

ESTIMASI SIMPANAN KARBON ORGANIK PADA EKOSISTEM MANGROVE DI DESA MOJO, KECAMATAN ULUJAMI, PEMALANG

Ani Haryati^{1*}, Nabela Fikriyya², Isnaini Prihatingsih¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 53122, Indonesia

²Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 53122, Indonesia

*Korespondensi: ani.haryati@unsoed.ac.id

(Diterima 30-11-2023; Direvisi 04-01-2024; Disetujui 19-03-2024)

ABSTRAK

Ekosistem mangrove sebagai salah satu ekosistem pesisir memiliki peranan penting dalam mengurangi dampak perubahan iklim khususnya dalam penyerapan gas CO₂. Hutan mangrove di Desa Mojo yang memiliki luasan terbesar di Kabupaten Pemalang tidak saja mengalami ancaman abrasi pantai, tetapi juga deforestasi untuk lahan tambak. Melihat fungsi ekologis mangrove yang tinggi dalam penanggulangan perubahan iklim, maka perlu dilakukan perhitungan estimasi simpanan karbon di ekosistem tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey untuk menganalisis indeks ekologi dan estimasi serapan karbon pada biomassa dan sedimen mangrove. Indeks Nilai Penting menunjukkan bahwa jenis pohon mangrove *Avicennia alba* memiliki tingkat kerapatan dan penutupan yang tinggi dibandingkan tiga jenis mangrove lainnya yang ditemukan yaitu *Sonneratia caseolaris*, *Avicennia marina*, dan *Rhizophora mucronata*. Tingginya nilai kerapatan dan penutupan jenis ini menjadikan pohon *Avicennia alba* sebagai jenis mangrove yang memiliki estimasi kandungan karbon biomassa tertinggi. Estimasi simpanan karbon biomassa mangrove di lokasi penelitian adalah 21,55–144,22 ton C/ha, sedangkan estimasi simpanan karbon pada sedimen mangrove berkisar 98,45–181,06 ton C/ha. Estimasi total simpanan karbon di ekosistem mangrove Desa Mojo Pemalang berkisar 112,43 – 247,98 ton C/ha dengan rata-rata 155,13 ton C/ha.

Kata kunci: biomassa, karbon biru, mangrove, sedimen, stok karbon

Estimation of Organic Carbon Stocks in The Mangrove Ecosystem in Mojo Village, Ulujami District, Pemalang

ABSTRACT

The mangrove ecosystem as a coastal ecosystem is important in reducing the impact of climate change, especially in absorbing CO₂ gas. The mangrove forest in Mojo Village, which had the largest area in Pemalang Regency, was not only threatened by coastal erosion but also faced deforestation for shrimp pond development. Considering the high ecological function of mangroves in climate change mitigation, it was essential to calculate carbon storage estimates in this ecosystem. The methodology employed in this study involved a survey method to analyze ecological indices and estimate carbon sequestration in mangrove biomass and sediments. The Importance Value Index indicated that the *Avicennia alba* mangrove species exhibited higher density and canopy coverage compared to the other three found species: *Sonneratia caseolaris*, *Avicennia marina*, and *Rhizophora mucronata*. The high density and canopy coverage of *Avicennia alba* made it the mangrove species with the highest estimated carbon biomass content. The estimated carbon storage in mangrove biomass at the research site ranged from 21.55 to 144.22 tons C/ha, while the estimated carbon storage in mangrove sediments varied from 98.45 to 181.06 tons C/ha. The total carbon storage estimate in the mangrove ecosystem of Mojo Village, Pemalang, ranged from 112.43 to 247.98 tons C/ha, with an average of 155.13 tons C/ha

Keywords: Biomass, blue carbon, carbon, stocks, mangroves, sediment

PENDAHULUAN

Perubahan iklim saat ini menjadi isu permasalahan global yang sangat penting untuk dikaji. Pembakaran bahan bakar fosil dan perubahan lahan akibat deforestasi dianggap sebagai sumber utama peningkatan CO₂ di atmosfer (IPCC, 2007). Strategi yang digunakan untuk menghadapi perubahan iklim mulai bergeser dari pengurangan emisi gas CO₂ ke pendekatan terpadu pengurangan emisi CO₂ antropogenik serta meningkatkan penyerapan dan penyimpanan CO₂ pada kawasan konservasi hutan terestrial (karbon hijau) maupun pesisir dan laut (karbon biru). Salah satu upaya yang dilakukan oleh PBB dan REDD+ adalah pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan di negara berkembang (Miles dan Kapos, 2008).

Indonesia termasuk ke dalam negara yang memiliki luasan mangrove terluas mencapai 22,4% dan cadangan karbon biru yang diserap mencapai 891,70 tonC/ha dengan total cadangan karbon biru nasional sebesar 2,89 Tt C (Wahyudi *et al.*, 2018). Meskipun ekosistem mangrove memiliki banyak manfaat, tetapi perubahan fungsi lahan dan pertumbuhan wilayah dapat menjadi ancaman kelangsungan ekosistem mangrove. Hasil penelitian menyebutkan bahwa deforestasi massal di kawasan ekosistem mangrove dunia mencapai 278,049 ha dan menyebabkan emisi sebesar 30,4-120,0 Tg C (111,0-447,0 Tg CO₂) (Sanderman *et al.*, 2018).

Penelitian terkait estimasi simpanan karbon baik pada biomassa dan sedimen ekosistem mangrove khususnya di Pulau Jawa telah dilakukan beberapa tahun terakhir. Estimasi potensi stok karbon pada ekosistem mangrove rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa sebesar 634,54 ton C/ha (Eastaria *et al.*, 2022). Selain itu, diketahui bahwa kandungan karbon biomassa mangrove di hutan mangrove Trimulyo Semarang dengan luas 30,3 ha

sekitar 141,43 ton C dan kemampuan menyerap CO₂ sebesar 519,072 ton C/hari (Rifandi dan Abdillah, 2020). Estimasi simpanan karbon pada hutan mangrove di Pulau Jawa belum seluruhnya diketahui, sehingga perlu dilakukan penelitian terkait dengan estimasi simpanan karbon.

