

Estimasi Nilai Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah Pada Hutan Mangrove di Pulau Lancang

Estimation of Above-Ground Carbon Stock in Mangrove Forest on Lancang Island

Rangga Setiyoko^{1*}, Marningot Tua Natalis Situmorang², Laila Febriana²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sahid Jakarta

²Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sahid Jakarta

**Corresponding author: ranggasetiyoko@gmail.com*

Received: 1 October 2025 / Accepted: 1 March 2026 / Published: 8 April 2026

Abstrak

Peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) sebagai pemicu perubahan iklim menuntut strategi mitigasi berbasis ekosistem, salah satunya melalui hutan mangrove sebagai penyerap karbon (blue carbon). Penelitian ini bertujuan mengestimasi cadangan karbon di atas permukaan tanah pada hutan mangrove Pulau Lancang serta menganalisis hubungan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dengan biomassa, cadangan karbon, dan kerapatan tegakan. Metode kuantitatif digunakan melalui analisis citra Sentinel-2A dan survei lapangan pada plot 5 × 5 m. Hasil penelitian menunjukkan nilai NDVI berkisar 0,731–0,998 dengan biomassa rata-rata 1.361,88 ton/ha dan cadangan karbon 168,48 ton C/ha. Analisis regresi menunjukkan korelasi kuat antara NDVI dengan biomassa ($R^2 = 0,7883$), cadangan karbon ($R^2 = 0,69$), dan kerapatan tegakan ($R^2 = 0,991$). Temuan ini menunjukkan bahwa ekosistem mangrove Pulau Lancang memiliki potensi tinggi dalam menyerap karbon serta menegaskan bahwa NDVI dapat digunakan sebagai indikator yang efektif untuk estimasi dan monitoring cadangan karbon mangrove guna mendukung upaya mitigasi perubahan iklim.

Kata kunci: biomassa, cadangan karbon, mangrove, NDVI, perubahan iklim

Abstract

The increasing emissions of carbon dioxide (CO₂) as a driver of climate change require ecosystem-based mitigation strategies, one of which is through mangrove forests as carbon sinks (blue carbon). This study aims to estimate above-ground carbon stocks in the mangrove forest of Lancang Island and analyze the relationship between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and biomass, carbon stock, and stand density. A quantitative method was applied using Sentinel-2A satellite imagery analysis and field surveys on 5 × 5 m plots. The results show that NDVI values range from 0.731 to 0.998, with an average biomass of 1,361.88 ton/ha and a carbon stock of 168.48ton C/ha. Regression analysis indicates strong correlations between NDVI and biomass ($R^2 = 0.7883$), carbon stock ($R^2 = 0.69$), and stand density ($R^2 = 0.991$). These findings indicate that the mangrove ecosystem of Lancang Island has a high potential for carbon sequestration and confirm that NDVI can be used as an effective indicator for estimating and monitoring mangrove carbon stocks to support climate change mitigation efforts.

Keywords: biomass, carbon stock, climate change, mangrove, NDVI

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu isu global paling krusial yang berdampak langsung terhadap keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023) menunjukkan bahwa aktivitas manusia telah menyebabkan pemanasan global dengan kenaikan suhu permukaan sebesar 1,1°C selama 2011–2020. Salah satu pemicu utama perubahan iklim adalah meningkatnya emisi karbon dioksida (CO₂) dari penggunaan energi fosil, aktivitas industri, dan konversi lahan. DeAngelo (2017) menekankan pentingnya pengurangan konsentrasi CO₂ di atmosfer untuk menekan dampak perubahan iklim baik dalam jangka pendek maupun panjang. Senada dengan itu, Oktaviona *et al.*, (2017) menyebutkan bahwa mempertahankan hutan alami dan meningkatkan kerapatan vegetasi di luar kawasan hutan menjadi langkah strategis untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

