Vol. 20 (2) 2026: 512-530
Jurnal Penelitian Kehutanan
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Jurnal MAKILA

Valuasi Ekonomi Karbon Biru pada Ekosistem Mangrove di Kecamatan Maginti, Kabupaten Muna Barat

(Economic Valuation of Blue Carbon in Mangrove Ecosystem of Maginti District, West Muna Regency)

Nurlianti[1*], James Abrahamsz[2], Charlotha I. Tupan[2], & Rahman[3]

[1] Program Magister Ilmu Kelautan, Pascasarjana, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M.Putuhena Kampus Poka, Ambon 97233, Indonesia
[2] Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M.Putuhena Kampus Poka, Ambon 97233, Indonesia
[3] Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M.Putuhena Kampus Poka, Ambon 97233, Indonesia

Informasi Artikel:

Submitted : 23 April 2026
Revised : 03 Oktober 2026
Accepted : 09 Oktober 2026
Published : 13 Oktober 2026

*** Penulis Korespondensi:**

Nurlianti
Program Magister Ilmu Kelautan, Pascasarjana, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M.Putuhena Kampus Poka, Ambon 97233, Indonesia
e-mail: nurlianti290@gmail.com
Telp: +62 822-4665-6295

Makila 20 (2) 2026: 512-530

DOI:
https://doi.org/10.30598/makila.v20i2.25522

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Copyright ©2026 Author(s): Nurlianti, James Abrahamsz, Charlotha I. Tupan, & Rahman

Journal homepage:
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Journal e-mail: makilajournal@gmail.com
Research Article** · **Open Access

ABSTRACT

Mangrove ecosystems store carbon in vegetation and sediments, providing a basis for assessing the economic value of blue carbon. This study aimed to quantify mangrove carbon stocks and estimate their economic value in Maginti District, West Muna Regency, Indonesia. Vegetation was assessed using thirty 10 × 10 m quadrat plots distributed across three mangrove zones. Aboveground and belowground biomass were estimated using allometric equations and converted to carbon stocks using a carbon fraction of 0.47. Sediment organic carbon stocks were estimated from bulk density and organic matter content determined using loss on ignition at four depth intervals spanning 0–100 cm. Economic valuation converted carbon stocks to CO_2 equivalents using a factor of 44/12 and applied price scenarios of USD 5–10 per tonne of CO_2 equivalent, with an assumed exchange rate of IDR 17,000 per USD. The estimated total ecosystem carbon stock was 499.59 Mg C ha^{-1}, equivalent to 1,831.83 Mg CO_2e ha^{-1}. Sediment organic carbon contributed 63.48% of the total, followed by aboveground carbon at 26.03% and belowground carbon at 10.49%. The indicative economic value ranged from IDR 155.71 million to IDR 311.41 million ha^{-1}. Extrapolation to a mangrove area of 953.16 ha yielded a landscape value of IDR 148.41–296.82 billion, assuming that the sampled mean carbon stock represented the entire area. These estimates represent scenario-based valuations of existing carbon stocks rather than verified tradable carbon credits or realizable carbon-market revenue. The findings highlight the contribution of sediment carbon and provide preliminary information to support mangrove conservation planning and further assessment of carbon financing opportunities.

KEYWORDS*: *Blue carbon, carbon stock, economic carbon value, Maginti, mangrove ecosystems

INTISARI

Ekosistem mangrove menyimpan karbon dalam vegetasi dan sedimen sehingga menyediakan dasar untuk menilai manfaat ekonomi karbon biru. Penelitian ini bertujuan mengkuantifikasi stok karbon mangrove dan mengestimasi nilai ekonominya di Kecamatan Maginti, Kabupaten Muna Barat, Indonesia. Vegetasi

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

diamati menggunakan tiga puluh plot kuadrat berukuran 10 × 10 m yang tersebar pada tiga zona mangrove. Biomassa atas dan bawah permukaan diestimasi menggunakan persamaan alometrik dan dikonversi menjadi stok karbon menggunakan fraksi karbon sebesar 0,47. Stok karbon organik sedimen diestimasi berdasarkan bulk density dan kandungan bahan organik yang ditentukan melalui metode loss on ignition pada empat interval kedalaman yang mencakup 0–100 cm. Valuasi ekonomi dilakukan dengan mengonversi stok karbon menjadi CO_2-ekuivalen menggunakan faktor 44/12 dan menerapkan skenario harga sebesar USD 5–10 per ton CO_2-ekuivalen, dengan asumsi kurs Rp17.000 per USD. Estimasi total stok karbon ekosistem mencapai 499,59 Mg C ha^{-1} atau setara dengan 1.831,83 Mg CO_2e ha^{-1}. Karbon organik sedimen menyumbang 63,48% dari total stok karbon, diikuti karbon atas permukaan sebesar 26,03% dan karbon bawah permukaan sebesar 10,49%. Nilai ekonomi indikatif berkisar antara Rp155,71 juta dan Rp311,41 juta ha^{-1}. Ekstrapolasi terhadap luas mangrove sebesar 953,16 ha menghasilkan nilai kawasan sebesar Rp148,41–296,82 miliar, dengan asumsi bahwa rerata stok karbon pada lokasi sampel mewakili seluruh kawasan. Estimasi tersebut merupakan valuasi stok karbon eksisting berdasarkan skenario harga, bukan kredit karbon terverifikasi yang dapat diperdagangkan ataupun pendapatan pasar karbon yang dapat direalisasikan. Hasil penelitian menunjukkan besarnya kontribusi karbon sedimen dan menyediakan informasi awal untuk mendukung perencanaan konservasi mangrove serta kajian lebih lanjut mengenai peluang pembiayaan karbon.

KATA KUNCI: Ekosistem mangrove, karbon biru, Maginti, nilai ekonomi karbon, stok karbon

PENDAHULUAN

Pengelolaan ekosistem pesisir merupakan salah satu pendekatan untuk mendukung mitigasi perubahan iklim sekaligus mempertahankan jasa ekosistem yang diperlukan masyarakat. Mangrove memiliki relevansi dalam pendekatan tersebut karena menyimpan karbon dalam biomassa vegetasi dan sedimen (Rahman *et al.,* 2024a), serta menyediakan habitat biota (Rahman *et al.,* 2024b), perlindungan pantai, dan sumber daya bagi masyarakat pesisir (Sunkur *et al.,* 2023). Berbagai manfaat tersebut menunjukkan bahwa nilai mangrove mencakup manfaat langsung maupun jasa pengaturan lingkungan yang perlu dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan pengelolaan wilayah pesisir (Barbier *et al*., 2011; Alongi, 2014; Handayani *et al.,* 2020). Dalam konteks karbon biru, informasi mengenai stok karbon dan nilai moneternya dapat melengkapi pertimbangan ekologis dalam perencanaan konservasi mangrove (Ie *et al.,* 2026).

Kajian empiris menunjukkan bahwa mangrove termasuk ekosistem hutan tropis dengan stok karbon per satuan luas yang tinggi. Donato *et al*. (2011) menunjukkan pentingnya pengukuran karbon pada komponen vegetasi dan tanah untuk memahami besarnya simpanan karbon ekosistem

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

mangrove. Murdiyarso *et al*. (2015) selanjutnya menegaskan relevansi perlindungan mangrove Indonesia bagi mitigasi perubahan iklim melalui pencegahan kehilangan karbon akibat deforestasi. Temuan tersebut mendukung perlunya penilaian karbon mangrove yang mencakup beberapa kompartemen penyimpanan, dengan memperhatikan batas pengukuran dan karakteristik lokasi penelitian. Oleh karena itu, perbandingan stok karbon antarekosistem perlu dilakukan berdasarkan komponen karbon dan kedalaman tanah atau sedimen yang sebanding, bukan menggunakan rasio keunggulan yang dianggap berlaku seragam pada seluruh lokasi.

Karbon pada vegetasi dan sedimen merupakan komponen yang saling melengkapi dalam penilaian simpanan karbon mangrove. Pengukuran biomassa vegetasi memberikan informasi mengenai karbon yang tersimpan pada bagian atas dan bawah permukaan, sedangkan pengukuran sedimen mencakup simpanan karbon yang tidak terwakili oleh inventarisasi tegakan saja. Alongi (2014) menjelaskan bahwa sedimen merupakan komponen penting dalam siklus dan penyimpanan karbon mangrove. Namun, besarnya stok karbon pada suatu waktu perlu dibedakan dari laju penyerapan atau akumulasi karbon yang memiliki dimensi waktu. Dengan demikian, penelitian berbasis inventarisasi biomassa dan karbon sedimen menghasilkan estimasi stok karbon pada batas pengukuran tertentu, bukan pengukuran langsung terhadap laju sekuestrasi karbon tahunan.