Keberadaan ekosistem mangrove di Pulau Jawa khususnya di bagian utara terancam akibat tingginya aktivitas di wilayah pesisir, seperti: pembukaan lahan tambak, sedimentasi, dan abrasi yang memberikan tekanan bagi ekosistem pantai tidak terkecuali hutan mangrove di Desa Mojo Pemalang. Hal tersebut menyebabkan luasan hutan mangrove yang berkurang serta kerusakan dan menurunnya densitas pohon mangrove. Upaya pelestarian telah dilakukan dengan melakukan penanaman mangrove di kawasan tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk 1) menganalisis jenis mangrove yang memiliki estimasi simpanan karbon terbesar dan 2) menghitung nilai potensi simpanan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Mojo Pemalang mengingat hutan mangrove di desa ini merupakan yang terluas di Kabupaten Pemalang mencapai 120,93 ha. Banyaknya fungsi ekosistem mangrove menjadikannya penting untuk mengetahui estimasi simpanan karbon di ekosistem mangrove Desa Mojo Pemalang sebagai penyerapan dan penyimpanan karbon dalam jangka panjang, sehingga dapat membantu mengurangi konsentrasi gas CO₂ di atmosfer akibat perubahan iklim.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2023 dan berlokasi di kawasan mangrove Desa Mojo, Kecamatan Ulujami, Kabupaten Pemalang Jawa Tengah. Lokasi penelitian berada di luar Kawasan Ekosistem Esensial (KEE) Hutan Mangrove Mojo, Pemalang. Lokasi pengambilan

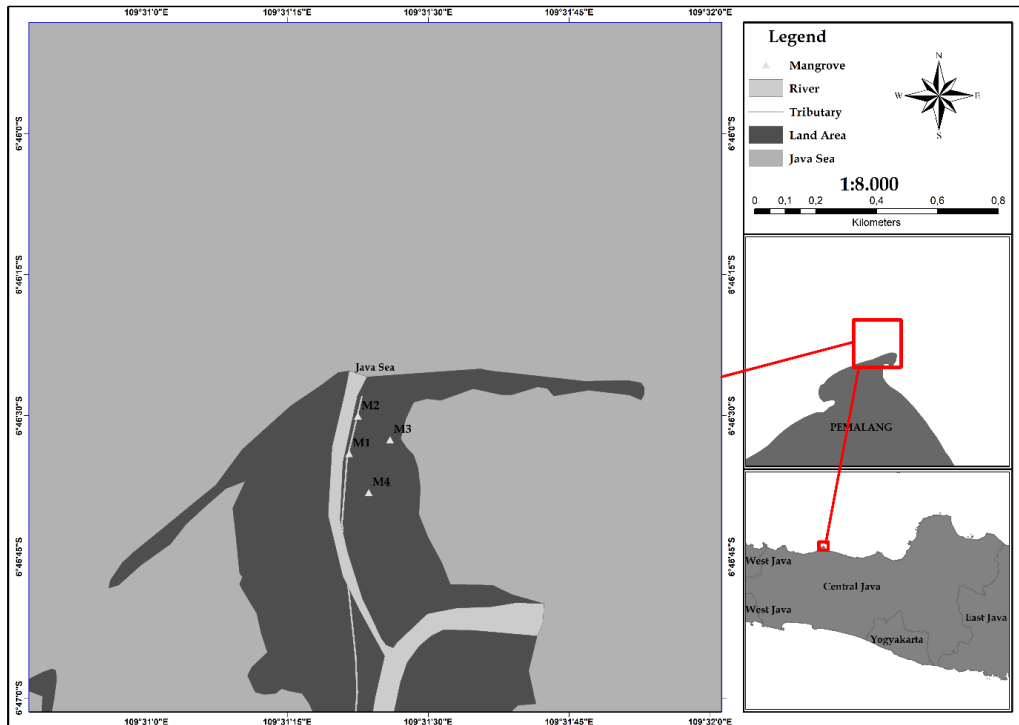


Figure 1. Map of the Location and Point Stations of Mangrove and Sediment in Mojo Village, Ulujami District, Pemalang.

Gambar 1. Peta lokasi dan titik stasiun pengambilan data mangrove dan sedimen di Desa Mojo, Kecamatan Ulujami, Pemalang.

sampel dilakukan pada empat titik stasiun (Gambar 1). Pengambilan titik stasiun berada didekat tambak bandeng. Titik pengambilan data dicatat pada *GPSMap Garmin 64s*. Penentuan titik stasiun dilakukan secara *purposive sampling* dan pengambilan data vegetasi mangrove dilakukan berdasarkan transek *plot*. Tipe sedimen pada lokasi penelitian merupakan jenis liat yang cocok untuk pertumbuhan mangrove. Mangrove yang tumbuh di area penelitian merupakan jenis mangrove yang sengaja ditanam sebagai bentuk upaya rehabilitasi hutan mangrove akibat adanya abrasi.

Analisis Vegetasi Mangrove

Pengumpulan data vegetasi mangrove dilakukan dengan teknik observasi atau pengamatan langsung di lapangan. Pengukuran vegetasi mangrove berdasarkan diameter batang dikategorikan menjadi tiga,

yaitu: pohon mangrove yang berada pada plot dengan ukuran 10 x 10 m dan pancang dengan ukuran 5 x 5 m. Diameter batang pada kategori pohon dilakukan pada ketinggian lebih dari 1,3 m atau pengukuran setinggi dada (*Diameter Breast Height, DBH*) (Kauffman dan Donato, 2012). Analisis data vegetasi atau struktur komunitas didasarkan pada Indeks Nilai Penting (*INP*).

Nilai kerapatan merupakan perbandingan antara jumlah individu suatu jenis dalam unit area atau luas total area pengambilan data (Soerianegara dan Indrawan, 2008). Persamaan kerapatan jenis ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$D_i = \frac{ni}{A} \quad (1)$$

Kerapatan jenis (D_i), ni adalah jumlah total tegakan suatu jenis (individu), dan A adalah luas petak pengambilan contoh (m^2).

Kerapatan reelatif jenis (RD_i) merupakan perbandingan antar jumlah tegakan jenis- i dengan jumlah total tegakan seluruh jenis ($\sum n$). Persamaan kerapatan relatif ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$RD_i = \frac{ni}{\sum n} \times 100 \quad (2)$$

Nilai frekuensi merupakan kemungkinan ditemukannya suatu jenis mangrove pada plot petak pengambilan dan persamaannya ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$F_i = \frac{pi}{\sum p} \quad (3)$$

Frekuensi jenis (F_i), pi merupakan jumlah plot petak pengambilan contoh ditemukannya suatu jenis, dan $\sum p$ adalah jumlah total plot petak pengambilan contoh yang diamati. Nilai frekuensi relatif (RF_i) merupakan perbandingan antara frekuensi jenis (F_i) dengan jumlah frekuensi untuk seluruh jenis ($\sum F$). Persamaan frekuensi relatif ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$RF_i = \frac{Fi}{\sum F} \times 100 \quad (4)$$