Dalam konteks mitigasi perubahan iklim, ekosistem mangrove memiliki peran strategis karena kemampuannya menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, baik pada biomassa maupun sedimen. Hal ini menjadikan

mangrove sebagai salah satu ekosistem kunci dalam pencapaian target penurunan emisi karbon di tingkat nasional maupun global. Berbagai studi sebelumnya menegaskan pentingnya peran mangrove dalam siklus karbon. Latifah *et al.*, (2023) melaporkan bahwa ekosistem pesisir, khususnya mangrove, memiliki kapasitas penyimpanan karbon lebih besar dibandingkan ekosistem daratan. Najamuddin *et al.*, (2023) bahkan menemukan bahwa mangrove mampu menyimpan hingga empat kali lipat karbon lebih tinggi dibandingkan hutan hujan tropis, dengan estimasi cadangan mencapai 950 ton/ha. Meski demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada kawasan mangrove luas dan relatif terjaga, sementara studi mengenai potensi mangrove di pulau-pulau kecil yang rentan terhadap tekanan antropogenik masih terbatas.

Beberapa penelitian lain juga menegaskan adanya hubungan antara kerapatan vegetasi, biomassa, dan cadangan karbon. Karmila *et al.*, (2020) menemukan bahwa cadangan karbon bervariasi sesuai tingkat kerapatan vegetasi yang direpresentasikan oleh nilai NDVI, mulai dari 3,34 ton/ha pada kerapatan sangat jarang hingga 32,03 ton/ha pada kerapatan sedang. Henri *et*



al., (2023) melaporkan cadangan karbon sebesar 3.207,29 ton/ha dengan dominasi jenis *Rhizophora apiculata* yang memiliki kerapatan tinggi dan tutupan kanopi rata-rata 78,40%. Sementara itu, Yanuar *et al.*, (2023) menunjukkan adanya korelasi positif yang signifikan antara biomassa mangrove dan konsentrasi karbon di Kepulauan Seribu, yang menegaskan kontribusi mangrove terhadap peningkatan kapasitas penyerapan karbon. Temuan-temuan ini memperkuat bukti bahwa kondisi struktur tegakan berperan penting dalam menentukan potensi simpanan karbon mangrove (Ariadi *et al.*, 2026).

Pulau Lancang merupakan salah satu dari 111 pulau kecil di Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Berbeda dengan Pulau Untung Jawa dan Pulau Tidung Besar yang lebih padat penduduknya, Pulau Lancang tidak termasuk dalam kategori pulau permukiman (Widayat, 2018; Ariadi *et al.*, 2025). Pulau ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai kawasan ekowisata berbasis perikanan dan konservasi mangrove (Ramadhan *et al.*, 2024; Ariadi *et al.*, 2025). Pertumbuhan ekosistem mangrove di Pulau Lancang juga menunjukkan peningkatan

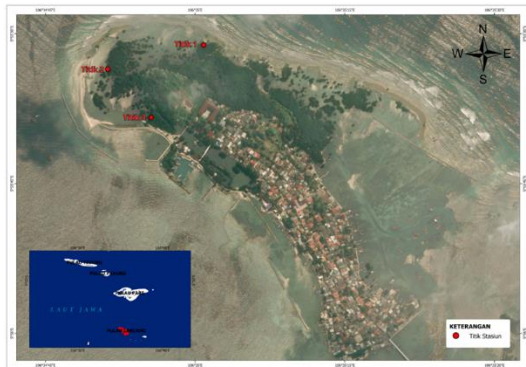
signifikan, dengan penambahan luas sebesar 6,3 hektar atau 67,30% pada periode 2010–2021 (Priyanto *et al.*, 2022). Penelitian ini mencatat bahwa ekosistem mangrove di Pulau Lancang memiliki stok karbon 168,48 ton/ha, biomassa 1.361,88 ton/ha, dan kerapatan tegakan 0,97 individu/m², yang menunjukkan kapasitas signifikan dalam mendukung mitigasi perubahan iklim (Ariadi *et al.*, 2026). Namun, kajian ilmiah terkait potensi stok karbon dan biomassa mangrove di pulau ini masih terbatas, sehingga penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) dalam menyajikan analisis kuantitatif dengan pendekatan regresi untuk memperlihatkan hubungan antar variabel secara ilmiah. Hasil penelitian diharapkan dapat mengisi kekosongan informasi sekaligus menjadi dasar ilmiah bagi konservasi, rehabilitasi, dan penguatan kebijakan pengelolaan ekosistem pesisir.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Februari–Agustus 2025 yang meliputi studi literatur, pengambilan data lapangan, pengolahan data, dan penyusunan hasil penelitian. Pengambilan data lapangan dilakukan