Informasi stok karbon dapat digunakan sebagai dasar valuasi moneter untuk memperlihatkan dimensi ekonomi dari simpanan karbon mangrove. Dalam penelitian ini, valuasi dilakukan dengan mengonversi stok karbon menjadi CO_2-ekuivalen dan menerapkan skenario harga karbon. Hasilnya diinterpretasikan sebagai nilai indikatif stok karbon eksisting yang bergantung pada besarnya stok, skenario harga, kurs, dan luas kawasan yang digunakan. Pendekatan tersebut tidak mengukur keseluruhan nilai ekonomi ekosistem mangrove karena manfaat lain, seperti perlindungan pantai, penyediaan habitat, dan perikanan, berada di luar cakupan valuasi karbon penelitian ini. Pembatasan cakupan tersebut diperlukan agar hasil valuasi tidak ditafsirkan sebagai nilai ekonomi total seluruh jasa ekosistem mangrove (Barbier *et al*., 2011).

Valuasi stok karbon juga perlu dibedakan dari estimasi kredit karbon yang dapat diperdagangkan. Sebagai contoh, metodologi restorasi lahan basah pasang surut dan lamun dari Verra mengatur kuantifikasi pengurangan emisi dan peningkatan serapan yang dihasilkan oleh kegiatan proyek, bukan pemberian kredit atas seluruh stok karbon eksisting. Penerapannya memerlukan penilaian tambahan, termasuk baseline, additionality, kebocoran emisi, risiko ketidakpermanenan, dan prosedur pemantauan sesuai metodologi yang digunakan (Verra, 2023). Oleh karena itu, nilai moneter stok karbon dalam penelitian ini diposisikan sebagai informasi awal bagi perencanaan konservasi dan penilaian peluang pembiayaan karbon. Nilai tersebut tidak secara langsung menunjukkan pendapatan yang dapat diterima masyarakat atau pemerintah daerah.

Kecamatan Maginti, Kabupaten Muna Barat, merupakan salah satu wilayah yang relevan untuk penilaian tersebut. Penelitian terdahulu mengenai sistem sosial-ekologi mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat telah mencakup Maginti dan menunjukkan keterkaitan antara penggunaan

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

lahan, kondisi mangrove, serta dinamika stok karbon. Rahman *et al*. (2020) mengidentifikasi pembangunan tambak, permukiman, jalan, dan dermaga sebagai bagian dari tekanan penggunaan lahan yang berkaitan dengan kondisi mangrove di wilayah kajiannya. Hasil tersebut memberikan konteks bagi kebutuhan informasi karbon yang lebih terarah untuk mendukung pengelolaan mangrove di Maginti. Namun, fokus penelitian terdahulu pada keterkaitan sosial-ekologi belum menjawab secara langsung tujuan penelitian ini, yaitu menghubungkan estimasi karbon pada vegetasi dan sedimen dengan valuasi moneter berdasarkan skenario harga pada satuan hektare dan skala kawasan.

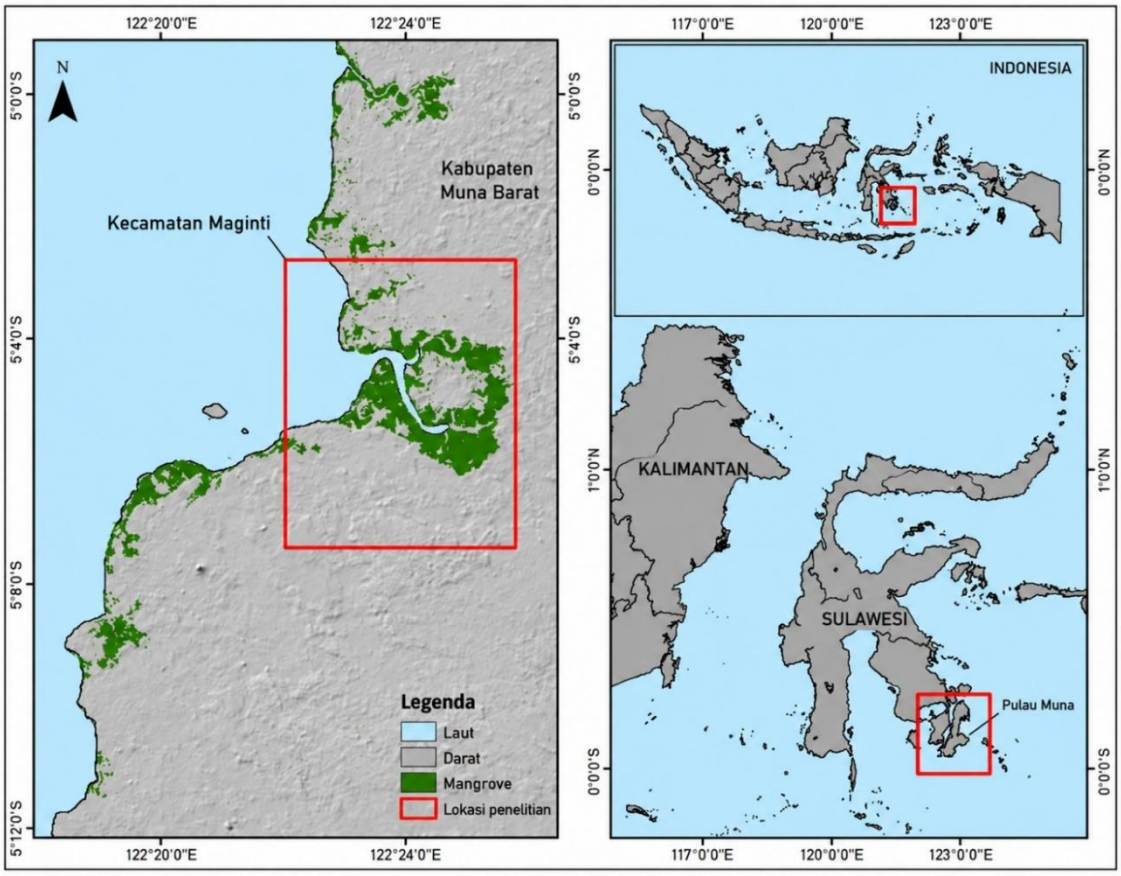
Dengan demikian, kesenjangan yang menjadi fokus penelitian ini adalah kebutuhan informasi lokal yang menghubungkan stok karbon pada beberapa kompartemen mangrove dengan nilai moneternya dalam kerangka perhitungan yang konsisten dan transparan. Kontribusi penelitian terletak pada penggabungan estimasi karbon atas permukaan, karbon bawah permukaan, dan karbon organik sedimen hingga kedalaman 100 cm, kemudian penerjemahannya menjadi nilai moneter indikatif pada satuan hektare dan skala kawasan di Kecamatan Maginti. Kontribusi tersebut merupakan penerapan empiris pada konteks lokal, tanpa mengklaim bahwa penggabungan kompartemen karbon dan valuasi merupakan metode baru secara global. Penelitian ini bertujuan mengkuantifikasi stok karbon pada ketiga kompartemen tersebut, menentukan kontribusi masing-masing terhadap stok karbon yang diestimasi, serta mengestimasi nilai ekonominya berdasarkan skenario harga karbon. Hasil penelitian diharapkan menyediakan dasar informasi bagi perencanaan konservasi mangrove dan kajian lanjutan mengenai kelayakan pembiayaan karbon di Kabupaten Muna Barat.

METODE PENELITIAN

Deskripsi Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Maret - April 2026 di Kecamatan Maginti Kabupaten Muna Barat (**Gambar 1**). Secara geografis, kawasan ini terletak di bagian barat Pulau Muna dan berbatasan langsung dengan perairan Laut Banda, sehingga dipengaruhi oleh dinamika pasang surut dan kondisi oseanografi pesisir. Ekosistem mangrove di lokasi penelitian umumnya tumbuh pada substrat lumpur hingga lumpur berpasir dengan vegetasi yang didominasi oleh *Rhizophora* sp. dan *Sonneratia alba* (Rahman *et al*., 2014). Kawasan ini dipilih karena memiliki tutupan mangrove yang cukup luas, namun mengalami tekanan akibat aktivitas antropogenik seperti konversi lahan sebagai tambak, dan pemanfaatan sumber daya pesisir.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 1. Peta lokasi penelitian pada ekosistem mangrove di Kecamatan Maginti, Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara.