Penutupan jenis (C_i) merupakan luas penutupan jenis- i dalam suatu unit area yang merupakan hasil dari perbandingan nilai dari jumlah basal area dengan luas total petak pengambilan data. Penutupan relatif jenis merupakan perbandingan antara penutupan jenis- i (C_i) dengan total penutupan seluruh jenis ($\sum C$). Nilai basal area (BA) dapat diperoleh dari Persamaan 5, penutupan jenis (C_i) pada Persamaan 6 dan penutupan relatif jenis pada Persamaan 7.

$$BA = \frac{\pi DBH^2}{4} \quad (5)$$

$$C_i = \frac{\sum BA}{A} \quad (6)$$

$$RC_i = \frac{C_i}{\sum C} \times 100 \quad (7)$$

Pengukuran struktur komunitas mangrove didasarkan pada Indeks Nilai Penting (INP) yang merupakan penjumlahan dari nilai kerapatan relatif (RD_i), frekuensi jenis relatif (RF_i), dan penutupan relatif (RC_i). Rumus persamaan INP ditunjukkan pada Persamaan 8.

$$INP = RD_i + RF_i + RC_i \quad (8)$$

Analisis Simpanan Karbon Biomassa Mangrove

Estimasi simpanan karbon pada vegetasi mangrove dihitung berdasarkan berat biomassa pohon (*Above Ground Biomass, AGB*) dan akar mangrove (*Below Ground Biomass, BGB*). Persamaan alometrik spesifik digunakan untuk mengetahui biomassa pohon dan akar mangrove. Alometrik biomassa pohon dan akar mangrove ditunjukkan pada Tabel 1. Densitas kayu dari setiap jenis mangrove berbeda-beda dan dapat dilihat pada Tabel 2.

Estimasi simpanan karbon di atas tanah dapat diasumsikan bahwa 46% dari biomassa adalah karbon (Kauffman dan Donato, 2012) Biomassa total merupakan penjumlahan dari biomassa pohon mangrove (*AGB*) dan akar mangrove (*BGB*). Perhitungan estimasi simpanan karbon ditunjukkan pada Persamaan 9. Estimasi simpanan karbon umumnya dinyatakan dalam Mg C/ha atau ton C/ha dan rumus konversinya dapat dilihat pada Persamaan 10.

$$C_b = W_t \times \%C \quad (9)$$

$$C_n = \frac{C_b}{1.000} \times \frac{10.000}{L_{plot}} \quad (10)$$

Keterangan: C_b = karbon *biomass*; C_n = simpanan karbon *biomass* (Mg C/ha) atau (ton C/ha); %C = persen karbon = 0,46; L_{plot} =luas plot pada masing-masing titik (m^2).

Tabel 1. Alometrik biomassa pohon dan akar mangrove
 Table 1. Allometric Biomass of Mangrove Trees and Roots

Categories	Mangrove Species	Allometric	References
Tree	<i>Sonneratia caseolaris</i>	$W_t = 0,384 * \rho * DBH^{2,101}$	Kauffman dan Cole, 2010
	<i>Avicennia alba</i>	$W_t = 0,079211 * DBH^{2,470895}$	Tue et al., 2014
	<i>Avicennia marina</i>	$W_t = 0,1848 * DBH^{2,3524}$	Dharmawan dan Siregar, 2008
	<i>Rhizophora mucronata</i>	$W_t = 0,1466 * DBH^{2,3136}$	Dharmawan, 2013
Root	<i>Sonneratia caseolaris</i>	$W_r = 0,199 * \rho^{0,899} * DBH^{2,22}$	Komiyama et al., 2008
	<i>Avicennia alba</i>	$W_r = 0,199 * \rho^{0,899} * DBH^{2,22}$	Komiyama et al., 2008
	<i>Avicennia marina</i>	$W_r = 1,28 * DBH^{1,17}$	Komiyama et al., 2008
	<i>Rhizophora mucronata</i>	$W_r = 0,199 * \rho^{0,899} * DBH^{2,22}$	Komiyama et al., 2008

Note: W_t = tree biomass; W_r = root biomass; ρ = wood density; DBH = Diameter at breast high.

Tabel 2. Densitas kayu pada beberapa jenis mangrove
 Table 2. Wood Density in Mangrove Species

Mangrove Species	Wood Density (ρ)
<i>Sonneratia caseolaris</i>	0.340
<i>Avicennia alba</i>	0.506
<i>Avicennia marina</i>	0.607
<i>Rhizophora mucronata</i>	0.701

Reference: World Agroforestry Centre (2011).

Analisis Simpanan Karbon Sedimen Mangrove

Sampel sedimen diambil satu pada setiap titik stasiun dengan kedalaman 1 m menggunakan pipa *polyvinyl chloride* (PVC). Sedimen sepanjang 1 m kemudian dihomogenkan tanpa mempertimbangkan lapisan kedalaman untuk melihat total karbon organik yang terkandung. Sedimen mangrove yang diambil kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai karbon organik (C-organik) dengan menggunakan metode *Walkey and Black* melalui oksidasi kalium ($K_2Cr_2O_7$) yang dikatalisis dengan asam. Panas dari pengenceran akan menaikkan suhu untuk menginduksi oksidasi karbon menjadi karbon dioksida. Analisis persentase karbon organik sedimen dilakukan di Laboratorium Produktivitas Lingkungan IPB University. Total simpanan karbon pada sedimen merupakan jumlah karbon dalam 1 inti contoh sedimen (Kauffman dan Donato, 2012; Howard et al., 2014). Penentuan *Bulk Density* (BD)

merupakan perbandingan antara massa sedimen kering dengan volume contoh sedimen (Elisabeth et al., 2018) dan ditunjukkan pada Persamaan 11.

$$BD = \frac{m \text{ (massa)}}{V \text{ (volume)}} \quad (11)$$

Keterangan: BD = *Bulk Density* (g/cm^3); m = massa (g); V = volume (cm^3).

Perhitungan estimasi simpanan karbon organik ditunjukkan pada Persamaan 12 (Howard et al., 2014) dan konversi satuan simpanan karbon organik sedimen mangrove ditunjukkan pada Persamaan 13.

$$OC = SDI \times BD \times \left(\frac{\%C}{100}\right) \quad (12)$$

Keterangan: OC_{-s} = karbon organik sedimen (g/cm^2); SDI = interval sedimen (cm); BD = *Bulk Density* (g/cm^3); $\%C$ = persen karbon organik (%)

$$OC_{-s} (Mg C/ha) = OC \times \left(\frac{1 Mg}{1.000.000 g} \right) \times \left(\frac{100.000.000 cm^3}{1 ha} \right) \quad (13)$$

Keterangan: OC_{-s} = simpanan karbon organik sedimen (Mg C/ha); OC =organik karbon (g/cm^2); 1 Mg C/ha = 1 ton C/ha.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Komunitas Mangrove

Hasil pengamatan yang dilakukan pada 4 titik stasiun, terdapat 4 jenis mangrove, yaitu: *Sonneratia caseolaris*, *Avicennia alba*, *Avicennia marina*, dan *Rhizophora mucronate*. Penelitian lainnya menunjukkan bahwa keempat jenis mangrove ini juga ditemukan oleh Purnamawati et al. (2015) dan Renta et al. (2016).