pada Juli 2025 di Pulau Lancang, Kabupaten Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta. Lokasi titik sampel ditunjukkan pada Gambar 1, dimana titik berwarna merah menunjukkan lokasi pengambilan sampel untuk pengukuran stok karbon secara *in situ*.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel.
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan Global Positioning System (GPS), meteran, alat tulis, serta laptop dengan perangkat lunak ENVI 5.3 dan ArcMap 10.8 untuk pengolahan citra dan analisis spasial. Bahan utama yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-2A untuk perhitungan nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

Metode Pengambilan Data

Data vegetasi mangrove diperoleh melalui survei lapangan menggunakan plot berukuran 5×5 m dengan pengukuran diameter batang pohon (Diameter at Breast Height/DBH). Data tersebut digunakan untuk menghitung

biomassa dan cadangan karbon di atas permukaan tanah menggunakan persamaan alometrik. Nilai NDVI diperoleh dari pengolahan citra Sentinel-2A menggunakan metode penginderaan jauh.

Analisis Data

Pemrograman Koreksi Atmosferik

Citra satelit terlebih dahulu dikoreksi secara atmosferik untuk memperoleh nilai reflektansi permukaan dari radiansi puncak atmosfer (TOA) dengan persamaan:

$$L\lambda = M\lambda \times DN + A\lambda$$

dimana:

- $L\lambda$: Radiansi Spektral / *ToA Radiance*
- $M\lambda$: Radiansi Multi Band X
- DN : Digital Number Citra
- $A\lambda$: Radiance Add Band

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Nilai NDVI dihitung menggunakan persamaan:

$$NDVI = ((NIR - R)) / ((NIR + R))$$

dimana:

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

Perhitungan Biomassa Mangrove

Biomassa mangrove jenis *Rhizophora apiculata* dihitung menggunakan persamaan alometrik (Amira, 2008):

$$\text{Biomassa (ton/ha)} = 0,043 \times (\text{DBH})^{2,63}$$



dimana:

DBH : Diameter at Breast Height

Perhitungan Stok Karbon

Cadangan karbon dihitung

berdasarkan SNI 7724 (2011):

$$\text{Karbon (C) (ton/ha)} = \text{Biomassa} \times 0,47$$

dimana:

0,47 : Faktor koreksi estimasi stok karbon
 pada setiap plot

Perhitungan Kerapatan Tegakan

Kerapatan tegakan dihitung

menggunakan rumus:

$$K = I / (L \text{ Plot})$$

dimana:

K : Kerapatan suatu jenis (Individu/m²)

I : Jumlah individu

L Plot : Luas seluruh plot

Korelasi Pearson

Hubungan antara nilai NDVI dan data cadangan karbon dianalisis menggunakan korelasi Pearson untuk mengetahui kekuatan hubungan antar variabel. Selanjutnya dilakukan analisis regresi non-linear dengan model $y = ae^{bx}$ untuk memprediksi hubungan antara NDVI (x) dan cadangan karbon (y). Model terbaik dipilih berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) dan koefisien determinasi tertinggi.

Jika diperlukan, parameter regresi dihitung menggunakan persamaan:

$$B = \frac{n \sum x \cdot \ln y - \sum x \cdot \sum \ln y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$A = \frac{\sum \ln y}{n} - B \cdot \frac{\sum x}{n}$$

dimana:

r : Koefisien korelasi

n : Jumlah plot sampel

x : Nilai NDVI

y : Nila cadangan karbon

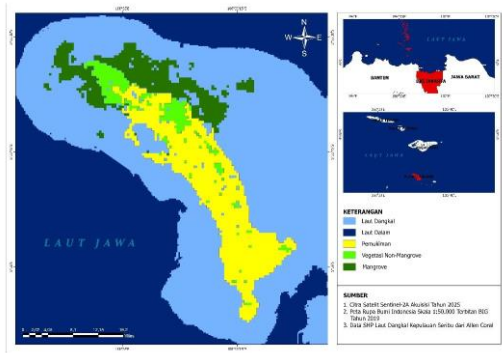
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Citra Satelit Sentinel-2A