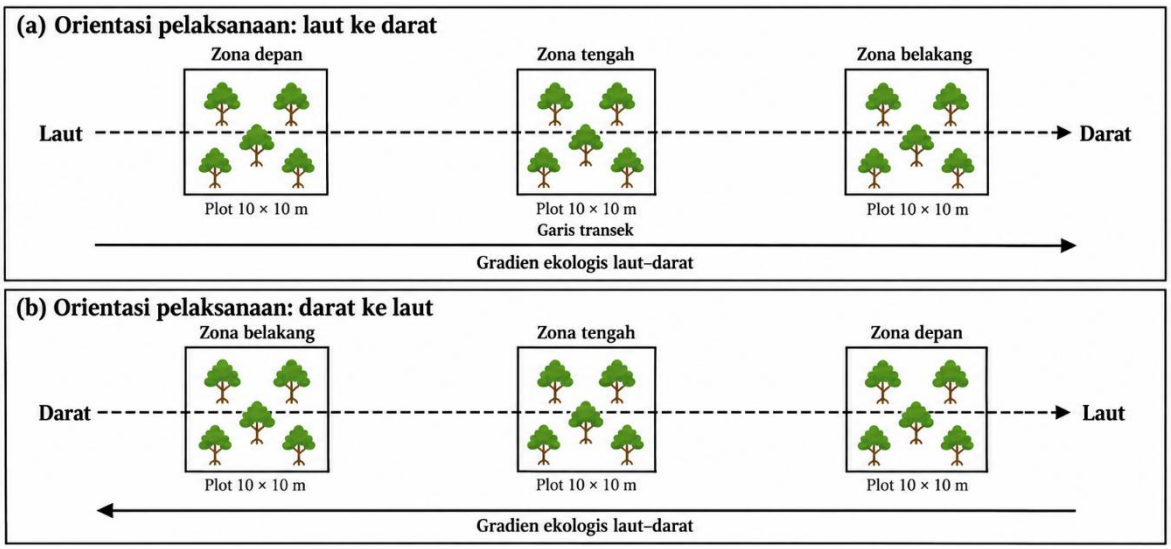
Metode Pengumpulan Data

Kerapatan Mangrove

Pengambilan data kerapatan mangrove dilakukan menggunakan metode transek dengan plot kuadrat (*transect–quadrat method*) berukuran 10 × 10 m (Bengen *et al*., 2022). Area pengamatan dibagi menjadi tiga strata ekologis, yaitu zona depan yang berbatasan dengan laut, zona tengah, dan zona belakang yang mengarah ke daratan. Sebanyak 30 plot digunakan dalam penelitian ini, dengan alokasi masing-masing 10 plot pada setiap zona untuk mencakup variasi struktur tegakan sepanjang gradien ekologis laut–darat.

Penempatan plot dilakukan melalui pengambilan sampel berstrata (*stratified sampling*) dengan mempertimbangkan kondisi dan aksesibilitas lapangan. Transek dipasang melintasi zona depan, tengah, dan belakang. Pelaksanaannya dapat dimulai dari laut menuju darat atau dari darat menuju laut, sesuai kondisi morfologi pantai dan akses lokasi. Perbedaan titik awal tersebut tidak mengubah kerangka zonasi maupun gradien ekologis yang diamati. Skema orientasi transek dan plot kuadrat disajikan pada **Gambar 2**; posisi dan jarak antarplot pada gambar bersifat ilustratif.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 2. Skema orientasi transek dan plot kuadrat berukuran 10 × 10 m pada zona depan, tengah, dan belakang mangrove: (a) pelaksanaan dari laut ke darat dan (b) dari darat ke laut. Kedua orientasi mencakup gradien ekologis yang sama. Sebanyak 30 plot digunakan, masing-masing 10 plot pada setiap zona. Posisi, jarak antarplot, dan jumlah pohon dalam gambar bersifat ilustratif.

Pada setiap plot pengamatan dilakukan identifikasi jenis serta penghitungan jumlah tegakan pohon. Proses identifikasi mengacu pada karakter morfologi, meliputi akar, daun, bunga, dan buah sebagaimana dijelaskan oleh Noor *et al*. (2006). Adapun penentuan kategori tegakan pohon didasarkan pada kriteria diameter batang lebih dari 5 cm (D > 5 cm) sesuai dengan Rahman *et al*. (2024c).

Pengukuran Biomassa Mangrove

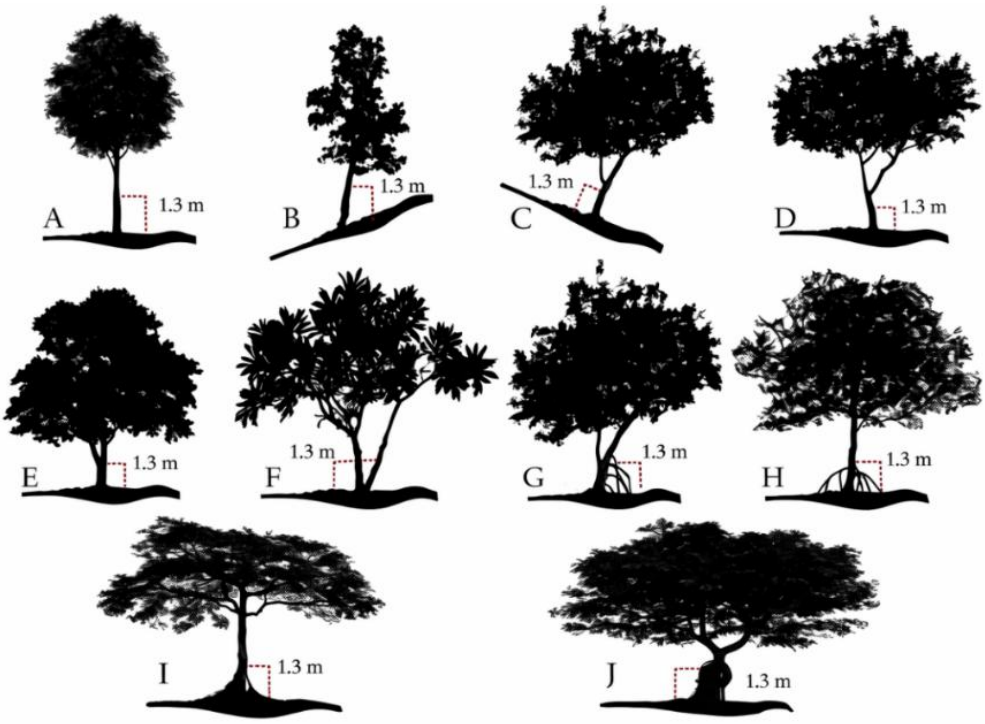
Biomassa ekosistem mangrove yang diestimasi mencakup biomassa atas permukaan (*aboveground biomass/AGB*) dan biomassa bawah permukaan (*belowground biomass/BGB*). Estimasi kedua komponen biomassa tersebut dilakukan melalui pendekatan diameter batang pohon. Pengukuran diameter batang dibedakan berdasarkan tinggi pohon. Pada pohon dengan tinggi ≥2 m, diameter diukur sebagai diameter setinggi dada (diameter at breast height/DBH) pada posisi 1,3 m, dengan penyesuaian titik pengukuran sesuai bentuk batang dan sistem perakaran sebagaimana disajikan pada **Gambar 3**. Pada pohon dengan tinggi <2 m, diameter diukur sebagai diameter batang (*trunk diameter*/TD) pada posisi 50 cm dari permukaan tanah. Dengan demikian, Gambar 3 menjelaskan protokol pengukuran DBH beserta pengecualiannya, sedangkan pengukuran TD pada pohon dengan tinggi <2 m mengikuti ketentuan tersendiri.

Pengambilan sampel sedimen dilakukan menggunakan *sediment core* berdiameter 6 cm dengan panjang 100 cm pada interval kedalaman 0–15 cm, 15–30 cm, 30–50 cm, dan 50–100 cm (Kauffman *et al*., 2012). Pada setiap interval kedalaman, diambil sub-sampel sedimen dengan ketebalan tetap sebesar 5 cm (tidak mencakup seluruh ketebalan interval) untuk keperluan analisis *bulk density* dan kandungan karbon organik sedimen menggunakan metode pengeringan dan pengabuan (*Loss on Ignition/LOI*) (Sasmito *et al*., 2020).

