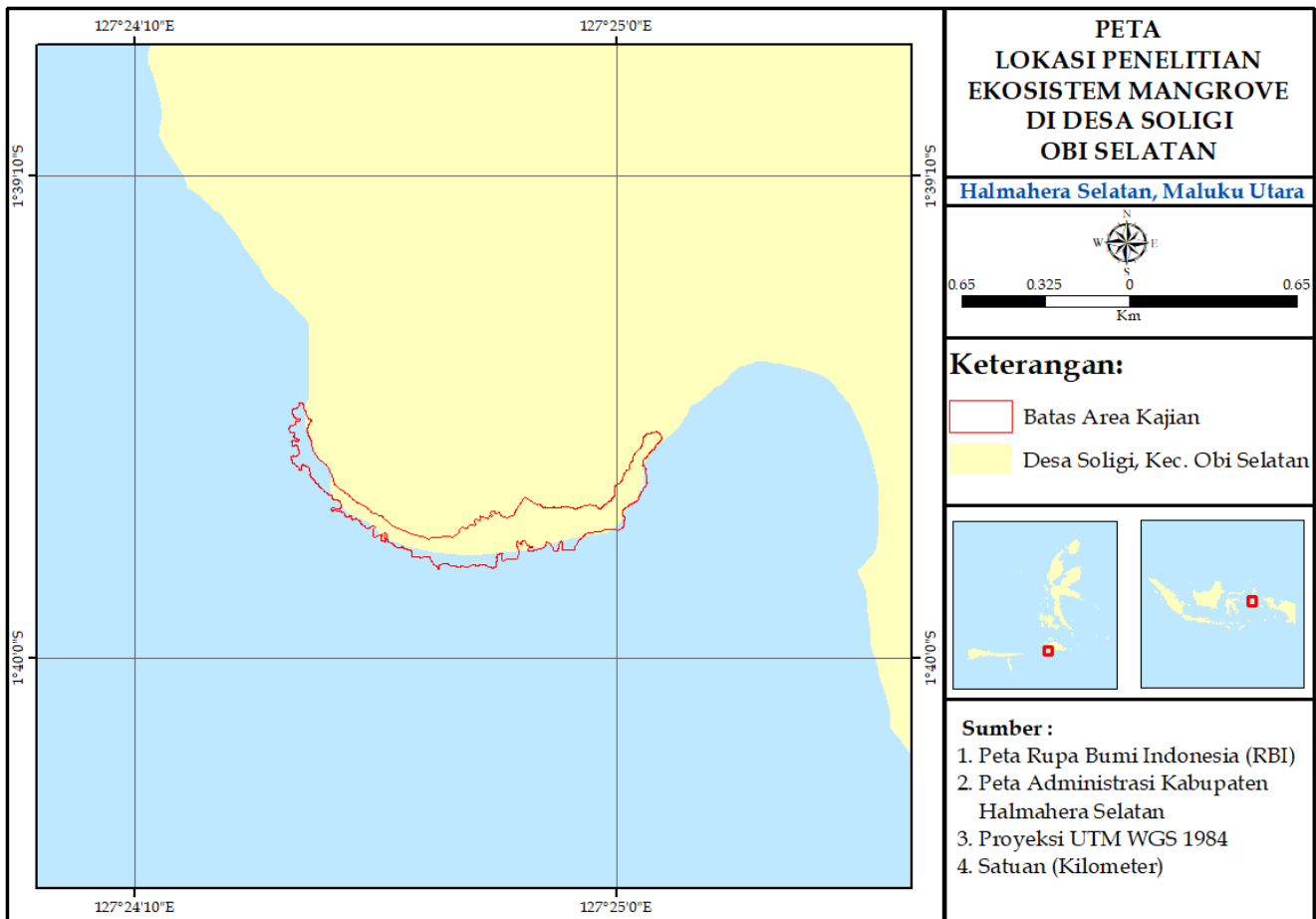
Upaya pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Soligi telah dilakukan melalui program ekowisata mangrove oleh berbagai pihak. Sejak 2021, ribuan bibit mangrove telah ditanam dan dirawat secara berkala dengan melibatkan masyarakat lokal. Program ini bertujuan memperbaiki ekosistem pesisir, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat. Kegiatan yang berkolaborasi dengan Universitas Khairun ini juga melibatkan kegiatan pengabdian masyarakat yang mendukung pendidikan dan pemberdayaan lokal, menjadikan Desa Soligi sebagai proyek percontohan untuk keberlanjutan ekosistem mangrove di Halmahera Selatan.