Pengukuran *INP* hanya dilakukan pada kategori pohon dan pancang. Hasil perhitungan nilai *INP* (Tabel 3 dan Tabel 4) menunjukkan bahwa jenis *Avicennia alba*

baik pada kategori pohon dan pancang memiliki nilai *INP* tertinggi dibandingkan dengan ketiga jenis mangrove lainnya yaitu 126,71 dan 133,48 yang ditandai dengan nilai kerapatan relatif dan penutupan jenis relatif yang tinggi dibandingkan ketiga jenis mangrove lainnya. Nilai frekuensi relatif menunjukkan nilai yang sama antara pohon dan pancang mangrove jenis *Sonneratia caseolaris* dengan *Avicennia alba* dan pohon *Avicennia marina* dengan *Rhizophora mucronata*, yaitu 37,50 dan 12,50. Kategori pancang jenis *Avicennia marina* tidak ditemukan pada seluruh titik stasiun pengamatan, sehingga tidak memiliki peran dalam komunitas mangrove di lokasi penelitian. Hal ini diduga akibat kemampuan adaptasi rendah dan kompetisi dengan spesies lain. Akar pancang *Avicennia marina* masih muda dan belum kuat, Selain itu, ukuran pancang yang lebih kecil dari pohon menyebabkan intensitas cahaya yang diperoleh menjadi lebih sedikit.

Tabel 3. Indeks Nilai Penting kategori pohon mangrove pada titik stasiun pengamatan
Table 3. Importance Value Index of Mangrove Tree Categories at Points Station

Mangrove Species	DBH (cm)	Average DBH (cm)	RD_i	RF_i	RC_i	IVI
<i>Sonneratia caseolaris</i>	4,7-23,1	8,6	32,84	37,50	36,21	106,54
<i>Avicennia alba</i>	4,3-21,5	9,4	41,79	37,50	47,42	126,71
<i>Avicennia marina</i>	6,0-19,0	12,9	7,46	12,50	11,15	31,12
<i>Rhizophora mucronate</i>	4,5-8,1	6,4	17,91	12,50	5,22	35,63

Notes: RD_i : Relative Density of Species RF_i : Relative Frequency of Species, RC_i : Relative Coverage, and *IVI*: Important Value Index.

Tabel 4. Indeks Nilai Penting kategori pancang mangrove pada titik stasiun pengamatan
Table 4. Importance Value Index of Mangrove Prop Root Categories at Points Station

Mangrove Species	DBH (cm)	Average DBH (cm)	RD_i	RF_i	RC_i	IVI
<i>Sonneratia caseolaris</i>	2,0-3,5	2,7	31,58	42,86	42,67	117,10
<i>Avicennia alba</i>	1,1-3,6	2,8	47,37	42,86	43,26	133,48
<i>Avicennia marina</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Rhizophora mucronata</i>	1,6-2,7	2,0	21,05	14,29	14,08	49,42

Notes: RD_i : Relative Density of Species RF_i : Relative Frequency of Species, RC_i : Relative Coverage, and *IVI*: Important Value Index.

Tabel 5. Jumlah pohon (individu) jenis mangrove pada setiap titik stasiun pengamatan
 Table 5. Number of Trees (Individuals) of Mangrove Species at Points Station

Mangrove Species	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
<i>Sonneratia caseolaris</i>	18	2	-	2
<i>Avicennia alba</i>	1	18	9	-
<i>Avicennia marina</i>	-	-	5	-
<i>Rhizophora mucronata</i>	-	-	-	12
Total	19	20	14	14

Tabel 6. Total kerapatan pohon (individu/ha) jenis mangrove pada setiap stasiun pengamatan
 Table 6. Total Tree Density (individuals/ha) of Mangrove Species at Points Station

Mangrove Species	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
<i>Sonneratia caseolaris</i>	1800	200	-	200
<i>Avicennia alba</i>	100	1800	900	-
<i>Avicennia marina</i>	-	-	500	-
<i>Rhizophora mucronata</i>	-	-	-	1200
Total Kerapatan	1900	2000	1400	1400

Nilai kerapatan pohon mangrove dari keempat titik stasiun pengamatan menunjukkan bahwa di titik Stasiun 2 memiliki jumlah tegakan dan kerapatan pohon mangrove tertinggi, yaitu 2000 ind/ha. Hal berbeda ditunjukkan pada Stasiun 3 dan 4 dengan jumlah tegakan individu pohon mangrove dan kerapatan jenis yang sama, yaitu 1400 ind/ha. Jumlah tegakan dan total kerapatan pohon mangrove ditunjukkan pada Tabel 5 dan 6.

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 21 Tahun 2004 kriteria baku mutu kerapatan mangrove dibagi menjadi tiga, yaitu padat ≥ 1500 individu/ha, sedang 1000-1500 individu/ha, dan jarang < 1000 individu/ha. Hasil analisis vegetasi menunjukkan bahwa kerapatan mangrove rata-rata 1675 individu/ha yang tergolong pada kategori padat.