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Lokasi penelitian dibagi menjadi tiga zona pengamatan, yaitu zona depan yang berbatasan langsung dengan laut, zona tengah, dan zona belakang yang mengarah ke daratan. Pada setiap zona ditentukan tiga titik pengambilan sampel, sehingga terdapat sembilan titik pengamatan. Pada setiap titik diambil satu *core* sedimen hingga kedalaman 100 cm. Masing-masing *core* kemudian dibagi menjadi empat interval kedalaman, yaitu 0–15, 15–30, 30–50, dan 50–100 cm, untuk pengambilan subsampel yang dianalisis secara terpisah. Dengan demikian, sembilan *core* menghasilkan 36 subsampel sedimen, yang berasal dari tiga zona × tiga titik × empat interval kedalaman. Keempat subsampel pada setiap titik berasal dari *core* yang sama dan merupakan pengamatan berjenjang menurut kedalaman, bukan empat ulangan pengambilan *core* yang independen.

Penentuan jumlah sampel tersebut dimaksudkan untuk memastikan keterwakilan data secara spasial dan vertikal dalam mengestimasi kapasitas penyimpanan karbon sedimen mangrove. Distribusi titik sampling pada setiap zona memungkinkan identifikasi variasi karakteristik sedimen yang dipengaruhi oleh perbedaan posisi geomorfologi, struktur vegetasi mangrove, serta tingkat tekanan antropogenik pada masing-masing zona.



Gambar 3. Metode Pengukuran Diameter Batang Mangrove pada posisi 1,3 m dari permukaan tanah berdasarkan variasi bentuk batang, kemiringan pohon, dan kondisi permukaan substrat. Keterangan: (A) Pohon kondisi normal, DBH diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah. (B) Pohon kondisi normal di lahan miring, DBH diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah tertinggi. (C) Pohon miring di lahan miring, DBH diukur pada ketinggian 1,3 m secara tegak lurus terhadap permukaan tanah. (D) Pohon bercabang dengan tinggi percabangan > 1,3 m, DBH diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah. (E) Pohon bercabang pada ketinggian 1,3 m, DBH diukur tepat di bawah percabangan yang masih normal. (F) Pohon bercabang dengan tinggi percabangan < 1,3 m, DBH diukur pada masing-masing cabang pada ketinggian 1,3 m dan dianggap sebagai batang yang berbeda. (G) Pohon miring pada tanah datar. Titik pengukuran DBH ditentukan dengan pita diameter dipasang melingkari batang pada bidang yang tegak lurus terhadap sumbu batang. (H) Pada pohon dengan tinggi ≥2 m, diameter batang diukur pada posisi standar 1,3 m dari permukaan tanah, kecuali pada pohon yang memerlukan penyesuaian titik pengukuran berdasarkan bentuk batang dan sistem perakarannya. Khusus pohon berakar tunjang, termasuk Rhizophora spp., yang akar

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

tunjangnya mencapai lebih dari 1,3 m di atas permukaan tanah, diameter diukur pada posisi 1,3 m di atas puncak akar tunjang, mengikuti Bengen *et al*. (2022). (I) Pohon dengan tinggi genangan > 1,3 m, DBH diukur pada ketinggian 20 cm di atas batas genangan. (J) Pohon dengan cacat batang (menggembung) pada ketinggian 1,3 m, DBH diukur pada ketinggian 20 cm di atas bagian yang cacat (Bengen *et al*., 2022)

Analisis Data

Kerapatan Mangrove

Analisis kerapatan (K) dan kerapatan jenis mangrove (K*i*) dilakukan dengan mengacu pada persamaan menurut (Bengen *et al*., 2022) yaitu sebagai berikut:

$$K = \frac{N}{A}; \quad \text{dan } Ki = \frac{\Sigma ni}{A} \qquad (1)$$

di mana K merupakan kerapatan total (tegakan ha^{-1}), K*i* adalah kerapatan jenis ke-i (tegakan ha^{-1}), N menyatakan jumlah seluruh tegakan pohon dalam plot kuadrat, *ni* adalah jumlah tegakan spesies ke-*i* dalam plot kuadrat, dan A merupakan luas plot kuadrat (ha).

Biomassa, Stok Karbon, dan CO_2-e

Biomassa mangrove diestimasi menggunakan persamaan allometrik yang telah dikembangkan oleh peneliti sebelumnya (**Tabel 1**). Pemilihan persamaan untuk masing-masing spesies didasarkan pada nilai koefisien korelasi (*r*) tertinggi dari berbagai persamaan yang tersedia dalam literatur, baik untuk estimasi biomassa permukaan atas (*above-ground biomass*) maupun biomassa permukaan bawah (*below-ground biomass*).

Tabel 1. Persamaan allometrik pendugaan biomassa mangrove

No.	Spesies	*Biomassa permukaan atas (AGB)*		*Biomassa permukaan bawah (BGB)*	
1	*A. marina*	**B = 0.308D$^{2.11}$** Comley dan McGuinness (2005)	(2)	**B = 1.28D$^{1.17}$** Comley dan McGuinness (2005)	(3)
2	*S. alba*	**B = 0.258D$^{2.287}$** Kusmana *et al*. (2018)	(4)	**B = 0.230 ρ (D^{2}H)$^{0.74}$** Kusmana *et al*. (2018)	(5)
3	*R. apiculata*	**B = 0.235D$^{2.42}$** Ong *et al*. (2004)	(6)	**B = 0.0689D$^{2.61}$** Ong *et al*. (2004)	(7)
4	*R. mucronata*	**B = 0.128D$^{2.60}$** Fromard *et al*. (1998)	(8)	**B = 0.0974 (D^{2}H)$^{1.05}$** Tamai *et al*. (1986)	(9)
5	*R. stylosa*	**B = 0.178D$^{2.59}$** Gevana dan IM. (2016)	(10)	**B = 0.261D$^{1.86}$** Comley dan McGuinness (2005)	(11)
6	*X. granatum*	**B = 0.0823D$^{2.59}$** Clough dan Scott (1989)	(12)	**B = 0.145D$^{2.55}$** Poungparn *et al*. (2002)	(13)
7	Persamaan umum*	**B = 0.251 ρ (D)$^{2.46}$** Komiyama *et al*. (2005)	(14)	**B = 0.199 $\rho^{0.899}$ D$^{2.22}$** Komiyama *et al*. (2005)	(15)

Keterangan: B = Biomass, D = *dbh* (130 cm); ρ = massa jenis (g/cm^3) yang diacu dalam db.worldagroforestry.org/; H = D/(0.02D + 0.678) (Tamai *et al*. 1986); *Persamaan umum digunakan ketika spesies mangrove yang ditemukan belum memiliki persamaan allometrik.

Stok karbon per pohon dihitung dengan mengalikan estimasi biomassa kering dengan fraksi karbon sebesar 0,47. Nilai tersebut mengacu pada fraksi karbon default biomassa atas permukaan dalam IPCC (2006). Dalam penelitian ini, fraksi yang sama juga diterapkan pada biomassa bawah permukaan sebagai asumsi perhitungan. Dengan demikian, stok karbon vegetasi merupakan hasil konversi biomassa, bukan hasil pengukuran langsung kandungan karbon jaringan.

Stok Karbon Tegakan (kg C/tegakan) = Biomassa tegakan x 0,47 (16)

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Nilai CO_2 ekuivalen (CO_2-e) diperoleh melalui konversi stok karbon ke dalam bentuk CO_2 berdasarkan perbandingan massa atom karbon dengan massa molekul CO_2. Hubungan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$CO_2 \text{ ekuivalen} = \text{Stok Karbon} \times 3{,}67 \qquad (17)$$

Data sedimen mangrove pada setiap interval kedalaman dianalisis untuk menentukan *bulk density* (BD), persentase karbon organik (%C), dan stok karbon organik sedimen (sediment organic carbon/SOC). Analisis dilakukan secara bertahap melalui perhitungan bulk density, konversi kandungan bahan organik menjadi persentase karbon organik, perhitungan densitas karbon organik per satuan volume sedimen (g C cm^{-3}), dan estimasi stok karbon per satuan luas (Mg C ha^{-1}). Istilah SOC digunakan secara konsisten untuk menyatakan stok karbon organik sedimen.