Penelitian ini menggunakan citra satelit Sentinel-2A yang direkam pada 27 Juli 2025. Citra tersebut dipilih karena kualitasnya baik, dengan tutupan awan kurang dari 10% serta kondisi atmosfer yang cerah dan bebas kabut saat perekaman. Kehadiran awan berpotensi menutupi sebagian area pada citra dan dapat mengganggu proses interpretasi data satelit. Dengan kondisi akuisisi yang mendukung, citra yang diperoleh memiliki mutu optimal untuk analisis lebih lanjut. Tahapan reklasifikasi *unsupervised* dapat dilihat pada Gambar 2.

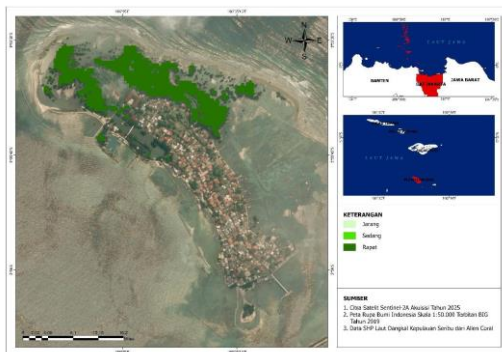
Citra Sentinel-2A yang telah melalui tahap pra-pemrosesan selanjutnya diproses dengan komposit band dan pemotongan wilayah (cropping). Untuk menampilkan vegetasi mangrove digunakan komposit RGB 8-4-3 (false color) berdasarkan nilai Optimum Index Factor (OIF). Pada komposit ini, mangrove tampak merah tua, vegetasi non-mangrove merah cerah, perairan dangkal biru terang, dan laut dalam

gelap. Selanjutnya dilakukan klasifikasi tanpa supervisi (unsupervised classification) menggunakan algoritma ISODATA untuk mengidentifikasi persebaran mangrove.



Gambar 2. Hasil reklasifikasi *unsupervised*

Hasil klasifikasi menghasilkan peta satuan lahan yang kemudian direklasifikasi menjadi peta kelas penutupan lahan (Ariadi *et al.*, 2025), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kerapatan mangrove di Pulau Lancang berdasarkan nilai NDVI

Peta ini menunjukkan batas sebaran vegetasi mangrove di Pulau Lancang, yang ditandai dengan kelas khusus mangrove. Kelas penutupan lahan

mangrove tersebut kemudian dikonversi ke dalam nilai indeks vegetasi menggunakan persamaan NDVI.

Transformasi indeks vegetasi NDVI dilakukan untuk menggambarkan tingkat kerapatan vegetasi mangrove di wilayah kajian, yaitu Pulau Lancang. Peta kerapatan mangrove pada gambar 3 dihasilkan melalui proses overlay antara hasil klasifikasi tutupan lahan mangrove dan citra NDVI Sentinel-2A tahun 2025. Nilai NDVI yang diperoleh pada kawasan vegetasi mangrove di Pulau Lancang menunjukkan kerapatan yang rapat.

Analisis Survei Lapangan

Hasil survei lapangan dan pengolahan citra satelit menghasilkan parameter biomassa, kandungan karbon, tutupan kanopi, dan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) pada setiap plot pengamatan. Data tersebut menggambarkan kondisi vegetasi mangrove serta memungkinkan klasifikasi kerapatan ekosistem. Nilai kerapatan tegakan berkisar antara 0,8–1,12 individu/m². Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004, nilai tersebut termasuk kategori padat karena seluruh plot memiliki kerapatan di atas 0,7 individu/m², dengan nilai terendah pada



Plot 1 (0,8 individu/m²) dan tertinggi pada Plot 3 (1,12 individu/m²).

