



# Potensi Stok Karbon Mangrove di Muara Sungai Kawal, Kabupaten Bintan

*Potential Carbon Stocks of the Mangrove in Muara Sungai Kawal, Bintan Regency*

Zulfikar<sup>1✉</sup>, Majariana Krisanti<sup>1</sup>, Fery Kurniawan<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Pengelolaan Sumberdaya Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia 16680

<sup>2</sup>Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia 16127

## ✉ Info Artikel:

Diterima: 10 Desember 2025

Revisi: 18 April 2026

Disetujui: 5 Mei 2026

Dipublikasi: 21 Juni 2026

## 📖 Kata Kunci:

Biomassa Atas (AGB), Biomassa Bawah (BGB), Karbon Organik, Mangrove, Nekromassa

## ✉ Penulis Korespondensi:

Zulfikar

Pengelolaan Sumberdaya Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

Email:

[mahjurr.zulfikar@apps.ipb.ac.id](mailto:mahjurr.zulfikar@apps.ipb.ac.id)



This is an open access article under the [CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Authors.

Published by Program Studi

Manajemen Sumberdaya Perairan

Universitas Maritim Raja Ali Haji.

## 📖 How to cite this article:

Zulfikar, Krisanti, M., & Kurniawan, F. (2026). Potensi Stok Karbon Mangrove di Muara Sungai Kawal, Kabupaten Bintan. *Jurnal Akuatiklestari*, 9(2), 219-228. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v9i2.8021>

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sejak masa revolusi industri periode 1750 – 1850 telah menjadi faktor pemicu utama perubahan iklim yang didorong aktivitas antropogenik (Hairiah & Rahayu, 2007). Akumulasi CO<sub>2</sub> tersebut menghasilkan konsekuensi seperti kenaikan suhu permukaan, kenaikan permukaan laut, dan pergeseran pola hidrologi (Shalsabilla *et al.*, 2022). Di tengah kondisi tersebut, khususnya mangrove diakui sebagai salah satu karbon biru (*blue carbon*) paling efektif dalam menyimpan karbon pada biomassa maupun sedimen (Alongi, 2020; Sidik *et al.*, 2023).

Indonesia memegang peran sentral dalam penyimpanan karbon biru karena memiliki mangrove seluas ±3,44 juta ha atau sekitar 23% dari total luas global (Analuddin *et al.*, 2022; Murdiyarso *et al.*, 2023). Namun, sebagian dari ekosistem tersebut mengalami penurunan kualitas akibat tekanan antropogenik seperti konversi lahan, pembangunan pesisir, hingga eksploitasi sumberdaya yang berakibat langsung pada penurunan potensi penyimpanan karbon (Sidik *et al.*, 2023;

Arifanti *et al.*, 2025). Sekitar 70% dari total stok karbon tersimpan di sedimen (Kauffman & Donato, 2012; Alongi *et al.*, 2015; Murdiyarso *et al.*, 2015). Dengan demikian, degradasi sedimen maupun vegetasi berpotensi mengurangi total simpanan karbon mangrove. Provinsi kepulauan Riau memiliki luas mangrove mencapai ±68,351 ha dan sekitar 55% telah rusak (KLHK, 2020). Kabupaten Bintan merupakan wilayah dengan tingkat degradasi tertinggi akibat konversi lahan menjadi pemukiman, pembangunan infrastruktur pelabuhan, serta pemanfaatan kayu mangrove oleh masyarakat (Darmayanti & Anggraini, 2024). Analisis tutupan lahan periode 2014 – 2021 menunjukkan penurunan mangrove padat seluas 1,137 ha dan peningkatan mangrove jarang sebesar 857,1 ha (Naraswari, 2023).

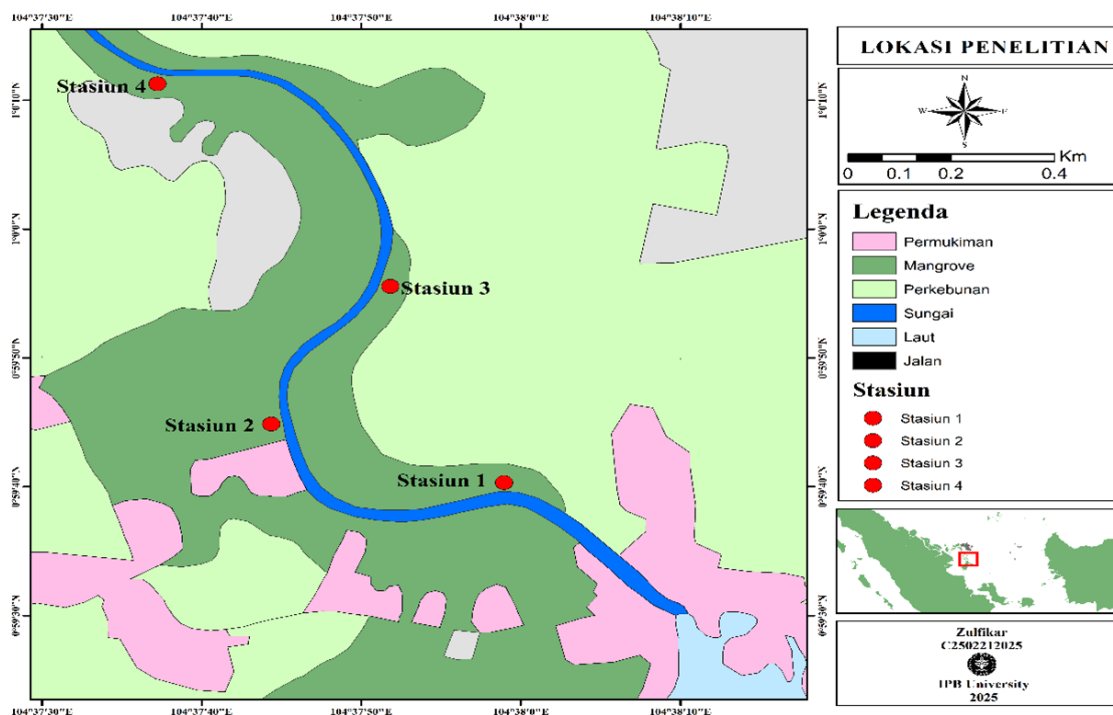
Perubahan tutupan tersebut teridentifikasi di Muara Sungai Kawal, salah satu kawasan mangrove penting di Bintan dengan luas sekitar 1,630 ha (Khairunnisa *et al.*, 2022). Kawasan ini berfungsi sebagai penyangga pesisir terhadap abrasi dan intrusi air laut, namun kedekatannya dengan pemukiman serta aktivitas ekonomi seperti perikanan, transportasi, dan pariwisata menyebabkan tingginya tekanan antropogenik yang berpotensi menurunkan kualitas ekosistem. Meskipun beberapa penelitian terdahulu telah membahas kondisi ekologi dan keanekaragaman hayati mangrove (Darmayanti & Anggraini, 2024). Sementara, penelitian kuantitatif mengenai stok karbon baik vegetasi (AGB dan BGB), nekromassa, maupun SOC serta keterkaitannya dengan tekanan antropogenik masih terbatas. Menurut Sutaryo (2009) terdapat empat jenis *carbon pool* utama, yaitu biomassa atas permukaan (AGB), biomassa bawah permukaan (BGB), bahan organik mati dan karbon tanah. Keempat *carbon pool* tersebut berkontribusi secara berbeda terhadap total simpanan karbon suatu ekosistem.