Tahap awal analisis adalah penentuan *bulk density*, yaitu dengan membagi massa kering sedimen dengan volume subsampel. Setiap subsampel memiliki panjang 5 cm dan diameter 6 cm, sehingga volumenya sebesar 141,37 cm^3. Selanjutnya, densitas karbon organik dihitung sebagai BD × (%C/100). Stok karbon organik sedimen pada setiap interval diperoleh dengan mengalikan densitas karbon organik dengan ketebalan interval yang diwakilinya, yaitu 15, 15, 20, dan 50 cm, serta faktor konversi sebesar 100 untuk memperoleh satuan Mg C ha^{-1}. Dengan demikian, panjang subsampel digunakan untuk menentukan BD, sedangkan ketebalan interval digunakan untuk menghitung stok karbon sedimen.

$$\text{BD} = \frac{Wdry}{V} \qquad (18)$$

dengan BD adalah *bulk density* (g cm^{-3}), (W_{dry} adalah massa kering subsampel (g), dan V adalah volume subsampel yaitu 141,37 cm^3

Tahap selanjutnya adalah estimasi kandungan bahan organik sedimen menggunakan metode loss on ignition (LOI). Sampel dikeringkan pada suhu 105 °C, kemudian diabukan pada suhu 550 °C. Selisih massa sebelum dan sesudah pengabuan digunakan untuk menghitung persentase bahan organik (%OM). Persentase karbon organik (%C) selanjutnya diestimasi dengan mengalikan %OM dengan faktor 0,58, yang mengasumsikan bahwa karbon membentuk 58% massa bahan organik. Faktor tersebut dipertahankan sebagai asumsi konversi dalam perhitungan penelitian ini. Breithaupt *et al*. (2023) mendokumentasikan penggunaan faktor 0,58 dalam penelitian mangrove, sekaligus menunjukkan bahwa hubungan bahan organik–karbon dapat berbeda menurut karakteristik sedimen dan lingkungan pengendapan. Oleh karena itu, hasil %C merupakan estimasi berbasis LOI, dan kesesuaian faktor 0,58 terhadap sedimen lokasi penelitian menjadi keterbatasan metodologis yang perlu dinyatakan.

$$\%\text{OM} = \frac{W105 - W550}{W105} \times 100 \qquad (19)$$

Kandungan bahan organik yang diperoleh selanjutnya dikonversi menjadi karbon organik menggunakan faktor konversi (*conversion factor/CF*) sebesar 0,58, sehingga nilai karbon organik (%C) dapat dihitung sebagai berikut:

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

$$\%C = \%OM \; x \; CF \quad (20)$$

Selanjutnya, densitas karbon organik sedimen (ρC) dihitung dengan mengalikan bulk density dengan fraksi karbon organik:

$$\rho C = BD \times (\%C \; / \; 100) \quad (21)$$

dengan ρC dinyatakan dalam g C cm^{-3} dan BD dalam g cm^{-3}. Persentase karbon dibagi 100 untuk mengubahnya menjadi fraksi massa. Besaran ρC merupakan massa karbon per satuan volume sedimen dan belum menunjukkan stok karbon per satuan luas.

Stok karbon organik sedimen (*sediment organic carbon stock*/SOC) pada setiap interval kedalaman dihitung menggunakan persamaan:

$$SOC_interval = \rho C \times d \times 100 \quad (22)$$

dengan SOC_interval dinyatakan dalam Mg C ha^{-1}, d adalah ketebalan interval kedalaman (cm), dan 100 merupakan faktor konversi dari g C cm^{-2} menjadi Mg C ha^{-1}. Ketebalan interval yang digunakan adalah 15, 15, 20, dan 50 cm untuk interval 0–15, 15–30, 30–50, dan 50–100 cm. Panjang subsampel 5 cm digunakan untuk menghitung volume dalam penentuan bulk density, sedangkan ketebalan interval digunakan untuk menghitung stok karbon lapisan, dengan asumsi bahwa subsampel mewakili interval tersebut.

Stok karbon organik sedimen (SOC) hingga kedalaman 100 cm pada setiap titik pengamatan dihitung dengan menjumlahkan stok karbon keempat interval yang berasal dari satu core:

$$SOC = SOC_{0-15} + SOC_{15-30} + SOC_{30-50} + SOC_{50-100} \quad (23)$$

Rerata stok karbon sedimen dihitung dari nilai SOC_core pada sembilan titik pengamatan. Stok karbon dikonversi menjadi CO_2-ekuivalen menggunakan perbandingan massa molekul CO_2 terhadap massa atom karbon:

$$CO_2e_sedimen = SOC_rerata \times (44 \; / \; 12) \quad (24)$$

Hasil konversi dinyatakan dalam Mg CO_2e ha^{-1}. Faktor 44/12 digunakan tanpa pembulatan pada tahap perhitungan, sedangkan pembulatan diterapkan pada penyajian hasil.

Nilai Ekonomi Karbon

Nilai ekonomi karbon diestimasi dengan mengalikan stok karbon yang telah dikonversi menjadi CO_2-ekuivalen dengan harga karbon. Penelitian ini menggunakan dua skenario harga, yaitu USD 5 dan USD 10 per ton CO_2e. Kisaran tersebut diperlakukan sebagai asumsi valuasi penelitian, bukan harga yang berlaku seragam pada pasar karbon nasional dan internasional. Laporan World Bank (2024) digunakan sebagai referensi mengenai perkembangan harga dan pasar karbon, bukan sebagai lembaga yang menetapkan harga karbon sukarela.

Harga dalam USD dikonversi menjadi rupiah menggunakan asumsi kurs tetap sebesar Rp17.000 per USD. Dengan demikian, harga pada skenario minimum dan maksimum masing-masing sebesar Rp85.000 dan Rp170.000 per ton CO_2e. Kurs tersebut merupakan parameter skenario valuasi dan tidak dinyatakan sebagai kurs transaksi aktual pada tanggal tertentu.

Nilai ekonomi indikatif per hektare dihitung menggunakan persamaan:

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

$$NEK_ha = Q_CO2e \times P_USD \times R \quad (25)$$

dengan P_IDR adalah harga karbon dalam rupiah (Rp ton^{-1} CO_2e), P_USD adalah harga skenario dalam USD (USD ton^{-1} CO_2e), R adalah kurs yang digunakan (Rp USD^{-1}), dan Q_CO2e adalah stok karbon dalam bentuk CO_2-ekuivalen (ton CO_2e ha^{-1}). NEK_ha merupakan nilai ekonomi indikatif per hektare (Rp ha^{-1}).

Nilai ekonomi kawasan dihitung dengan mengalikan nilai per hektare dengan luas mangrove:

$$NEK_kawasan = NEK_ha \times L \quad (26)$$

dengan L adalah luas mangrove yang digunakan dalam ekstrapolasi (ha). Perhitungan menggunakan nilai sebelum pembulatan, sedangkan pembulatan dilakukan pada penyajian hasil.

Hasil valuasi menunjukkan nilai moneter indikatif stok karbon eksisting berdasarkan skenario harga dan kurs yang digunakan. Nilai tersebut menyediakan informasi awal untuk perencanaan konservasi mangrove di Kecamatan Maginti, tetapi tidak merepresentasikan pendapatan aktual maupun nilai kredit karbon terverifikasi yang dapat langsung diperdagangkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan dan Biomassa Mangrove

Struktur vegetasi mangrove pada lokasi penelitian menunjukkan variasi kerapatan antarspesies, dengan total kerapatan sebesar 1.143 pohon ha^{-1}. *Sonneratia alba* memiliki kerapatan tertinggi, yaitu 283 pohon ha^{-1}, diikuti *Rhizophora stylosa* sebesar 233 pohon ha^{-1} dan *R. apiculata* sebesar 197 pohon ha^{-1} (Tabel 2). Ketiga spesies tersebut memberikan kontribusi terbesar terhadap kerapatan total pada plot pengamatan. Sebaliknya, *Ceriops tagal* memiliki kerapatan terendah, yaitu 13 pohon ha^{-1}. Perbedaan ini menggambarkan komposisi tegakan berdasarkan jumlah pohon per satuan luas, tetapi belum cukup untuk menilai kondisi ekologis atau kemampuan adaptasi masing-masing spesies.

Distribusi mangrove dapat dipengaruhi oleh salinitas, frekuensi genangan, dan karakteristik substrat (Bengen *et al*., 2022). Namun, pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap variasi kerapatan dalam penelitian ini belum diuji. Oleh karena itu, rendahnya kerapatan *C. tagal* diinterpretasikan sebagai rendahnya keterwakilan spesies tersebut pada plot pengamatan, tanpa mengaitkannya secara langsung dengan daya saing atau ketidaksesuaian habitat.

Nilai diameter batang pada Tabel 2 menunjukkan variasi ukuran antarspesies. *S. alba* memiliki nilai diameter terbesar, yaitu 21,27 cm, diikuti *R. stylosa* sebesar 18,62 cm dan *Bruguiera gymnorrhiza* sebesar 17,20 cm. *R. apiculata*, *B. cylindrica*, dan *R. mucronata* masing-masing memiliki diameter 17,09; 16,10; dan 14,56 cm, sedangkan *C. tagal* memiliki diameter terkecil, yaitu 5,70 cm. Perbandingan tersebut bersifat deskriptif. Tanpa analisis korelasi atau regresi, pola diameter dan kerapatan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan hubungan statistik antara kedua parameter maupun pengaruh kompetisi terhadap ukuran batang.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Estimasi biomassa atas permukaan (AGB) seluruh tujuh spesies mencapai 276,71 Mg ha^{-1}, sedangkan biomassa bawah permukaan (BGB) mencapai 111,50 Mg ha^{-1} (Tabel 2). Estimasi tersebut menggunakan persamaan umum Komiyama *et al*. (2005), dengan diameter batang dan densitas kayu sebagai variabel input. Biomassa atas permukaan merupakan kompartemen yang lebih besar dibandingkan biomassa bawah permukaan pada hasil estimasi ini.