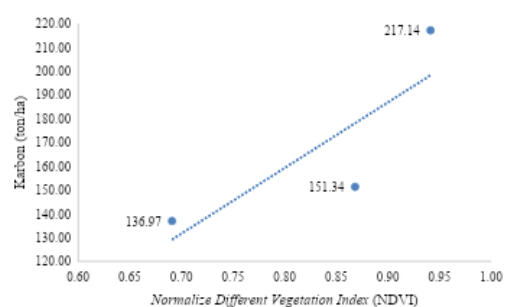
Tabel 1. Data Hasil Survei Lapangan

Plot	Jumlah Pohon	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)	Kerapatan tegakan (Individu/m ²)	NDVI
1	20	291.43	136.97	0,8	0.69
2	25	1005.42	151.34	1,0	0.868156
3	28	2788.78	217.14	1,12	0.941261
Rata-Rata	24	1361,88	168,48	0,97	0,83

Perbedaan ini turut memengaruhi biomassa dan karbon yang tersimpan. Biomassa terendah terdapat pada Plot 1 sebesar 291,43 ton/ha, sedangkan biomassa tertinggi tercatat di Plot 3 sebesar 2.788,78 ton/ha, dengan nilai karbon mengikuti pola yang sama yakni 136,97 ton/ha di Plot 1 dan 217,14 ton/ha di Plot 3. Nilai NDVI juga memperkuat hasil tersebut, dengan Plot 3 memiliki nilai tertinggi sebesar 0,941 yang menandakan vegetasi sehat dan rapat, sementara Plot 1 memiliki nilai terendah 0,69, meskipun masih menunjukkan aktivitas fotosintesis. Korelasi positif antara NDVI, kerapatan kanopi, dan biomassa menegaskan bahwa vegetasi yang lebih rapat cenderung memiliki kondisi ekologi yang lebih baik (Ariadi *et al.*, 2025).

Analisis Hubungan Stok Karbon Dengan Nilai NDVI

Analisis hubungan antara stok karbon di atas permukaan tanah (above-ground carbon) dan nilai Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) penting dilakukan karena NDVI dapat diperoleh secara cepat melalui citra satelit dan mencerminkan tingkat kehijauan serta kerapatan vegetasi yang berkaitan dengan biomassa (Ariadi *et al.*, 2025). Pemodelan statistik antara NDVI dan stok karbon memungkinkan estimasi cadangan karbon secara spasial tanpa pengukuran lapangan yang memerlukan waktu dan biaya besar. Pendekatan ini mendukung pemantauan karbon berbasis penginderaan jauh dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Hasil regresi linear antara NDVI dan stok karbon ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Regresi linear antara stok karbon dengan nilai NDVI

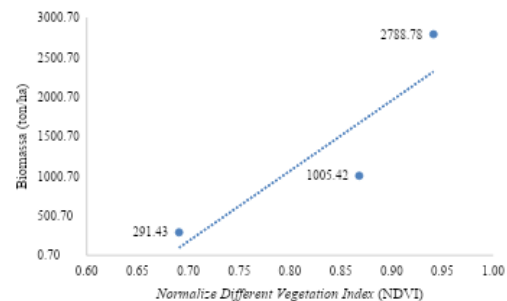
Hasil analisis regresi menunjukkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,69, yang berarti 69% variasi stok karbon dapat dijelaskan oleh NDVI, sedangkan 31% dipengaruhi faktor lain. Persamaan regresi yang diperoleh adalah $y =$

275,75x – 61,335, dengan NDVI (x) sebagai variabel bebas dan stok karbon (y) sebagai variabel terikat, menunjukkan hubungan positif antara keduanya. Namun, penerapan model ini perlu kehati-hatian karena NDVI sebagai indikator dua dimensi hanya mampu menjelaskan sebagian variasi karbon yang bersifat tiga dimensi. Hasil ini sejalan dengan penelitian di Pulau Nunukan (Marzuki et al., 2023) dan Pulau Bauluang (Fitrah, 2019) dengan nilai R^2 yang serupa. NDVI dapat digunakan sebagai indikator awal estimasi stok karbon, tetapi tetap memerlukan validasi lapangan.