Potensi mangrove sebagai penyimpan karbon biru menjadikannya komponen penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan mengukur simpanan karbon yang mencakup biomassa atas (AGB), biomassa bawah (BGB), nekromassa, dan karbon organik sedimen (SOC), sebagai gambaran terintegrasi mengenai kapasitas penyimpanan karbon di Muara Sungai Kawal. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung pengelolaan ekosistem mangrove secara lebih tepat dan berbasis data.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 di Muara Sungai Kawal Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau. Analisis dilakukan di Laboratorium Agriculture PT. Mutu Agung Lestari, Tbk. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Muara Sungai Kawal

Lokasi penentuan titik sampling dilakukan secara *purposive sampling* dengan mempertimbangkan keterwakilan variasi kondisi pemanfaatan ekosistem mangrove di kawasan penelitian. Pendekatan ini digunakan untuk merepresentasikan sebaran stok karbon mangrove pada kondisi perbedaan aktivitas di sekitar kawasan. Penelitian dilaksanakan pada 4 Stasiun penelitian, yaitu:

1. Stasiun 1 kawasan mangrove berdekatan kebun dan permukiman.
2. Stasiun 2 kawasan mangrove berdekatan pasar dan pelabuhan.
3. Stasiun 3 berada di area penebangan.
4. Stasiun 4 yang berada jauh dari aktivitas pemanfaatan manusia.

## 2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Global Positioning System* (GPS) untuk menentukan koordinat lokasi pengambilan sampel, kamera untuk dokumentasi lapangan, meteran kain untuk mengukur lingkar diameter batang setinggi dada (DBH) pohon, *roll meter* sebagai alat ukur pembuatan plot, *sediment core* untuk mengambil sampel sedimen, meteran untuk mengukur kedalaman sampel, serta alat tulis dan kertas label untuk pencatatan dan penandaan sampel. Sampel sedimen disimpan menggunakan plastik sampel dan *box cooler* agar kondisi tetap stabil sebelum dianalisis di laboratorium.

## 2.3. Prosedur Penelitian

Pengukuran nekromassa dilakukan pada pohon mati berdiri dan kayu mati rebah menggunakan metode (SNI 7724:2019). Sampel sedimen diambil pada setiap stasiun menggunakan *sediment core* dan dibagi menjadi tiga interval kedalaman. Sampel dianalisis di laboratorium untuk menentukan nilai *bulk density* (BD), kandungan karbon organik (%C) menggunakan metode Walkley & Black. Nilai *soil organic carbon* (SOC) didapatkan dari nilai BD, %C dan interval kedalaman (Howard et al., 2014). Total stok karbon mangrove dari penjumlahan karbon yang tersimpan dalam biomassa, nekromassa dan SOC sesuai prosedur (SNI 7724:2019).

## 2.4. Teknik Pengumpulan Data

Pengambilan data vegetasi mangrove dilakukan dengan metode *purposive* sampling. Penelitian ini menerapkan transek garis sepanjang 100 m dari badan sungai ke arah darat. Penentuan Stasiun berdasarkan variasi kondisi pemanfaatan, yaitu Stasiun 1 dekat kebun dan permukiman, Stasiun 2 dekat pasar dan pelabuhan, Stasiun 3 area penebangan dan Stasiun 4 berada jauh dari aktivitas pemanfaatan manusia. Setiap Stasiun terdiri atas tiga plot dengan transek ukuran 10x10 m (SNI 7724:2019).

Identifikasi spesies mangrove dilakukan melalui pengenalan langsung dengan memanfaatkan buku panduan berjudul "Panduan Pengenalan Mangrove Indonesia" (Noor et al., 2006). Pengukuran DBH dilakukan pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah atau setara tinggi dada menggunakan pita ukur. Seluruh individu mangrove dalam plot diukur untuk memperoleh data representatif. Data DBH digunakan dalam persamaan alometrik untuk perhitungan biomassa AGB dan BGB secara non-desktruktif. Persamaan alometrik digunakan untuk perhitungan biomassa berdasarkan hubungan matematis antara diameter batang setinggi dada (DBH) sebagai variabel bebas dan biomassa pohon sebagai variabel terikat (Asiah et al., 2024).

Pengukuran nekromassa mangrove dilakukan pada pohon mati berdiri dan kayu mati rebah di dalam plot pengamatan. Pohon mati berdiri diukur berdasarkan diameter setinggi dada (DBH) > 10 cm. Kayu mati rebah diukur melalui diameter pangkal, diameter ujung, dan panjang batang dengan kriteria diameter > 5 cm dan panjang ≥ 0,5 m. (Kauffman & Donato, 2012). Data pengukuran digunakan untuk menghitung volume kayu mati yang kemudian dikonversi menjadi biomassa nekromassa dan kandungan karbon.

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada titik tengah di setiap stasiun penelitian (SNI 7724:2019). Sampel diambil menggunakan *sediment core* berdiameter ±5 cm hingga kedalaman 50 cm dan dipisahkan menjadi tiga interval kedalaman, yaitu 0–15 cm, 15–30 cm, dan 30–50 cm (Kauffman & Donato, 2012). Interval dipilih karena lapisan atas sedimen lebih sensitif terhadap perubahan penggunaan lahan dan tekanan pemanfaatan di sekitar kawasan mangrove. Sub inti hasil pemotongan dimasukkan ke dalam plastik sampel yang telah diberi label kode stasiun, kedalaman, dan tanggal pengambilan, kemudian disimpan dalam *box cooler* untuk menjaga kondisi fisik dan kimia hingga dianalisis di laboratorium.

Analisis laboratorium menggunakan ring sampel untuk pengukuran *bulk density* (BD). Pemindahan sampel ke ring dilakukan karena keterbatasan teknis penggunaan ring langsung di lokasi penelitian. Prosedur ini berpotensi memengaruhi perubahan volume dan struktur sedimen, sehingga interpretasi *bulk density* dilakukan secara hati-hati (Murdiyarso et al., 2015).

## 2.5. Analisis Data

### 2.5.1. Analisis Biomassa Mangrove

Estimasi biomassa dilakukan menggunakan rumus alometrik yang dikembangkan peneliti sebelumnya yang disajikan dalam Tabel 1. Setiap spesies mangrove dihitung menggunakan persamaan dengan tingkat korelasi (r) yang paling optimal dari beragam persamaan yang ditemukan dalam referensi.

