



Research Article

OPEN ACCESS

Analysis of Biomass and Carbon Absorption Potential in Jogging Track Ecotourism of Patuguran Mangrove Tourism Rejoso Pasuruan and Its Potential as a Class 10 Biology Learning Resource

Analisis Biomassa dan Potensi Serapan Karbon pada Ekowisata Jogging Track Wisata Mangrove Patuguran Rejoso Pasuruan serta Potensinya sebagai Sumber Belajar Biologi Kelas X

Izzatun Nuriyah^{1*}, Reza Ardiansyah², Shaddiqah Munawarah Fauziah³

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Biologi/Fakultas Ilmu Pendidikan/Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia.

*Corresponding author: izzanuri01@gmail.com

Article Information	ABSTRACT
Submitted: 16-11-2025 Accepted: 23-11-2025 Published: 01-12-2025	<p>Increased carbon dioxide (CO₂) emissions due to human activities pose a serious threat to the global climate balance. Mangrove forests have a high capacity to absorb and store carbon, but this potential is often not fully utilized, both in environmental management and in the context of education. This study aims to analyze the potential of biomass and carbon absorption in the Patuguran Mangrove Tourism Jogging Track Ecotourism area, Rejoso, Pasuruan, and examine its use as a resource for learning biology class X based on local potential. This study uses a type of mixed method research that combines quantitative and qualitative approaches. The biomass measurement method is carried out non-destructively using allometric equations. The determination of the location of the sample was carried out by purposive sampling by making quadrant transects. The results showed that biomass was 38.44 tons/ha, with a carbon stock of 18.07 tons/ha, and a potential CO₂ absorption of 56.39 tons/ha. This figure is relatively low when compared to the IPCC carbon stock reference value in mangroves in the tropics, indicating that carbon storage capacity is not optimal and the need to improve ecosystem quality. The results of the identification of the relationship between the results of the research on biomass analysis and carbon absorption potential in the Patuguran Mangrove Tourism Jogging Track Ecotourism Ecotourism, Rejoso, Pasuruan with biology learning are found in the material Environmental Change class X in the Phase E element.</p> <p>Keywords: Biomass, Carbon, Mangrove, Local Potential.</p>
Publisher	How to Cite
Biology Education Department Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, Indonesia	Nuriyah I., Ardiansyah R., & Fauziah S. M. (2025). Analisis Biomassa dan Potensi Serapan Karbon pada Ekowisata <i>Jogging Track</i> Wisata Mangrove Patuguran Rejoso serta Potensinya sebagai Sumber Belajar Biologi Kelas X. <i>Bromopedia Jurnal Eksplorasi Pendidikan Biologi</i> , 1(2); 203-217.



Pendahuluan

Hutan mangrove adalah ekosistem khas pesisir yang tumbuh di daerah pasang surut dengan kondisi ekstrem seperti tanah berlumpur, salinitas tinggi, dan genangan air laut. Vegetasi ini mampu beradaptasi secara morfologis dan fisiologis, umumnya tumbuh berkelompok dengan sistem perakaran kuat (Ngidu *et al.*, 2023; Heriyanto & Subiandono, 2016). Salah satu peran vital mangrove adalah menyerap CO₂ melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam biomassa serta tanah, bahkan mampu menyimpan karbon hingga dua kali lebih besar dibanding hutan daratan (Dinilhuda *et al.*, 2018). Hal ini menjadikan mangrove sebagai bagian dari ekosistem karbon biru (*Blue Carbon Ecosystem/BCE*), yang berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim, dengan kapasitas simpan karbon jangka panjang yang tinggi (Aliman & Yudiasih, 2020). Oleh karena itu, pelestarian dan pemanfaatan mangrove sebagai penyerap karbon menjadi langkah strategis dalam pengendalian pemanasan global.

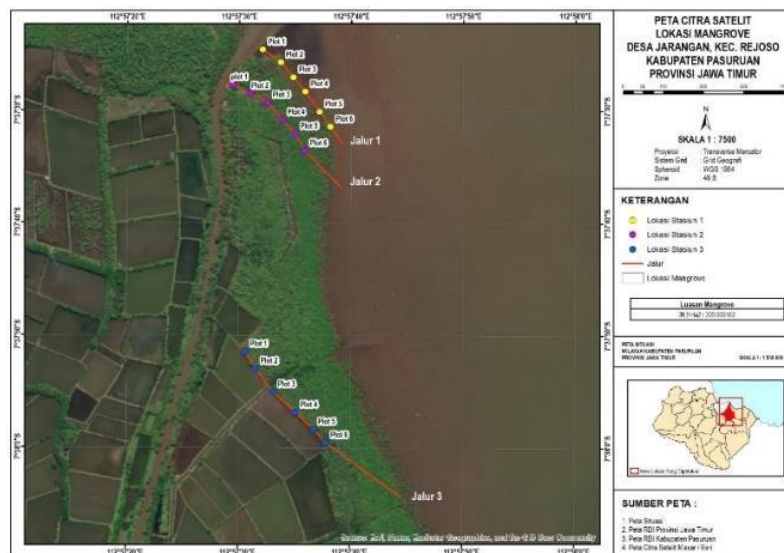
Indonesia merupakan negara dengan kawasan mangrove terluas di dunia, termasuk di Kabupaten Pasuruan yang memiliki luas mangrove mencapai 5.507.111 m². Wilayah ini tersebar di lima kecamatan pesisir, Salah satunya di Kecamatan Rejoso terdapat ekowisata Jogging Track Wisata Mangrove Patuguran (JWMP) yang dikelola Pokmaswas dan Pokdarwis sebagai area konservasi dan edukasi. Namun, sebagian kawasan telah beralih fungsi menjadi tambak dan lahan wisata, sehingga memerlukan pengelolaan dan rehabilitasi berkelanjutan. Penelitian di Pasuruan menunjukkan kemampuan serapan karbon tinggi, seperti pada *Avicennia marina* di Desa Penunggul yang mencapai 4.888 kg/ha (Wardani, 2018) dan kawasan mangrove Nguling sebesar 809,08 ton CO₂/ha (Asadi *et al.*, 2019) Namun, hingga saat ini belum ada kajian biomassa dan serapan karbon khusus di JWMP, serta potensi kawasan ini sebagai sumber belajar Biologi di sekolah sekitar belum dimanfaatkan optimal.