Analisis Hubungan Biomassa Dengan Nilai NDVI

Analisis hubungan antara biomassa di atas permukaan tanah dan nilai Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) penting karena biomassa merepresentasikan akumulasi massa vegetasi yang berperan dalam penyimpanan karbon. NDVI dari citra satelit menggambarkan kerapatan dan kesehatan vegetasi secara spasial. Hubungan kedua parameter ini memungkinkan estimasi biomassa secara tidak langsung melalui penginderaan jauh, sehingga pemantauan ekosistem mangrove

menjadi lebih efisien dan berkelanjutan (Ariadi et al., 2025). Hasil regresi linear antara biomassa dan NDVI ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Regresi linear antara stok karbon dengan nilai NDVI

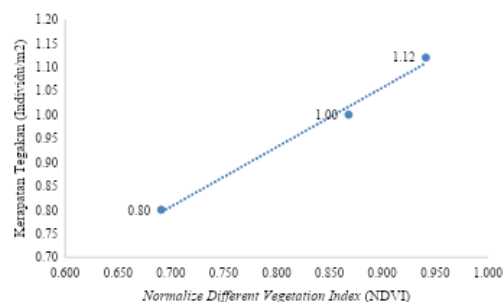
Hasil analisis regresi menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7883, yang berarti bahwa 78,83% variasi biomassa dapat dijelaskan oleh nilai NDVI, sedangkan sisanya sebesar 21,17% dipengaruhi faktor lain seperti jenis vegetasi, umur pohon, struktur tajuk, maupun kondisi lingkungan. Persamaan regresi yang diperoleh, yaitu $y = 8868,9x - 6029,6$, menggambarkan adanya hubungan positif di mana setiap peningkatan satu satuan NDVI berkontribusi pada kenaikan biomassa sebesar 8.868,9 kg/ha. Walaupun peningkatan NDVI umumnya kecil (0–1), kenaikan 0,1 poin saja dapat meningkatkan estimasi biomassa lebih dari 800 kg/ha. Nilai konstanta –6029,6 tidak merepresentasikan kondisi ekologis secara nyata, namun berfungsi sebagai bagian dari model matematis



dalam memprediksi tren umum hubungan tersebut (Ariadi et al., 2025). Tingginya nilai R^2 menegaskan bahwa NDVI merupakan indikator yang kuat dan relevan untuk mengestimasi biomassa serta cadangan karbon mangrove secara spasial. Hal ini menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem pemantauan karbon berbasis penginderaan jauh, khususnya untuk mendukung strategi mitigasi perubahan iklim.

Analisis Hubungan Kerapatan Tegakan Dengan Nilai NDVI

Analisis hubungan antara kerapatan tegakan dan nilai NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) penting dilakukan untuk mendukung pemantauan vegetasi baik secara spasial maupun temporal. NDVI yang diperoleh dari citra satelit banyak dimanfaatkan untuk merepresentasikan tingkat kehijauan, tutupan kanopi, serta produktivitas vegetasi di suatu kawasan. Melalui analisis ini, kerapatan pohon dapat diestimasi secara tidak langsung dengan cara yang lebih efisien, khususnya pada wilayah yang sulit diakses seperti pulau-pulau kecil (Ariadi et al., 2025). Hasil regresi linear antara kerapatan tegakan dan nilai NDVI ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Regresi linear antara kerapatan tegakan dengan nilai NDVI

Analisis regresi linear antara NDVI (x) dan kerapatan tegakan (y) menghasilkan persamaan $y = 1,2501x - 0,0685$ dengan $R^2 = 0,9915$, menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat. Nilai tersebut berarti 99,15% variasi kerapatan tegakan dapat dijelaskan oleh NDVI, sedangkan 0,85% dipengaruhi faktor lain. Secara fisiologis, vegetasi dengan tajuk lebat dan kandungan klorofil tinggi memantulkan lebih banyak radiasi near-infrared dan menyerap cahaya merah sehingga meningkatkan nilai NDVI. Temuan ini sejalan dengan penelitian Marzuki et al. (2023), Karmila et al. (2020), dan Azzahra et al. (2020) yang menunjukkan bahwa NDVI berkorelasi kuat dengan kerapatan vegetasi, biomassa, dan kondisi kesehatan ekosistem.

