

Penerapan Aplikasi Primer 7 untuk Analisis Keanekaragaman dan Penyerapan Karbon oleh Vegetasi Mangrove di Terminal Teluk Lamong

Sophia Alvin Nurina, Yulia Masladen, Tuhu Agung Rachmanto*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: tuhuagung@gmail.com

Diterima: 6 November 2025

Disetujui: 17 November 2025

Abstract

Mangrove vegetation plays a crucial role in absorbing carbon dioxide (CO₂) and supporting the sustainability of coastal ecosystems. Terminal Teluk Lamong (TTL), as a strategic port area, has developed mangrove conservation initiatives to support carbon emission mitigation efforts. This study aims to analyze the diversity, biomass, carbon stock, and carbon absorption capacity of mangrove vegetation at TTL using the PRIMER 7 Application. The analysis of mangrove vegetation diversity through PRIMER 7 revealed variations among observation stations at Terminal Teluk Lamong. Station 1 contained four species with a moderate diversity index ($H' = 1.187$) and high evenness ($J' = 0.8566$). Station 2 had three species with $H' = 0.826$, indicating dominance by certain species. Station 3 showed the highest diversity, with six species and $H' = 1.307$. Overall, the H' values ranging from 0.8–1.3 indicate moderate diversity and a relatively stable mangrove community. In addition, the carbon absorption capacity reached 1,875,955.85 kg CO₂/ha, reflecting the high potential of mangrove vegetation in carbon sequestration. The findings highlight the effectiveness of mangroves as a natural carbon sink, which not only contributes to CO₂ absorption but also supports coastal ecosystem stability and environmental sustainability within the port area.

Keywords: *mangrove, biomass, carbon stock, carbon absorption, primer 7 application, terminal teluk lamong*

Abstrak

Vegetasi mangrove memiliki peran penting dalam menyerap karbon dioksida (CO₂) dan mendukung keberlanjutan ekosistem pesisir. Terminal Teluk Lamong (TTL), sebagai kawasan pelabuhan strategis, telah mengembangkan konservasi mangrove untuk mendukung mitigasi emisi karbon. Penelitian ini bertujuan menganalisis keanekaragaman, biomassa, stok karbon, dan serapan karbon vegetasi mangrove di TTL dengan dukungan Aplikasi PRIMER 7. Analisis keanekaragaman vegetasi mangrove menggunakan Aplikasi PRIMER 7 menunjukkan variasi antar stasiun di Terminal Teluk Lamong. Stasiun 1 memiliki 4 spesies dengan indeks keanekaragaman sedang ($H' = 1,187$) dan keseragaman tinggi ($J' = 0,8566$). Stasiun 2 memiliki 3 spesies dengan $H' = 0,826$, menunjukkan dominansi spesies tertentu. Stasiun 3 memiliki 6 spesies dengan $H' = 1,307$, menunjukkan keanekaragaman tertinggi. Secara keseluruhan, nilai H' berkisar 0,8–1,3 mengindikasikan keanekaragaman sedang dan komunitas mangrove yang relatif stabil. Selain itu, kemampuan serapan karbon mencapai 1.875.955,85 kg CO₂/ha yang mencerminkan kapasitas tinggi vegetasi mangrove dalam menyerap karbon. Dari hasil analisis, efektivitas mangrove sebagai *carbon sink* alami, yang tidak hanya berkontribusi pada penyerapan CO₂ tetapi juga mendukung stabilitas ekosistem pesisir dan keberlanjutan lingkungan pelabuhan.

Kata Kunci: *mangrove, biomassa, stok karbon, penyerapan karbon, aplikasi primer 7, terminal teluk lamong*

1. Pendahuluan

Ekosistem mangrove dikenal sebagai salah satu penyerap karbon biru (*blue carbon*) paling efisien di kawasan pesisir tropis, karena kemampuan vegetasi dan sedimennya menyimpan karbon dalam jumlah besar dibandingkan ekosistem daratan lainnya (Kauffman et al., 2014). Studi menunjukkan bahwa biomassa atas-tanah mangrove dan stok karbonnya sangat bervariasi antar lokasi, namun secara umum nilai-nya signifikan dalam rangka mitigasi perubahan iklim (Wirasatriya et al., 2022).