Madrasah Aliyah Ma'arif Rejoso belum sepenuhnya mengoptimalkan potensi lokal dalam pembelajaran Kurikulum Merdeka. Sebagian besar siswa belum mengenal ekowisata JWMP di wilayah mereka, padahal pendekatan berbasis lingkungan sekitar dinilai lebih kontekstual dan mampu meningkatkan kepedulian terhadap lingkungan. Padahal, Kurikulum Merdeka mendorong pembelajaran berbasis isu dan potensi lokal yang kontekstual serta mampu menumbuhkan kepedulian lingkungan (Jayanti *et al.*, 2017).

Melihat permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis biomassa dan potensi serapan karbon di kawasan Ekowisata *Jogging Track* Wisata Mangrove Patuguran (JWMP) sebagai salah satu bentuk kontribusi ilmiah dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Selain itu, hasil dari analisis tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi kelas X pada materi perubahan lingkungan berbasis Kurikulum Merdeka. Dengan memanfaatkan hasil penelitian ini sebagai media pembelajaran, diharapkan peserta didik dapat memahami peran penting mangrove dalam menyerap karbon serta meningkatkan kesadaran terhadap pelestarian lingkungan berbasis potensi lokal.

Material Dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode campuran (*mix method*) dengan *Embedded Design* yang menggabungkan pendekatan kualitatif dan *ex-post facto*. Wawancara kualitatif dilakukan dengan pengelola ekowisata untuk menggali informasi mengenai kondisi dan pengelolaan mangrove serta dengan guru Biologi untuk mengetahui kebutuhan pengembangan sumber belajar berbasis potensi lokal. Sedangkan pendekatan *ex-post facto* digunakan untuk menganalisis biomassa, stok karbon, dan serapan CO₂ pada ekosistem mangrove di kawasan Ekowisata *Jogging Track* Wisata Mangrove Patuguran (JWMP) Rejoso, Pasuruan dengan luas kawasan ± 30 ha. Penelitian dilaksanakan di Desa Patuguran, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Pasuruan mulai Oktober 2024 hingga Maret 2025.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2024)

Populasi penelitian mencakup seluruh vegetasi pohon mangrove yang terdapat di kawasan hutan mangrove Desa Patuguran, Rejoso, baik yang tumbuh secara alami maupun hasil rehabilitasi. Sampel diambil menggunakan teknik *purposive sampling* dengan mempertimbangkan kepadatan, jenis, dan tingkat pertumbuhan mangrove. Pengambilan data dilakukan pada tiga stasiun penelitian, masing-masing terdiri atas enam plot sehingga total terdapat 18 plot pengamatan. Ukuran plot disesuaikan dengan kategori pertumbuhan, yaitu 5 × 5 m untuk pancang, 10 × 10 m untuk tiang, dan 20 × 20 m untuk pohon.

Data dikumpulkan melalui wawancara dengan pengelola dan guru, angket siswa, pengukuran DBH pohon untuk estimasi biomassa, serta observasi parameter lingkungan. Data DBH diukur dengan *phiband*. Pengukuran Parameter lingkungan meliputi suhu udara, kelembapan, intensitas cahaya, salinitas, TDS, pH air, dan kecepatan angin, menggunakan alat sesuai jenis parameter. Data biomassa dianalisis menggunakan persamaan allometrik spesifik per spesies. Nilai biomassa dikonversi menjadi stok karbon



menggunakan faktor konversi 0,47 (Badan Standarisasi Nasional, 2019), dan serapan CO₂ dihitung dengan mengalikan biomassa dengan 1,4667 (Baharuddin *et al.*, 2014).

Perhitungan biomassa pohon mengacu pada persamaan allometrik dengan koefisien α dan b yang digunakan untuk menghitung biomassa bagian atas pohon berdasarkan spesies. Rumus perhitungan yang umum digunakan adalah $Y = \alpha \cdot D^b$, yang telah diterapkan oleh banyak peneliti sebelumnya. (Kitredge, 1994).

Tabel 1. Model Persamaan Allometrik Jenis-Jenis Mangrove

Jenis Spesies	Nama Lokal	Allometrik		Sumber
		a	b	
<i>Avicennia marina</i>	Api-api	0,1848	2,3524	Darmawan & Siregar (2008)
<i>Avicennia alba</i>	Api-api	0,079211	2,470895	Tue <i>et al.</i> , (2014)
<i>Sonneratia caseolaris</i>	Bogem	0,251	2,46	Komiyama <i>et al.</i> , (2005)
<i>Rhizophora stylosa</i>	Tinjang	0,143	2,519	Analuddin <i>et al.</i> (2020)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	Tinjang putut	0,1858	2,3055	Clough and K.Scot, (1989)

Selanjutnya, Perhitungan stok karbon pada mangrove menggunakan rumus yang mengacu pada (Badan Standarisasi Nasional, 2019) yaitu,

$$Cb = B \times \%C \text{ Organik}$$

Keterangan :

Cb = Stok karbon (kg)

B = Total Biomassa (kg)

% C Organik = Nilai persentase karbon sebesar 0,47

Perhitungan Serapan CO₂ dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Serapan CO}_2 = \text{Biomassa} \times 1,4667 \text{ (Baharuddin et al., 2014)}$$

Hasil penelitian ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber belajar biologi berbasis potensi lokal melalui proses analisis dan identifikasi terlebih dahulu. Menurut Susilo (2018), pengangkatan lingkungan sekitar sebagai sumber belajar tidak dapat dilakukan secara sembarangan, melainkan harus melalui beberapa tahapan sistematis. Tahapan tersebut meliputi: menganalisis kurikulum, yang mencakup Kompetensi Inti (KI), Kompetensi Dasar (KD), dan tujuan pembelajaran; menentukan karakteristik materi biologi yang akan diajarkan agar sesuai dengan kedalaman dan kompleksitas isi; memastikan relevansi metode pembelajaran yang dipilih dengan mempertimbangkan sifat materi tersebut; mengidentifikasi karakteristik peserta didik berdasarkan latar belakang geografis dan kondisi sosialnya; serta memastikan bahwa



lingkungan sekitar benar-benar memiliki potensi yang memadai, relevan, dan konsisten untuk dijadikan sebagai sumber belajar.

