

Estimasi Stok Karbon Biomassa Atas Permukaan pada Ekosistem Mangrove di Kawasan Pusat Restorasi dan Pembelajaran Mangrove Segarajaya, Tarumajaya, Kabupaten Bekasi

Fis Purwangka¹, Dwi Putra Yuwandana¹, Farida Ratna Dewi², Awang Asmoro³,
Muhammad Nur Iqbal¹, Muhammad Faishal Ashshiddiqi¹, Yosua Septiawan¹,
Agung Budi Pratama^{1,4}, M. Galur Gading¹, Daisy Rahma Rizal^{5*}

¹Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

²Departemen Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor
Jl. Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

³PT PLN Nusantara Power
Jl. Tebet Utara IV No. 6A, Tebet Timur, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia

⁴Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sulawesi Tenggara
Jl. Konggoasa No. 1, Kendari 93231, Indonesia

⁵Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman
Jl. Gunung Tabur, Samarinda 75123, Indonesia.
Email: daisyrahma@fpik.unmul.ac.id

Abstrak

Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui kemampuan menyimpan karbon dalam biomassa dan sedimen. Namun, kawasan pesisir utara Jawa, termasuk wilayah Tarumajaya, menghadapi tekanan antropogenik tinggi serta keterbatasan data inventaris karbon pada ekosistem mangrove hasil restorasi. Penelitian ini bertujuan mengestimasi biomassa, stok karbon, dan simpanan ekuivalen karbon dioksida (CO₂) pada ekosistem mangrove di Kawasan Pusat Restorasi dan Pembelajaran Mangrove (Jembatan Cinta), Desa Segarajaya, Kabupaten Bekasi. Pengambilan data dilakukan pada dua lokasi menggunakan metode transek dan plot contoh untuk mengukur kerapatan,utupan, dan diameter batang (DBH), yang selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan allometrik non-destruktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Rhizophora mucronata* merupakan spesies dominan dengan kerapatan sangat padat danutupan >75% di kedua lokasi. Biomassa mangrove mencapai 558,19 ton/ha pada Lokasi 1 dan 443,86 ton/ha pada Lokasi 2, dengan stok karbon masing-masing sebesar 256,75 ton C/ha dan 204,15 ton C/ha. Estimasi simpanan ekuivalen CO₂ mencapai 943,17 ton CO₂/ha pada Lokasi 1 dan 707,65 ton CO₂/ha pada Lokasi 2. Hasil ini menegaskan bahwa kawasan mangrove Jembatan Cinta memiliki kapasitas signifikan sebagai penyimpan karbon pada ekosistem restorasi dan berpotensi menjadi baseline dalam pengembangan skema karbon biru serta mitigasi perubahan iklim di wilayah pesisir.

Kata kunci : Biomassa, karbon biru, mangrove, restorasi ekosistem, stok karbon

Abstract

Estimation of Aboveground Biomass Carbon Stock in the Mangrove Ecosystem of the Segarajaya Mangrove Restoration and Education Center, Tarumajaya, Bekasi Regency

Mangrove ecosystems play a crucial role in climate change mitigation through their capacity to store carbon in biomass and sediments. However, coastal areas in northern Java, including Tarumajaya, are under significant anthropogenic pressure, while baseline data on carbon stocks in restored mangrove systems remain limited. This study aims to estimate biomass, carbon stock, and carbon dioxide (CO₂) equivalent storage in the mangrove ecosystem of the Mangrove Restoration and Education Center (Jembatan Cinta), Segarajaya Village, Bekasi Regency. Field data were collected from two sites using transect and plot methods to assess vegetation density, canopy cover, and diameter at breast height (DBH). Biomass was estimated using non-

destructive allometric equations and converted into carbon stock and CO₂ equivalents. The results show that Rhizophora mucronata is the dominant species, exhibiting very high density and canopy cover (>75%) at both sites. Mangrove biomass reached 558.19 ton/ha at Site 1 and 443.86 ton/ha at Site 2, with corresponding carbon stocks of 256.75 ton C/ha and 204.15 ton C/ha. The estimated CO₂ equivalent storage was 943.17 ton CO₂/ha at Site 1 and 707.65 ton CO₂/ha at Site 2. These findings highlight that the Jembatan Cinta mangrove area has significant potential as a carbon sink within a restored ecosystem and can serve as a baseline for blue carbon accounting and coastal climate change mitigation strategies.

Keywords : Biomass, blue carbon, carbon stock, ecosystem restoration, mangrove

PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan isu lingkungan yang semakin mendapat perhatian karena dampaknya terhadap kehidupan manusia dan keseimbangan ekosistem. Salah satu penyebab utama pemanasan global adalah peningkatan emisi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida (CO₂), yang sebagian besar berasal dari aktivitas manusia (Hilwan dan Nurjannah 2014). Indonesia termasuk salah satu penyumbang emisi karbon terbesar di dunia, terutama akibat alih fungsi lahan, dengan estimasi emisi mencapai 930 juta ton CO₂ per tahun (Friedlingstein *et al.*, 2022). Sebagai langkah mitigasi, pemerintah Indonesia menetapkan target Indonesia's FOLU Net Sink 2030 yang bertujuan menyeimbangkan antara emisi dan serapan karbon (KLHK 2022). Salah satu strategi mitigasi yang potensial dalam konteks penyerapan karbon yaitu melalui pengelolaan ekosistem pesisir, khususnya mangrove yang memiliki kapasitas penyerapan karbon tinggi. Pendekatan dalam kebijakan ini adalah penggunaan Indeks Biogeofisik Serapan Karbon, termasuk pemanfaatan ekosistem mangrove sebagai salah satu ekosistem alami yang efektif dalam menyerap dan menyimpan karbon.