**Tabel 1.** Persamaan Alometrik untuk Vegetasi Mangrove

Jenis Mangrove	Model Alometrik	Sumber Penelitian
<i>Ceriops tagal</i>	$B = 0,251\rho(D)^{2,46}$	Komiyama et al. (2005)
<i>Xylocarpus granatum</i>	$B = 0,1832(D)^{2,21}$	Tarlan (2008)
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043(D)^{2,63}$	Komiyama et al. (2005)
<i>Excoecaria agallocha</i>	$B = 0,251\rho(D)^{2,46}$	Komiyama et al. (2005)
<i>Bruguiera gymnorriszha</i>	$B = 0,0754(D)^{2,505}$	Kauffman & Donato (2012)

Keterangan: B = Biomassa (kg), D = dbh (cm),  $\rho$  = wood density (gr/cm<sup>2</sup>)

Densitas kayu ( $\rho$ ) berperan penting sebagai parameter utama yang mendapatkan nilai berat jenis kayu dalam  $\text{g/cm}^3$ . Densitas kayu antar spesies tidak homogen, sehingga penggunaannya disesuaikan dengan spesies yang dianalisis (Komiyama *et al.*, 2008). Densitas tegakan beberapa jenis mangrove disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Persamaan Densitas Tegakan Kayu untuk Vegetasi Mangrove

Jenis Mangrove	Model Alometrik	Sumber Penelitian
<i>Ceriops tagal</i>	$0,746 \pm 0,121$	World Agroforestry Center (2016)
<i>Xylocarpus granatum</i>	$0,770 \pm 0,093$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)
<i>Rhizophora apiculata</i>	$0,770 \pm 0,093$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)
<i>Excoecaria agallocha</i>	$0,746 \pm 0,121$	World Agroforestry Center (2016)
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$0,699 \pm 0,121$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)

### 2.5.2. Analisis Karbon per Hektar

Perhitungan nilai karbon yang tersimpan dalam satu hektar dilakukan setelah mendapatkan hasil pengukuran karbon per plot (SNI 7724:2019). Kuantifikasi karbon per hektar dapat dikalkulasikan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_n = (C_x/1000) \times (10.000/\text{luas plot})$$

Keterangan: CN = Kandungan karbon per hektar pada setiap plot ( $\text{ton/ha}^{-1}$ ), Cx = Kandungan karbon pada setiap plot (kg), L plot = Luas plot ( $\text{m}^2$ )

### 2.5.3. Analisis Stok Karbon

Simpanan karbon dapat diestimasi dari nilai biomassa vegetasi. Sekitar 46-50% dari biomassa merupakan karbon (Kauffman & Donato, 2012). Perhitungan cadangan karbon dilakukan sesuai dengan rumus (Howard *et al.*, 2014).

$$C = 0,47 \times B$$

Keterangan: C = Cadangan karbon, B = Biomassa, 0,47 = Fraksi karbon

### 2.5.4. Analisis Nekromassa

Pengukuran nekromassa mangrove dilakukan pada pohon mati berdiri dan kayu mati rebah. Pohon mati berdiri diukur pada diameter pohon setinggi 1,3 m (DBH)  $>10$  cm. pengukuran kayu mati rebah dilakukan dengan mengukur pangkal, diameter ujung dan pangkal. Kategori rebah memiliki diameter batang  $>5$  cm dan panjang batang minimal 0,5 m (Hairiah *et al.* 2007). Serasah tidak diukur karena kontribusinya relatif kecil terhadap total stok karbon. Persamaan biomassa kayu mati berdiri dan mati rebah berdasarkan (SNI 7724:2019)

#### 1. Persamaan biomassa kayu mati berdiri:

$$V_{pm} = \frac{1}{4} \pi \left( \frac{dbh}{100} \right)^2 \times t \times f$$

Keterangan: Vpm = Volume pohon mati ( $\text{m}^3$ ), Dbh = Diameter setinggi dada pohon mati 1,3 m (cm), t = Tinggi total pohon mati (m), f = Faktor bentuk (0,6).

#### 2. Persamaan biomassa kayu mati rebah:

$$V_{pm} = \frac{1}{4} \pi \left( \frac{dp + du}{2 \times 100} \right)^2 \times p$$

Keterangan: Vkm = Volume kayu mati rebah ( $\text{m}^3$ ), Dp = Diameter pangkal kayu mati (cm), Du = Diameter ujung kayu mati (cm), p = Panjang kayu mati (m),  $\pi$  = Keliling lingkaran dengan diameter (3,14).

### 2.5.5. Analisis Stok Karbon Organik Sedimen

Perhitungan analisis karbon sedimen dilakukan dengan menghubungkan parameter konsentrasi C organik, berat *bulk density*, dan interval kedalaman tanah dengan metode *Walkley & Black* yang berhubungan dengan analisis titrasi kimia. Kedalaman sedimen penelitian ini adalah interval 15 – 50 cm karena merupakan tingkat strata yang paling berpengaruh terhadap perubahan alih fungsi lahan (Kauffman & Donato, 2012).

#### 1. Bulk density dihitung dengan rumus:

$$BD = \frac{W}{V}$$

Keterangan: BD = Bulk density ( $\text{g/cm}^3$ ), W = Berat kering sampel (kg), V = Volume sampel ( $\text{cm}^3$ ).

2. Kandungan karbon organik dihitung dengan rumus:

$$\%C \text{ organik} = \frac{(V_b - V_s) \times N \times 0.003 \times 100}{W}$$

Keterangan:  $V_b$  = Volume titran  $\text{FeSO}_4$  untuk blanko (mL),  $V_s$  = Volume titran  $\text{FeSO}_4$  untuk sampel (mL),  $N$  = normalitas larutan  $\text{FeSO}_4$ , 0,003 = massa karbon dalam 1 mL larutan 0,1 N (konstanta),  $W$  = berat sampel tanah (g).

3. Kandungan karbon soil C diestimasi dengan rumus (Howard *et al.*, 2014):

$$\text{Soil C (ton/ha)} = (\text{Kd} \times \text{bulk density} \times \%C\text{-organik}) \times 100$$

Keterangan: Soil C = Simpanan karbon sedimen per hektar (ton/ha), Kd = Interval kedalaman tanah (cm), Bulk density = Perbandingan berat kering tanah terhadap volume ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

4. Stok karbon total menggunakan metode (SNI 7724:2019):

$$\text{Ctot} = \text{Cbh} + \text{Cth}$$

Keterangan: Ctot = Stok karbon total (ton/ha), Cbh = Stok karbon per hektar biomassa (ton/ha), Cth = Stok karbon per hektar sedimen (ton/ha).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Sebaran Mangrove di Muara Sungai Kawal

Komunitas vegetasi mangrove di Muara Sungai Kawal menunjukkan tingkat keanekaragaman yang cukup tinggi dengan teridentifikasi enam spesies utama, yaitu *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops tagal*, *Excoecaria agallocha*, *Lumnitzera littorea*, dan *Xylocarpus granatum*. Kehadiran enam spesies yang berasal dari tiga famili *Rhizophoraceae*, *Euphorbiaceae*, dan *Meliaceae*. Mengindikasikan kondisi ekosistem di kawasan ini masih mempertahankan karakteristik alami. Menurut Giesen *et al.* (2007) komunitas mangrove yang memiliki lebih dari lima spesies dikategorikan sebagai struktur vegetasi yang baik serta fungsi ekologis yang berjalan optimal. Keenam jenis ini memiliki pola sebaran yang berbeda di lokasi penelitian yang disajikan dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Sebaran Jenis Mangrove di Muara Sungai Kawal