Penelitian mengenai estimasi biomassa mangrove menggunakan NDVI secara khusus di Desa Soligi maupun Kabupaten Halmahera Selatan dan Maluku Utara secara umum sangat minim dilakukan, padahal informasi ini sangat diperlukan dalam pengelolaan sumber daya pesisir. Beberapa penelitian dalam pemanfaatan citra satelit terhadap ekosistem mangrove yang telah dilakukan di Maluku Utara diantaranya penggunaan citra dalam analisis sebaran kondisi ekosistem hutan mangrove di kawasan Teluk Jailolo Kabupaten Halmahera Barat (Tahir *et al.*, 2017) dan analisis hutan mangrove di Pulau Ternate secara spasial dan temporal dengan pendekatan citra satelit (Paembonan *et al.*, 2022). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biomassa ekosistem mangrove berdasarkan kategori NDVI di pesisir Desa Soligi, Kecamatan Obi Selatan, Kabupaten Halmahera Selatan. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi penting untuk pengelolaan sumber daya alam dan konservasi hutan mangrove. Dengan memahami potensi biomassa mangrove melalui analisis NDVI, pihak berwenang dapat merumuskan kebijakan perlindungan mangrove yang lebih baik dan meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya ekosistem ini.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024 di Desa Soligi, Kecamatan Obi Selatan, Kabupaten Halmahera Selatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini mencakup perangkat keras seperti laptop, jaringan internet, serta perangkat lunak *Google Earth Engine* (GEE), *ArcGIS* 10.8, dan *Microsoft Excel*. Adapun bahan yang dimanfaatkan meliputi *file* SHP batas kawasan ekosistem mangrove, Peta Rupa Bumi Indonesia, serta data NDVI ekosistem mangrove di Desa Soligi, Kecamatan Obi Selatan, Kabupaten Halmahera Selatan, Maluku Utara.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode yang memanfaatkan teknologi citra satelit Sentinel-2A, dengan data NDVI mangrove tahun 2023 diperoleh melalui *Google Earth Engine* (GEE). Tahapan selanjutnya mencakup analisis lanjutan, termasuk proses reklasifikasi dan kueri NDVI, serta analisis biomassa yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*.

Analisis Data

Analisis data *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dilakukan dengan menggunakan formulasi:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

dimana nilai *Near-Infrared* (NIR) dan *Red* (RED) diperoleh dari *band* spektral citra satelit Sentinel-2A. Formula ini digunakan untuk menghitung indeks vegetasi yang mencerminkan tingkat kehijauan dan kesehatan vegetasi mangrove di lokasi penelitian.

Rentang nilai NDVI diklasifikasikan ke dalam lima kategori berikut: (1) Non Vegetasi dengan nilai -1 - -0,03, (2) Sangat Rendah pada -0,03 - 0,15, (3) Rendah pada 0,15 - 0,25, (4) Sedang pada 0,25 - 0,35, dan (5) Tinggi pada 0,35 -1,00 (Ramadhan & Suwadji, 2024).

Estimasi biomassa di atas tanah (AGB) dilakukan dengan menggunakan pendekatan NDVI melalui persamaan korelasi yang dikembangkan (Rudianto et al., 2024). Dalam penelitian tersebut, ditemukan nilai korelasi sebesar 0,787 untuk AGB mangrove, yang menunjukkan adanya hubungan yang cukup kuat antara NDVI dan biomassa di atas tanah. Formulasi yang digunakan untuk mengestimasi AGB adalah:

$$AGB = 305.9 * NDVI^{4.864}$$

dimana NDVI adalah nilai Indeks Vegetasi, sedangkan AGB adalah nilai Biomassa di Atas Permukaan Tanah (ton/ha).

Estimasi biomassa di bawah tanah (BGB) diperoleh dari estimasi AGB yang diformulasikan menggunakan persamaan yang disusun oleh Rudianto et al. (2024) sebagai berikut:.

$$BGB = \exp(-1.0587 + 0.8836 * \ln(AGB))$$

dimana AGB adalah nilai Biomassa Di Atas Permukaan Tanah (ton/ha), sedangkan BGB adalah nilai Biomassa di Bawah Permukaan Tanah (ton/ha).