Ekosistem mangrove memiliki kemampuan menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer melalui proses fotosintesis dan akumulasi bahan organik dalam tanah, sehingga dapat menyimpan karbon dalam jumlah besar, bahkan 3-5 kali lebih banyak dibandingkan hutan daratan (Dahdouh-Guebas *et al.*, 2005). Hutan bakau Bekasi juga menunjukkan potensi penyerapan karbon yang tinggi, khususnya pada karbon organik tanah (Erniasari *et al.*, 2024). Karbon yang tersimpan di bawah permukaan tanah, terutama pada akar dan bahan organik, dapat bertahan selama ratusan tahun, menjadikan mangrove sebagai penyerap karbon jangka panjang (Murdiyarso *et al.*, 2015). Indonesia memiliki ekosistem mangrove seluas sekitar 3,36 juta hektar atau 20% dari total luas mangrove global (Giesen *et al.*, 2007; KLHK

2021), terdiri atas berbagai jenis seperti Rhizophora, Avicennia, Sonneratia, dan Bruguiera. Seiring meningkatnya kesadaran terhadap peran mangrove dalam pengendalian emisi karbon, pemerintah dan berbagai pihak telah mengembangkan kawasan restorasi dan pembelajaran mangrove, salah satunya di Kawasan Pusat Restorasi dan Pembelajaran Mangrove (Mangrove Jembatan Cinta) di Desa Segarajaya, Tarumajaya, Kabupaten Bekasi.

Kondisi ekosistem mangrove di kawasan Jembatan Cinta memiliki peran penting sebagai habitat berbagai biota akuatik dan penyangga kualitas perairan, di mana struktur akar mangrove membantu menyaring sedimen dan polutan sehingga menciptakan lingkungan yang mendukung kehidupan ikan, udang, dan burung (Alongi, 2014). Jembatan Cinta sebagai ikon kawasan ini yang dibangun untuk memudahkan akses pengunjung menjelajahi area mangrove tanpa merusak vegetasi, dengan panjang sekitar 300 m yang juga berfungsi sebagai sarana edukasi dan daya tarik visual bagi wisatawan (Mardiana *et al.*, 2021). Selain fungsi ekologis, kawasan ini dikembangkan sebagai ekowisata berbasis edukasi yang meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pelestarian mangrove dalam mitigasi perubahan iklim dan perlindungan pesisir (Hussain *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2016). Keterlibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan kawasan turut memperkuat keberlanjutan sosial-ekologis melalui peningkatan ekonomi dan kepedulian lingkungan (Murray *et al.*, 2011), sementara keberadaan fasilitas penelitian menjadikan kawasan ini strategis sebagai lokasi pengembangan ilmu pengetahuan dan studi ekosistem mangrove (Barbier *et al.*, 2011).

Kawasan ini mengalami tekanan ekologis yang tinggi akibat urbanisasi, konversi lahan, serta pembangunan industri di pesisir. Pencemaran dari limbah industri dan domestik juga berkontribusi terhadap degradasi ekosistem mangrove (Muryani

et al., 2026). Kondisi tersebut menyebabkan degradasi signifikan pada ekosistem mangrove, termasuk di wilayah Kabupaten Bekasi. Kawasan Mangrove Segarajaya merupakan area restorasi yang berkembang dalam satu dekade terakhir sebagai respons terhadap abrasi dan penurunan kualitas lingkungan pesisir. Di Kabupaten Bekasi, konversi hutan mangrove menjadi tambak ikan mengakibatkan hilangnya area hutan mangrove secara signifikan (Amalo *et al.*, 2023). Namun demikian, hingga saat ini belum tersedia data kuantitatif yang komprehensif mengenai kapasitas biomassa dan stok karbon pada sistem mangrove hasil restorasi di pesisir Kabupaten Bekasi.

Oleh karena itu, untuk mendukung target nasional penurunan emisi gas rumah kaca dan memastikan pengelolaan mangrove yang berkelanjutan, diperlukan estimasi yang akurat dan representatif terkait stok dan simpanan ekuivalen karbon ekosistem mangrove. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi besaran simpanan ekuivalen karbon dioksida dan stok karbon di Kawasan Pusat Restorasi dan Pembelajaran Mangrove (Mangrove Jembatan Cinta), Desa Segarajaya, Tarumajaya, Kabupaten Bekasi.

MATERI DAN METODE

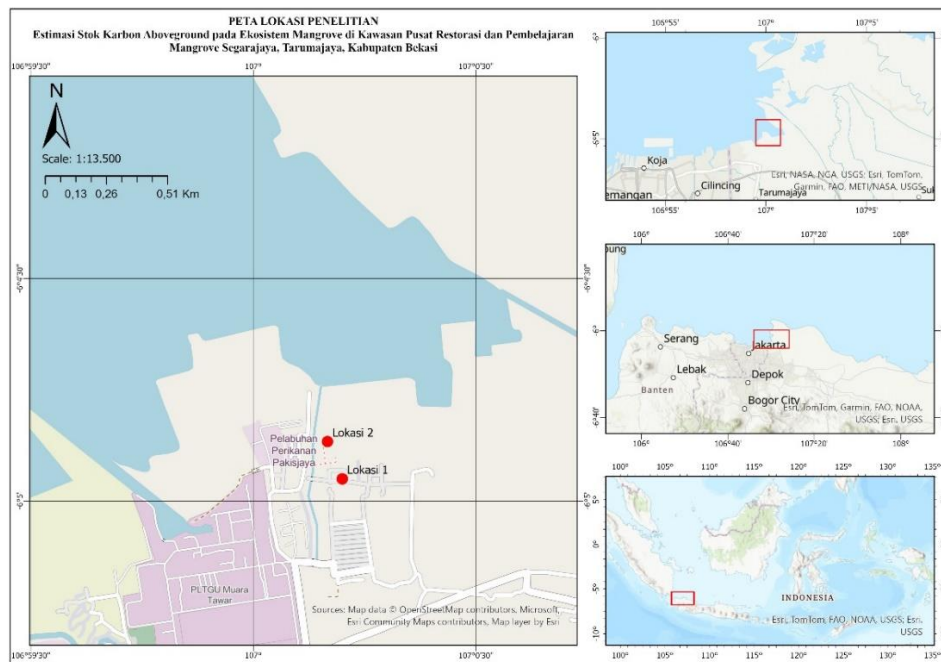
Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir Muara Tawar, Kawasan Pusat Restorasi dan

Pembelajaran Mangrove (Mangrove Jembatan Cinta) Desa Segarajaya, Kecamatan Tarumajaya, Kabupaten Bekasi (Gambar 1).

Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan di lokasi penelitian, yang mencakup pengukuran langsung (*in situ*). Pengumpulan data vegetasi mangrove dilakukan menggunakan metode Transek Garis dan Petak Contoh (*Line Transect Plot*), yaitu metode pencuplikan populasi dengan menempatkan petak contoh di sepanjang garis transek yang ditarik dari daratan menuju arah laut (Gambar 2). Pada setiap zona mangrove yang dilintasi transek, petak-petak contoh berbentuk bujur sangkar berukuran 10 m × 10 m diletakkan secara acak, dengan jumlah minimal tiga petak per zona (Gambar 3).

Pada setiap lokasi ditetapkan satu transek utama sepanjang ± 150 m yang ditarik tegak lurus garis pantai, melintasi tiga zona ekologis berdasarkan gradien pasang surut dan komposisi vegetasi, yaitu: (1) zona depan (*fringe*), (2) zona tengah, dan (3) zona belakang (*landward*). Penentuan zona didasarkan pada observasi kondisi hidrologi, frekuensi genangan, dan dominansi spesies.

Pengumpulan sampel vegetasi mangrove dilakukan dengan menetapkan tiga transek pada masing-masing lokasi kajian. Pada setiap transek, dilakukan pencatatan jumlah pohon serta pengukuran diameter batang pada 10 individu

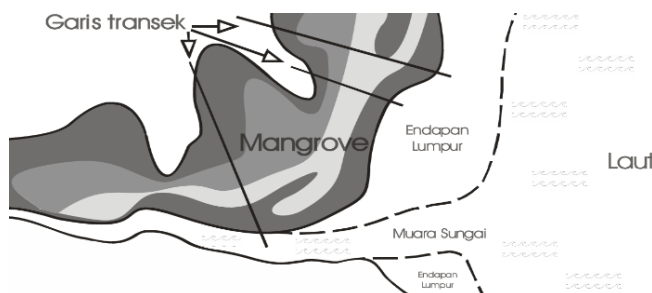


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

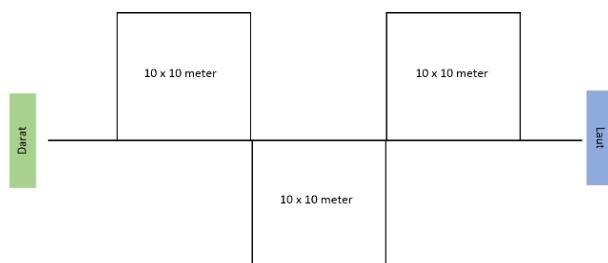
sebagai sampel. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung kerapatan vegetasi mangrove di masing-masing lokasi.

Di dalam setiap plot, semua individu mangrove dicatat jenis dan jumlahnya, serta dilakukan pengukuran keliling batang pada 10 pohon terpilih setinggi dada (1,3 meter) untuk keperluan analisis biomassa (Gambar 4). Sampel sebanyak 10 pohon dapat memadai untuk mengembangkan persamaan alometrik lokal atau memvalidasi model yang sudah ada (Price, *et al.*, 2025).

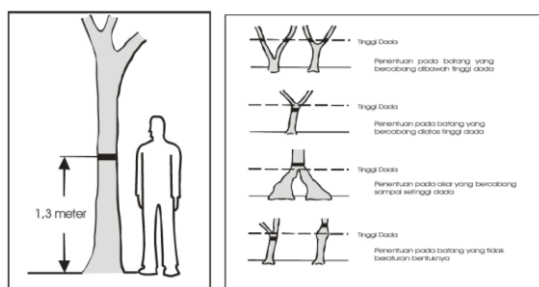
Menurut Adewole *et al.*, (2016), penelitian telah menunjukkan bahwa persamaan berbasis DBH mencapai akurasi prediksi yang tinggi ($R^2 > 0,9$) untuk estimasi biomassa, bahkan dengan ukuran sampel yang relatif kecil.



Gambar 2. Ilustrasi Garis Transek



Gambar 3. Ilustrasi Tata Plot Mangrove



Gambar 4. Penentuan lingkaran batang mangrove Analisis kerapatan mangrove menggunakan rumus

dari (English *et al.* 1994), sebagai berikut:

Kerapatan Jenis

$$Di = \frac{Ni}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan: Di = Kerapatan Jenis ke-i (ind/m²); Ni = Jumlah total individu dari jenis ke-i (ind); A = Luas area total pengambilan (m²)

Kerapatan Relatif Jenis

$$RDi = \frac{Ni}{\Sigma n} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan: RDi = Kerapatan relative jenis (%); Ni = Jumlah individu jenis ke-i (ind) Σn = Jumlah seluruh individu (m²)

Penutupan Jenis (Ci)

$$Ci = \frac{\Sigma BA}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan: Ci = Luas penutupan jenis ke-I; BA = $\frac{\pi DBH^2}{4}$, $\pi = 3,1416$; DBH Diameter pohon dari jenis ke-I; A = Luas total area pengambilan contoh (plot)

Penutupan Relatif Jenis (RCi)

$$RCi = \frac{Ci}{\Sigma C} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan: RCi = Penutupan Relatif (%); Ci = Luas area penutupan jenis ke-I; ΣC = Luas total area penutupan seluruh jenis

Selanjutnya, hasil perhitungan dikategorikan sesuai dengan kriteria baku penutupan dan kerapatan mangrove yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Baku Kerusakan Mangrove

Kriteria Baku	Penutupan (%)	Kerapatan (pohon/ha)
Sangat Padat	≥ 75	≥ 1500
Sedang	$\geq 50 < 75$	$\geq 1000 < 1500$
Jarang	< 50	< 1000