Jenis Mangrove	Stasiun Penelitian				Sebaran
	1	2	3	4	
<i>Ceriops tagal</i>	-	+	+	+	Zona belakang
<i>Excoecaria agallocha</i>	-	-	+	+	Zona transisi ke darat
<i>Lumnitzera littorea</i>	-	-	+	+	Zona daratan sedikit kering
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	+	+	-	-	Zona tengah dan tergenang
<i>Rhizophora apiculata</i>	+	+	+	+	Zona tepi sungai
<i>Xylocarpus granatum</i>	+	+	+	+	Sebaran luas

Keterangan: (+) menunjukkan kehadiran jenis pada lokasi penelitian

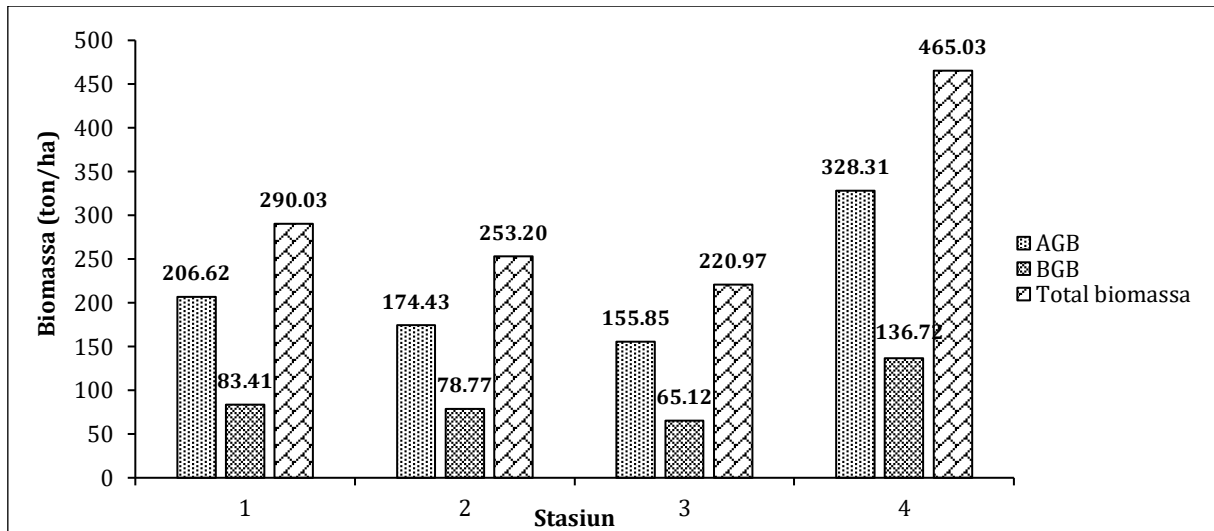
Pola penyebaran vegetasi di lokasi penelitian menunjukkan adanya tumpang tindih antar spesies. *Rhizophora apiculata* tersebar hingga ke zona tengah, *Xylocarpus granatum* di seluruh zona, dan *Bruguiera gymnorrhiza* bercampur dengan *Excoecaria agallocha* di bagian belakang. Pola zonasi campuran (*mixed zonation*) menunjukkan terjadinya perubahan struktur komunitas alami akibat pergeseran kondisi lingkungan dan tekanan aktivitas manusia (Friess *et al.*, 2019). Pola zonasi di Muara Sungai Kawal sejalan dengan hasil penelitian Mughofar *et al.* (2018) di Desa Karanggandu, Kabupaten Trenggalek, yang menemukan *Rhizophora apiculata* sebagai spesies dominan di zona tepi, sedangkan *Xylocarpus granatum* dan *Bruguiera gymnorrhiza* mendominasi zona tengah serta belakang. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur komunitas di Muara Sungai Kawal masih berada dalam batasan ekologis alami.

Berdasarkan laporan Riva (2013) kawasan Pulau Bintan bagian timur memiliki zonasi vegetasi yang teratur dengan tingkat gangguan antropogenik yang rendah, sehingga struktur komunitas mangrove di kawasan tersebut lebih stabil dibandingkan dengan Muara Sungai Kawal. Perbedaan pola zonasi antara kedua kawasan tersebut diduga dipengaruhi oleh tingkat tekanan antropogenik dan dinamika hidrologi yang berbeda. Kawasan Pulau Bintan bagian timur masih dikategorikan sebagai alami karena minim intervensi manusia, dengan sistem pasang surut yang tidak terganggu, serta tingkat sedimentasi yang stabil (Riva, 2013).

Sebaliknya, Muara Sungai Kawal terletak di dekat area dengan aktivitas pelabuhan, pasar, dan penebangan, yang berpotensi mengubah pola aliran air, meningkatkan laju sedimentasi, dan memperluas variasi salinitas. Faktor-faktor tersebut menyebabkan kondisi habitat menjadi heterogen, sehingga spesies mangrove dapat berkembang di luar zona optimalnya. Perubahan hidrologi akibat dari aktivitas manusia membuat pola distribusi spesies mangrove menjadi tidak jelas dan mengakibatkan kerusakan pola zonasi sebagai kestabilan ekosistem (Ramadhan & Sofyana, 2025).

### 3.2. Biomassa Mangrove

Faktor utama yang memengaruhi biomassa adalah diameter batang yang merepresentasikan pertumbuhan tegakan dan penyerapan karbon (Alviana *et al.*, 2023). Berdasarkan hasil Gambar 2 nilai AGB berkisar antara 155,85 – 328,31 ton/ha dengan rata – rata 21,30 ton/ha. Sedangkan BGB berkisar antara 65,12 – 136,72 ton/ha dengan rata – rata 91,00 ton/ha. Persen biomassa AGB lebih besar dari BGB yaitu 70,4% dan 29,6% dari total biomassa. Nilai biomassa mangrove AGB dan BGB tertinggi pada Stasiun 4 sedangkan terendah pada Stasiun 3. Estimasi biomassa dan stok karbon lebih akurat didasarkan pada diameter batang dibandingkan kerapatan pohon (Kauffman *et al.*, 2011). Hasil estimasi biomassa di Muara Sungai Kawal disajikan pada Gambar 2.