Total biomassa didefinisikan sebagai jumlah keseluruhan massa organik yang dihasilkan oleh organisme hidup dalam suatu ekosistem, yang meliputi biomassa di atas permukaan tanah (*aboveground biomass*) dan di bawah permukaan tanah (*belowground biomass*). Biomassa ini mencakup seluruh bagian tanaman, seperti daun, batang, dan akar, serta organisme lain yang ada di dalam ekosistem tersebut. Dalam ekologi, total biomassa dipandang penting karena menunjukkan jumlah karbon yang tersimpan, yang berkontribusi pada siklus karbon global dan mitigasi perubahan iklim. Selain itu, pengukuran total biomassa digunakan untuk memahami produktivitas ekosistem, pertumbuhan organisme, dan dampak perubahan lingkungan atau intervensi manusia, seperti deforestasi, reboisasi, dan praktik pertanian, terhadap keseimbangan ekosistem. Estimasi total biomassa dilakukan berdasarkan rumus:

$$TAB = AGB + BGB$$

dimana TAB adalah Total Biomassa (ton/ha).

HASIL DAN PEMBAHASAN

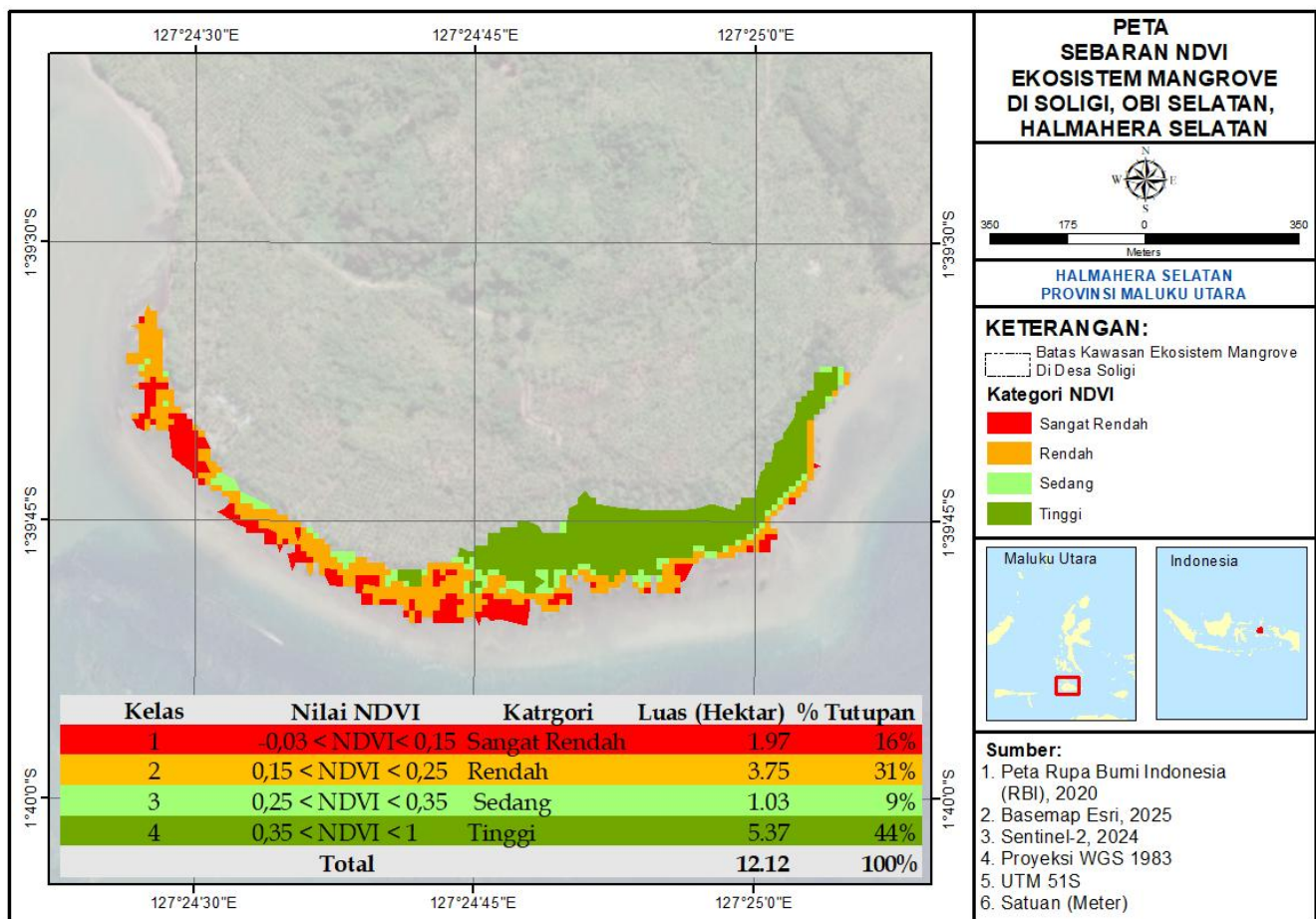
Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan distribusi biomassa ekosistem mangrove berdasarkan kategori NDVI, dengan total luas area 12,12 hektar dan total biomassa mencapai 899,78 ton. Dalam kategori Sangat Rendah, yang mencakup 1,97 hektar, terdapat total biomassa sebesar 0,32 ton/ha, terdiri dari 0,19 ton/ha untuk *above ground biomass* (AGB) dan 0,13 ton/ha untuk *below ground biomass* (BGB). Kategori Rendah mencakup 3,75 hektar dengan total biomassa 107,16 ton/ha, di mana AGB mencapai 78,31 ton/ha dan BGB 28,84 ton/ha. Kategori Sedang memiliki luas 1,03 hektar dan total biomassa sebesar 152,36 ton/ha, dengan AGB sebesar 116,18 ton/ha dan BGB 36,18 ton/ha. Kategori Tinggi mendominasi dengan luas 5,37 hektar dan total biomassa yang sangat tinggi mencapai 639,94 ton/ha, terdiri dari AGB sebesar 499,97 ton/ha dan BGB 139,98 ton/ha. Temuan ini menunjukkan bahwa area dengan NDVI tinggi berkontribusi secara signifikan terhadap total biomassa ekosistem mangrove, menyoroti pentingnya keberadaan vegetasi yang sehat dalam mendukung penyimpanan karbon dan keberlanjutan lingkungan sebagaimana disajikan pada Tabel 1 berikut:

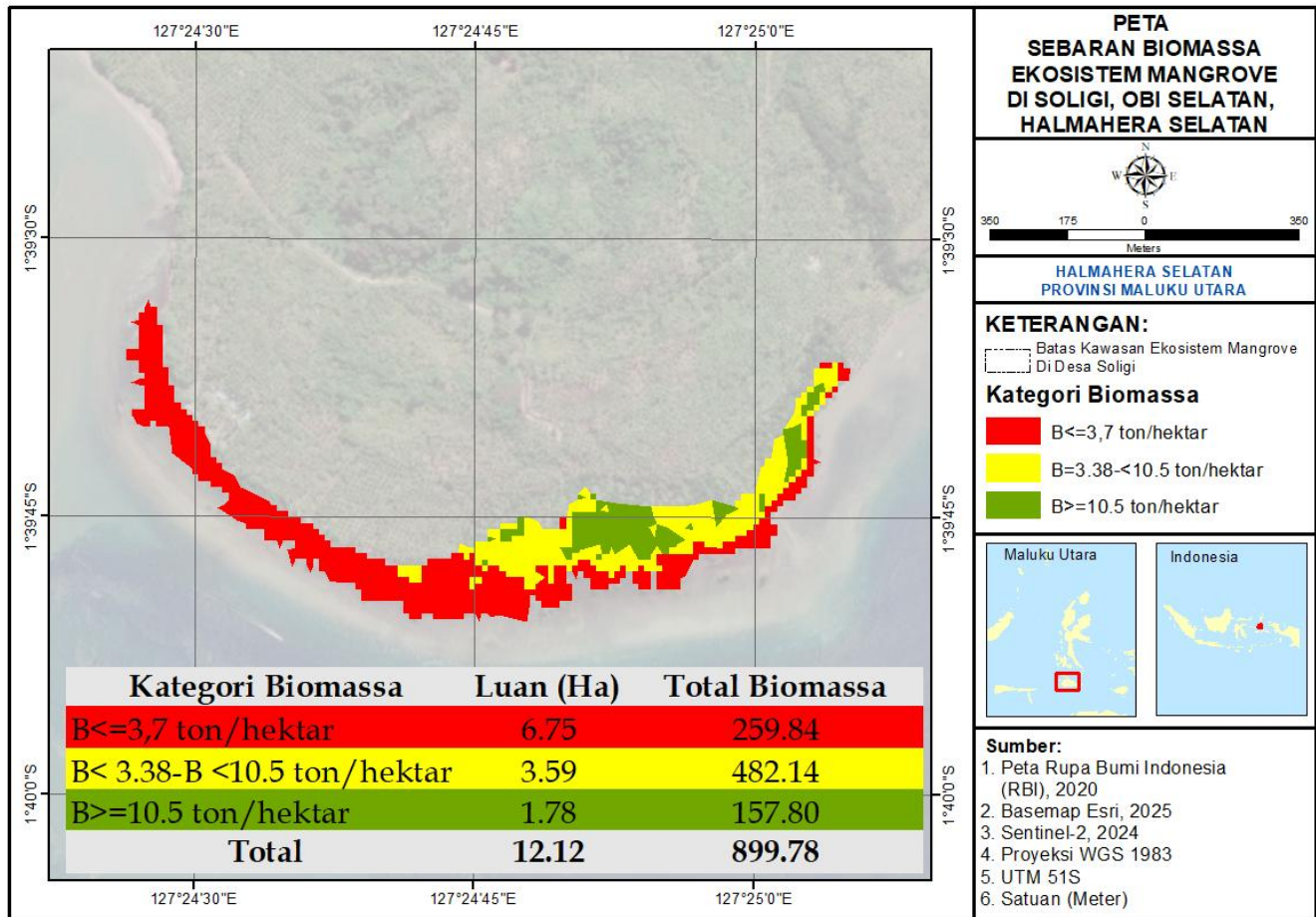
Tabel 1. Kondisi NDVI dan biomassa ekosistem mangrove di Desa Soligi, Kecamatan Obi Selatan