Sumber: KepmenLH No. 201 Tahun 2004

Analisis Luasan Mangrove

Analisis luasan dan sebaran jenis mangrove pada lokasi penelitian dilakukan melalui teknik penginderaan jauh jarak dekat menggunakan wahana udara tak berawak (*Unmanned Aerial Vehicle* - UAV) yang menghasilkan citra orthophoto dengan resolusi spasial tinggi. Data spasial tersebut diproses menggunakan perangkat lunak untuk tahap georeferensi dan digitasi on-screen. Klasifikasi jenis mangrove, yaitu *Rhizophora sp.* dan *Avicennia sp.*, ditentukan berdasarkan interpretasi visual terhadap tekstur, rona, dan pola tajuk pada citra. Perhitungan luas area dilakukan secara otomatis melalui *Field Calculator* pada tabel atribut layer poligon dengan sistem koordinat proyeksi UTM (*Universal Transverse Mercator*) zona terkait untuk menjamin akurasi geometris dalam satuan meter persegi (m²)

Analisis Biomassa, Simpanan, dan Serapan Karbon

Pada penelitian ini, biomassa untuk pengukuran menggunakan persamaan allometrik yaitu biomassa yang berada diatas permukaan tanah (*Above Ground Biomass*). Analisa menggunakan metode *non-destructive* dilakukan dengan memasukkan nilai diameter pohon setinggi dada (DBH) pada rumus persamaan allometrik untuk mendapatkan nilai biomassa suatu spesies pohon mangrove yang kemudian dapat dikonversikan untuk memperoleh nilai stok karbon.

Estimasi biomassa mangrove dilakukan dengan metode *non-destructive* menggunakan persamaan allometrik berbasis diameter batang (DBH). Untuk jenis *Rhizophora mucronata*, digunakan persamaan dari Dharmawan (2010):

$$B = 0,1466 (D)^{2,3136} \dots\dots\dots(5)$$

Sedangkan untuk *Avicennia marina*, digunakan persamaan dari Dharmawan dan Siregar (2008):

$$B = 0,1848 (D)^{2,3624} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan: B = Biomassa individu pohon (kg/pohon); D : Diameter batang pohon (cm)

Nilai biomassa individu kemudian dijumlahkan dalam plot dan dikonversi menjadi biomassa per satuan luas (ton/ha).

Estimasi Simpanan Karbon Mangrove

Setelah nilai total biomassa diketahui dalam

satuan kg/m³ kemudian dikonversi kedalam satuan ton/ha, sehingga nilai estimasi simpanan karbon dapat dihitung menggunakan rumus IPCC (2006) sebagai berikut:

$$C = 0,46 \times B \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan: C = Stok karbon (ton C/ha); B = Biomassa (ton/ha)

Estimasi Simpanan Ekuivalen Karbon Dioksida (CO₂)

Simpanan ekuivalen karbon dioksida dihitung dengan mengonversi stok karbon menjadi ekuivalen CO₂ berdasarkan rasio massa molekul CO₂ terhadap karbon, yaitu 44/12 atau 3,67 dengan rumus yang digunakan yaitu (Murdiyarso 1999):

$$CO_2 = C \times FKC_{CO_2} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan: CO₂ = Simpanan ekuivalen karbon dioksida (ton CO₂/ha); C= Karbon; FKC_{CO₂}= Faktor konversi unsur karbon (C) ke CO₂= 3,67