Menurut FAO, 2020, sekitar 24% atau sekitar 3,3 juta hektar dari total mangrove dunia berada di Indonesia, fungsi tersebut memiliki arti strategis dalam menekan emisi gas rumah kaca dan mendukung target *net zero emission* nasional. Potensi besar ini menjadikan mangrove berperan strategis dalam

mendukung target *net zero emission* nasional melalui peningkatan kapasitas penyerapan karbon (Kementerian LHK, 2022). Namun, aktivitas antropogenik seperti reklamasi dan pembangunan pelabuhan dapat mengubah struktur dan fungsi ekosistem mangrove, termasuk di kawasan Terminal Teluk Lamong (TTL) yang merupakan pelabuhan modern berkonsep ramah lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan kajian ilmiah untuk mengetahui tingkat keanekaragaman dan kemampuan serapan karbon vegetasi mangrove di kawasan tersebut.

Analisis keanekaragaman dan struktur komunitas mangrove membutuhkan pendekatan statistik multivariat agar pola ekologi dapat diinterpretasikan secara menyeluruh. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah PRIMER 7 (*Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research*), yang mampu melakukan analisis kemiripan, *cluster analysis*, dan *non-metric multidimensional scaling* (nMDS) untuk menentukan kesamaan antarstasiun dan faktor yang memengaruhi struktur komunitas (Clarke & Gorley, 2015). Melalui aplikasi ini, hubungan antara keanekaragaman spesies dapat dianalisis sehingga menghasilkan gambaran ekologis yang lebih komprehensif. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keanekaragaman vegetasi mangrove di Terminal Teluk Lamong menggunakan Aplikasi PRIMER 7, serta menghitung serapan karbon vegetasi mangrove.

2. Metode Penelitian

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Terminal Teluk Lamong (TTL), Surabaya, Jawa Timur, Indonesia. TTL dipilih sebagai lokasi penelitian karena kombinasi antara aktivitas pelabuhan yang tinggi dan keberadaan mangrove yang signifikan, sehingga memungkinkan evaluasi kapasitas penyerapan karbon dalam konteks *green port*. Penentuan lokasi pengamatan dilakukan dengan mempertimbangkan keberadaan vegetasi mangrove yang telah ditanam dan berada di luar area pengembangan terminal. Pengambilan data dilakukan selama kurun waktu 1 bulan, yakni bulan Mei 2025, yang mewakili musim kemarau dengan kondisi perairan relatif stabil. Tiga stasiun pengamatan mangrove yang ditetapkan, meliputi:

- Stasiun 1, (7°12'13.76"S 112°40'3.04"E);
- Stasiun 2 (7°11'36.14"S 112°40'31.69"E); dan
- Stasiun 3 (7°11'51.59"S 112°40'34.19"E).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat dan Bahan

Untuk mendukung keberhasilan penelitian, digunakan beberapa alat, yaitu meteran untuk membuat plot (transek) dan mengukur diameter pohon, kompas untuk menentukan arah transek, GPS untuk menentukan titik koordinat sampel, pita penanda untuk menandai ukuran, serta lembar pencatatan dan alat tulis. Objek penelitian adalah tegakan pohon.

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk mengukur biomassa, stok karbon, dan serapan karbon vegetasi mangrove. Inventarisasi vegetasi dilakukan dengan metode transek garis dengan kuadrat, 3 kuadrat (masing-masing 10x10 m) untuk mencatat jumlah individu, jenis spesies, dan diameter batang pohon. Data ini digunakan sebagai dasar estimasi biomassa dan stok karbon. Pada setiap plot, seluruh individu mangrove diidentifikasi hingga tingkat spesies. Data yang dicatat meliputi jumlah individu, diameter batang. Indeks keanekaragaman dihitung dengan Indeks *Shannon-Wiener* (H'), Indeks Kemeragaman (E), dan Indeks Dominansi *Simpson* (D) melalui aplikasi Primer 7.

Biomassa dihitung menggunakan persamaan alometrik spesifik mangrove yang dikembangkan Komiyama, *et al.* dalam jurnal ‘Estimasi Karbon Biomassa Atas Mangrove pada Ekosistem Mangrove di Pesisir Desa Bakau Besar dan Bakau Kecil Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat’ oleh Imam *et al.*, (2024),

$$B=0,251 \times \rho \times D^{2,46}$$

dengan B = biomassa (kg), ρ = densitas kayu (g/cm^3), dan D = diameter pohon (cm).