Kategori NDVI	AGB (ton/Ha)	BGB (ton/Ha)	TAB (ton/Ha)	Luas (Hektar)
Sangat Rendah	0.19	0.13	0.32	1.97
Rendah	78.31	28.84	107.16	3.75
Sedang	116.18	36.18	152.36	1.03
Tinggi	499.97	139.98	639.94	5.37
Total	694.65	205.13	899.78	12.12

Hasil analisis Indeks Kerapatan Vegetasi Ternormalisasi (NDVI) ekosistem mangrove di Desa Soligi mengindikasikan bahwa wilayah ini didominasi oleh kategori tutupan vegetasi tinggi dengan rentang kelas NDVI 0,35–1, yang mencakup 5,37 hektar atau 44% dari total area. Dominasi ini menunjukkan bahwa sebagian besar ekosistem mangrove di Desa Soligi berada dalam kondisi vegetasi yang baik dan lebat. Selanjutnya, kategori tutupan vegetasi rendah dengan rentang NDVI 0,15–0,25 mencakup 3,75 hektar atau 31%, yang mengindikasikan area dengan vegetasi yang lebih jarang atau berada dalam tahap pemulihan. Kategori sangat rendah dengan rentang NDVI -0,03–0,15 mencakup 1,97 hektar (16%), mengarah pada wilayah dengan tutupan vegetasi yang sangat minim, seperti area yang terdegradasi atau tidak memiliki vegetasi signifikan. Sementara itu, kategori sedang dengan rentang NDVI 0,25–0,35 memiliki cakupan terkecil, yaitu 1,03 hektar atau hanya 9%, yang menunjukkan area transisi antara vegetasi jarang dan lebat. Analisis ini mencakup total luas ekosistem mangrove sebesar 12,12 hektar, dengan dominasi tutupan vegetasi tinggi sebagaimana diajikan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Sebaran indeks kerapatan vegetasi ekosistem mangrove di Desa Soligi, Kecamatan Obi Selatan

Hasil analisis biomassa ekosistem mangrove di Desa Soligi yang diklasifikasi kedalam tiga kelas menunjukkan bahwa total luas area yang dianalisis mencapai 12,12 hektar dengan total biomassa sebesar 899,78 ton. Dari total tersebut, kategori biomassa yang memiliki nilai di bawah atau sama dengan 3,7 ton/hektar mencakup 6,75 hektar dengan total biomasa 259,84 ton, sementara kategori biomassa antara 3,38 hingga 10,5 ton/hektar meliputi 3,59 hektar dengan total biomasa 482,14 ton. Kategori terakhir, yaitu yang memiliki biomassa di atas atau sama dengan 10,5 ton/hektar, mencakup area seluas 1,78 hektar dengan total biomasa 157,80 ton. Secara keseluruhan biomassa ekisistem mangrove di Desa Soligi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Biomassa ekosistem mangrove di Desa Soligi, Kecamatan Obi Selatan

Hubungan antara NDVI dan biomassa mangrove menunjukkan bahwa semakin tinggi kerapatan vegetasi, semakin besar pula biomassa ekosistem mangrove. Henri *et al.* (2024) menegaskan bahwa kerapatan mangrove dan tutupan kanopi berpengaruh signifikan terhadap estimasi biomassa. Wijayanti *et al.* (2024) mengelompokkan nilai NDVI ke dalam tiga kategori (rendah, sedang, tinggi), dengan kategori tinggi mendominasi area mangrove dan menunjukkan dominasi biomassa pada kategori ini, sejalan dengan hasil dari kajian ini. Suwanto *et al.* (2021) dan Thoha *et al.* (2024) menemukan korelasi erat antara NDVI dan biomassa, di mana area dengan NDVI tinggi memberikan kontribusi signifikan terhadap total biomassa, yang menegaskan pentingnya vegetasi sehat untuk penyimpanan karbon dan keberlanjutan lingkungan terutama pada kawasan mangrove.