HASIL DAN PEMBAHASAN

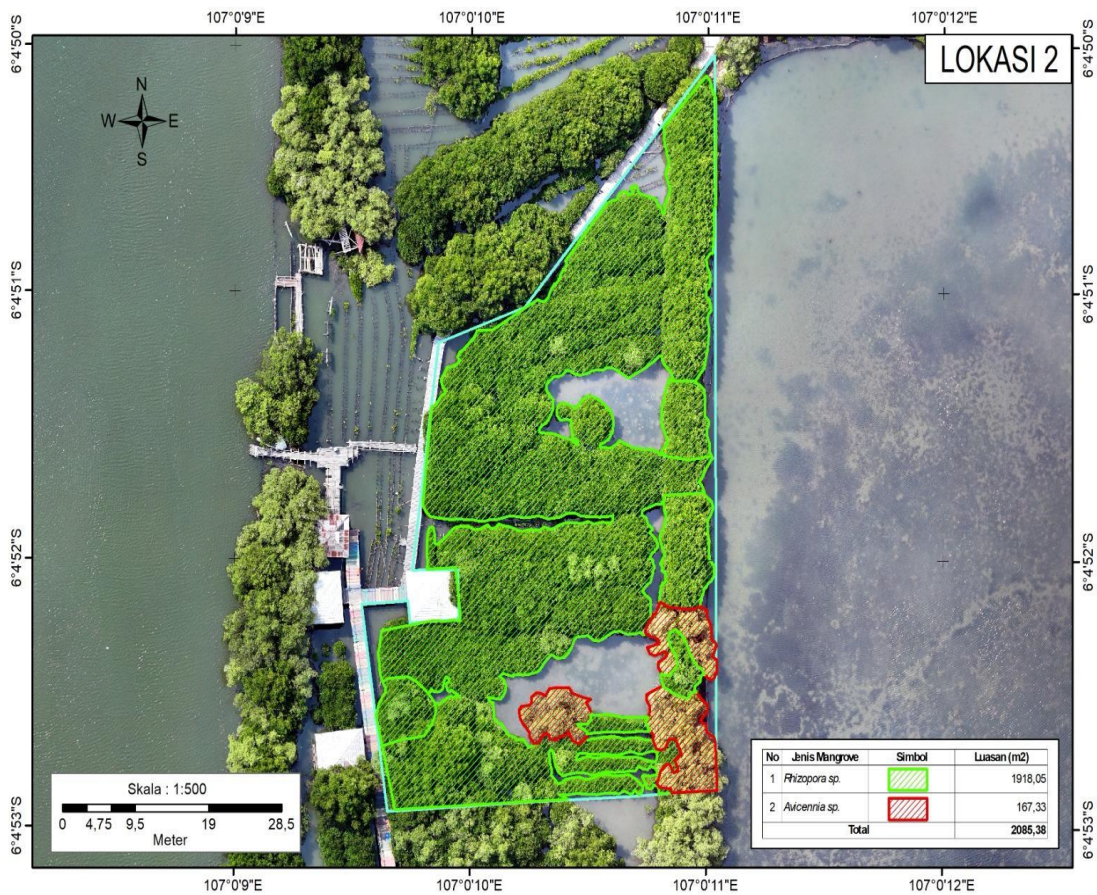
Luasan, Kerapatan, dan Tutupan Mangrove

Berdasarkan hasil identifikasi di Kawasan Pusat Restorasi dan Pembelajaran Mangrove Jembatan Cinta, ditemukan dua jenis mangrove utama, yaitu *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina*, dengan dominansi tertinggi dimiliki oleh *Rhizophora mucronata*. Data kerapatan dan tutupan mangrove diperoleh melalui tiga transek yang dilakukan di masing-masing lokasi pengambilan data. Lokasi pengukuran luasan, kerapatan, dan tutupan vegetasi mangrove dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Hasil pengukuran luasan mangrove menunjukkan bahwa di Lokasi 1, jenis *Rhizophora mucronata* mendominasi dengan luas 1.156,24 m², sedangkan *Avicennia marina* hanya menutupi area seluas 26,17 m². Pada Lokasi 2 juga ditemukan kedua jenis mangrove tersebut, dengan luasan *Rhizophora mucronata* sebesar 1.918,05 m² dan *Avicennia marina* seluas 167,33 m². Sebaran luasan mangrove di Lokasi 2 dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil ini menunjukkan bahwa *Rhizophora mucronata* secara konsisten mendominasi tutupan vegetasi mangrove di kedua lokasi kajian. Hasil perhitungan kerapatan mangrove di Lokasi 1 dan Lokasi 2 disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. Lokasi 1 pengambilan data



Gambar 5. Lokasi 2 Pengambilan Data

Tabel 2. Data kerapatan mangrove

Lokasi	Jenis mangrove	Ni	A	Di	N	RDi	Ha	Ha/A	Kerapatan (pohon/Ha)	Keterangan
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	279	300	0,93	283	98,59	10000	33,33	9300	≥1500 (Sangat padat)
	<i>Avicennia marina</i>	4	300	0,01		1,41	10000	33,33	133	<1000 (Jarang)
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	386	300	1,29	396	97,47	10000	33,33	12867	≥1500 (Sangat padat)
	<i>Avicennia marina</i>	10	300	0,03		2,53	10000	33,33	333	<1000 (Jarang)

Keterangan: Ni = Jumlah total individu dari jenis ke-i (ind); A = Luas area total pengambilan (m²); Di = Kerapatan Jenis ke-i (ind/m²); N = Jumlah seluruh individu (ind); RDi = Kerapatan relative jenis (%)

Tabel 3. Data tutupan mangrove

Lokasi	Jenis mangrove	DBH	pi	A	ΣBA	CI	ΣC	RCi	Keterangan
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	13,89	3,1416	300	21,82	0,07	0,09	85,32	≥ 75 (Sangat padat)
	<i>Avicennia marina</i>	2,39	3,1416	300	3,75	0,01		14,68	< 50 (Jarang)
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	15,84	3,1416	300	24,88	0,08	0,10	79,60	≥ 75 (Sangat padat)
	<i>Avicennia marina</i>	4,06	3,1416	300	6,38	0,02		20,40	< 50 (Jarang)

Keterangan: DBH = Diameter pohon dari jenis ke-i; Pi = 3,1416; A = Luas area total pengambilan (m²); B = (Pi x DBH x 2)/4; CI = Luas area penutupan jenis ke-i, ΣC = Luas total area penutupan seluruh jenis; RCi = Penutupan Relatif (%)

Berdasarkan Tabel 2, kerapatan mangrove di Lokasi penelitian menunjukkan perbedaan yang sangat jelas antar jenis. Jenis *Rhizophora mucronata* memiliki Tingkat kerapatan sangat padat (9.300 pohon/ha dan 12.867 pohon/ha). Tingginya kerapatan juga tercermin dari nilai kerapat relative (RDi) yang mencapai lebih dari 97%, sehingga menjadi penyusun utama struktur tegakan mangrove pada kedua lokasi penelitian. Sedangkan kerapatan *Avicennia marina* termasuk dalam kategori jarang (133 pohon/ha dan 333 pohon/ha). Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi *Avicennia marina* relatif kecil dibandingkan *Rhizophora mucronata*.

Tutupan mangrove pada Lokasi 1 dan Lokasi 2 diperoleh berdasarkan pengukuran DBH (diameter batang pohon pada ketinggian 1,3 m) dari masing-masing jenis mangrove yang ditemukan. Data hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung luas kanopi dan persentase tutupan vegetasi di masing-masing lokasi. Area yang direboisasi dengan *R. mucronata* menunjukkan perekrutan spesies mangrove non-tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan *A.*

marina, menunjukkan bahwa *R. mucronata* mengubah hidrodinamika lokal secara lebih efektif, berpotensi menyebabkan vegetasi yang lebih padat.

Informasi lengkap mengenai hasil perhitungan tutupan berdasarkan jenis mangrove dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil perhitungan tutupan mangrove, jenis *Rhizophora mucronata* di Lokasi 1 menunjukkan nilai tutupan sebesar 85,32%, yang termasuk dalam kategori sangat padat (>75%) menurut KepMen LH No. 201 Tahun 2004. Tutupan *Rhizophora mucronata* yang sangat padat dikaitkan dengan penyimpanan karbon yang tinggi dan dukungan keanekaragaman hayati (Ogawa *et al.*, 2022). Sementara itu, *Avicennia marina* di lokasi yang sama memiliki nilai tutupan sebesar 14,68%, yang termasuk dalam kategori jarang (<50%). Di Lokasi 2, *Rhizophora mucronata* juga memiliki tutupan tinggi sebesar 79,60% dan dikategorikan padat, sedangkan *Avicennia marina* menunjukkan tutupan sebesar 20,40%, tetap berada dalam kategori jarang. Populasi *A. marina* dengan kategori jarang, dapat berkaitan dengan tekanan

lingkungan seperti polusi atau kelangkaan air tawar, sehingga dapat mengurangi efektivitas ekologisnya (Herison *et al.*, 2014).