Hasil Penelitian

Jogging Track Wisata Mangrove Patuguran (JWMP) merupakan kawasan wisata alam dan edukasi di Desa Patuguran, Kecamatan Rejos, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Area ini termasuk dalam hutan mangrove seluas $\pm 30,9$ hektar yang berfungsi sebagai penahan abrasi dan dikelola oleh Pokmaswas serta Pokdarwis sejak 2017, dengan dukungan Dinas Kehutanan. Hutan mangrove JWMP berada di zona transisi darat-laut yang cocok bagi pertumbuhan mangrove.

Penelitian ini mengamati parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mangrove, meliputi pH air, salinitas, TDS, suhu dan kelembapan udara, intensitas cahaya, kecepatan angin, pH tanah, kelembapan dan suhu tanah, serta jenis substrat. Hasil pengukuran tiap stasiun disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Parameter Lingkungan

No.	Faktor Abiotik (rerata)	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
1.	pH air	7,2	6,9	6,7
2.	Salinitas (%)	27	23	13
3.	TDS (<i>Total Dissolve Solid</i>) (mg/l)	8.992	6.810	4.681
4.	Suhu Udara (°C)	33,45	29,87	30,65
5.	Kelembapan udara (%)	51,08	61,58	57,6
6.	Intensitas cahaya (lux)	7.413	2.944	2.300
7.	Kecepatan angin (m/s)	0,13	0,0	0,04
8.	pH tanah	5,01	5,01	5,2
9.	Kelembapan tanah (%)	3,6	5,5	5,04
10.	Suhu tanah (°C)	29,9	26,5	28

Berdasarkan hasil pengukuran parameter abiotik di kawasan Jogging Track Wisata Mangrove Patuguran (JWMP), diperoleh variasi antar stasiun. Nilai pH air menunjukkan tren penurunan dari Stasiun I (7,2), Stasiun II (6,9), hingga Stasiun III (6,7). Salinitas tertinggi tercatat di Stasiun I sebesar 27%, kemudian menurun di Stasiun II (23%) dan terendah di Stasiun III (13%). TDS (*Total Dissolved Solid*) menunjukkan nilai tertinggi di Stasiun I sebesar 8.992 mg/l, sedangkan Stasiun II dan III masing-masing 6.810 mg/l dan 4.681 mg/l. Suhu udara tertinggi berada di Stasiun I (33,45°C), diikuti oleh Stasiun III (30,65°C), dan terendah di Stasiun II (29,87°C). Kelembapan udara tertinggi tercatat di Stasiun II (61,58%), disusul Stasiun III (57,6%) dan Stasiun I (51,08%). Intensitas cahaya diukur tertinggi di Stasiun I (7.413 lux), lalu menurun drastis di Stasiun II (2.944 lux) dan Stasiun III (2.300 lux). Kecepatan angin cukup rendah di ketiga stasiun, dengan nilai tertinggi di Stasiun I (0,13 m/s), sedangkan Stasiun II menunjukkan tidak ada kecepatan angin (0,0 m/s), dan Stasiun III sebesar 0,04 m/s. pH tanah relatif stabil antara 5,01 hingga 5,2. Kelembapan tanah tertinggi di Stasiun II (5,5%), diikuti oleh Stasiun III (5,04%) dan terendah di Stasiun I (3,6%). Sementara itu, suhu tanah berkisar antara 26,5°C hingga



29,9°C, dengan nilai tertinggi di Stasiun I dan terendah di Stasiun II. Selanjutnya, dilakukan pengukuran biomassa, stok karbon, dan serapan CO₂ untuk mengetahui kontribusi vegetasi mangrove terhadap simpanan karbon di masing-masing stasiun.

Tabel 3. Hasil Analisis Total

No.	Nama Spesies	Nama Lokal	Jumlah	Rerata DBH (cm)	Biomassa	Stok Karbon	Serapan CO ₂
1.	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh	Api-api putih	205	12,17	25,37	11,92	37,21
2.	<i>Avicennia alba</i> Blume	Api-api Hitam	60	15,20	7,13	3,35	10,46
3.	<i>Rhizophora stylosa</i> Griff.	Tinjang	58	6,91	2,36	1,11	3,47
4.	<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam. ex Savigny	Tinjang putut	3	10,06	0,16	0,08	0,24
5.	<i>Sonneratia caseolaris</i> Griff.	Bogem	7	13,31	3,42	1,61	5,01
Total ton/ha					38,44	18,07	56,39

Berdasarkan data pada Tabel 3, hasil analisis biomassa, stok karbon, dan serapan CO₂ dari lima jenis mangrove yang diamati menunjukkan bahwa spesies *Avicennia marina* (api-api putih) memiliki jumlah individu terbanyak yaitu 205 pohon, dengan biomassa tertinggi sebesar 25,37ton/ha dan kontribusi terhadap stok karbon sebesar 11,92 ton/ha serta serapan CO₂ sebesar 37,21 ton/ha. Spesies lainnya, yaitu *Avicennia alba* (apiapi hitam) sebanyak 60 pohon, memiliki biomassa sebesar 7,13 ton/ha, stok karbon 3,35 ton/ha, dan serapan CO₂ sebesar 10,46 ton/ha. *Rhizophora stylosa* (tinjang) sebanyak 58 pohon menyumbang biomassa 2,36 ton/ha, stok karbon 1,11 ton/ha, dan serapan CO₂ 3,47 ton/ha. Sementara itu, *Bruguiera gymnorhiza* (tinjang putut) dan *Sonneratia caseolaris* (bogem) memiliki jumlah individu yang lebih sedikit, masing-masing 3 dan 7 pohon, dengan kontribusi biomassa masing-masing 0,16 ton/ha dan 3,41 ton/ha, serta stok karbon 0,07 ton/ha dan 1,6 ton/ha, dan serapan CO₂ sebesar 0,57 ton/ha dan 5,1 ton/ha.