Penurunan biomassa ekosistem mangrove disebabkan oleh berbagai faktor, seperti deforestasi dan konversi lahan untuk tambak, perkebunan, atau pembangunan infrastruktur, yang mengakibatkan hilangnya habitat mangrove (Cobacho *et al.*, 2024). Selain itu, perubahan iklim, seperti kenaikan permukaan laut dan peningkatan suhu, serta pencemaran lingkungan dari limbah domestik dan industri, turut merusak ekosistem ini. Eksploitasi berlebihan untuk kayu bakar atau

bahan bangunan, erosi pesisir akibat aktivitas manusia, serta gangguan biologis seperti serangan hama dan spesies invasif juga mempercepat degradasi biomassa (Chen *et al.*, 2024), selain itu mangrove yang terdegradasi mengakibatkan berkurangnya penyerapan karbon dan menyebabkan pelepasan karbon yang tersimpan ke atmosfer melalui emisi CO₂ (Senger *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2020). Faktor-faktor ini menunjukkan perlunya pengelolaan berkelanjutan untuk menjaga keberlanjutan dan fungsi penting ekosistem mangrove.

Biomassa mangrove merupakan elemen penting yang memengaruhi keberlanjutan ekosistem pesisir di masa depan. Namun, laju erosi yang tinggi dapat mengurangi margin mangrove di sisi laut, menyebabkan kekeringan dan degradasi ekosistem ini. Kondisi tersebut berdampak negatif pada fungsi ekologis pesisir secara keseluruhan, sehingga upaya mitigasi erosi dan konservasi biomassa mangrove menjadi sangat penting untuk menjaga keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem pesisir (Budiadi *et al.*, 2023; Carugati *et al.*, 2018; Pirasteh *et al.*, 2024).

Pengelolaan dan rehabilitasi mangrove di Desa Soligi merupakan langkah strategis untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan fungsi ekologisnya melalui beberapa tahapan penting, seperti pemetaan berbasis teknologi NDVI untuk menilai kondisi vegetasi, penanaman kembali di area terdegradasi dengan melibatkan masyarakat lokal, serta edukasi dan pemberdayaan komunitas dalam budidaya mangrove. Selain itu, pengendalian ancaman lingkungan melalui kebijakan perlindungan, kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan organisasi non-pemerintah, serta monitoring dan evaluasi berkala menjadi elemen kunci dalam memastikan keberhasilan program ini. Dengan pendekatan komprehensif ini, ekosistem mangrove diharapkan pulih dan mampu memberikan manfaat ekologis, sosial, serta ekonomi bagi masyarakat setempat.

KESIMPULAN

Analisis distribusi biomassa mangrove berdasarkan kategori NDVI menunjukkan variasi yang mencolok. Kategori NDVI Sangat Rendah dengan luas 1,97 hektar memiliki total biomassa sangat terbatas, hanya 0,32 ton/ha, yang terdiri dari AGB 0,19 ton/ha dan BGB 0,13 ton/ha. Pada Kategori NDVI Rendah seluas 3,75 hektar, total biomassa meningkat signifikan menjadi 107,16 ton/ha, mencerminkan kenaikan AGB dan BGB dibanding kategori sebelumnya. Kategori NDVI Sedang dengan luas 1,03 hektar menunjukkan kondisi ekosistem yang lebih baik, dengan total biomassa 152,36 ton/ha, terdiri dari AGB 116,18 ton/ha dan BGB 36,18 ton/ha. Dominasi terlihat pada Kategori NDVI Tinggi yang mencakup 5,37 hektar, dengan total biomassa mencapai 639,94 ton/ha, terdiri dari AGB 499,97 ton/ha dan BGB 139,98 ton/ha, menegaskan bahwa area dengan NDVI tinggi memberikan kontribusi signifikan terhadap penyimpanan karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahtiar, Permatahati, Y. I., Findra, M. N., & Fekri, L. (2023). Production, biomass, and turnover of exploited mangrove clams (*Geloina expansa*, Mousson 1849) in Kendari Bay mangrove forest, Southeast Sulawesi Indonesia. *BIO Web of Conferences*, 74, 03009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237403009>
- Budiadi, B., Pertiwinigrum, A., Lestari, L. D., Jihad, A. N., Marpaung, B. A., & Prasetyo, S. (2023). Land cover changes, biomass loss, and predictive causes of massive dieback of a mangrove plantation in Lampung, Sumatra. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1-12. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1150949>
- Carugati, L., Gatto, B., Rastelli, E., Lo Martire, M., Coral, C., Greco, S., & Danovaro, R. (2018). Impact of mangrove forests degradation on biodiversity and ecosystem functioning. *Scientific Reports*, 8(1), 13298. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31683-0>