Kandungan karbon ditentukan dengan mengalikan biomassa dengan faktor konversi 0,46 (Kauffman & Donato, 2012). Total karbon per hektar kemudian diekstrapolasi sesuai luas area penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

Kawasan Terminal Teluk Lamong (TTL) merupakan pelabuhan modern berbasis lingkungan yang berlokasi di pesisir barat Surabaya. Sebagai bagian dari pengembangan Pelabuhan Tanjung Perak, kawasan ini berada di zona pesisir yang memiliki potensi besar untuk pengembangan vegetasi mangrove. Upaya konservasi dilakukan sebagai bagian dari strategi mitigasi lingkungan dan pengendalian emisi karbon yang timbul dari aktivitas pelabuhan.

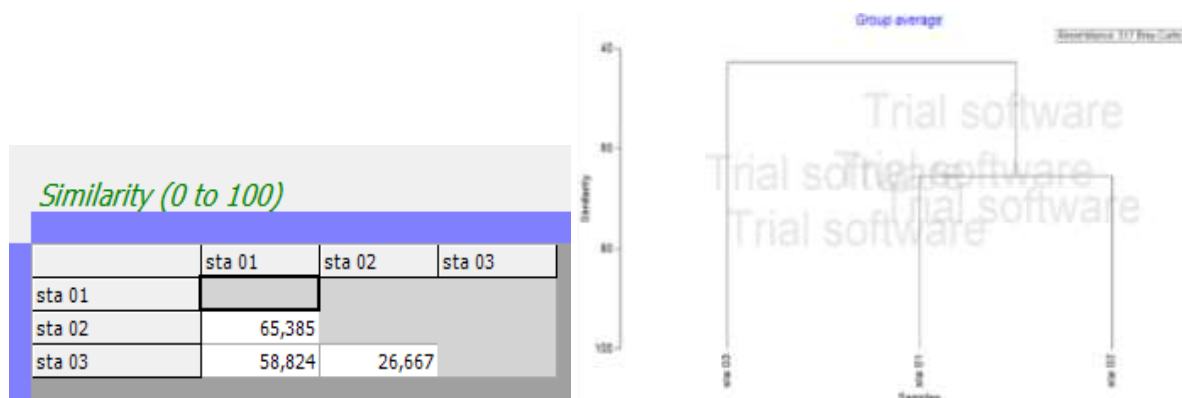
Mangrove di kawasan TTL tumbuh pada area dengan tingkat salinitas sedang hingga tinggi dan substrat berlumpur, yang sesuai untuk pertumbuhan spesies seperti *Avicennia alba*, *Rhizophora mucronata*, dan *Sonneratia alba*. Keberadaan vegetasi ini tidak hanya berperan sebagai penahan abrasi dan perangkap sedimen, tetapi juga berfungsi penting sebagai penyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer dan menyimpan karbon dalam jangka panjang di sedimen (Alongi, 2014).

Tabel 1. Spesies pada Mangrove Terminal Teluk Lamong

Spesies	Jumlah individu (per plot)		
	Sta 01	Sta 02	Sta 03
<i>Avicennia alba</i>	12	9	5
<i>Avicennia Marina</i>	1	0	1
<i>Rhizophora Mucronata</i>	9	1	12
<i>Sonneratia caseolaris</i>	7	13	0
<i>Aegiceras corniculatum</i>	0	0	1
<i>Acanthus ilicifolius</i>	0	0	2
<i>Xylocarpus moluccensis</i>	0	0	1
Total	29	23	22

Sumber: Data Penelitian (2025)

Data menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di tiga stasiun penelitian terdiri atas tujuh spesies utama, yaitu *Avicennia alba*, *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia caseolaris*, *Aegiceras corniculatum*, *Acanthus ilicifolius*, dan *Xylocarpus moluccensis*. Total kerapatan individu per hektar pada masing-masing stasiun adalah 2.900 (Stasiun 1), 2.300 (Stasiun 2), dan 2.200 (Stasiun 3), yang menunjukkan bahwa Stasiun 1 memiliki kerapatan tertinggi. Kerapatan vegetasi mangrove yang tinggi umumnya mencerminkan kondisi ekosistem yang masih baik dengan proses regenerasi alami yang aktif (Alongi, 2014; Rahmawati *et al.*, 2021). Hal ini juga sejalan dengan temuan Murdiyarso *et al.* (2015), yang menyatakan bahwa tingkat kerapatan dan keanekaragaman spesies mangrove berpengaruh langsung terhadap kemampuan ekosistem dalam menyerap karbon dan mempertahankan stabilitas ekologisnya.