Secara keseluruhan dari seluruh stasiun, total biomassa tercatat sebesar 38,44 ton/ha, stok karbon 18,07 ton/ha, dan serapan CO₂ 56,39 ton/ha. Dari data ini diketahui bahwa jenis *Avicennia marina* merupakan jenis yang dominan dalam kontribusi terhadap biomassa dan penyerapan karbon di lokasi pengamatan. Selain memberikan gambaran mengenai kondisi ekologi mangrove di kawasan JWMP, hasil analisis biomassa dan serapan karbon ini juga memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber



belajar kontekstual bagi peserta didik, khususnya dalam pembelajaran Biologi berbasis Kurikulum Merdeka.

Tabel 4. Hasil Analisis Potensi Sumber Belajar

No	Syarat sebagai Sumber Belajar	Keterangan
1.	Menganalisis kurikulum (CP, ATP, dan tujuan pembelajaran)	Hasil penelitian ini selaras dengan CP Fase E Kurikulum Merdeka pada materi perubahan lingkungan, yang menekankan kemampuan peserta didik merancang solusi berdasarkan isu lokal hingga global. Kajian biomassa dan serapan karbon mangrove memberi konteks nyata untuk memahami penyebab perubahan lingkungan dan peran vegetasi dalam mitigasi iklim. Tujuan pembelajaran difokuskan pada pemahaman faktor penyebab, pentingnya penyerapan karbon, dan pengembangan solusi berbasis ekologi. CP menjadi acuan umum, TP merinci tujuan spesifik, sedangkan ATP disusun bertahap sesuai perkembangan kemampuan siswa dan keterkaitannya dengan situasi nyata.
2.	Karakteristik Materi Biologi	Guru memilih materi yang dekat dengan kehidupan siswa, seperti pencemaran dan deforestasi, agar lebih mudah dipahami. Konsep biomassa dan serapan karbon yang bersifat abstrak dijelaskan secara kontekstual dan bertahap, sambil mengembangkan keterampilan ilmiah melalui analisis penyebab dan dampak masalah lingkungan. Metode allometrik dan konsep teknis seperti stok dan fluks karbon di ekosistem mangrove belum sepenuhnya dikuasai guru.
3.	Relevansi Metode Pembelajaran	Metode ceramah dipadukan dengan diskusi dan tanya jawab digunakan untuk memberikan pemahaman dasar materi perubahan lingkungan, disertai observasi lingkungan sekitar agar relevan dengan pengalaman siswa. Metode inkuiri belum diterapkan karena keterbatasan kesiapan teknis guru. Pemahaman siswa dinilai melalui tes, proyek, dan penilaian sikap, meski rubrik observasi khusus belum tersedia. Konsep biomassa dan serapan karbon disampaikan melalui studi kasus kontekstual, seperti deforestasi. Media pembelajaran masih sederhana, namun guru terbuka untuk menggunakan media digital interaktif guna mempermudah pemahaman materi yang abstrak.
4.	Karakteristik Perkembangan Siswa dan Konteks Geografis	Karakteristik peserta didik dipengaruhi latar belakang geografis, dengan kepedulian lingkungan cenderung muncul ketika dampaknya dirasakan langsung. Siswa pesisir menunjukkan kepekaan lebih tinggi karena pengalaman seperti banjir rob, sedangkan minat meningkat saat materi dikaitkan dengan kondisi nyata. Kedekatan sekolah dengan kawasan JWMP Rejoso dimanfaatkan sebagai ekosistem nyata untuk observasi dan media kontekstual, sementara keberagaman pengalaman lokal diakomodasi melalui diskusi kelas.



No	Syarat sebagai Sumber Belajar	Keterangan
5.	Potensi Sumber Belajar Lingkungan Sekitar (Relevansi, Adekuasi, Konsistensi)	<i>Jogging Track</i> Mangrove Patuguran relevan sebagai sumber belajar karena menyediakan contoh nyata di lapangan. Data biomassa dan serapan karbon sesuai untuk studi kasus lokal, terlebih dengan lokasi sekolah di kawasan industri. Pendekatan pembelajaran berbasis potensi lokal melalui ekowisata belum pernah diterapkan, sehingga menjadi inovasi yang menarik. Kendala utama adalah akses dan perizinan, sedangkan aspek lain relatif dapat diatasi. Penyajian data dalam bentuk poster digital atau modul disarankan agar materi lebih mudah dipahami dan diakses siswa.

Hasil analisis ini selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan ajar berupa infografis edukatif yang mengaitkan data hasil penelitian dengan konteks lokal JWMP dan isu global perubahan iklim, agar siswa dapat memahami penyebab, dampak, dan upaya pelestarian lingkungan secara lebih kontekstual.

Pembahasan

Parameter Lingkungan

Kondisi lingkungan abiotik merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi dinamika pertumbuhan vegetasi mangrove, termasuk dalam konteks restorasi dan pengelolaan ekosistem mangrove berbasis ekowisata. Pada penelitian ini, masing-masing stasiun pengamatan menunjukkan karakteristik lingkungan yang berbeda, mencerminkan variasi ekologi yang berpotensi memengaruhi keberhasilan rehabilitasi vegetasi mangrove.