- Chen, G., Gu, X., Mo, Y., & Cui, B. (2024). Monospecific mangrove reforestation changes relationship between benthic mollusc diversity and biomass: Implication for coastal wetland management. *Journal of Environmental Management*, 353, 120140. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120140>
- Cobacho, S. P., Janssen, S. A. R., Brekelmans, M. A. C. P., van de Leemput, I. A., Holmgren, M., & Christianen, M. J. A. (2024). High temperature and eutrophication alter biomass allocation of black mangrove (*Avicennia germinans* L.) seedlings. *Marine Environmental Research*, 193, 106291. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106291>
- Findra, M. N., Hasrun, L. O., Adharani, N., & Herdiana, L. (2016). Perpindahan ontogenetik habitat ikan di perairan ekosistem hutan mangrove. *Media Konservasi*, 22(3), 304–309. <https://doi.org/DOI: 10.29244/medkon.21.3.304-309>
- Findra, M. N., Mulyani, I., Wahyuningsih, S., Pramithasari, F. A., Adharani, N., Elinah, Astuti, R., Utami, E. S., Rahman, A., Delis, P. C., Meilana, L., Fahrudin, M., & Prasadi, O. (2024a). *Sumber Daya Hayati Perairan*. PT. Kamiya Jaya Aquatic.
- Findra, M. N., Rahman, A., Sara, L., Cahyani, W. S., & Meilana, L. (2024b). Phytoplankton in the anchialine habitat of red shrimp (*Parhippolyte uveae*) at mangrove ecosystem waters. *Media Konservasi*, 29(2), 118–126. <https://doi.org/10.29244/medkon.29.2.118>
- Rahmanda, A. F., & Rijal, S. S. (2024). Peta kelimpahan sampah laut di ekosistem mangrove Wonorejo Kota Surabaya, Jawa Timur. *Environmental Pollution Journal*, 4(2), 1049–1061. <https://doi.org/10.58954/epj.v4i2.195>
- Gorda, A. A. Ngr. E. S., & Saputra, I. G. N. W. H. (2020). Pengembangan community based mangrove management untuk mendukung pelestarian dan peningkatan nilai ekonomi kawasan mangrove sebagai ekowisata. *PARTA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 1–8.
- Hamzah, M., Bana, S., Haslianti, Gandri, L., Hidayat, H., & Findra, M. N. (2022). Pelatihan pengolahan stik buah mangrove bagi masyarakat Desa Passare Apua Kecamatan Lantari Jaya Kabupaten Bombana Sulawesi Tenggara. *Jurnal Panrita Abdi*, 6(4), 771–779. <https://doi.org/https://doi.org/10.20956/pa.v6i4.18159>
- Henri, H., Farhaby, A. M., Supratman, O., Adi, W., & Febrianto, S. (2024). Assessment of species diversity, biomass and carbon stock of mangrove forests on Belitung Island, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(1), 21–29. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250103>
- Kasenda, V., Rumengan, A. P., Ompi, M., Djamaludin, R., Mamangkey, G. N., & Tilaar, S. (2024). Estimasi biomassa dan simpanan karbon pada akar mangrove di Desa Ratatotok Muara Kecamatan Ratatotok Kabupaten Minahasa Tenggara Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 12(3), 170–176. <https://doi.org/https://doi.org/10.35800/jplt.12.3.2024.59883>
- Lumbu, T., Rumengan, A. P., Paruntu, C. P., Darwisito, S., Ompi, M., & Mandagi, S. (2022). Kajian simpanan karbon pada biomassa mangrove di pesisir Desa Tatengesan Kecamatan Pusomaen Kabupaten Minahasa Tenggara Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 10(1), 63–71.
- Noktasatria, A. Y., & Farid, A. (2021). Evaluasi berkelanjutan ekosistem mangrove menggunakan Rapfish di Desa Ujung Piring Kecamatan Bangkalan Kabupaten Bangkalan. *Juvenil:Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 2(2), 146–156. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v2i2.10779>
- Paembonan, R., Achmad, M. D., Marus, I., Baddu, S., Karman, A., Najamuddin, Akbar, N., Natih, N. M. N., Tahir, I., Wibowo, E. S., Muksin, D., Zamani, N. P., & Ismail, F. (2022). Hutan mangrove di Pulau Ternate secara spasial dan temporal. *JURNAL ILMU KELAUTAN KEPULAUAN*, 5(2), 656–667. <https://doi.org/10.33387/jikk.v5i2.5687>