S. alba memberikan kontribusi biomassa terbesar, dengan AGB sebesar 107,25 Mg ha^{-1} dan BGB sebesar 41,67 Mg ha^{-1}. Kontributor berikutnya adalah *R. stylosa*, dengan AGB sebesar 67,68 Mg ha^{-1} dan BGB sebesar 26,98 Mg ha^{-1}. Kedua spesies tersebut juga memiliki kerapatan dan nilai diameter yang relatif besar pada data pengamatan. Dalam perhitungan alometrik, kontribusi biomassa per satuan luas terbentuk dari estimasi biomassa pohon dan jumlah individu yang tercakup. Pola tersebut tidak secara langsung membuktikan adanya suplai nutrien yang tinggi, kondisi hidrodinamika yang menguntungkan, atau pertumbuhan yang cepat, karena aspek-aspek tersebut tidak diukur dalam penelitian ini.

R. apiculata memberikan kontribusi AGB sebesar 38,92 Mg ha^{-1} dan BGB sebesar 16,12 Mg ha^{-1}, sedangkan *R. mucronata* masing-masing sebesar 21,21 dan 9,11 Mg ha^{-1}. Pada kelompok *Bruguiera*, AGB dan BGB *B. cylindrica* masing-masing mencapai 22,35 dan 9,56 Mg ha^{-1}, sementara *B. gymnorrhiza* mencapai 19,10 dan 7,96 Mg ha^{-1}. *C. tagal* memberikan kontribusi terkecil, dengan AGB sebesar 0,20 Mg ha^{-1} dan BGB sebesar 0,10 Mg ha^{-1}. Perbedaan kontribusi tersebut menggambarkan hasil estimasi berdasarkan parameter vegetasi dan densitas kayu yang digunakan, tanpa menyimpulkan perbedaan strategi pertumbuhan atau stabilitas karbon antarspesies.

Nilai AGB dan BGB menggambarkan estimasi massa kering vegetasi pada saat pengamatan dan menjadi dasar penghitungan stok karbon vegetasi. Biomassa tidak sama dengan produktivitas, karena produktivitas memerlukan pengukuran pertambahan biomassa per satuan waktu. Oleh karena itu, nilai AGB sebesar 276,71 Mg ha^{-1} tidak digunakan untuk menyimpulkan bahwa lokasi penelitian memiliki produktivitas atau laju penyerapan karbon yang tinggi. Perbandingan dengan penelitian lain juga perlu memperhatikan kesamaan kompartemen biomassa, batas ukuran pohon, persamaan alometrik, dan satuan yang digunakan.

Hasil ini menyediakan gambaran mengenai komposisi tegakan dan distribusi biomassa antarspesies pada lokasi penelitian. Kontribusi terbesar *S. alba* dan *R. stylosa* terhadap biomassa menunjukkan pentingnya kedua spesies tersebut dalam estimasi stok karbon vegetasi pada plot pengamatan. Informasi tersebut dapat mendukung inventarisasi karbon dan perencanaan pengelolaan mangrove, dengan tetap mempertimbangkan spesies lain serta keterbatasan cakupan pengamatan. Penilaian fungsi perlindungan pantai, penyediaan habitat, dan kondisi ekologis secara menyeluruh memerlukan indikator tambahan di luar kerapatan, diameter, dan biomassa.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Tabel 2. Kerapatan dan Biomassa Tegakan Mangrove di Kecamatan Maginti

Spesies	Kerapatan (pohon ha^{-1})	Diameter (cm; rerata ± SD)	Biomassa atas permukaan (AGB; Mg ha^{-1})	Biomassa bawah permukaan (BGB; Mg ha^{-1})
Bruguiera cylindrica	157	16,10 ± 3,13	22,35	9,56
Bruguiera gymnorrhiza	103	17,20 ± 4,66	19,10	7,96
Ceriops tagal	13	5,70 ± 2,82	0,20	0,10
Rhizophora apiculata	197	17,09 ± 3,74	38,92	16,12
Rhizophora mucronata	157	14,56 ± 4,83	21,21	9,11
Rhizophora stylosa	233	18,62 ± 6,16	67,68	26,98
Sonneratia alba	283	21,27 ± 8,21	107,25	41,67
Total	**1.143**	**–**	**276,71**	**111,50**

Sumber: analisis data primer, 2026

Stok Karbon dan CO_2-e

Stok karbon vegetasi dihitung dari estimasi biomassa atas dan bawah permukaan menggunakan fraksi karbon sebesar 0,47. Berdasarkan total biomassa pada **Tabel 2**, karbon atas permukaan (AGC) mencapai 130,05 Mg C ha^{-1} dan karbon bawah permukaan (BGC) mencapai 52,41 Mg C ha^{-1}. Dengan demikian, total stok karbon vegetasi mencapai 182,46 Mg C ha^{-1}. Nilai tersebut mencakup kontribusi seluruh tujuh spesies mangrove yang ditemukan pada plot pengamatan.

Dengan memasukkan estimasi karbon organik sedimen (SOC) sebesar 317,13 Mg C ha^{-1} hingga kedalaman 100 cm, total stok karbon yang tercakup dalam penelitian mencapai 499,59 Mg C ha^{-1}, setara dengan 1.831,83 Mg CO_2e ha^{-1} (Tabel 3). SOC memberikan kontribusi terbesar, yaitu 63,48%, diikuti AGC sebesar 26,03% dan BGC sebesar 10,49%. Total tersebut mencakup tiga kompartemen yang diestimasi; karbon kayu mati dan serasah tidak termasuk dalam perhitungan.

Tabel 3. Estimasi stok karbon dan CO_2-ekuivalen berdasarkan kompartemen mangrove

Kompartemen	Stok karbon (Mg C ha^{-1})	CO_2-ekuivalen (Mg CO_2e ha^{-1})	Kontribusi (%)
Karbon atas permukaan (AGC)	130,05	476,86	26,03
Karbon bawah permukaan (BGC)	52,41	192,15	10,49
Karbon organik sedimen (SOC)	317,13	1.162,81	63,48
Total	**499,59**	**1.831,83**	**100,00**

Sumber: analisis data primer, 2026

Besarnya kontribusi sedimen menunjukkan pentingnya memasukkan kompartemen tersebut dalam inventarisasi karbon mangrove. Temuan ini konsisten secara konseptual dengan penelitian Donato *et al*. (2011) dan Murdiyarso *et al*. (2015), yang menekankan pentingnya karbon tanah dalam simpanan karbon mangrove. Namun, perbandingan besaran stok antarpenelitian memerlukan kesamaan kedalaman pengukuran, cakupan kompartemen, dan metode analisis. Oleh karena itu, nilai pada lokasi penelitian tidak diklasifikasikan sebagai "sangat tinggi" tanpa dasar pembanding yang sebanding.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Konversi menjadi CO_2-ekuivalen menyatakan ekuivalensi massa karbon yang tersimpan. Besaran tersebut tidak menunjukkan jumlah CO_2 yang diserap setiap tahun atau pengurangan emisi yang telah diverifikasi. Demikian pula, dominasi SOC dalam inventarisasi ini tidak membuktikan umur atau stabilitas karbon sedimen, karena penelitian tidak melakukan penanggalan sedimen, pengukuran dekomposisi, maupun analisis fraksi karbon.

Kontribusi stok karbon vegetasi berbeda antarspesies (**Tabel 4**). *Sonneratia alba* memberikan kontribusi terbesar, yaitu 69,99 Mg C ha^{-1}, diikuti *Rhizophora stylosa* sebesar 44,49 Mg C ha^{-1}. Kedua spesies tersebut juga merupakan kontributor biomassa terbesar pada **Tabel 2**. Urutan kontribusi karbon vegetasi mengikuti estimasi biomassa karena fraksi karbon yang sama diterapkan pada seluruh spesies.