Stasiun I yang terletak dekat laut menunjukkan karakteristik lingkungan khas zona intertidal awal, seperti nilai salinitas yang tinggi (31,1%) dan pH air netral (7,2). Kondisi ini masih berada dalam kisaran toleransi mangrove, sebagaimana dikemukakan oleh Basyuni *et al.* (2014), yang menyatakan bahwa mangrove dapat tumbuh dalam salinitas hingga 38%. Nilai *Total Dissolved Solids* (TDS) yang tinggi, yaitu 8.992 mg/l (Mustafa *et al.*, 2024) menunjukkan kemungkinan adanya intrusi air laut dan aktivitas antropogenik, seperti dijelaskan Astuti *et al.* (2024), bahwa peningkatan TDS dapat disebabkan oleh pembuangan limbah industri maupun domestik, serta faktor alami seperti dinamika pasang surut.

Sebaliknya, Stasiun II yang terletak di tengah kawasan menunjukkan parameter lingkungan yang lebih stabil dan mendukung. pH air 6,9, salinitas 23%, dan TDS 6.810 mg/L masih dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan mangrove (Widiawati *et al.*, 2023). Suhu udara yang lebih rendah (29,8°C) serta kelembapan udara yang tinggi (29,87%) menunjukkan efek dari tutupan kanopi yang rapat, yang mengurangi intensitas cahaya (2.944 lux) dan kecepatan angin (0 m/s). Hal ini mendukung teori Kuncahyo *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa vegetasi lebat mampu mereduksi cahaya, menurunkan



suhu, dan meningkatkan kelembapan di bawah kanopi. Kondisi ini berperan penting dalam menciptakan mikroklimat yang stabil bagi fisiologi mangrove.

Sementara itu, Stasiun III yang terletak jauh dari pantai, dekat permukiman, menunjukkan pH air 6,7 dan salinitas terendah (13%), mencerminkan lemahnya pengaruh air laut. Nilai TDS sebesar 4.681 mg/L tergolong wajar untuk ekosistem mangrove. Keberadaan vegetasi yang cukup rapat berpengaruh terhadap suhu udara (30,65°C), kelembapan udara (57,6%), dan intensitas cahaya yang rendah (2.300 lux). Kecepatan angin juga sangat kecil (0,04 m/s), yang memperkuat dugaan bahwa vegetasi mangrove efektif dalam meredam aliran angin (Kuncahyo *et al.*, 2020).

Dari sisi tanah, ketiga stasiun memiliki pH tanah yang cenderung asam (sekitar 5,0–5,2), kemungkinan dipengaruhi oleh proses dekomposisi bahan organik (Anwari *et al.*, 2022). Suhu dan kelembapan tanah pada masing-masing lokasi pun berkorelasi erat dengan suhu udara dan struktur vegetasi. Seperti dijelaskan oleh Asadi *et al.* (2019), suhu tanah cenderung mengikuti suhu udara karena adanya transfer panas. Secara keseluruhan, perbedaan parameter lingkungan pada masing-masing stasiun menunjukkan bahwa meskipun setiap lokasi memiliki karakteristik ekologi yang berbeda, seluruh stasiun masih berada dalam kisaran toleransi optimal bagi pertumbuhan mangrove.

Analisis Biomassa, Stok Karbon dan Potensi Serapan CO₂ Total

Berdasarkan Tabel 3, total nilai biomassa mangrove di seluruh stasiun pengamatan mencapai 38,44 ton/ha, dengan stok karbon sebesar 18,07 ton C/ha dan serapan karbon dioksida (CO₂) sebesar 56,39 ton/ha. Hasil analisis menunjukkan adanya variasi kontribusi biomassa antar spesies. Spesies *Avicennia marina* (Api-api putih) memiliki total serapan biomassa tertinggi, yakni 25,37 ton/ha, didukung oleh rata-rata diameter batang sebesar 12,17 cm dan jumlah individu sebanyak 205 pohon. Tingginya jumlah spesies *Avicennia marina* di lokasi JWMP berkontribusi terhadap besarnya kemampuan serapan karbon oleh spesies tersebut. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Ardiansyah *et al.* (2025) yang menyebutkan bahwa efektivitas penyerapan karbon dipengaruhi struktur dan komposisi vegetasi. Sebaliknya, *Avicennia alba* (api-api hitam) memiliki rata-rata diameter batang lebih besar, 15,20 cm, tetapi jumlah individu lebih sedikit. Dominasi populasi *Avicennia marina* menjadi faktor utama tingginya akumulasi biomassa spesies ini. Temuan ini sejalan dengan Syarif (2023) yang menekankan bahwa spesies dengan ukuran batang kecil namun jumlahnya banyak tetap dapat menghasilkan biomassa total yang signifikan. Hal ini menunjukkan produktivitas biomassa ditentukan tidak hanya oleh ukuran individu, tetapi juga oleh struktur komunitas dan dinamika populasi.

Jika dibandingkan dengan studi lain di wilayah Jawa Timur, hasil ini menunjukkan bahwa nilai biomassa, stok karbon, dan serapan CO₂ di kawasan ini masih tergolong lebih rendah. Misalnya, penelitian oleh Afifudin (2019) mencatat biomassa sebesar 42,8 ton/ha dan serapan CO₂ sebesar 442,97 ton/ha di Kecamatan Tongas, Kabupaten Probolinggo. Sementara itu, Adityawitari (2021) di Pantai Bahak, Tongas, mencatat stok karbon sebesar



106 ± 11,5 ton/ha dan serapan CO₂ sebesar 387 ± 42 ton/ha. Penelitian Asadi *et al.* (2019) melaporkan nilai biomassa mencapai 482,09 ± 159,57 MgB/ha dan stok karbon 226,58 ± 75 MgC/ha di wilayah Nguling dan Tongas. Perbedaan antar lokasi ini dapat disebabkan oleh variasi jenis vegetasi dominan, kerapatan tegakan, umur pohon, intensitas gangguan antropogenik, serta metode dan kedalaman pengukuran yang digunakan.