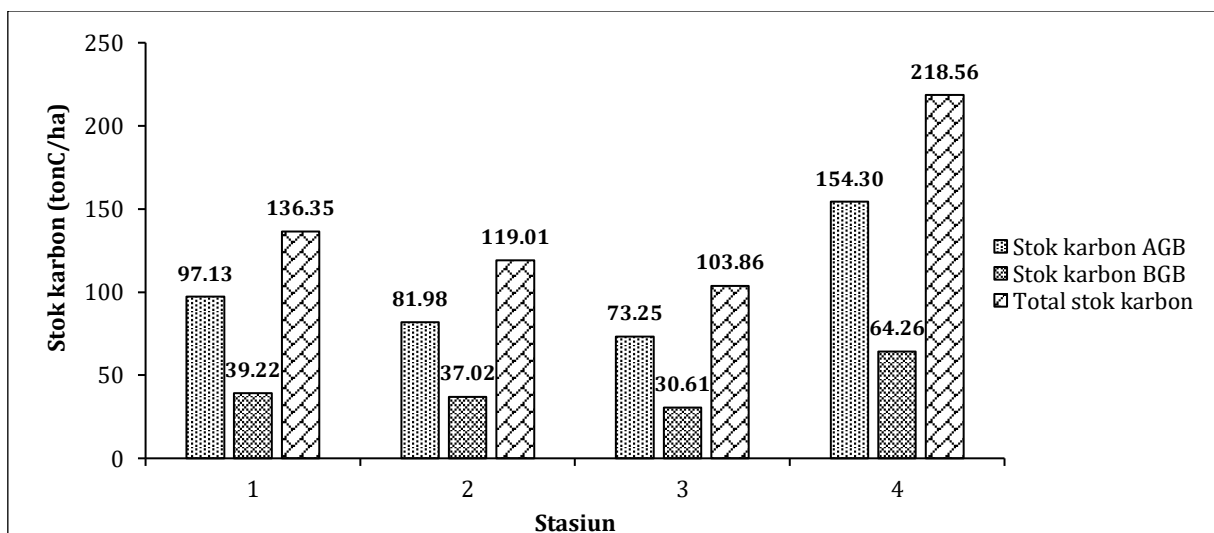


Gambar 2. Biomassa Mangrove di Muara Sungai Kawal

Variasi biomassa mangrove pada penelitian ini menunjukkan perbedaan kapasitas ekosistem dalam menyimpan karbon yang dipengaruhi oleh struktur vegetasi dan tingkat tekanan antropogenik di setiap stasiun. Nilai biomassa AGB dan BGB dalam penelitian ini masih berada dalam kisaran umum berbagai penelitian sebelumnya di ekosistem mangrove Indonesia, yaitu AGB sebesar 130 – 350 ton/ha dan BGB antara 60 – 150 ton/ha. Hasil penelitian Ramadhan *et al.* (2025) di Lombok Timur melaporkan AGB sebesar 214,4 ton/ha dan BGB sebesar 95,6 ton/ha, dengan proporsi 69% dan 31%. Sementara, penelitian Rizkiyani *et al.* (2024) di Betahwalang, Demak mendapatkan nilai AGB sebesar 198,4 ton/ha dan BGB sebesar 97,0 ton/ha. Kesamaan kisaran nilai tersebut menunjukkan bahwa produktivitas mangrove di Muara Sungai Kawal masih merepresentasikan karakteristik umum ekosistem mangrove tropis.

### 3.3. Stok Karbon Mangrove

Penghitungan stok karbon dilakukan berdasarkan hasil estimasi biomassa yang diperoleh melalui metode alometrik sesuai dengan standar (SNI 7724:2019). Berdasarkan hasil pada Gambar 3 menunjukkan stok karbon AGB berkisar antara 73,25 – 154,30 ton C/ha dengan rata – rata 101,67 ton C/ha. Sedangkan BGB 30,61– 64,26 ton C/ha dengan rata – rata 42,78 ton C/ha. Total stok karbon (AGB + BGB) berkisar antara 103,86 – 218,56 ton C/ha dengan rata-rata 144,45 ton C/ha. Hasil biomassa mangrove disajikan pada Gambar 3.

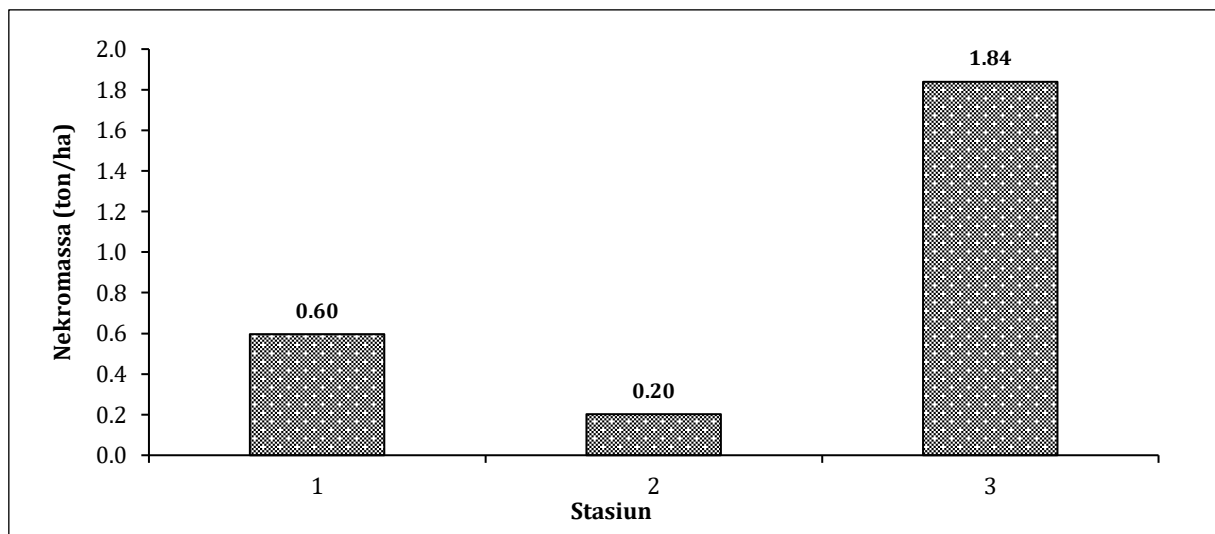


Gambar 3. Stok Karbon Mangrove di Muara Sungai Kawal

Secara teoritis, stok karbon merupakan hasil akumulasi biomassa. Secara empiris semakin besar biomassa pohon maka semakin besar karbon yang tersimpan. Hal ini terbukti dalam penelitian ini, Stasiun 4 memiliki stok karbon biomassa tertinggi karena memiliki biomassa pohon yang tinggi. Stasiun 3 yang memiliki stok karbon rendah karena biomassa pohon rendah. Rata – rata stok karbon di Muara Sungai Kawal sebesar 144, 45 ton C/ha yang tergolong kategori sedang. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan hasil Penelitian Putri & Sadono (2025) di kawasan rehabilitasi Mangunharjo, Semarang dengan nilai sebesar 120,36 ton C/ha dan lebih rendah dibandingkan studi Sinaga *et al.* (2023) di kawasan Anambas, Kepulauan Riau dengan nilai sebesar 270,12 ton C/ha.