Estimasi Simpanan Karbon Biomassa Mangrove

Nilai biomassa mangrove dari setiap stasiun pengamatan ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil perhitungan menunjukkan biomassa

mangrove bagian *AGB* (pohon) memiliki nilai yang lebih besar daripada *BGB* (akar). Nilai total biomassa *AGB* mangrove mencapai 176,39 ton/ha, sedangkan biomassa *BGB* mangrove mencapai 109,84 ton/ha. Nilai biomassa *AGB* dan *BGB* mangrove tertinggi berada di Stasiun 3 dengan masing-masing nilai yaitu 96,12 ton/ha dan 48,10 ton/ha. Jika dibandingkan dengan kerapatan, nilai kerapatan tertinggi berada di Stasiun 2. Akan tetapi, besar kecilnya nilai biomassa mangrove tidak hanya dilihat dari kerapatan jenis melainkan juga dipengaruhi oleh besar kecilnya ukuran diameter pohon. Pohon mangrove di Stasiun 3 walaupun jumlah tegakannya tidak sebanyak Stasiun 2 dan 1, tetapi memiliki nilai rata-rata diameter pohon tertinggi yaitu 13,22 cm. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Adinugroho (2006) dan Oktaviona *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa terdapat hubungan erat antara dimensi pohon (tinggi dan diameter) dengan biomasnya terutama dengan diameter pohon. Biomassa setiap bagian pohon meningkat secara proporsional dengan semakin besarnya diameter pohon, sehingga biomassa pada setiap bagian

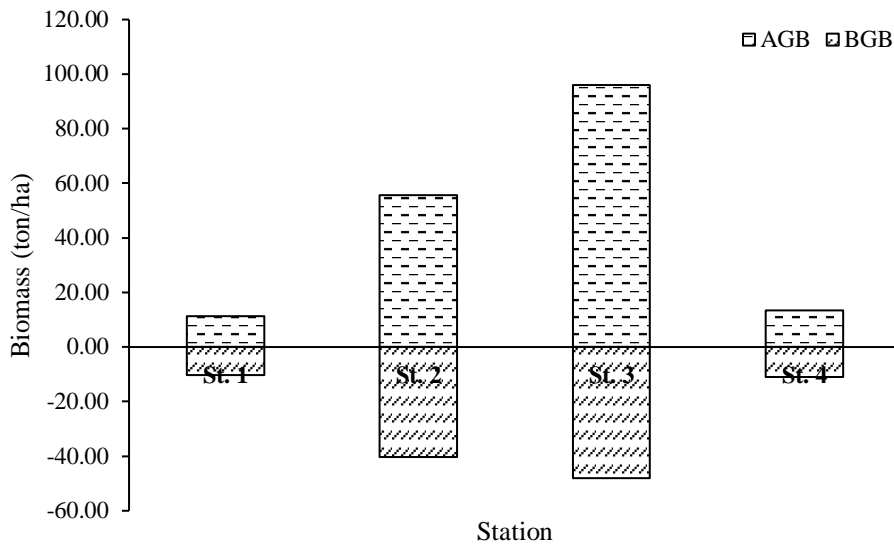


Figure 2. Mangrove Biomass Mangrove in the Mangrove Ecosystem of Mojo Village, Pemalang.

Gambar 2. Biomassa mangrove pada setiap titik stasiun pengamatan di ekosistem mangrove Desa Mojo Pemalang.

pohon memiliki hubungan dengan diameter pohon (Catur dan Sidiyasa, 2011).

Tidak hanya kerapatan vegetasi dan keragaman, ukuran diameter pohon juga dipengaruhi oleh densitas kayu dari masing-masing jenis mangrove. Jenis mangrove yang memiliki nilai densitas kayu lebih tinggi akan memiliki biomassa pohon mangrove yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis mangrove yang memiliki nilai densitas kayu rendah (Rahayu et al., 2007). Pada penelitian ini, jika diamati secara keseluruhan berdasarkan jenis mangrove diketahui bahwa pohon mangrove dengan jenis *Avicennia alba* memiliki biomassa tertinggi dibandingkan dengan ketiga jenis mangrove lainnya yaitu *Sonneratia caseolaris*, *Avicennia marina*, dan *Rhizophora mucronata*. Walaupun densitas kayu *Avicennia alba* lebih rendah dibandingkan *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina*, tetapi *Avicennia alba* ditemukan di tiga titik stasiun pengamatan. Hal inilah yang menjadikan jenis mangrove *Avicennia alba* memiliki biomassa yang tinggi.

Estimasi simpanan karbon di biomassa mangrove terdiri dari simpanan karbon

pada biomassa *AGB* dan *BGB*. Nilai estimasi karbon biomassa mangrove per-stasiun ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa estimasi simpanan karbon *AGB* adalah 5,21–44,60 ton C/ha dengan rata-rata 20,46 ton C/ha. Nilai estimasi simpanan karbon pada *BGB* lebih rendah dibandingkan dengan *AGB* yaitu 4,79–22,32 ton C/ha dengan rata-rata 12,74 ton C/ha. Persentase biomassa *AGB* lebih besar daripada *BGB* yaitu 61,63% dan 38,37% dengan estimasi simpanan karbon tertinggi berada di stasiun 3. Hal ini diduga karena letak dari Stasiun 3 yang langsung berbatasan dengan laut dan juga muara, sehingga dapat memerangkap bahan organik lebih tinggi dibanding lokasi ketiga stasiun lainnya. Bahan organik sangat penting untuk proses pertumbuhan mangrove, sehingga kandungan bahan organik yang tinggi akan mengoptimalkan pertumbuhan pohon mangrove.

Tegakan pohon di Stasiun 3 yang memiliki rata-rata diameter tertinggi memiliki nilai biomassa dan simpanan karbon yang tinggi pula. Diameter pohon yang lebih besar akan memiliki biomassa dan simpanan karbon yang lebih besar

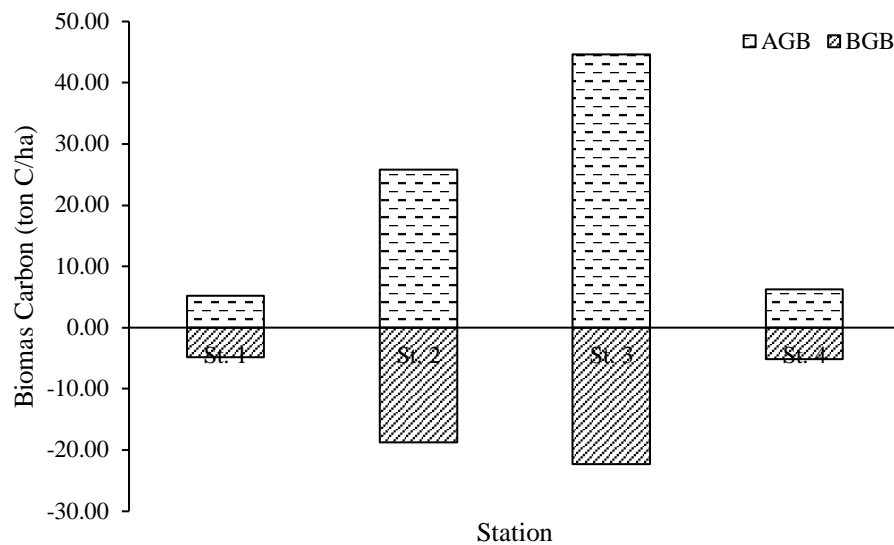


Figure 3. Estimated Carbon Storage of Mangrove Biomass in the Mangrove Ecosystem of Mojo Village, Pemalang.