Berdasarkan data kerapatan pohon yang telah diperoleh pada Tabel 3 serta informasi luas area dari Gambar 4 dan 5, selanjutnya dihitung jumlah tegakan pohon pada masing-masing jenis mangrove. Hasil perhitungan tersebut disajikan dalam Tabel 4.

Berdasarkan hasil pengukuran, luas tutupan mangrove *Rhizophora mucronata* di Lokasi 1 mencapai 1.156,24 m² dengan jumlah tegakan sebanyak 1.075 pohon, sedangkan *Avicennia marina* menempati luasan 26,17 m² dengan 4 pohon. Di Lokasi 2, *Rhizophora mucronata* memiliki luasan sebesar 1.918,05 m² dengan jumlah tegakan 2.468 pohon, sementara *Avicennia marina* mencakup area seluas 167,33 m² dengan jumlah tegakan sebanyak 10 pohon. Data ini mengindikasikan bahwa *Rhizophora mucronata* merupakan jenis mangrove yang paling dominan di kedua lokasi, baik dari segi luasan maupun jumlah tegakan. Jenis mangrove *Rhizophora mucronata* menjadi dominan karena hasil penanaman mangrove yang dilakukan sejak tahun 2014 di lokasi dengan total bibit bakau mencapai 19.545. *Rhizophora mucronata* memiliki tingkat kelangsungan hidup paling tinggi di kawasan restorasi, tetapi tingkat pertumbuhan terendah (van Bijsterveldt *et al.*, 2022).

Biomassa, Simpanan, dan Serapan Karbon

Berdasarkan hasil perhitungan biomassa menggunakan persamaan allometrik, terlihat bahwa nilai biomassa tegakan mangrove berbeda antar jenis dan lokasi, yang dipengaruhi oleh diameter batang (DBH) dan jumlah tegakan. Jenis *Rhizophora mucronata* menunjukkan nilai biomassa yang jauh lebih tinggi dibandingkan *Avicennia marina* di kedua lokasi penelitian. Pada Lokasi 1, biomassa *Rhizophora mucronata* mencapai 64,55 ton/luasan, sedangkan *Avicennia marina* hanya sebesar 1,45 ton/luasan. Pola yang sama juga terlihat pada Lokasi 2, di mana biomassa *Rhizophora mucronata* sebesar 87,48 ton/luasan dan *Avicennia marina* sebesar 5,06 ton/luasan.

Tingginya biomassa pada *Rhizophora mucronata* disebabkan oleh dominansi jumlah tegakan serta ukuran diameter batang yang relatif lebih besar dibandingkan *Avicennia marina*. Diameter batang merupakan variabel utama dalam persamaan allometrik, sehingga peningkatan diameter secara signifikan akan meningkatkan

estimasi biomassa (Chave *et al.*, 2014). Selain itu, jumlah tegakan yang lebih tinggi pada *Rhizophora mucronata* turut memperbesar akumulasi biomassa total pada masing-masing lokasi.

Sebaliknya, rendahnya biomassa *Avicennia marina* menunjukkan bahwa spesies ini memiliki kontribusi yang lebih kecil terhadap total biomassa tegakan, yang kemungkinan disebabkan oleh kerapatan yang rendah serta ukuran diameter yang masih kecil. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur tegakan mangrove di lokasi penelitian masih didominasi oleh spesies hasil restorasi, yaitu *Rhizophora mucronata*, dengan tingkat pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan spesies *Avicennia marina*.

Perbedaan biomassa antara Lokasi 1 dan Lokasi 2 juga menunjukkan adanya variasi kondisi lingkungan dan struktur tegakan, di mana Lokasi 2 memiliki biomassa lebih tinggi yang mengindikasikan pertumbuhan mangrove yang lebih optimal. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa biomassa mangrove sangat dipengaruhi oleh karakteristik struktur tegakan, khususnya diameter batang dan kerapatan, yang pada akhirnya menentukan kapasitas penyimpanan karbon dalam ekosistem mangrove.

Menurut Howard *et al.*, (2014), analisa simpanan stok karbon dapat diperoleh dari estimasi biomasanya. Estimasi jumlah karbon yang tersimpan untuk biomassa yang berada diatas permukaan. Berdasarkan hasil perhitungan estimasi stok karbon (Tabel 6) menunjukan nilai jumlah kandungan karbon sebesar 256,75 tonC/ha (lokasi 1) dan 204,15 tonC/ha (lokasi 2). Nilai stok karbon (*aboveground*) pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan nilai *aboveground* stok karbon di mangrove rehabilitasi Pulau Harapan dan Kelapa sebesar 220,31 tonC/ha (Easteria *et al.*, 2022). Ukuran biomassa dan diameter mangrove pada penelitian ini cenderung kecil sehingga memengaruhi nilai karbon tegakan (*aboveground*) (Easteria *et al.*, 2022). Selain itu, simpanan karbon juga dipengaruhi oleh kerapatan mangrove pada lokasi penelitian. Kerapatan pohon yang tinggi menyebabkan intensitas cahaya yang digunakan untuk pertumbuhan berkurang (Nedhisa dan Tjahjaningrum 2019).

Estimasi stok karbon yang diperoleh selanjutnya dikonversi menjadi simpanan ekuivalen karbon dioksida (CO₂) untuk menggambarkan potensi kontribusi mangrove dalam mitigasi perubahan iklim. Pada Lokasi 1, jenis *Rhizophora mucronata* dengan luasan

1.156,24 m² dan jumlah tegakan sebanyak 1.075 pohon memiliki simpanan ekuivalen CO₂ sebesar 943,17 ton CO₂/ha, sedangkan *Avicennia marina* pada luasan 26,17 m² dengan 4 pohon hanya memiliki simpanan sebesar 91,67 ton CO₂/ha. Jika dinyatakan dalam satuan luasan pengamatan, total simpanan ekuivalen CO₂ di Lokasi 1 adalah sebesar 111,4 ton CO₂.

Pada Lokasi 2, *Rhizophora mucronata* dengan luasan 1.918,05 m² dan jumlah tegakan 2.468 pohon memiliki simpanan ekuivalen CO₂ sebesar 707,65 ton CO₂/ha, sedangkan *Avicennia marina* pada luasan 167,33 m² dengan 10 pohon memiliki

simpanan sebesar 406,00 ton CO₂/ha. Total simpanan ekuivalen CO₂ pada Lokasi 2 mencapai 156,2 ton CO₂ dalam luasan pengamatan.