- Patty, S. I., Nurdiansah, D., Rizqi, M. P., & Huwae, R. (2022). Analisis sebaran dan kerapatan vegetasi mangrove menggunakan Citra Landsat 8 di Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 10(2), 251–260.
- Pietersz, J. H., Pribadi, R., Pentury, R., & Ario, R. (2024). Estimasiutupan kanopi berdasarkan NDVI dan kondisiutupan tajuk pada ekosistem mangrove Negeri Passo, Teluk Ambon Dalam. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(2), 197–208. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i2.22090>
- Pirasteh, S., Mafi-Gholami, D., Li, H., Fang, Z., Nouri-Kamari, A., & Khorrami, B. (2024). Precision in mapping and assessing mangrove biomass: Insights from the Persian Gulf coasts. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 128, 103769. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103769>
- Pratama, M. F., La Sara, Halili, & Findra, M. N. (2023). Karakteristik habitat udang merah (*Parhippolyte uveae*) di perairan rawa sekitar kawasan Pantai Koguna Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara. *Habitus Aquatica*, 4(1), 8–16. <https://doi.org/10.29244/HAJ.4.1.8>
- Ramadhan, A., & Suwadi, S. (2024). Model penduga biomassa hutan mangrove menggunakan citra satelit sentinel -2A di Kabupaten Rembang Jawa Tengah. *Jurnal Wana Tropika*, 13(2), 72–84. <https://doi.org/10.55180/jwt.v13i2.1018>
- Rizkiyanti, H. M., Pribadi, R., Ario, R., Pietersz, J. H., & Pentury, R. (2024). Pendugaan simpanan karbon pada tegakan dan substrat mangrove dengan metode non destruktif di Desa Betahwalang, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 13(3), 443–451. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i3.27904>
- Rosalina, D., Fitra, R. A., Serosero, R. H., Adimu, H. E., Abubakar, S., Safitri, Y. A., Nisari, T., Supyan, Putriani, R. B., Findra, M. N., & Rachman, R. M. (2024). *Ekosistem Pesisir*. PT. Kamiya Jaya Aquatic.
- Rudianto, Rijal, S. S., Widodo, M. S., & Purnamasari, I. (2024). *Pengukuran Karbon Biru di Hutan Mangrove: Teori dan Aplikasinya*. Media Nusa Creative.
- Senger, D. F., Saavedra Hortua, D. A., Engel, S., Schnurawa, M., Moosdorf, N., & Gillis, L. G. (2021). Impacts of wetland dieback on carbon dynamics: A comparison between intact and degraded mangroves. *Science of The Total Environment*, 753, 141817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141817>
- Sharma, S., MacKenzie, R. A., Tieng, T., Soben, K., Tulyasuwan, N., Resanond, A., Blate, G., & Litton, C. M. (2020). The impacts of degradation, deforestation and restoration on mangrove ecosystem carbon stocks across Cambodia. *Science of The Total Environment*, 706, 135416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135416>
- Suwanto, A., Takarina, N. D., Koestoer, R. H., & Frimawaty, E. (2021). Diversity, biomass, covers, and NDVI of restored mangrove forests in Karawang and Subang Coasts, West Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(9), 4115–4122. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220960>
- 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.
- Thoha, A. S., Patana, P., Hulu, D. L. N., & Adrianto, H. A. (2024). Estimation of mangrove above-ground biomass and carbon stocks from unmanned aerial vehicleimagery in restoration forest, Langkat District, Indonesia. *AACL Bioflux*, 17(3), 1151–1160.
- Tiyo, M. N., Hartoko, A., & Suryanti, S. (2024). Analisis tingkat kerusakan mangrove sebelum dan sesudah Tsunami di Pulau Sangiang berdasarkan NDVI. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 11(1), 65–71.
- Wijayanti, A., Hartoko, A., & Febrianto, S. (2024). Analisis kesehatan, kandungan klorofil-a, biomassa dan karbon mangrove di Desa Tambakbulusan, Demak. *Jurnal Pasir Laut*, 8(2), 107–113. <https://doi.org/10.14710/jpl.2024.63863>

Zega, A., Susanti, N. M., Tillah, R., Laoli, D., Telaumbanua, B. V., Zebua, R. D., Dawolo, J., Zebua, O. Z., & Gea, A. S. A. (2024). Strategi inovatif dalam menghadapi degradasi ekosistem: Kajian terbaru tentang peran vital hutan mangrove dalam konservasi lingkungan. *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan*, 2(2), 71–83. <https://doi.org/10.62951/zoologi.v2i2.65>