Nilai stok karbon di kawasan JWMP yang hanya mencapai 18,07 ton/ha menunjukkan kategori yang masih rendah, terutama jika dibandingkan dengan standar rata-rata *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) untuk ekosistem mangrove tropis yang mencapai 511 Mg C/ha (Kauffman *et al.*, 2020). Perbedaan yang cukup mencolok ini mengindikasikan bahwa kawasan Patuguran kemungkinan masih dalam tahap regenerasi awal atau mengalami tekanan ekologis tertentu yang berdampak pada rendahnya akumulasi karbon. Didominasi oleh tegakan kategori tiang dan pancang, struktur vegetasi di lokasi ini memberikan kontribusi yang lebih kecil terhadap akumulasi biomassa dibandingkan dengan pohon dewasa. Hal ini diperkuat oleh temuan Widyastuti *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa peningkatan biomassa umumnya terjadi pada tegakan yang lebih tua dengan ukuran batang besar. Kondisi ini memerlukan rehabilitasi dan pengelolaan jangka panjang untuk memperkuat struktur ekosistem dan kapasitas penyimpanan karbon. Perlu dicatat bahwa penelitian ini hanya mengukur *Above Ground Biomass* (AGB) tanpa mencakup *Below Ground Biomass* (BGB) dan *Soil Organic Carbon* (SOC) seperti standar IPCC, sehingga nilai yang diperoleh belum mewakili total cadangan karbon. Jika seluruh komponen tersebut diukur, kemungkinan besar total cadangan karbon akan meningkat signifikan.

Rendahnya nilai biomassa di kawasan JWMP berdampak pada penurunan kapasitas penyerapan karbon dioksida, yang pada akhirnya dapat memperburuk konsentrasi CO₂ di atmosfer dan mempercepat laju perubahan iklim. Mangrove diketahui berperan penting sebagai penyerap karbon alami, baik melalui akumulasi biomassa maupun penyimpanan karbon dalam sedimen (Bachmid *et al.*, 2018). Penurunan biomassa berdampak langsung terhadap berkurangnya fungsi ekologis tersebut (Panjaitan *et al.*, 2023).

Rehabilitasi mangrove merupakan strategi efektif untuk meningkatkan cadangan karbon di ekosistem pesisir. Pemulihan kawasan hutan dengan mempertimbangkan spesies dan kerapatan tegakan terbukti mampu meningkatkan stok karbon, sebagaimana dilaporkan Nugraha *et al.* (2020) pada studi 2007–2019 yang menunjukkan peningkatan signifikan akibat rehabilitasi konsisten. Rehabilitasi tidak hanya memperbaiki kondisi hutan, tetapi juga mengoptimalkan kapasitas ekosistem mangrove dalam menyerap emisi karbon dan menjaga stabilitas lingkungan pesisir. Pengelolaan tegakan yang mendorong peningkatan biomassa menjadi langkah penting dalam mitigasi perubahan iklim. Konservasi dan rehabilitasi mangrove turut melestarikan keanekaragaman hayati serta memperkuat fungsi ekosistem sebagai penyerap emisi karbon (Sinaga *et al.*, 2023). Menegaskan peran strategis mangrove sebagai *carbon sink* alami, terutama di wilayah pesisir yang rentan terhadap perubahan iklim.



Lebih jauh, rendahnya biomassa tidak hanya berdampak pada aspek ekologi, tetapi juga berimplikasi pada aspek sosial-ekonomi masyarakat pesisir. Ekosistem mangrove mendukung kehidupan berbagai jenis biota laut dan menjadi sumber penghidupan nelayan melalui hasil tangkapan seperti udang, ikan, dan kepiting. Jika daya dukung habitat menurun akibat degradasi biomassa, maka produktivitas perikanan pun ikut terdampak. Selain itu, masyarakat sekitar juga mengembangkan berbagai produk berbasis mangrove seperti sirup buah bogem, keripik jeruju, dan tepung tinjang putut yang diolah menjadi pangan lokal. Usaha kecil-menengah (UMKM) ini, yang sebagian besar dikelola oleh kelompok perempuan pesisir, sangat bergantung pada ketersediaan sumber daya mangrove. Oleh karena itu, rendahnya nilai biomassa dapat menjadi indikator kerentanan sosial-ekonomi masyarakat setempat (Susilowati *et al.*, 2020).

Avicennia marina menunjukkan serapan CO₂ tertinggi sebesar 37,2 ton/ha, sebanding dengan total biomassa yang dihasilkan. Adaptasinya terhadap salinitas tinggi menjadikan spesies ini efisien dalam menyerap karbon baik di atas maupun bawah tanah (Natarajan & Ayyappan, 2022). Sebaliknya, *Bruguiera gymnorhiza* memiliki kontribusi terendah, hanya 0,16 ton/ha biomassa dan 0,24 ton/ha serapan CO₂, yang dipengaruhi oleh pertumbuhan lambat, batang kecil, serta sensitivitas terhadap salinitas dan substrat (Yaqin *et al.*, 2022). Selain itu, sensitivitas tinggi terhadap salinitas dan kondisi substrat turut membatasi persebaran dan dominansi spesies ini dalam ekosistem mangrove (Rusila Noor *et al.*, 2006). Perbedaan kapasitas penyimpanan karbon juga dipengaruhi oleh massa jenis kayu; spesies berkayu padat seperti *Rhizophora stylosa* dan *B. gymnorhiza* menyimpan lebih banyak karbon per volume, namun *A. marina* tetap unggul secara total karena populasi dan laju pertumbuhannya. Adapun *Sonneratia caseolaris* dengan kayu bermassa jenis sedang, menunjukkan kapasitas penyimpanan karbon yang relatif stabil (Rahmat *et al.*, 2022).