Perbedaan nilai antar jenis menunjukkan bahwa *Rhizophora mucronata* merupakan kontributor utama simpanan karbon di kedua lokasi, yang berkaitan dengan kerapatan tegakan yang tinggi dan dominansi spesies. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa struktur tegakan mangrove yang rapat berperan penting dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon, meskipun ekosistem masih berada pada tahap perkembangan sebagai kawasan restorasi.

Tabel 4. Data jumlah tegakan perluasan

Lokasi	Jenis Mangrove	Luasan (m ²)	Kerapatan (pohon/ha)	Jumlah tegakan perluasan
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	1156,24	9300	1075
	<i>Avicennia marina</i>	26,17	133	4
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	1918,05	12867	2468
	<i>Avicennia marina</i>	167,33	333	10

Tabel 5. Perhitungan biomassa mangrove

Lokasi	Jenis mangrove	Jumlah tegakan perluasan (individu)	DBH (cm)	Model Allometrik	Biomassa (ton/luasan)
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	1075	13,89	$B = 0,1466 (D)^{2,3136}$ (Dharmawan 2010)	64,55
	<i>Avicennia marina</i>	4	2,39	$B = 0,1848 (D)^{2,3624}$ (Dharmawan dan Siregar 2008)	1,45
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	2468	15,84	$B = 0,1466 (D)^{2,3136}$ (Dharmawan 2010)	87,48
	<i>Avicennia marina</i>	10	4,06	$B = 0,1848 (D)^{2,3624}$ (Dharmawan dan Siregar 2008)	5,06

Tabel 6. Perhitungan stok karbon (*above ground mask*) pada mangrove

Lokasi	Jenis mangrove	Biomassa (ton/luasan)	Faktor konversi (Standar IPCC)	Stok karbon atas permukaan (tonC/luasan)	Stok karbon atas permukaan (tonC/ha)
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	64,55	0,46	29,69	251,13
	<i>Avicennia marina</i>	1,45	0,46	0,67	5,67
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	87,48	0,46	40,24	192,96
	<i>Avicennia marina</i>	5,06	0,46	2,33	11,17

Tabel 7. Perhitungan total serapan karbon

Lokasi	Jenis mangrove	Mr CO ₂ / ArC	Stok karbon (ton C/luasan)	Simpanan Ekuivalen CO ₂ (ton CO ₂ /luasan)	Simpanan Ekuivalen CO ₂ (ton CO ₂ /ha)
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	3,67	29,69	109,0	943,17
	<i>Avicennia marina</i>	3,67	0,67	2,4	91,67
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	3,67	40,24	147,7	707,65
	<i>Avicennia marina</i>	3,67	2,33	8,5	406,00

Mangrove Jembatan Cinta menunjukkan karakteristik ekosistem restorasi yang telah berkembang dengan baik, ditandai oleh dominansi *Rhizophora mucronata* dengan kerapatan dan tutupan tajuk yang tinggi serta didukung oleh kondisi sedimen yang mampu menyimpan karbon dalam jangka panjang. Temuan ini mengindikasikan bahwa kawasan tersebut tidak hanya berfungsi sebagai area rehabilitasi, tetapi telah bertransformasi menjadi sistem ekosistem yang efektif dalam proses sekuestrasi dan penyimpanan karbon.

Efisiensi sekuestrasi karbon pada mangrove sangat dipengaruhi oleh interaksi faktor internal seperti struktur vegetasi, kondisi hidrologi, dan aktivitas mikroba tanah (Ali *et al.*, 2025), serta faktor eksternal seperti curah hujan, kelembaban tanah, salinitas, dan tekanan antropogenik yang umumnya tinggi di wilayah pesisir terurbanisasi (Zheng *et al.*, 2025). Mengingat lokasi kawasan ini berada di pesisir utara Jawa yang merupakan bagian dari wilayah dengan tekanan urbanisasi tinggi akibat perkembangan Jabodetabek, keberadaan Mangrove Jembatan Cinta menjadi sangat strategis sebagai benteng ekologis sekaligus penyerap karbon pesisir. Oleh karena itu, perlindungan dan pengelolaan kawasan secara berkelanjutan berbasis data biofisik menjadi krusial untuk mempertahankan stabilitas fungsi ekosistem, meningkatkan kapasitas sekuestrasi karbon, serta mendukung integrasi mangrove restorasi dalam kerangka karbon biru dan upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal hingga nasional.

KESIMPULAN

Ekosistem mangrove di Kawasan Pusat Restorasi dan Pembelajaran Mangrove Jembatan

Cinta didominasi oleh jenis *Rhizophora mucronata* dengan tingkat kerapatan sangat padat, yaitu sebesar 9.300 pohon/ha pada Lokasi 1 dan 12.867 pohon/ha pada Lokasi 2, serta nilai tutupan mencapai 85,32% dan 79,60%. Sementara itu, *Avicennia marina* memiliki kerapatan dan tutupan yang jauh lebih rendah sehingga kontribusinya terhadap struktur tegakan relatif kecil. Hasil estimasi biomassa menunjukkan bahwa *Rhizophora mucronata* memiliki biomassa tertinggi, yaitu sebesar 64,55 ton/luasan di Lokasi 1 dan 87,48 ton/luasan di Lokasi 2. Biomassa tersebut menghasilkan stok karbon atas permukaan masing-masing sebesar 251,13 tonC/ha dan 192,96 tonC/ha. Secara total, nilai *carbon storage* (stok karbon atas permukaan) di kawasan penelitian mencapai 256,75 tonC/ha pada Lokasi 1 dan 204,15 tonC/ha pada Lokasi 2. Selain itu, total simpanan ekuivalen karbon dioksida mencapai 111,4 ton CO₂ pada Lokasi 1 dan 156,2 ton CO₂ pada Lokasi 2. Nilai *carbon storage* yang tinggi menunjukkan bahwa kawasan mangrove restorasi Jembatan Cinta telah berkembang menjadi ekosistem yang efektif dalam menyimpan karbon dan berpotensi besar mendukung mitigasi perubahan iklim berbasis *blue carbon*. Dominansi *Rhizophora mucronata* dengan kerapatan dan tutupan tajuk yang tinggi menjadi faktor utama yang menentukan besarnya biomassa dan kapasitas penyimpanan karbon di kawasan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, S., Dey, G., Nuong, N.H.K., Rahman, A., Wang, L.-C., Sukul, U., Das, K., Sharma, R.K., Wang, S.-L. & Chen, C.Y. 2025. Carbon sequestration in mangrove ecosystems: sources, transportation pathways, influencing