Gambar 2. Indeks Kemiripan dan Pengelompokan
Sumber: data Penelitian (2025)

Berdasarkan hasil analisis dengan Primer 7, tingkat kemiripan komunitas vegetasi di lokasi penelitian menunjukkan variasi yang cukup nyata, dengan rentang nilai antara 26,667% hingga 65,385%. Nilai tertinggi diperoleh antara Stasiun 01 dan 02, yaitu 65,385%. Sedangkan nilai kemiripan antara Stasiun 01 dengan 03 (58,824%) serta antara Stasiun 02 dengan 03 (26,667%). Ketiganya menunjukkan tingkat kesamaan yang rendah. Nilai yang berada di bawah ambang batas 75% ini mengindikasikan adanya perbedaan komposisi vegetasi yang cukup signifikan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh variasi faktor ekologi, seperti perbedaan kelembapan tanah, intensitas cahaya, atau tingkat gangguan antropogenik di masing-masing stasiun. Perbedaan komunitas antar stasiun penelitian merupakan hal yang umum terjadi dalam ekosistem alami, termasuk ekosistem mangrove. Komunitas merupakan kumpulan populasi dari berbagai spesies yang hidup bersama pada waktu dan tempat tertentu serta saling berinteraksi. Struktur komunitas dipengaruhi oleh faktor biotik (persaingan, dominansi, interaksi predator–mangsa) dan faktor abiotik (salinitas, ketersediaan nutrisi, pasang surut, tekstur sedimen, cahaya, suhu) (Alongi, 2014).

Pada gambar di atas terlihat bahwa setiap stasiun pengamatan saling terhubung oleh garis yang membentuk pola grafik tertentu, dengan nilai indeks kemiripan komunitas ditampilkan pada sumbu kiri untuk mempermudah interpretasi hasil. Berdasarkan pengamatan, Stasiun 3 menunjukkan nilai indeks kemiripan terendah dibandingkan stasiun lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa komunitas vegetasi pada Stasiun 3 memiliki komposisi spesies yang berbeda secara signifikan dari stasiun lain, menandakan adanya karakteristik ekosistem yang khas dan tingkat heterogenitas yang tinggi. Fenomena ini sesuai dengan pandangan bahwa rendahnya nilai kemiripan mencerminkan perbedaan kondisi lingkungan dan adaptasi ekologis spesifik pada setiap lokasi (Legendre & Legendre, 2012; Clarke & Warwick, 2014; Alongi, 2015).

Sample	S	N	d	J'	H' (Loge)	1-Lambda'
sta 01	4	2900	0,3763	0,8566	1,187	0,6732
sta 02	3	2300	0,2584	0,7518	0,826	0,5257
sta 03	6	2200	0,6497	0,7294	1,307	0,6367

Gambar 3. Indeks Keanekaragaman
Sumber: data Penelitian (2025)

Stasiun 1 memperlihatkan struktur komunitas mangrove yang cukup beragam dengan ditemukannya empat spesies dan total individu sebanyak 2.900. Nilai kelimpahan rendah (0,3763) menandakan distribusi individu antar spesies belum sepenuhnya seimbang, meskipun satu atau dua spesies tampak lebih dominan. Namun demikian, indeks kemerataan yang tinggi (0,8566) menunjukkan distribusi yang relatif merata antar spesies. Kombinasi ini menghasilkan nilai keanekaragaman sedang ($H' = 1,187$), yang mencerminkan kestabilan komunitas dan peran penting stasiun ini dalam menjaga keseimbangan ekologis ekosistem mangrove.