Analisis Potensi Sumber Belajar

Hasil analisis mengenai keterkaitan antara biomassa dan potensi serapan karbon dengan pembelajaran Biologi pada Kurikulum Merdeka memiliki potensi tinggi untuk diterapkan dalam pembelajaran Biologi pada Fase E Kurikulum Merdeka. Pada fase tersebut, peserta didik dituntut untuk memiliki kemampuan menciptakan solusi atas permasalahan berdasarkan isu lokal, nasional, atau global yang berkaitan dengan pemahaman tentang perubahan lingkungan. Berdasarkan hasil wawancara, guru mitra merekomendasikan media ajar seperti poster untuk menyampaikan isu lingkungan. Namun, poster dinilai kurang efektif dalam menyajikan data kompleks seperti biomassa dan serapan karbon yang memerlukan narasi visual terstruktur. Sebagai alternatif, infografis edukatif dipilih karena mampu memadukan teks, grafik, dan data kuantitatif secara ringkas namun informatif. Sesuai dengan capaian pembelajaran pada fase tersebut, hasil penelitian tentang keterkaitan antara biomassa dan potensi serapan karbon akan dikembangkan menjadi sumber belajar dalam bentuk infografis edukatif.



Simpulan dan Saran

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis, kawasan Ekowisata Jogging Track Wisata Mangrove Patuguran (JWMP), Rejoso, Pasuruan memiliki biomassa sebesar 38,44 ton/ha, stok karbon 18,07 ton/ha, dan potensi serapan CO₂ sebesar 56,39 ton/ha. Nilai ini tergolong rendah jika dibandingkan dengan standar IPCC untuk ekosistem mangrove tropis yang mencapai sekitar 511 Mg C/ha, sehingga kapasitas JWMP dalam menyimpan karbon dan menyerap emisi masih terbatas. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan keterkaitan yang kuat antara data biomassa dan serapan karbon dengan pembelajaran Biologi pada Fase E Kurikulum Merdeka, yang menuntut peserta didik untuk merancang solusi atas isu lingkungan lokal hingga global. Oleh karena itu, hasil penelitian ini akan dikembangkan menjadi sumber belajar dalam bentuk infografis edukatif yang mampu menyajikan informasi kompleks secara ringkas dan informatif.

Saran

Sebagai tindak lanjut, beberapa saran dapat diberikan. Pertama, diperlukan upaya rehabilitasi dan peningkatan kepadatan vegetasi mangrove di kawasan JWMP guna meningkatkan biomassa dan kapasitas serapan karbon. Hal ini dapat dilakukan melalui penanaman ulang spesies mangrove lokal secara berkala serta pengendalian aktivitas yang berpotensi merusak ekosistem. Kedua, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk memperluas cakupan lokasi studi serta menerapkan metode *Total Ecosystem Carbon Stock* (TECS) yang mencakup biomassa atas tanah, bawah tanah, dan karbon dalam tanah, agar estimasi cadangan karbon menjadi lebih komprehensif. Ketiga, bagi sekolah dan pendidik, pemanfaatan potensi lokal seperti ekosistem mangrove di Kabupaten Pasuruan perlu dioptimalkan sebagai sumber belajar kontekstual, baik di dalam maupun luar kelas, guna meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap isu perubahan lingkungan di sekitar mereka.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi selama proses penelitian ini. Terutama kepada Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan dan Program Studi Pendidikan Biologi atas bimbingan dan fasilitas yang diberikan. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pengelola Ekowisata *Jogging Track* Mangrove Patuguran (JWMP) Rejoso, Pasuruan yang telah memberikan izin dan membantu kelancaran pengambilan data di lapangan. Penulis juga menghargai segala bentuk bantuan, masukan, dan semangat dari dosen pembimbing, rekan mahasiswa, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Daftar Rujukan

Adityawitari, F. (2021). *Estimasi biomassa, stok dan serapan karbon pada Kawasan hutan mangrove Di Desa Curah Dringu, Kecamatan Tongas, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur*. Universitas Brawijaya.



- Afifudin, M. J. (2019). Analisa vegetasi hutan mangrove dan serapan co2 di Kecamatan Tongas Kabupaten Probolinggo Jawa Timur. In *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Aliman, R., & Yudiasih, N. L. (2020). Estimasi serapan karbon hutan mangrove baros di Bantul Yogyakarta. *Jurnal Buana Lestari*, 1(1), 49–60.
- Ardiansyah, R., Nugroho, E. D., Ainiyah, R., & Fathurrohman, A. (2025). *Ecological footprint mitigation through corporate environmental management : Measuring carbon sequestration in PT Organon Pharma Indonesia' s conservation and industrial areas*. 10(01), 179–197.
- Asadi, M. A., Rahardani, A. M., Semedi, B., & Soegianto, A. (2019). Carbon storage of mangrove ecosystems in Pasuruan and probolinggo regency, east java, Indonesia. *Ecology, Environment and Conservation*, 25(August), S162–S167.
- Astuti, S., Saleh, M. I., Arita, S., & Legiran. (2024). Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability Analysis of Water Pollution Levels in Batang Masumai River, Merangin. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 8(4), 172–183.
- Bachmid, F., Sondak, C., & Kusen, J. (2018). Estimasi penyerapan karbon hutan mangrove Bahowo Kelurahan Tongkaina Kecamatan Bunaken. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.35800/jplt.6.1.2018.19463>
- Badan Standarisasi Nasional, B. (2019). Pengukuran dan perhitungan cadangan karbon-pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon berbasis lahan (land-based carbon accounting). *Badan Standarisasi Nasional, SNI 7724:2*.
- Baharuddin, Sanusi, D., Daud, M., & Ferial. (2014). Potensi biomassa, cadangan karbon dan serapan karbon dioksida (CO₂) serta persamaan allometrik penduga biomassa pada tegakan bambu betung (*Dendrocalamus asper*) pada Hutan Bambu Rakyat Di Kabupaten Tana Toraja. *Seminar Nasional Hasil Penelitian HHBK : Meningkatkan Kemanafaatan HHBK Untuk Mendukung Pengelolaan Hutan Dan Lingkungan*, 1(December 2014), 415–428.
- Basyuni, M., Putri, L. A. P., Nainggolan, B., & Sihalohe, P. E. (2014). Growth and Biomass in Response to Salinity and Subsequent Fresh Water in Mangrove Seedlings *Avicennia marina* and *Rhizophora stylosa*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 20(1), 17–25. <https://doi.org/10.7226/jtftm.20.1.17>
- Dinilhuda, A., Akbar, A. A., & Jumiati, J. (2018). Peran ekosistem mangrove bagi mitigasi pemanasan global. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2). <https://doi.org/10.26418/jtsft.v18i2.31233>
- Heriyanto, N. M., & Subiandono, E. (2016). Peran biomasa mangrove dalam menyimpan karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat (Role of Mangrove Biomass in Carbon Sink, in Kubu Raya, West Kalimantan). *Jurnal Analisis Kebijakan*, 13(1), 1–12.
- Jayanti, U. N. A. D., Susilo, H., & Suarsini, E. (2017). Analisis kebutuhan bentuk sumber belajar dan media pembelajaran Biologi berbasis potensi lokal untuk kelas X SMA di Provinsi Lampung. *Prosiding Seminar Pendidikan IPA Pascasarjana UM*, 2, 591–599. <http://pasca.um.ac.id/conferences/index.php/ipa2017/article/view/1122>