Gambar 3. Estimasi simpanan karbon biomassa mangrove pada setiap titik stasiun pengamatan di ekosistem mangrove Desa Mojo Pemalang.

(Kaonga dan Bayliss-Smith, 2009). Simpanan karbon berbanding lurus dengan biomassa mangrove, karena kandungan karbon organik adalah 47% dari total biomasanya (BSN, 2011).

Estimasi Simpanan Karbon Sedimen Mangrove

Hasil pengukuran simpanan karbon organik pada sedimen mangrove dapat dilihat pada Gambar 4. Tekstur sedimen pada lokasi penelitian didominasi oleh fraksi dengan ukuran butir kecil (halus) yaitu liat. Jenis sedimen ini memiliki kemampuan mengikat bahan organik yang tinggi dibandingkan dengan jenis sedimen yang berukuran lebih besar. Sebagian besar jenis substrat di ekosistem mangrove adalah lumpur atau liat, begitu pula dengan jenis substrat pada lokasi penelitian. Hasil pengukuran diketahui bahwa nilai *Bulk Density* berkisar 1,11-1,25 g/cm³ dengan rata-rata 1,17 g/cm³. Nilai *Bulk Density* yang diperoleh memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan Tanjung Batu Berau yaitu 0,15-1,04 g/cm³ (Dewi et al., 2020). Sedimen yang memiliki nilai *Bulk Density* > 1 mengindikasikan bahwa substrat didominasi oleh ukuran halus (Dewi et al., 2020; Hasibuan dan Syafriadiman, 2020).

Nilai simpanan karbon organik pada sedimen jauh lebih besar dibandingkan dengan simpanan karbon biomassa mangrove. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Ati et al., 2014; Azzahra, 2020). Konsentrasi karbon tertinggi berada di dalam sedimen bahkan dianggap dua kali lebih besar daripada di atmosfer dan tiga kali lebih besar daripada di vegetasi (Alongi, 2012; Murdiyarso et al., 2015; Sahu dan Kathiresan, 2019). Estimasi simpanan karbon sedimen tertinggi berada di Stasiun 3. Sebelumnya telah diketahui bahwa estimasi karbon biomassa mangrove juga tertinggi pada Stasiun 3. Nilai estimasi simpanan karbon di sedimen mangrove berkisar 98,45-181,06 ton C/ha dengan rata-rata 121,93 ton C/ha.

Sumber simpanan karbon organik pada sedimen mangrove juga dipengaruhi oleh pelapukan serasah-serasah yang berjatuh dan terkubur di dalam sedimen (Heriyanto dan Amin, 2013). Selain itu, jenis substrat tanah akan memengaruhi jumlah kandungan karbon dalam sedimen, jenis substrat pasir cenderung lebih sedikit mengikat karbon (Lestariningsih et al., 2018).

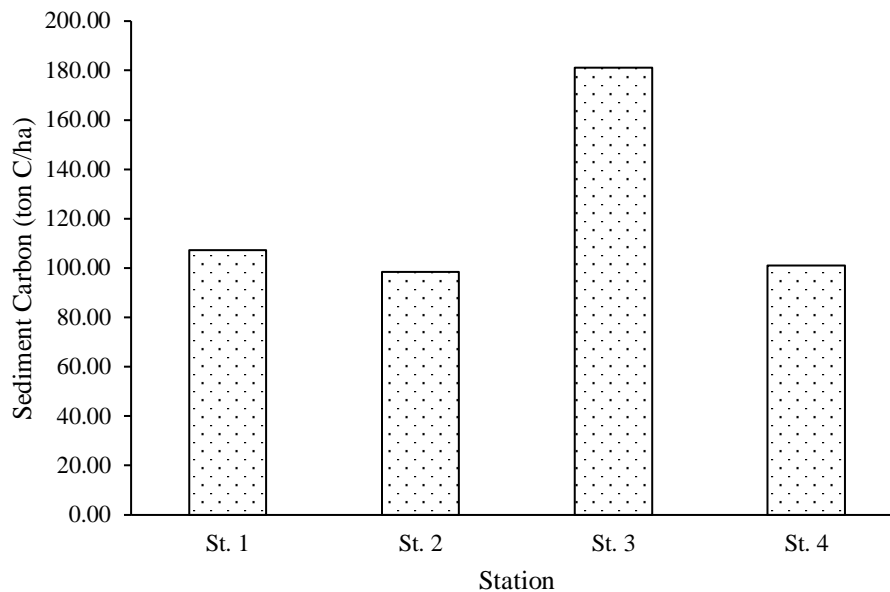


Figure 4. Estimated Carbon Storage of Mangrove Sediment in the Mangrove Ecosystem of Mojo Village, Pemalang.

Gambar 4. Estimasi simpanan karbon sedimen mangrove pada setiap titik stasiun pengamatan di ekosistem mangrove Desa Mojo Pemalang.

Pasir memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan substrat halus seperti lumpur, sehingga kemampuannya untuk mengikat bahan organik akan menjadi lebih kecil. Nilai estimasi karbon di sedimen mangrove Desa Mojo Pemalang lebih kecil jika dibandingkan dengan estimasi simpanan karbon organik sedimen di hutan mangrove muara Sungai Batang Apar (2561,90 ton C/ha), sedimen hutan mangrove Sungai Sembilan Dumai (1819,31 ton C/ha) (Handoyo *et al.*, 2020; Amanda *et al.*, 2021). Hasil perhitungan simpanan karbon sedimen di lokasi penelitian lebih besar jika dibandingkan dengan nilai simpanan karbon sedimen di Perancak-Jembarana Bali sebesar 119,75 ton C/ha (Suryono *et al.*, 2018).

Total Estimasi Karbon Pada Ekosistem Mangrove

Total estimasi simpanan karbon dari hasil perhitungan di lokasi penelitian berkisar antara 112,43–247,98 ton C/ha dengan rata-rata 155,13 ton C/ha (Gambar 5). Nilai total

estimasi simpanan karbon tertinggi terdapat di Stasiun 3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpanan karbon tertinggi adalah simpanan karbon organik di sedimen. Simpanan karbon organik pada sedimen dipengaruhi oleh konsentrasi karbon organik sedimen. Hal ini disebabkan konsentrasi karbon organik sedimen berhubungan dengan akumulasi bahan organik di sedimen yang telah terjadi puluhan tahun yang lalu. Degradasi akar yang telah mati, laju peroduksi akar, masukan bahan organik dari sungai atau daratan merupakan faktor yang mengendalikan tingginya karbon organik dalam sedimen (Alongi *et al.*, 2014; Nuraya *et al.*, 2019).