Stasiun 2, dengan tiga spesies dan total individu 2.300, menunjukkan struktur komunitas yang lebih sederhana. Nilai kelimpahan (0,2584) dan kemerataan tinggi (0,7518) menggambarkan bahwa tidak ada spesies yang sangat dominan. Meski demikian, nilai keanekaragaman ($H' = 0,826$) berada pada kategori rendah–sedang, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh sedikitnya jumlah spesies. Secara ekologis, komunitas pada stasiun ini tetap stabil meski memiliki kompleksitas yang lebih rendah dibanding stasiun lainnya.

Stasiun 3 memiliki karakteristik paling beragam dengan enam spesies dan total 2.200 individu. Nilai kelimpahan yang relatif tinggi (0,6497) menunjukkan adanya spesies dominan, tetapi kemerataan sedang (0,7294) mengindikasikan distribusi yang masih cukup seimbang antarspesies. Nilai indeks keanekaragaman ($H' = 1,307$) termasuk kategori sedang–tinggi, menunjukkan kondisi ekosistem yang kompleks dan lebih resilien terhadap tekanan lingkungan.

Berdasarkan nilai kekayaan spesies (S), Stasiun 3 memiliki keanekaragaman tertinggi (6 spesies, $d = 0,6497$), sedangkan Stasiun 2 menunjukkan kekayaan terendah (3 spesies, $d = 0,2584$). Tingginya kekayaan spesies umumnya mencerminkan kondisi lingkungan yang relatif stabil dengan ketersediaan

habitat yang lebih beragam untuk mendukung pertumbuhan vegetasi mangrove (Magurran & McGill, 2011; Alongi, 2015). Nilai *evenness* (J') tertinggi terdapat di Stasiun 1 (0,8566), yang menunjukkan distribusi individu antarspesies yang lebih seimbang, sedangkan nilai J' di Stasiun 3 (0,7294) lebih rendah akibat dominasi oleh spesies tertentu. Hal ini sejalan dengan temuan terbaru bahwa penurunan keseragaman (*evenness*) sering dikaitkan dengan adanya tekanan ekologis atau adaptasi kompetitif dari spesies dominan dalam suatu komunitas (Hillebrand et al., 2018; Mori et al., 2018).

Indeks keanekaragaman *Shannon–Wiener* (H') tertinggi tercatat di Stasiun 3 (1,307), yang menunjukkan bahwa komunitas vegetasi di lokasi tersebut memiliki struktur yang relatif stabil dan tidak didominasi oleh satu spesies tertentu. Sebaliknya, Stasiun 2 memiliki nilai H' terendah (0,826), mengindikasikan bahwa komunitasnya lebih sensitif terhadap gangguan lingkungan serta memiliki tingkat kestabilan ekosistem yang lebih rendah. Nilai dominansi *Simpson* ($1-\lambda$) tertinggi pada Stasiun 1 (0,6732) menandakan struktur komunitas yang seimbang dengan distribusi individu antarspesies yang merata, sedangkan nilai terendah pada Stasiun 2 (0,5257) menunjukkan adanya dominasi spesies tertentu. Pola ini sesuai dengan temuan penelitian terbaru bahwa nilai *Shannon–Wiener* dan *Simpson* dapat menjadi indikator yang efektif dalam menilai ketahanan ekologis dan tekanan antropogenik pada ekosistem mangrove (Magurran & McGill, 2011; Ricotta et al., 2014; Hillebrand et al., 2018).

Data cadangan karbon diperoleh melalui pengukuran langsung pada setiap vegetasi sampel dengan menerapkan metode sampling tanpa pemanenan. Metode ini dilaksanakan tanpa melakukan penebangan atau pemanenan vegetasi, melainkan melalui pengukuran parameter-parameter tertentu, seperti tinggi pohon (apabila diperlukan dalam algoritma perhitungan) dan diameter batang. Data hasil pengukuran tersebut kemudian dianalisis menggunakan persamaan alometrik untuk memperkirakan biomassa. Penentuan jumlah sampel yang diukur didasarkan pada nilai kerapatan jenis masing-masing vegetasi. Adapun data hasil pengukuran yang diperoleh disajikan sebagai berikut:

Tabel 2. Serapan Karbon Mangrove TTL

Spesies	Nama Indonesia	Famili	Jumlah Individu	Biomassa Magrove	Stok Karbon	Serapan Karbon per Ha
<i>Avicennia alba</i>	Api – Api	Avicenniaceae	2600	361.601,65	169.952,78	623.726,69
<i>Avicennia Marina</i>	Api -Api Putih	Avicenniaceae	200	99.550,07	46.788,53	171.713,92
<i>Rhizophora mucronata</i>	Tanjung Lanang	Rhizophoraceae	2200	277.484,67	130.417,80	478.633,31
<i>Sonneratia caseolaris</i>	Bogem	Sonneratiaceae	2000	120.108,19	56.450,85	207.174,61
<i>Aegiceras corniculatum</i>	Gedangan	Verbenaceae	100	124.207,95	58.377,74	214.246,30
<i>Acanthus ilicifolius</i>	Jeruju	Meliaceae	200	1.480,11	695,65	2.553,04
<i>Xylocarpus moluccensis</i>	Nyiri	Avicenniaceae	100	103.141,03	48.476,29	177.907,97
Total			7400	1.087.573,68	511.159,63	1.875.955,85

Sumber: Data Penelitian (2025)

Nilai biomassa total mangrove mencapai 1.087.573,68 kg/ha, dengan stok karbon sebesar 511.159,63 kg/ha dan serapan karbon sebesar 1.875.955,85 kg CO₂/ha. Berdasarkan kontribusi per spesies, *Avicennia alba* memiliki biomassa tertinggi, yaitu 361.601,65 kg/ha, diikuti oleh *Rhizophora mucronata* (277.484,67 kg/ha) dan *Sonneratia caseolaris* (120.108,19 kg/ha). Spesies lain seperti *Xylocarpus moluccensis*, *Aegiceras corniculatum*, *Avicennia marina*, dan *Acanthus ilicifolius* memiliki kontribusi yang lebih kecil terhadap total karbon, tetapi tetap berperan penting dalam mempertahankan keanekaragaman dan fungsi ekologis mangrove.

Nilai serapan karbon yang tinggi, yaitu mencapai 1,87 juta kg CO₂/ha, menegaskan peran ekosistem mangrove TTL sebagai *carbon sink* alami yang signifikan. Nilai ini sejalan dengan hasil penelitian Murdiyarso et al. (2015) yang menyatakan bahwa ekosistem mangrove di Indonesia mampu menyerap karbon 3–5 kali lebih besar dibandingkan hutan daratan tropis. Dengan demikian, keberadaan mangrove di kawasan pelabuhan seperti TTL tidak hanya berfungsi sebagai penyangga ekologis, tetapi juga berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon dioksida atmosfer.

Korelasi positif terlihat antara nilai keanekaragaman (H') dengan total biomassa dan stok karbon. Stasiun dengan keanekaragaman tinggi, seperti Stasiun 3, juga menunjukkan nilai biomassa dan serapan

karbon yang signifikan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Donato et al. (2011) dan Alongi (2012), yang menegaskan bahwa ekosistem mangrove yang lebih beragam secara struktural memiliki tingkat penyerapan karbon lebih tinggi karena kombinasi berbagai spesies memungkinkan pemanfaatan ruang, cahaya, dan nutrisi yang lebih efisien. Hubungan antara keanekaragaman dan kapasitas penyerapan karbon di kawasan Terminal Teluk Lamong menunjukkan bahwa peningkatan jumlah spesies dan keseragaman komunitas dapat memperkuat fungsi ekosistem sebagai penyerap karbon alami (*carbon sink*).

4. Kesimpulan

Hasil analisis menggunakan Aplikasi PRIMER 7 menunjukkan bahwa keanekaragaman vegetasi mangrove di Terminal Teluk Lamong berada pada kategori sedang dengan nilai indeks H' berkisar antara 0,826–1,307 dan keseragaman (J') relatif tinggi. Kondisi ini mengindikasikan komunitas mangrove yang stabil dan tidak didominasi oleh satu spesies. Stasiun 3 memiliki keanekaragaman tertinggi dengan enam spesies, sedangkan Stasiun 2 menunjukkan struktur komunitas paling sederhana.