- Kauffman, J. B., Adame, M. F., Arifanti, V. B., Schile-Beers, L. M., Bernardino, A. F., Bhomia, R. K., Donato, D. C., Feller, I. C., Ferreira, T. O., Jesus Garcia, M. del C., MacKenzie, R. A., Megonigal, J. P., Murdiyarso, D., Simpson, L., & Hernández Trejo, H. (2020). Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecological Monographs*, 90(2), 1–18. <https://doi.org/10.1002/ecm.1405>
- Kuncahyo, I., Pribadi, R., & Pratikto, I. (2020). Komposisi dan tutupan kanopi vegetasi mangrove di Perairan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Marine Research*, 9(4), 444–452. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i4.27915>
- Mustafa, A., Tarunamulia, Ratnawati, E., Paena, M., Kamariah, Athirah, A., Asaf, R., Tahe, S., Hendrajat, E. A., Tauhid, I., Asaad, A. I. J., Basir, & Ilman, M. (2024). Exploring environmental condition of silvofishery pond to support the sustainability of mangrove management in Berau Regency, Indonesia. *Environmental Research Communications*, 6(9), 095008. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad6823>
- Natarajan, M., & Ayyappan, S. (2022). *Carbon stock assessment on natural mangrove species of Avicennia marina in Pichavaram mangrove forest Southeast coast of India*. 1–13. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1274783/v1>
- Ngidu, E. Y., Astiani, D., & Ekamawanti, H. A. (2023). Estimation of mangrove carbon content in planting areas in 2012 in the mangroves forest area of Setapuk Besar Village. *Jurnal Hutan Lestari*, 11(4), 962–974.
- Nugraha, F. W., Pribadi, R., & Wirasatriya, A. (2020). Kajian Perubahan Luasan untuk Prediksi Simpanan Karbon Ekosistem Mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(2), 104–116. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i2.30039>
- Panjaitan, F. S., Koneri, R., & Maabuat, P. V. (2023). Estimasi serapan karbon pada vegetasi mangrove di Pesisir Pantai Kecamatan Bunaken, Kota Manado, Sulawesi Utara. *Jurnal Bios Logos*, 13(1), 301–308. <https://doi.org/https://doi.org/10.35799/jbl.v13i3.53417>
- Rahmat, N., Pratikto, I., & Suryono, C. A. (2022). Simpanan karbon pada tegakan vegetasi mangrove di Desa Pasar Banggi Rembang. *Journal of Marine Research*, 11(3), 506–512. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i3.35172>
- Rusila Noor, Y., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. PHKA/WI-IP.
- Sinaga, R. R. K., Kurniawan, F., Roni, S., Laia, D. Y. W., Andrito, W., & Hidayati, J. R. (2023). Carbon stock assessment of mangrove vegetation in Anambas Islands Marine Tourism Park, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1148(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1148/1/012003>
- Susilo, M. J. (2018). Analysis of environmental potential as a useful source of biological learning. *Proceeding Biology Education Conference*, 15(1), 541–546.
- Susilowati, M. W., Purnomo, P. W., & Solichin, A. (2020). Estimasi serapan co2 berdasarkan simpanan karbon pada hutan mangrove Desa Tambakbulusan Demak



- Jawa Tengah. *Jurnal Pasir Laut*, 4(2), 86–94.
<https://doi.org/10.14710/jpl.2020.29763>
- Syarif, L. (2023). Struktur Komunitas dan Potensi Cadangan Karbon Ekosistem Mangrove di Pesisir Timur Jemaja Kabupaten Kepulauan Anambas. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 5, 293–303. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v5i.735>
- Wardani, L. (2018). *Analisis serapan karbon Avicennia marina di kawasan hutan mangrove Desa Penunggul, Kabupaten Pasuruan*. Universitas Brawijaya.
- Widiawati, W., Sofiati Umami, S., & Rahman, A. (2023). Studi Kualitas Kesehatan Lingkungan Perairan Ekosistem Mangrove Pesisir Sekotong Lombok Barat. *Jurnal Sains Dan Pembelajaran Matematika*, 1(2), 44–48.
<https://doi.org/10.51806/jspm.v1i2.64>
- Widyastuti, A., Yani, E., Nasution, E. K., & Rochmatino. (2018). Diversity of mangrove vegetation and carbon sink estimation of segara anakan mangrove forest, Cilacap, central Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 19(1), 246–252.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d190133>
- Yaqin, N., Rizkiyah, M., Putra, E. A., Suryanti, S., & Febrianto, S. (2022). Estimasi serapan karbon pada kawasan mangrove Tapak di Desa Tugurejo Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 19–29. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.38256>