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian lainnya di lokasi yang berbeda, simpanan total karbon ekosistem mangrove Desa Mojo, Pemalang masih lebih rendah dibandingkan Desa Taddan Sampang (179,07 ton C/ha) dan Mangrove Center Balikpapan (720,48 ton C/ha) (Paputungan *et al.* 2022; Tsani dan Muhsoni, 2022).

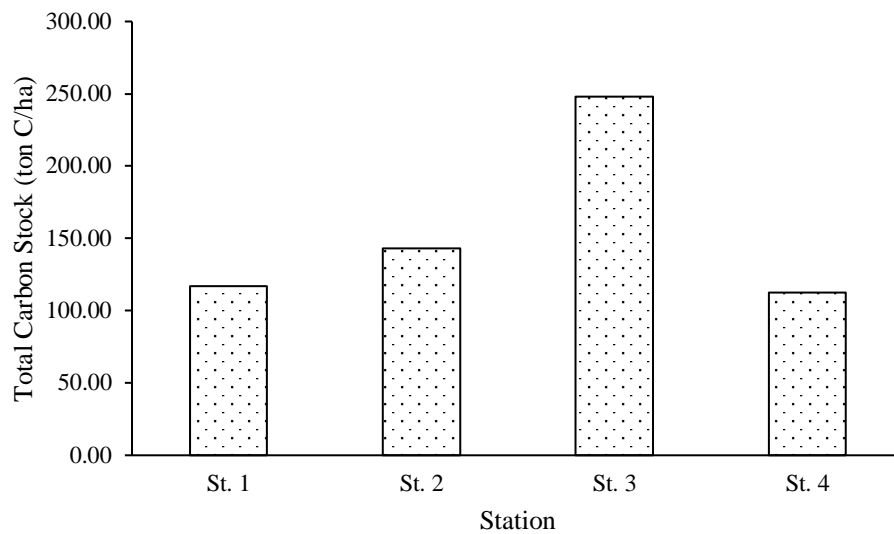


Figure 5. Total Carbon Stock Estimate in the Mangrove Ecosystem of Mojo Village, Pemalang.

Gambar 5. Estimasi simpanan karbon total pada setiap titik stasiun pengamatan di ekosistem mangrove Desa Mojo Pemalang.

KESIMPULAN

Kawasan mangrove di Desa Mojo Pemalang memiliki kondisi kerapatan pohon yang baik dengan kategori padat dan didominasi oleh jenis mangrove *Avicennia alba*. Ekosistem mangrove yang padat dapat berpengaruh pada simpanan karbon. Keempat jenis mangrove yang ditemukan menunjukkan bahwa jenis *Avicennia alba* merupakan jenis mangrove yang memiliki estimasi simpanan karbon terbesar dibandingkan dengan jenis *Sonneratia caseolaris*, *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronate*. Simpanan karbon biomass mangrove memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan simpanan karbon organik sedimen mangrove. Estimasi simpanan karbon di ekosistem mangrove Desa Mojo Pemalang berkisar antara 112,43–247,98 ton C/ha. Potensi simpanan karbon mangrove di kawasan ini mampu menyerap dan menyimpan karbon, sehingga dapat mengurangi CO₂ di atmosfer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian Riset Peningkatan Kompetensi (RPK) Dosen yang dibiayai oleh Badan Layanan Umum (BLU)

Universitas Jenderal Soedirman Nomor 27.375/UN23.37/PT.01.03/II/2023 tahun anggaran 2023. Terima kasih penulis sampaikan kepada Cherokee Mikha-El, Natasya Fikadianova, Virly Aranza, Diva Nasywa A., Shiva Aulia, Abdillah Showatul Islam, Aisyah Fajar Kartika, Akmal Triputra Wardhana, dan Riskia Hardini atas bantuan yang diberikan selama kegiatan penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, W.C. dan K. Sidiyasa, 2006. Model pendugaan biomassa pohon mahoni (*Swietenia macrophylla King*) di atas permukaan tanah. *J. Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 3(1): 103-117. <https://doi.org/10.20886/jphka.2006.3.1.103-117>.
- Alongi, D.M. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Manag*, 3(3): 313–322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>.
- Alongi, D.M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annu Rev Mar Sci*, 6(1): 195–219.

- <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>.
- Amanda, Y, A. Mulyadi, dan I. Siregar. 2021. Estimasi stok karbon tersimpan pada hutan mangrove di muara Sungai Batang Apar, Kecamatan Pariaman Hutan Utara Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat. *J. Ilmu Perairan*, 9(1): 38-48. <http://dx.doi.org/10.33772/jc.v3i2.29395>.
- Ati, R.N.A., A. Rustam, T.L. Kepel, N. Sudirman, M. Astrid, A. Daulat, P. Mangindaan, H.L. Salim, dan A.A. Hutahaean. 2014. Stok karbon dan struktur komunitas mangrove sebagai blue carbon di Tanjung Lesung, Banten. *J. Segara*, 10(2): 119-127. <https://doi.org/10.15578/SEGARA.V10I2.21>.
- Azzahraa, F.S., S. Suryantia, dan S. Febriantia. 2020. Estimasi serapan karbon pada hutan mangrove Desa Bedono, Demak, Jawa Tengah. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(2): 308-315. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2020.004.02.15>.
- Badan Standardisasi Nasional (BNS). 2011. SNI-7724-Pengukuran dan perhitungan karbon-pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (*ground based forest carbon accounting*).
- Davis, W.P, D.S. Taylor, dan B.J. Turner. 1995. Does the autecology of the mangrove rivulus fish (*Rivulus marmoratus*) reflect a paradigm for mangrove ecosystem sensitivity. *Bulletin of Marine Science*, 57(1): 208-214. <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1995/00000057/00000001/art00021>
- Dewi, I.S., T. Prartono, A. Arman, dan A.F. Koropitan. 2020. Laju akumulasi sedimen mangrove di Tanjung Batu, Kepulauan Derawan Kalimantan Timur. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2): 327-340. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.28427>.
- Dharmawan, I.W.S. dan C.A. Siregar. 2008. Karbon tanah dan pendugaan karbon tegakan *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *J. Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(4): 317-328. <https://doi.org/10.20886/jphka.2008.5.4.317-328>.
- Dharmawan, I.W.S. 2013. Pendugaan biomasa karbon di atas tanah pada tegakan *Rhizophora mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *J. Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1): 50-56. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIP/article/view/6587>.
- Elisabeth, V., P.V.Y. Yamlean, dan H.S. Supriati. 2018. Formulasi sediaan granul dengan bahan pengikat pati kulit pisang goroho (*Musa acuminata* L.) dan pengaruhnya pada sifat fisik granul. *J. Ilmiah Farmasi*, 7(4): 1-11. <https://doi.org/10.31258/ajoas.3.2.123-134>.
- Eastaria, G., Z. Imran, dan G. Yulianto. 2022. Estimasi stok karbon mangrove rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(2): 191-204. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v14i1.39861>.
- Handoyo, E., B. Amin, dan Elizal. 2020. Estimation of carbon reserved in mangrove forest of Sungai Sembilan Sub-District, Dumai City, Riau Province. *Asian Journal of Aquatic Science*, 3(2): 123-134. <https://doi.org/10.31258/ajoas.3.2.123-134>.
- Hasibuan, S. dan Syafriadiman. 2020. Produktivitas Kualitas Tanah Dasar. UR Press. Riau. 164 p.