Dari sisi potensi ekologi, total biomassa mangrove mencapai 1.087.573,68 kg/ha, dengan stok karbon sebesar 511.159,63 kg/ha dan serapan karbon sebesar 1.875.955,85 kg CO₂/ha. Spesies *Avicennia alba* dan *Rhizophora mucronata* memberikan kontribusi terbesar terhadap total karbon. Secara keseluruhan, keanekaragaman yang seimbang berperan penting dalam meningkatkan kapasitas penyerapan karbon, menegaskan bahwa ekosistem mangrove di Terminal Teluk Lamong merupakan *carbon sink* alami yang efektif dalam mendukung mitigasi perubahan iklim dan menjaga keberlanjutan lingkungan pelabuhan.

5. Referensi

- [1] J. B. Kauffman, C. Heider, T. G. Cole, K. A. Dwire, and D. C. Donato, "Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests," *Wetlands*, vol. 34, no. 3, pp. 445–458, 2014.
- [2] A. Wirasatriya, T. Wahyudi, and A. Irawan, "Estimasi stok karbon ekosistem mangrove di wilayah pesisir tropis Indonesia," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 1, pp. 45–57, 2022.
- [3] Food and Agriculture Organization (FAO), *The World's Mangroves 2020: Status, Trends and Policy Implications*, Rome, 2020.
- [4] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), *Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove dan Blue Carbon dalam Mendukung Target Net Zero Emission*, Jakarta, 2022.
- [5] K. R. Clarke and R. N. Gorley, *PRIMER v7: User Manual/Tutorial*, PRIMER-E Ltd., Plymouth, 2015.
- [6] K. Imam, T. Nuraya, and E. M. Harfindha, "Estimasi Karbon Biomassa Atas Mangrove pada Ekosistem Mangrove di Pesisir Desa Bakau Besar dan Bakau Kecil Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat," *Jurnal Laut Khatulistiwa*, vol. 7, no. 3, pp. 151–157, 2024, doi: 10.26418/lkuntan.v7i3.82392.
- [7] J. B. Kauffman and D. C. Donato, *Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests*, Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia, 2012.
- [8] D. M. Alongi, "Carbon cycling and storage in mangrove forests," *Annual Review of Marine Science*, vol. 6, pp. 195–219, 2014.
- [9] F. Rahmawati, H. Siregar, and D. A. Purwanti, "Struktur komunitas dan kepadatan mangrove di pesisir Kabupaten Indramayu, Jawa Barat," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, vol. 13, no. 2, pp. 467–478, 2021.
- [10] D. Murdiyarso, J. Purbopuspito, J. B. Kauffman, M. Warren, S. D. Sasmito, D. Donato, and S. Kurnianto, "The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation," *Nature Climate Change*, vol. 5, pp. 1089–1092, 2015.
- [11] P. Legendre and L. Legendre, *Numerical Ecology*, 3rd English ed., Amsterdam: Elsevier, 2012.
- [12] K. R. Clarke and R. M. Warwick, *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, 3rd ed., Plymouth: PRIMER-E, 2014.
- [13] D. M. Alongi, "Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 156, pp. 1–7, 2015.
- [14] A. E. Magurran and B. J. McGill, *Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment*, Oxford: Oxford University Press, 2011.
- [15] H. Hillebrand, D. M. Bennett, and M. W. Cadotte, "Consequences of dominance: A review of evenness effects on local and regional ecosystem processes," *Ecology*, vol. 99, no. 10, pp. 2233–2245, 2018.

- [16] A. S. Mori, F. Isbell, and R. Seidl, “ β -diversity, community assembly, and ecosystem functioning,” *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 33, no. 7, pp. 549–564, 2018.
- [17] C. Ricotta, F. de Bello, M. Moretti, M. Caccianiga, B. E. Cerabolini, and S. Pavoine, “Measuring the functional redundancy of biological communities: A quantitative guide,” *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 5, no. 7, pp. 632–641, 2014.
- [18] D. C. Donato, J. B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurnianto, M. Stidham, and M. Kanninen, “Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics,” *Nature Geoscience*, vol. 4, no. 5, pp. 293–297, 2011.
- [19] D. M. Alongi, “Carbon sequestration in mangrove forests,” *Carbon Management*, vol. 3, no. 3, pp. 313–322, 2012.