- factors, and its role in the carbon budget. *Earth-Science Reviews*, 269:105184. doi: 10.1016/j.earscirev.2025.105184
- Alongi, D.M. 2014. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 5(3):263–286.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. & Silliman, B.R. 2011. The value of coastal wetlands for hurricane protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(8):493–500. doi: 10.1890/100045
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W.A., Muller-Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G. & Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20:3177–3190. doi: 10.1111/gcb.12629
- Dahdouh-Guebas, F., Verneaux, V. & Koedam, N. 2005. Tropical mangrove forests: a global perspective. In: *Ecological Studies*. Springer, Berlin, p.3–21.
- Easteria, G., Imran, Z. & Yulianto, G. 2022. Estimasi stok karbon mangrove rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(2):191–204.
- English, S., Wilkinson, C. & Baker, V. 1994. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- Erniasari, I. & Hernawan, E. 2024. Short communication: carbon stock of mangrove forest in Pantai Sederhana, Bekasi District, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(9):2974–2980. doi: 10.13057/biodiv/d250918
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Gregor, L., Hauck, J., Le Quéré, C., Luijckx, I.T., Peters, G.P. & Peters, W. 2022. Global carbon budget 2022. *Earth System Science Data*, 14:4811–4900. doi: 10.5194/essd-14-4811-2022
- Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M. & Van Dijk, K.J. 2007. *Mangrove Guidebook for Southeast Asia*. FAO, Rome.
- Hilwan, I. & Nurjannah, S. 2014. Potensi simpanan karbon pada tegakan revegetasi lahan pasca tambang di PT Jorong Barutama Greston, Kalimantan Selatan. *Silvikultur Tropika*, 5(3):188–195.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E. & Telszewski, M. 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangrove, Tidal Salt Marshes and Seagrass Meadows*. IUCN, Arlington.
- Hussain, S.A., Othman, N.A. & Rahman, M.S. 2018. Mangrove ecosystem services and their role in coastal protection: a case study from Tarumajaya, Bekasi. *Journal of Coastal Conservation*, 22(3):523–535. doi: 10.1007/s11852-017-0569-4
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. IGES, Hayama.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2022. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor SK.168/MENLHK/PKTL/PLA.1/2/2022 tentang Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 untuk Pengendalian Perubahan Iklim. KLHK, Jakarta.
- Komiyama, A., Pongparn, S. & Kato, S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4):471–477. doi: 10.1017/S0266467405002476
- Kumar, L. & Jha, A. 2016. The role of mangroves in coastal fisheries: a review. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 19(2):178–189. doi: 10.1080/14634988.2016.1168584
- Mardiana, R. & Prasetyo, L.B. 2021. Ekowisata mangrove Jembatan Cinta: peluang dan tantangan. *Jurnal Pariwisata Berkelanjutan*, 3(1):45–56.
- Murdiyarso, D. 1999. *Perlindungan Atmosfer melalui Perdagangan Karbon: Paradigma Baru dalam Sektor Kehutanan*. Orasi Ilmiah Guru Besar. IPB, Bogor.
- Murdiyarso, D., Skutsch, M., Sari, A.P. et al. 2015. The role of mangroves in carbon storage and climate change mitigation. *Forest Ecology and Management*, 352:181–188. doi: 10.1016/j.foreco.2015.05.011

- Murray, B.C., Pendleton, L. & Donato, D.C. 2011. Green infrastructure: coastal blue carbon. *Environmental Science & Policy*, 14(2):275–286. doi: 10.1016/j.envsci.2010.11.004
- Nedhisa, P.I. & Tjahjaningrum, T. 2019. Estimasi biomassa, stok karbon dan sekuestrasi karbon mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan persamaan allometrik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(2). doi: 10.12962/j23373520.v8i2.45838
- Ogawa, Y., Sadaba, R.B. & Kanzaki, M. 2022. Stand structure, biomass, and net primary productivity of planted and natural mangrove forests in Batan Bay Estuary, Philippines. *Tropics*, 31(1):1–9. doi: 10.3759/tropics.MS21-13
- Price, C.A., Schroeder, T.A., Branoff, B., van Bloem, S.J., Pillot-Torres, N., Chaudry, M.H., Papeş, M. & Marcano-Vega, H. 2025. Allometric relationships for the linear dimensions and biomass of Puerto Rican mangroves. *Forest Ecology and Management*, 593:122908. doi: 10.1016/j.foreco.2025.122908
- Sun, J., Lu, X., Chen, G., Luo, N., Zhang, Q. & Li, X. 2023. Biochar promotes soil aggregate stability and associated organic carbon sequestration and regulates microbial community structures in Mollisols from northeast China. *SOIL*, 9:261–275. doi: 10.5194/soil-9-261-2023
- van Bijsterveldt, C.E.J., Debrot, A.O., Bouma, T.J., Maulana, M.B., Pribadi, R., Schop, J., Tonneijck, F.H. & van Wesenbeeck, B.K. 2022. To plant or not to plant: when can planting facilitate mangrove restoration? *Frontiers in Environmental Science*, 9. doi: 10.3389/fenvs.2021.690011
- Zheng, Y., Zhang, X., Wang, Y., Shi, W., Dong, L., Cui, W., Wu, L., Chen, Q. & Sun, Z. 2025. Factors influencing mangrove biomass carbon and their relative contributions on Hainan Island. *Journal of Environmental Management*, 394:127520. doi: 10.1016/j.jenvman.2025.127520