### 3.4. Nekromassa Mangrove

Stok karbon nekromassa pada ekosistem mangrove Muara Sungai Kawal berkisar antara 0,20 –1,84 ton/ha dengan rata – rata 0,68 ton/ha. Nilai tertinggi tercatat pada Stasiun 3 sebesar 1,84 ton/ha, sedangkan nilai terendah pada Stasiun 2 sebesar 0,20 ton/ha. Pada Stasiun 4 tidak ditemukan kayu mati, sehingga stok karbon dari karbon pool ini tidak terukur. Rata – rata stok karbon nekromassa lebih kecil dibandingkan AGB, BGB, dan karbon tanah, karena jumlah biomassa kayu mati relatif lebih sedikit daripada biomassa hidup maupun karbon tanah (Alviana *et al.*, 2023). Hasil nekromassa disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nekromassa Kayu Mati dan Rebah di Muara Sungai Kawal

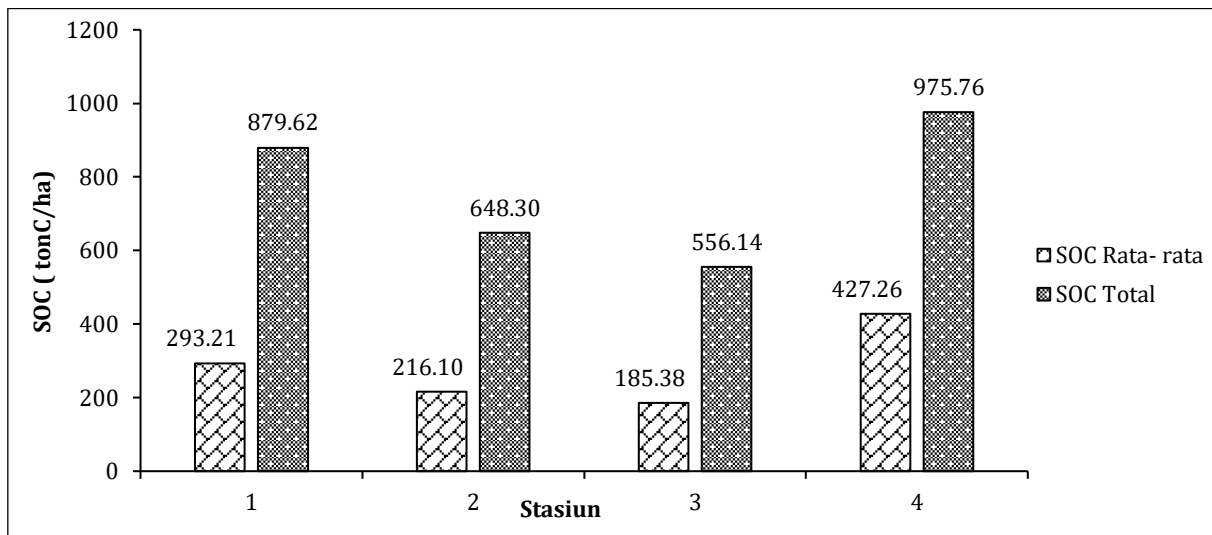
Stok karbon nekromassa dapat digunakan sebagai indikator tingkat gangguan dan stabilitas ekosistem mangrove. Kawasan yang mengalami gangguan, pohon lebih banyak mati sehingga kayu mati menumpuk dan nilai nekromassa meningkat. Sebaliknya, kawasan mangrove yang sehat memiliki nekromassa rendah karena pertumbuhan dan proses dekomposisi berjalan lebih seimbang. Besarnya nilai karbon yang tersimpan pada nekromassa dipengaruhi dari banyaknya jumlah pohon yang mati akibat dari aktivitas biofisik maupun terhadap kondisi lingkungan (Kusuma *et al.*, 2022).

Perbandingan dengan penelitian terdahulu memperkuat karakteristik tersebut. Nilai nekromassa di Muara Sungai Kawal 0,20 – 1,45 ton/ha berada di atas kisaran yang dilaporkan Kusuma *et al.* (2023) di Lampung, yaitu 0,09 – 0,36 ton/ha yang memiliki karakteristik ekosistem sangat stabil dan minim gangguan, sehingga akumulasi kayu mati relatif kecil. Nilai nekromassa penelitian ini juga berada dalam kategori sedang jika dibandingkan dengan hasil Alviana *et al.* (2023) di Pengudang, Bintan yang melaporkan nilai 2,44 ton/ha. Meskipun tidak menjelaskan faktor penyebab tingginya nilai, kondisi tersebut umumnya berkaitan dengan tegakan berumur tua, tumbangannya pohon, dan lambatnya dekomposisi sedimen mangrove yang anaerob, sehingga kayu mati bertahan lebih lama di permukaan. Temuan ini mendukung Imiliyana *et al.* (2011) di Sampang, Madura bahwa nekromassa berkontribusi kecil dibandingkan AGB, BGB, dan SOC, namun sangat sensitif terhadap perubahan struktur tegakan dan tingkat gangguan antropogenik.

### 3.5. Karbon Organik Sedimen Mangrove

Kandungan karbon organik sedimen merupakan jumlah karbon yang tersimpan dalam sedimen melalui akumulasi bahan organik (Aldiano *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil Gambar 5 menunjukkan SOC berkisar antara 185,38 – 427,26 ton C/ha dengan rata – rata 280,49 ton C/ha. Total akumulasi SOC per stasiun menunjukkan kisaran 556,14 – 975,76 ton C/ha dengan rata – rata 764,95 ton C/ha. Nilai tertinggi pada Stasiun 4 dan terendah pada Stasiun 3. Hasil *soil organic carbon* disajikan pada Gambar 5.

SOC di Muara Sungai Kawal tergolong pada kategori sedang. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan hasil studi Rustam *et al.* (2015) di ekosistem mangrove Tanjung Batu dengan perbedaan sebesar 233,51 ton C/ha. Hasil penelitian lain yang lebih rendah dari penelitian ini dari studi Suryono *et al.* (2018) di Perancak Jembrana, Bali dengan SOC sebesar 119,75 ton C/ha. SOC yang rendah di kawasan mangrove Perancak kemungkinan besar merupakan dampak dari perubahan penggunaan lahan yang terjadi sejak tahun 1980 (Prameswari *et al.*, 2015).