Tabel 4. Kontribusi Stok Karbon dan CO_2-e Berdasarkan Spesies Mangrove

Spesies	Stok Karbon (Mg C ha^{-1})	CO_2-e (Mg ha^{-1})
Bruguiera cylindrica	15.00	55.00
Bruguiera gymnorrhiza	12.72	46.63
Ceriops tagal	0.14	0.52
Rhizophora apiculata	25.87	94.85
Rhizophora mucronata	14.25	52.25
Rhizophora stylosa	44.49	163.13
Sonneratia alba	69.99	256.63
	182,46	**669,02**

Sumber: analisis data primer, 2026

R. apiculata menyumbang 25,87 Mg C ha^{-1}, sedangkan *Bruguiera cylindrica*, *R. mucronata*, dan *B. gymnorrhiza* masing-masing menyumbang 15,00; 14,25; dan 12,72 Mg C ha^{-1}. Kontribusi terkecil berasal dari *Ceriops tagal*, yaitu 0,14 Mg C ha^{-1}. Perbedaan tersebut menggambarkan distribusi karbon vegetasi pada plot pengamatan, bukan perbedaan intrinsik kemampuan sekuestrasi atau laju pertumbuhan antarspesies.

Distribusi karbon vegetasi memberikan dasar untuk memahami kontribusi komposisi tegakan terhadap inventarisasi karbon pada lokasi penelitian. Meskipun *S. alba* dan *R. stylosa* memberikan kontribusi terbesar, hasil tersebut tidak menjadi dasar untuk membatasi konservasi pada kedua spesies. Pengelolaan perlu mempertimbangkan keseluruhan komunitas mangrove dan kompartemen sedimen yang juga tercakup dalam inventarisasi.

Distribusi Karbon Organik Sedimen

Estimasi stok karbon sedimen hingga kedalaman 100 cm menunjukkan variasi antarstasiun (Tabel 5). Stasiun II, dengan substrat lumpur dan vegetasi dominan *R. apiculata* serta *R. mucronata*, memiliki nilai yang dilaporkan sebesar 396,59 Mg C ha^{-1}. Stasiun III, dengan substrat lumpur berpasir dan vegetasi dominan *B. gymnorrhiza* serta *R. mucronata*, memiliki nilai 310,50 Mg C ha^{-1}. Nilai terendah dilaporkan pada Stasiun I, dengan substrat pasir berlumpur dan vegetasi dominan *R. stylosa* serta *S. alba*, yaitu 244,31 Mg C ha^{-1}.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Perbedaan tersebut merupakan pola deskriptif pada stasiun pengamatan. Karakteristik substrat dan vegetasi memberikan konteks lingkungan, tetapi belum membuktikan bahwa salah satu faktor tersebut menyebabkan perbedaan stok karbon. Penentuan pengaruhnya memerlukan data dan analisis yang secara khusus menguji faktor lingkungan terkait.

Interval 50–100 cm memiliki stok karbon terbesar pada ketiga stasiun. Namun, interval tersebut mencakup ketebalan 50 cm, sedangkan interval lainnya hanya mencakup 15 atau 20 cm. Karena stok karbon lapisan merupakan hasil perkalian densitas karbon dengan ketebalan lapisan, kontribusi terbesar interval terdalam tidak secara langsung menunjukkan konsentrasi karbon tertinggi.

Sebagai ilustrasi, pada Stasiun II, stok karbon interval 50–100 cm sebesar 179,27 Mg C ha^{-1} setara dengan sekitar 3,59 Mg C ha^{-1} per sentimeter ketebalan. Sebaliknya, interval 15–30 cm dengan stok 73,71 Mg C ha^{-1} setara dengan sekitar 4,91 Mg C ha^{-1} per sentimeter. Perbandingan setelah memperhitungkan ketebalan ini menunjukkan bahwa urutan stok karbon lapisan dapat berbeda dari urutan densitas karbonnya.

Tabel 5. Distribusi Karbon Sedimen (SOC) Berdasarkan Kedalaman dan Karakteristik Lingkungan

Stasiun	**Karakteristik Lingkungan**	**Kedalaman (cm)**	**C (Mg C ha^{-1})**
St. I	Substrat pasir berlumpur; dominan *Rhizophora stylosa* dan *Sonneratia alba*	0–15	35.65
		15–30	43.24
		30–50	40.80
		50–100	124.63
		Total	**244.31**
St. II	Substrat lumpur; dominan *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata*	0–15	68.13
		15–30	73.71
		30–50	75.48
		50–100	179.27
		Total	**396.59**
St. III	Substrat lumpur berpasir; dominan *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Rhizophora mucronata*	0–15	31.72
		15–30	53.35
		30–50	70.58
		50–100	154.85
		Total	**310.50**

Sumber: analisis data primer, 2026

Pola vertikal tersebut belum memberikan informasi mengenai umur karbon, laju akumulasi, atau stabilitasnya. Penelitian ini juga tidak mengukur laju dekomposisi maupun emisi dari setiap lapisan, sehingga perbedaan stok tidak dikaitkan secara langsung dengan aktivitas dekomposisi atau kondisi anaerob tertentu.

Estimasi SOC menggunakan konversi kandungan bahan organik hasil LOI menjadi karbon organik dengan faktor 0,58. Breithaupt *et al*. (2023) menunjukkan bahwa hubungan LOI–karbon dapat berbeda menurut karakteristik sedimen dan lingkungan pengendapan. Oleh karena itu, faktor konversi tersebut dan asumsi bahwa subsampel 5 cm mewakili setiap interval merupakan sumber ketidakpastian dalam estimasi SOC.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Hasil inventarisasi menempatkan sedimen sebagai kompartemen utama dalam stok karbon yang diestimasi. Implikasi pengelolaannya adalah perlunya mempertimbangkan perlindungan vegetasi bersama substrat mangrove. Literatur menunjukkan relevansi kehilangan karbon mangrove akibat perubahan penggunaan lahan (Murdiyarso *et al*., 2015), tetapi penelitian ini tidak mengukur besarnya emisi yang akan terjadi apabila sedimen lokasi penelitian terganggu.

Nilai Ekonomi Karbon

Dengan total stok karbon sebesar 499,59 Mg C ha^{-1} atau setara dengan 1.831,83 Mg CO_2e ha^{-1}, nilai ekonomi indikatif mencapai Rp155,71–311,41 juta ha^{-1} (Tabel 6). Nilai tersebut dihitung menggunakan skenario harga USD 5–10 per ton CO_2e dan asumsi kurs tetap Rp17.000 per USD. Dengan stok karbon dan kurs yang sama, perbedaan nilai minimum dan maksimum semata-mata mencerminkan perbedaan skenario harga, bukan perubahan kondisi ekologis. Ekstrapolasi terhadap luas mangrove yang dilaporkan sebesar 953,16 ha menghasilkan nilai kawasan Rp148,41–296,82 miliar. Estimasi ini mengasumsikan bahwa rerata stok karbon pada lokasi sampel mewakili seluruh kawasan. Dengan demikian, hasil kawasan merupakan ekstrapolasi berbasis asumsi keterwakilan, bukan hasil pengukuran stok karbon pada setiap hektare.

Tabel 6. Estimasi Nilai Ekonomi Karbon Ekosistem Mangrove Skala Kawasan (Luas 953,16 ha)

Kompartemen	Nilai minimum (juta Rp ha^{-1})	Nilai maksimum (juta Rp ha^{-1})	Nilai kawasan minimum (miliar Rp)	Nilai kawasan maksimum (miliar Rp)	Kontribusi (%)
Karbon atas permukaan (AGC)	40,53	81,07	38,63	77,27	26,03
Karbon bawah permukaan (BGC)	16,33	32,67	15,57	31,14	10,49
Karbon organik sedimen (SOC)	98,84	197,68	94,21	188,42	63,48
Total	155,71	311,41	148,41	296,82	100,00

Keterangan: estimasi nilai ekonomi karbon dihitung berdasarkan harga karbon global sebesar 5–10 USD per ton CO_2 dengan asumsi nilai tukar Rp17.000 per USD.
Sumber: analisis data primer, 2026