KESIMPULAN

Ekosistem mangrove Pulau Lancang memiliki potensi tinggi dalam menyerap

dan menyimpan karbon dengan biomassa 1.361,88 ton/ha, stok karbon 168,48 ton/ha, dan kerapatan tegakan 0,97 individu/m². Analisis regresi menunjukkan korelasi kuat antara NDVI dengan biomassa dan cadangan karbon, sehingga NDVI dapat digunakan sebagai indikator efektif untuk estimasi dan pemantauan karbon mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, N. S., Paputungan, M. S., Rustam, A., & Haditomo, A.H.C. 2020. Estimating carbon emission and baseline for blue carbon ecosystems in indonesia. 530(1), 012030.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/530/1/012030>.
- Afifah, N., Bengen, D. G., Sunuddin, A., & Agus, S.B. 2017. Morfometri dan sebaran ukuran rajungan (*Portunus pelagicus*) di perairan Pulau Lancang, Kepulauan Seribu. Prosiding Simposium Nasional Krustasea 2017, 31–35.
- Amira, S. 2008. Pendugaan biomassa jenis *Rhizophora apiculata* Bl. di hutan mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat (Skripsi Sarjana, Institut Pertanian Bogor). Institut Pertanian Bogor.
- Ariadi, H., Linayati, L., Mardiana, T.Y., Wafi, A., & Al Ramadhani, F.M. 2025. Effect of Tidal Fluctuations on Water and Soil Quality in Shrimp Ponds. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 29 (5), 2701-2716.
- Ariadi, H., Fahrurrozi, A., & Mujtahidah, T. 2025. Economic Benefits and Energy Efficiency of Using Solar Panels Energy for Paddle Aerators in Shrimp Ponds. *ECSOFiM (Economic and Social of Fisheries and Marine Journal)*, 12(2), 187-199.
- Ariadi, H., Fahrurrozi, A., Mujtahidah, T. 2025. Analysis of energy efficiency and financial feasibility of using solar panels technology for paddle aerators in shrimp ponds. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 18(2), 1037-1045.
- Ariadi, H., Linayati, L., & Mujtahidah, T. 2025. Simulation based dynamic analysis of paddle aerator function in shrimp ponds. *Depik Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 14(4), 538-547.
- Ariadi, H., Syakirin, M.B., Mardiana, T.Y., Linayati, L., Madusari, B.D., & Wafi, A. 2025. The abundance of *Spirulina platensis* in an intensive shrimp pond based on causal loop model analysis. *Journal of Central European Agriculture*, 26(4), 905-914.
- Ariadi, H., Musa, M., Mahmudi, M., & Hertika, A.M.S. 2025. Organic material solubility and dynamic modelling analysis of intensive shrimp farming activities in the coastal area of Pekalongan, Indonesia. *Croatian Journal of Fisheries*, 83(2), 71-85.
- Ariadi, H., Musa, M., Mahmudi, M., & Hertika, A.M.S. 2025. The waste load and carrying capacity on intensive shrimp farming: A mini review. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26(4), 323-333.
- Ariadi, H., Mardiana, T.Y., Linayati, L., Syakirin, M.B., & Madusari, B.D.