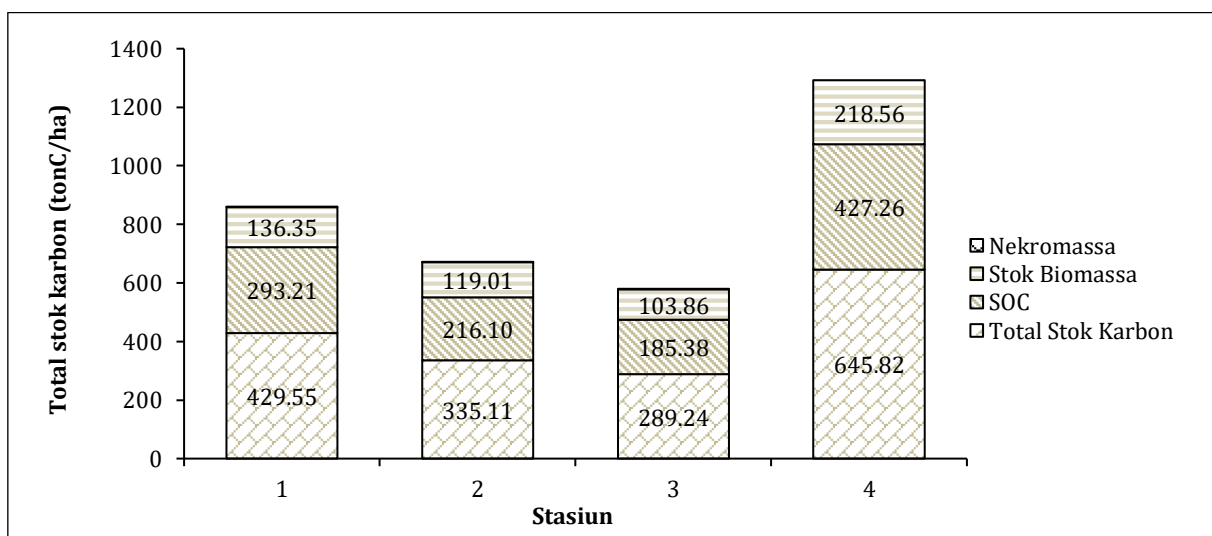
Gambar 5. Soil Organic Carbon (SOC) di Muara Sungai Kawal

Penelitian Kusumaningtyas *et al.* (2019) menunjukkan nilai SOC lebih tinggi dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini. Stok karbon sedimen di kawasan mangrove Segara Anakan, Cilacap tercatat sebesar 288 ton C/ha, sedangkan di Berau mencapai 486 ton C/ha. Penelitian tersebut dilakukan di wilayah pesisir Berau, dengan lokasi pengambilan sampel yang mencakup ekosistem mangrove alami dari Tanjung Bohai hingga Biduk-biduk.

Sementara itu, penelitian ini hanya melakukan pengambilan sampel sedimen di kawasan Muara Sungai Kawal, yang terletak di wilayah muara dan mengalami tekanan antropogenik seperti aktivitas pasar, pelabuhan, jembatan, kapal nelayan serta penebangan pohon mangrove. Tekanan tersebut berpotensi menurunkan produktivitas vegetasi dan mengurangi masukan bahan organik ke dalam sedimen. Salah satu faktor lain diduga menyebabkan perbedaan nilai SOC adalah variasi kedalaman sedimen yang dianalisis. Penelitian ini hanya mengukur hingga 50 cm, sedangkan Kusumaningtyas *et al.* (2019) menggunakan interval kedalaman hingga 100 cm.

### 3.6. Total Stok Karbon Muara Sungai Kawal

Total stok karbon terdiri dari stok karbon biomassa (AGB dan BGB), nekromassa dan SOC berkisar antara 289,24 – 645,82 ton C/ha dengan rata – rata 424,93 ton C/ha. Total karbon tertinggi pada Stasiun 4 dengan stok biomassa dan konsentrasi karbon organik sedimen tinggi. Total stok karbon terendah pada Stasiun 3 di area penebangan. Rata – rata total stok karbon disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Total Stok Karbon di Muara Sungai Kawal

Kondisi yang beragam di Muara Sungai Kawal menunjukkan bahwa tekanan antropogenik menjadi faktor penentu utama penurunan nilai karbon. Tegakan yang stabil dan kualitas sedimen terbukti memperkuat kapasitas penyimpanan karbon. Kapasitas penyimpanan karbon pada setiap stasiun tidak hanya bergantung pada ukuran dan kerapatan pohon, tetapi juga pada tingkat kestabilan ekosistem serta besarnya masukan bahan organik yang terdeposisi ke dalam sedimen. Perbedaan kondisi ekologis dan besarnya tekanan antropogenik berperan dalam mengendalikan akumulasi karbon pada biomassa vegetatif maupun sedimen yang secara langsung memengaruhi total stok karbon (Zakia *et al.*, 2024).

Total stok karbon di Muara Sungai Kawal berada dalam kategori menengah. Nilai pada stasiun 4 mendekati kisaran yang dilaporkan Sidik *et al.* (2023) pada ekosistem mangrove alami sekitar ±600 ton C/ha. Stasiun 2 dan 3 mendekati kisaran stok karbon yang dilaporkan Alongi *et al.* (2008) dan Kusumaningtyas *et al.* (2019) sebesar 200 – 300 ton C/ha yang mengalami tekanan antropogenik. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan total stok karbon di Muara Sungai Kawal karena heterogenitas kondisi ekologis antar stasiun, mulai dari tegakan yang sangat stabil hingga kawasan yang mengalami tekanan antropogenik. Secara keseluruhan, temuan ini menguatkan bahwa total stok karbon mangrove sangat dipengaruhi oleh struktur tegakan, tingkat gangguan ekosistem, dan dinamika akumulasi bahan organik di sedimen.

#### 4. SIMPULAN

Ekosistem mangrove di Muara Sungai Kawal memiliki potensi karbon yang menengah. Total stok karbon berkisar antara 289,24 – 645,82 ton C/ha dengan rata – rata 424,93 ton C/ha. Kontribusi terbesar berasal dari *carbon pool* SOC sebesar 66%, biomassa 34% dan nekromassa 0,2%. Nilai tersebut setara dengan potensi karbon dioksida ekuivalen sebesar 1,061,52 – 2,370,15 CO<sub>2</sub>-eq/ha dengan rata – rata 1,559,49 CO<sub>2</sub>-eq/ha. Penelitian selanjutnya disarankan untuk pengambilan sampel hingga interval kedalaman 100 cm serta menambahkan analisis kualitas perairan yang meliputi nitrat dan fosfat di dalam sedimen agar dapat mengkorelasikan pengaruh unsur hara terhadap akumulasi nilai karbon dalam sedimen mangrove.

#### 5. REFERENSI

- Aldiano, R. R., Wijaya, N. I., & Mahmiah. (2022). Estimasi Karbon Organik Sedimen di Ekosistem Mangrove Gunung Anyar, Surabaya. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 4(2), 111-123. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v4i2.55>
- Alongi, D. M., Trott, L. A., Rachmansyah, Tirendi, F., McKinnon, A. D., & Undu, M. C. (2008). Growth and development of mangrove forests overlying smothered coral reefs, Sulawesi and Sumatra, Indonesia. *Marine Ecology Progress Series*, 370, 97-109. <https://doi.org/10.3354/meps07661>
- Alongi, D. M., Murdiyarsa, D., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Hutahaean, A., Crooks, S., Lovelock, C. E., Howard, J., Herr, D., Fortes, M., Pidgeon, E., & Wagey, T. (2015). Indonesia's blue carbon: A globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetlands Ecology and Management*, 24, 3-13. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9446-y>
- Alongi, D. M. (2020). Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation. *Sci*, 2(3), 67. <https://doi.org/10.3390/sci2030067>
- Alviana, D., Anggraini, R., Hidayati, J. R., Karlina, I., Lestari, F., Apdillah, D., Syakti, A. D., & Sihite, D. (2023). Estimasi cadangan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Pengudang Kecamatan Teluk Sebong Kabupaten Bintan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3), 464-472. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i3.18326>
- Analuddin, K., Sharma, S., Kadidae, L. O., Haya, L. O. M. Y., Septiana, A., Rahim, S., Syahrir, L., Aba, L., Fajar, L. O. A., MacKenzie, R. A., & Naduka, K. (2022). Blue Carbon Stock in Sediments of Mangroves and Seagrass Ecosystems in Southeast Sulawesi, Indonesia. *Ecological Research*, 38(4), 508-520. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12374>
- Asiah-Z.A., S., Puna, S. H., Lestariningsih, W. A., & Rahman, I. (2024). Perbandingan Jumlah Cadangan Karbon Mangrove Aboveground dan Belowground di Gili Petagan, Sambelia, Lombok Timur. *Journal of Marine Research*, 13(2), 301-310. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i2.43504>
- Arifanti, V. B., Basyuni, M., Suharti, S., Slamet, B., Karlina, E., Sidik, F., Helbert, Yeny, I., Yulianti, M., Marwayana, O. N., Macklin, P. A., Rahmania, R., Suyadi, Wahyuni, T., Halwany, W., Rahmila, Y. I., Faubiany, V., Mubaraq, A., Aznawi, A. A., & Ali, H. M. (2025). Assessing the Environmental and Socioeconomic Impacts of Mangrove Loss in Indonesia: A Synthesis for Science-Based Policy. *Forest Science and Technology*, 21(4), 1-17. <https://doi.org/10.1080/21580103.2025.2536595>
- Darmayanti, E. D., & Anggraini, R. (2024). Kondisi ekosistem mangrove pesisir Kawal, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 6(1), 16-26. <https://doi.org/10.35308/jlik.v6i1.9174>
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., Lucas, R., Primavera, J., Rajkaran, A., & Shi, S. (2019). The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89-115. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>
- Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M., & Scholten, L. (2007). *Mangrove Guidebook for Southeast Asia*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific & Wetlands International.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). *Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Office.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Kauffman, J. B., & Donato, D. (2012). *Protocols for Measuring, Monitoring, and Reporting Structure, Biomass, and Carbon Stocks in Mangrove Forests*. Center for International Forestry Research.
- Khairunnisa, Abdillah, Y., & Wahyudin. (2022). Nilai ekonomi ekosistem mangrove di Kelurahan Kawal Kabupaten Bintan. *Jurnal Akuatiklestari*, 5(2), 97-101. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v5i2.4300>
- KLHK. (2020). Peta Mangrove Nasional Direktorat Jenderal Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Rehabilitasi Hutan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongparn, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaean, A. A., Fischer, H. W., Perez-Mayo, M., Ransby, D., & Jennerjahn, T. C. (2019). Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 310-323. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.007>

- Kusuma, A. H., Effendi, E., Hidayatullah, M. S., & Susanti, O. (2022). Estimasi serapan karbon pada vegetasi mangrove Register 15, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. *Journal of Marine Research*, 11(4), 768–778. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i4.35605>
- Kusuma, A. H., Muhaemin, M., Yudha, I. G., Hudaidah, S., & Adiputra, Y. T. (2023). Simpanan karbon di vegetasi mangrove Desa Sungai Nibung, Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.24319/jtpk.14.1-11>
- Imiliyana, A., Muryono, M., & Purnobasuki, H. (2011). Estimation of carbon stock in *Rhizophora stylosa* stands at Camplong Beach, Sampang–Madura. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(2), 1–10.
- Mughofar, A., Masykur, M., & Setyono, P. (2018). Zonasi dan Komposisi Vegetasi Hutan Mangrove Pantai Cengkong Desa Karanggandu Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8(1), 77–85. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.77-85>
- Murdiyarto, D., Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., & Sasmito, S. D. (2023). Deriving Emission Factors For Mangrove Blue Carbon In Indonesia. *Carbon Balance and Management*, 18, 12. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00233-1>
- Naraswari, A. R. (2023). *Klasifikasi Perubahan Tutupan Lahan Mangrove di Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau*. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Wetlands International Programme.
- Prameswari, A. A., Hariyanto, S. R., & Sidik, F. (2015). Analisis Indeks Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Satelit ALOS AVNIR-2 (Studi Kasus: Estuari Perancak, Bali). *Geoid*, 11(1), 40–45. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v11i1.1094>
- Putri, A. V. Y., & Sadono, R. (2025). Determinant socio-factors to rehabilitate mangrove forests in Manguharjo Village, Semarang City. *Forest Science and Technology*, 22(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/21580103.2025.2537890>
- Ramadhan, M. F., & Sofyana, J. (2025). Pengaruh Dinamika Perubahan Lahan dan Aktivitas Manusia Terhadap Degradasi Mangrove Serta Implikasi Terhadap Upaya Konservasi Pesisir: Review Literatur. *Edusola: Journal Education Sociology and Law*, 1(1), 486–489.
- Ramadhan, M. F., Paryono, & Rahman, I. (2025). Estimasi Stok Karbon pada Biomassa Mangrove Dusun Poton Bako, Lombok Timur. *Jurnal Ilmu Kelautan Lesser Sunda*, 5(2), 1–12. <https://doi.org/10.29303/jikls.v5i2.117>
- Rizkiyani, H. M., Pribadi, R., Ario, R., Pietersz, J. H., & Pentury, R. (2024). Pendugaan Simpanan Karbon pada Tegakan dan Substrat Mangrove Dengan Metode Non Destruktif di Desa Betahwalang, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 13(3), 443–451. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i3.27904>
- Riva, W. F. (2013). *Study on socio-economic community-based mangrove ecosystem management at Bintan Regency – Riau Islands Province*. Directorate General of Watershed Management and Social Forestry Development, Ministry of Forestry.
- Rustam, A., Adi, S. N., Ati, R. N., Kepel, T. L., Daulat, A., Kusumaningtya, M. A., Suryono, D. D., Sudirman, N., Heriati, A., Mangindaan, P., & Salim, H. L. (2015). *Program Inisiatif Blue Carbon Indonesia Kepulauan Derawan–Berau Kalimantan Timur*. In: Pranowo, W. S., & Hutahaean, A. (eds.). Jakarta (ID): P3SPL.
- Shalsabilla, A., Setiyono, H., Sugianto, D. N., Ismunarti, D. H., & Marwoto, J. (2022). Kajian Fluktuasi Muka Air Laut Sebagai Dampak Dari Perubahan Iklim Di Perairan Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1), 69–76. <https://doi.org/10.14710/ijoc.v4i1.13183>
- Sidik, F., Lawrence, A., Wagey, T., Zamzani, F., & Lovelock, C. E. (2023). Blue carbon: A new paradigm of mangrove conservation in Indonesia. *Marine Policy*, 147, 105388. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105388>
- 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 Conf Ser: Earth Environ Sci*, 1148, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1148/1/012003>
- SNI. (2019). *Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. SNI – 7724.
- Sutaryo, D. (2009). *Perhitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesia Programme.
- Suryono, S., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., & Rozy, E. F. (2018). Estimasi Kandungan Biomassa dan Karbon di Hutan Mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i1.19036>