- Howard, J., S. Hoyt, K. Isensee, M. Telszewski, dan E. Pidgeon. 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. Virginia. 180 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC. Geneva. 104 pp.
- Kaonga, M.L. dan T.P. Bayliss-Smith. 2009. Carbon pools in tree biomass and the soil in improved fallows in eastern Zambia. *Agroforest Syst.* 76: 37–51. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9185-7>.
- Kauffman, J.B. dan T. G. Cole. 2010. Micronesian mangrove forest structure and tree responses to a severe typhoon. *Wetlands*, 30(6): 1077-1084. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0114-y>.
- Kauffman, J.B. dan D. Donato. 2012. Protocols for the measurement, monitoring, and reporting of structure, biomass, and carbon stocks in mangrove forests. Center for International Forestry Research. Bogor. 40 p.
- Komiyama, A., J.E. Ong, dan S. Pongpan. 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>.
- Lestariningsih, W.A., N. Soenardjo, dan R. Pribadi. 2018. Estimasi cadangan karbon pada kawasan mangrove di Desa Timbulsloko, Demak, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2): 121-130. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i2.19574>.
- Miles, L. dan V. Kapos. 2008. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and forest degradation: global land-use implications. *Science*, 320: 1454-1455.
- Murdiyarso, D., J. Purbopuspito, J.B. Kauffman, M.W. Warren, S.D. Sasmito, D.C. Donato, dan S. Kurnianto. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12): 1089–1092. <http://doi.org/10.1038/nclimate2734>.
- Nuraya, T., A.F. Koropitan, dan A.J. Wahyudi. 2019. Sediment carbon stock of West Kalimantan mangrove Forests. *Mar. Res. Indonesia*, 44(1): 27-35. <http://doi.org/10.14203/mri.v44i1.545>.
- Oktaviona, S., A. Bintal, dan G. Musrifin. 2017. Estimasi stock tersimpan pada ekosistem hutan mangrove di Jorong Ujuang Labuang Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. Universitas Riau Repository. Riau. 1-12 p.
- Paputungan, M.S., I. R. Ritonga, I. Suryana, N. Loto, I.W.E. Dharmawan, dan Z. Fitriani. 2022. Studi Pendahuluan: Pengukuran Stok Karbon Mangrove Pada Tiga Kondisi Mangrove Yang Berbeda di Mangrove Center Balikpapan. Prosiding Forum Ilmiah Nusantara 2022.
- Purnamawati, A.D., S.W. Saputra, dan D. Wijayanto. 2015. Nilai ekonomi hutan mangrove di desa Mojo, Kecamatan Ulujami, kabupaten Pemalang. *MAQUARES*. 4(3): 204-213.

- <https://doi.org/10.14710/marj.v4i3.9447>.
- Rahayu, S., B. Lusiana, dan M. v, Noordwijk. 2007. Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur: Monitoring secara spasial dan pemodelan. World Agroforestry Centre. Bogor. 34 p.
- Renta, P.P., R. Pribadi, M. Zainuri, dan M.A.F. Utami. 2016. Struktur komunitas mangrove di Desa Mojo Kabupaten Pemalang Jawa Tengah. *J. Enggano*, 1(2): 1-10. <https://doi.org/10.31186/jenggano.1.2.1-10>.
- Rifandi, R.A. dan R.F. Abdillah. 2020. Estimasi stok karbon dan serapan karbon pada tegakan pohon mangrove di hutan Mangrove Trimulyo, Genuk, Semarang. *Envoist Journal*, 1(2): 63-70. <https://doi.org/10.31331/envoist.v1i2.1475>.
- Sahu, S.K. dan K. Kathiresan. 2019. The age and species composition of mangrove forest directly influence the net primary productivity and carbon sequestration potential. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20: 101235. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101235>.
- Sanderman, J., T. Hengl, G. Fiske, K. Solvik, M.F. Adame, L. Benson, J.J. Bukoski, P. Carnell, M. Cifuentes-Jara, D. Donato, C. Duncan, E.M. Eid, P.Z. Ermgassen, C.J.E. Lewis, P.I. Macreadie, L. Glass, S. Gress, S.L. Jardine, T.G. Jones, E.N. Nsombo, M.M. Rahman, C.J. Sanders, M. Spalding, dan E. Landis. 2018. A global map of mangrove forest soil carbon at 30 m spatial resolution. *Environ. Res. Lett.* 13(5): 055002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabe1c>.
- Soerianegara, I dan A. Indrawan. 2008. Ekologi Hutan Indonesia. IPB Press. Bogor. 152 p.
- Suryono, S., N. Soenardjo, E. Wibowo, R. Ario, dan E.F. Rozy. 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>.
- Tsani, A.A.R. dan F.F. Muhsoni. 2022. Estimasi stok karbon mangrove di Desa Taddan Kecamatan Camplong Kabupaten Sampang. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(1). <https://doi.org/10.33387/jikk.v5i1.4682>.
- Tue, N. T., L.V. Dung, M.T. Nhuan, dan K. Omori. 2014. Carbon storage of a tropical mangrove forest in Mui Ca Mau National Park, Vietnam. *Catena*, 121: 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.008>.
- Wahyudi, A.J., Afdal, N.S. Adi, A. Rustam, Hadiyanto, dan I.H. Supriyadi. 2018. Potensi Cadangan dan Serapan Karbon Ekosistem Mangrove dan Padang Lamun Indonesia. Jakarta: Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2O-LIPI), Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan (PUSRIKEL-BRSDMKKP), Pusat Penelitian Laut Dalam, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2LD-LIPI). 7 p.
- World Agroforestry Centre. 2011. World Agroforestry Centre 2011 Databases.