2025. Identification of plankton in the stomach of milkfish (*Chanos chanos*) seeds obtained from natural waters. *The Philippine Journal of Fisheries*, 32(1), 9-18.
- Ariadi, H., Mardiana, T.Y., & Mujtahidah, T. 2026. Paddle Aerator Carrying Capacity for Dissolved Oxygen Production in Intensive Shrimp Farming. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 30 (1), 2563-2578.
- Ariadi, H., Wafi, A., Madusari, B.D., Syakirin, M.B., Linayati, L., & Mardiana, T.Y. 2026. Assessment of Mangrove Species Composition, Biomass, and Carbon Stock Potential for Climate Change Mitigation in Pekalongan, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 16(1), 36.
- Azzahra, F. S., Suryanti, S., & Febrianto, S. 2020. Estimasi serapan karbon pada hutan mangrove Desa Bedono, Demak, Jawa Tengah. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(2), 308–315.
- Badan Standar Nasional. 2011. SNI 7724:2011. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon - Pengukuran Lapangan Untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting). Jakarta: BSN.
- DeAngelo, B., Edmonds, J., Fahey, D. and Sanderson, B. 2017. Perspective on climate change mitigation. Publications, Agencies and Staff of the U.S. Department of Commerce, 579. Available at: <https://digitalcommons.unl.edu/usdeptcommercepub/579>
- Fitrah, M.N. 2019. Dinamika perubahan stok karbon biomassa pada ekosistem mangrove menggunakan data satelit dan pengukuran karbon permukaan di Pulau Bauluang. Tesis. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Henri, H., Syafa'ati, R., & Farhaby, A.M. 2023. Estimasi Cadangan Karbon Tersimpan pada Ekosistem Hutan Mangrove di Desa Kurau Timur, Kabupaten Bangka Tengah', *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 15(1), 52–64. Doi: 10.24259/jhm.v15i1.24293.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023. Climate change 2023 synthesis report. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
- Karmila, D., Jauhari, A. & Kanti, R. 2020. Estimasi nilai cadangan karbon menggunakan analisis NDVI di KHDTK Universitas Lambung Mangkurat', *Jurnal Sylva Scientiae*, 3(3), 451–459.
- Latifah, N., Ningsih, N.S., Kartadikaria, A.R., Wirasatriya, A., Febrianto, S., Adi, N.S. & Hamzah, F. 2023. Seagrass Blue Carbon Stock and Air–Sea CO₂ Fluxes in the Karimunjawa Islands, Indonesia during Southeast Monsoon Season. *Diversity*, 15(9), 978. Doi: 10.3390/d15090978.
- Maritza, M. 2024. Hubungan zona habitat bentik dan sebaran teripang menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) di Pulau Lancang. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Marzuki, M., Nurdin, N., Yasir, I., Mashoreng, S. & Selamat, M.B.

2023. Estimasi Stok Karbon Biomassa pada Ekosistem Mangrove Menggunakan Data Satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara. *Majalah Ilmiah Globë*, 25(1), 63–76.
- Najamuddin, I., Tahir, M.I., Pujiati, Z. & Harahap, A. 2023. Estimation of carbon storage of tropical mangroves in the North Maluku Islands region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1289, 012008.
- Oktaviona, S., Amin, B., & Ghalib, M. 2017. Estimasi Stok Karbon Tersimpan pada Ekosistem Hutan Mangrove di Jorong Ujuang Labuang Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau*, 4(2), 1–11.
- Priyanto, B.P.J. 2022. Monitoring luasan dan kerapatan mangrove dengan menggunakan satelit Landsat di Pulau Lancang, Kepulauan Seribu. Skripsi Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Rakhmawati, M. 2012. Hubungan biomassa penutup lahan dengan indeks vegetasi di Kabupaten Mamuju Utara. *Globe*, 14(2), 157–169.
- Ramadhan, D., & Samadi, S. 2024. Identifikasi Mangrove untuk Pengembangan Ekowisata di Pulau Lancang Besar, Kabupaten Kepulauan Seribu, DKI Jakarta.
- Sastraantara, M.S. 2023. Pemetaan sebaran bulu babi (Echinoidea) dan habitat bentik menggunakan drone di perairan Pulau Lancang, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Skripsi, Institut Pertanian Bogor.
- Widayat, W. 2018. Pengolahan air payau menggunakan teknologi membran sistem osmosa balik sebagai alternatif pemenuhan kebutuhan air minum masyarakat kepulauan seribu. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3), 244642. doi: 10.29122/JAI.V1I3.2354.
- Winarso, G., Vetrita, 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: 10.30536/j.ijreses.2015.v12.a2687
- Yanuar, F., Samadi & Muzani. 2023. Penyerapan blue carbon di ekosistem mangrove Kepulauan Seribu, DKI Jakarta berbasis environment equity. *JIIP (Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan)*, 6(12), 10430–10437.