SOC memberikan kontribusi 63,48% terhadap nilai moneter, sedangkan karbon vegetasi menyumbang 36,52%. Kesamaan proporsi antara stok karbon dan nilai ekonomi merupakan konsekuensi penggunaan faktor konversi, harga, serta kurs yang sama pada seluruh kompartemen. Proporsi tersebut tidak menunjukkan bahwa karbon sedimen memiliki harga jual atau kelayakan penerbitan kredit yang berbeda dari karbon vegetasi. Nilai moneter yang diperoleh merepresentasikan valuasi indikatif stok karbon eksisting. Nilai tersebut tidak sama dengan pendapatan perdagangan karbon, karena jumlah kredit yang dapat diterbitkan bergantung pada pengurangan emisi atau peningkatan serapan yang memenuhi ketentuan proyek dan standar terkait. Penilaian lebih lanjut memerlukan baseline, additionality, kebocoran emisi, risiko ketidakpermanenan, serta sistem pengukuran, pelaporan, dan verifikasi. Aspek tenurial, biaya proyek, dan mekanisme pembagian manfaat juga diperlukan untuk menilai kelayakan finansial dan manfaat bagi masyarakat.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Informasi valuasi dapat digunakan sebagai salah satu masukan dalam perencanaan konservasi mangrove di Kecamatan Maginti. Namun, prioritas pengelolaan tidak ditentukan oleh nilai karbon saja, melainkan juga kondisi habitat, ancaman, keanekaragaman hayati, serta kebutuhan masyarakat. Penelitian ini belum menilai pendapatan rumah tangga, keuntungan proyek karbon, maupun dampak ekonomi konservasi terhadap masyarakat. Ketidakpastian estimasi berasal dari perhitungan biomassa, faktor konversi karbon, analisis sedimen, dan ekstrapolasi luas. Rentang harga USD 5–10 hanya menggambarkan dua skenario valuasi dan bukan interval kepercayaan statistik. Oleh karena itu, hasilnya digunakan sebagai informasi awal mengenai nilai stok karbon yang diestimasi, dengan kebutuhan verifikasi data sebelum dipakai dalam kajian kelayakan pembiayaan karbon.

KESIMPULAN

Ekosistem mangrove di Kecamatan Maginti menyimpan karbon pada kompartemen vegetasi dan sedimen, dengan karbon organik sedimen memberikan kontribusi terbesar terhadap total stok karbon yang diestimasi. Pada kompartemen vegetasi, *Sonneratia alba* dan *Rhizophora stylosa* merupakan kontributor biomassa terbesar. Temuan ini menunjukkan pentingnya mempertahankan tegakan mangrove sekaligus melindungi sedimen sebagai bagian dari pengelolaan karbon biru. Valuasi berdasarkan skenario harga karbon menunjukkan nilai ekonomi potensial dari stok karbon yang tersimpan. Nilai tersebut bergantung pada asumsi harga karbon, kurs, dan luas mangrove yang digunakan dalam perhitungan, sehingga tidak dapat langsung ditafsirkan sebagai pendapatan dari penjualan kredit karbon. Demikian pula, estimasi stok karbon menggambarkan simpanan pada saat pengamatan dan tidak menunjukkan laju penyerapan karbon tahunan. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar awal untuk memasukkan perlindungan simpanan karbon dalam pengelolaan mangrove di Kecamatan Maginti. Pengembangan pemanfaatan ekonomi karbon selanjutnya memerlukan penilaian ketidakpastian estimasi serta kelayakan proyek, termasuk penetapan kondisi dasar, tambahan manfaat mitigasi, dan keberlanjutan perlindungan karbon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Hidayah, Zaitun Al Fikri, Asmawati, Samarudin, Ahmad, Satrio, dan Wahyuni yang telah membantu proses pengambilan data selama melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science, 6*, 195-219.

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., *et al*. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193.

Bengen., Yonvitner., & Rahman. (2022). *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Bogor: IPB Press. 76p

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Breithaupt, J. L., Steinmuller, H. E., Rovai, A. S., Engelbert, K. M., Smoak, J. M., Chambers, L. G., Radabaugh, K. R., Moyer, R. P., Chappel, A., Vaughn, D. R., Bianchi, T. S., Twilley, R. R., Pagliosa, P., Cifuentes-Jara, M., & Torres, D. (2023). An improved framework for estimating organic carbon content of mangrove soils using loss-on-ignition and coastal environmental setting. *Wetlands, 43*, Article 57. https://doi.org/10.1007/s13157-023-01698-z

Clough, B. F., & Scott, K. (1989). Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *Forest Ecology and Management*, 27, 117−127.

Comley, B. W. T., & McGuinness, K. A. (2005). Above- and below-ground biomass, and allometry of four common northern Australian mangroves. Australia *Journal Botany*, 53, 431 – 436.

Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience, 4*(5), 293-297.

Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Betoulle, J. L., & Cadamuro, L. (1998). Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. Oecologia. 39-53. https://doi.org/10.1007/s004420050489

Gevana, D. T., & IM, S. (2016). Allometric models for *Rhizophora stylosa* Griff. In dense monoculture plantation in the Philippines. *The Malaysian Forester*, 79(1 & 2), 39 – 53.

Handayani S, Bengen DG, Nurjaya IW, Adrianto L dan Wardiatno Y. 2020. Pemetaan jasa ekosistem mangrove pada wilayah rehabilitasi di Pesisir Sayung, Kabupaten Demak. JIPI 25(4): 574 – 583.

Ie, S., Retraubun, A. S.W., Tetelepta, J. M. S., Tupan, C. I., & Rahman. (2026). An adaptive mangrove governance model integrating *Sasi*, carbon economic valuation, and ecological fiscal transfer for mangrove management in Maluku, Indonesia: Evidence from East Seram Regency. *Environmental Management*, 76, 327. https://doi.org/10.1007/s00267-026-02630-x

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4. Agriculture, forestry and other land use*. Institute for Global Environmental Strategies. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html

Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. CIFOR.

Komiyama, A., Poungparn, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equation for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21, 471 – 477.

Kusmana, C., Hidayat, T., Tiryana, T., Rusdiana, O., & Istomo. (2018). Allometric models for above – and bellow – ground biomass of *Sonneratia* spp. *Global Ecololy and Conservation*, 15, 1 – 13.

Murdiyarso D, Purbopuspito J and Kauffman J. *et al*. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. Nature Climate Change 5, 1089–1092.

Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Bogor (ID): PHKA/WI – PI.

Ong, J. E., Gong, W. K., & Wong, C. H. (2004). Allometry and partitioning of the mangrove *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management*, 188, 395 – 408. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.08.002

Poungparn, S., Komiyama, A., Jintana, V., Piriyayaota, S., Sangtiean, T., Tanapermpool, P., Patanaponpaiboon, P., & Kato, S. (2002). A quantitative analysis on the root system of a mangrove, *Xylocarpus granatum* Koenig.*Tropics*, 12, 35–42.

Rahman., Yanuarita, D., & Nurdin, N. (2014). Struktur komunitas mangrove di Kabupaten Muna. *Torani,* 24(2), 29 – 36.

Rahman., Wardiatno, Y., Yulianda, F., & Rusmana, I. (2020). Socio-ecological system of carbon-based mangrove ecosystem on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi-Indonesia. *AACL Bioflux,* 13(2), 518 – 528.

Rahman., Ceantury, A., Tuahatu, J. W., Lokollo, F. F., Supusepa, J., Hulopi, M., Permatahati, Y. I., Lewerissa, Y. A., & Wardiatno, Y. (2024a). Mangrove ecosystems in Southeast Asia region: Mangrove extent, blue carbon potential and CO_2 emissions in 1996–2020. *Science of the Total Environment,* 915, 170051

Rahman., Lokollo, F. F., Manuputty, G D., Hukubun, R. D., Krisye., Wawo, M., & Wardiatno Y. (2024b). A review on the biodiversity and conservation of mangrove ecosystems in Indonesia. *Biodiversity and Conservation,* 33, 875-903. https://doi.org/10.1007/s10531-023-02767-9

Rahman., Lokollo, F. F., Supusepa, J., Natan, J., Mamesah, J. A. B., Wawo, M., Latumahina, F. (2024c). Recruitment index as a novel approach to assessing the resilience of natural mangrove

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

ecosystems: A case study on the coast of West Muna Regency. *Asian Journal of Aquatic Research,* 26(10), 12 – 23.

Sasmito, S. D., Murdiyarso, D., Friess, D. A., & Kauffman, J. B. (2020). Mangroves as a solution to the climate crisis. *Nature Climate Change, 10*(7), 558-560.

Sunkur R, Kantamaneni M, Bokhoree C, and Ravan S. 2023. Mangroves' role in supporting ecosystem-based techniques to reduce disaster and adapt to climate change: A review. Journal of Sea Research. 196: 1-14.

Tamai, S., Nakasuga, T., Tabuchi, R., & Ogino, K. (1986). Standing biomass of mangrove forests in Southern Thailand. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 68(9), 384 – 388.

Verra. (2023). *VM0033 methodology for tidal wetland and seagrass restoration* (Version 2.1). https://verra.org/methodologies/vm0033-methodology-for-tidal-wetland-and-seagrass-restoration-v2-1/

World Bank. (2024). *State and Trends of Carbon Pricing 2024*. Washington, DC: World Bank.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura