

Stok Karbon Organik Sedimen di Kawasan Ekosistem Mangrove Pesisir Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara

Organic Carbon Stock in the Mangrove Ecosystem Area of Kolaka Coastal Line Southeast Sulawesi

LA ODE ABDUL FAJAR HASIDU^{1*}, MAHARANI¹, GABY NANDA KHARISMA², RAMLAH SALEH³, PUTRI GRACE SIMAMORA¹, SRI REZEKI¹, ARIF PRASETYA³, LA ODE MUHAMAD HAZAIRIN NADIA⁴, ZULFATHRI RANDHI⁵, HASAN ELDIN ADIMU¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Jl. Pemuda, Kolaka 93561

²Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Jl. Pemuda, Kolaka 93561

³Program Studi Ilmu Perikanan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Jl. Pemuda, Kolaka 93561

⁴Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Universitas Halu Oleo. Jl. H.E.A. Mokodompit Kampus Baru Anduonohu, Kendari 93232

⁵Program Studi Perikanan Tangkap, Universitas Sulawesi Barat, Jl. Prof. Dr. Baharuddin Loa, S.H, Talumung, Majene, Sulawesi Barat 91412

Diterima 12 Juni 2023/Diterima dalam Bentuk Revisi 3 Juli 2023/Disetujui 14 Juli 2023

Mangrove ecosystem can absorb and store carbon stock in their biomass and sediment. This ecosystem plays an important role in the carbon cycle. This study aimed to analyze the C-organic content and organic carbon stock of sediment, also CO₂ absorption. The sediment sampling was conducted in the Kolaka Coastal line mangroves using a Peat Auger for 1 m of sediment depth. Then the sediment was separated into four layers. Then the sediment samples were oven dried at 50°C for 1 week for sediment bulk density analysis (SBD). The analysis of the C-organic content of sediment was done by the LOI method. The estimation of sediment carbon stock using sediment C-organic data and SBD data. The results showed that the highest average of C-organic content was in station 3 (4.12±0.15%). In the other hand, the highest average of SBD was in station 1 (0.67±0.02 g cm⁻³). Overall, the total of sediment C-organic stock in station 1 was higher than other station (233.67±11.90 Mg C ha⁻¹). The total capacity of CO₂ absorption by sediment in the station 1 was also higher than other station (856.77±37.66 Mg CO₂ ha⁻¹). The sediment C-organic stock was influenced by C-organic content and SBD value.

Key words: carbon stock, sediment, mangrove, carbon absorption

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove yang ada di pesisir Kabupaten Kolaka saat ini merupakan ekosistem mangrove tepian dengan ketebalan kurang dari 100 meter (Hasidu *et al.* 2022). Data profil Kawasan Konservasi Sulawesi Tenggara tahun 2015 (EKP3K 2015), terdapat dua jenis mangrove penyusun komunitas mangrove di pesisir Kabupaten Kolaka. Sementara itu, Hasidu *et al.* (2022) menemukan delapan spesies penyusun komunitas mangrove pesisir Kabupaten Kolaka. Saat ini, ekosistem mangrove yang ada di pesisir Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan salah satu ekosistem mangrove yang mengalami ancaman akibat adanya alih fungsi ekosistem tersebut menjadi

berbagai keperluan (Hasidu *et al.* 2021a, 2022). Jika kondisi tersebut terus terjadi dalam jangka panjang tanpa adanya upaya rehabilitasi dan perlindungan kawasan mangrove, maka dikhawatirkan akan mengurangi jasa ekosistem mangrove tersebut.

Beberapa jasa ekosistem mangrove yaitu sebagai habitat berbagai spesies asosiasi (Rudia *et al.* 2019; Hasidu *et al.* 2020), menyerap pencemaran logam berat (Analuddin *et al.* 2017), dan berperan dalam memitigasi dampak perubahan iklim global (Phan *et al.* 2019; Indrayani *et al.* 2021). Mitigasi dampak dari perubahan iklim oleh ekosistem mangrove melalui peranannya dalam menyerap emisi karbon dari atmosfer, dan menyimpan karbon tersebut ke dalam biomassa dan sedimennya (Mahasani *et al.* 2015; Verisandria *et al.* 2018; Hasidu *et al.* 2021b).

Sedimen ekosistem mangrove berperan sebagai tempat penimbunan dan penyimpanan karbon hasil

*Penulis korespondensi:

E-mail: fajarhasidu90@gmail.com

dekomposisi serasah dan organ pohon yang jatuh diatas permukaan sedimen (Hasidu *et al.* 2021b). Hasil studi yang dilakukan oleh Hasidu & Prasetya (2022) menemukan bahwa sedimen mangrove tegakan murni spesies *Sonneratia alba* di kawasan pesisir Kabupaten Kolaka mampu menyimpan stok karbon di sedimen hingga tujuh kali lebih besar dari stok karbon vegetasi mangrovenya. Hal ini didukung oleh Analuddin *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa ekosistem pesisir seperti ekosistem mangrove dan padang lamun mampu menyimpan 80% karbon di sedimennya. Oleh karena tingginya kemampuan sedimen ekosistem mangrove dalam menyimpan stok karbon, untuk itu riset mengenai stok karbon sedimen mangrove di pesisir Kabupaten Kolaka sangat menarik untuk dikaji. Saat ini, data stok karbon sedimen ekosistem mangrove di Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara sangat kurang. Data simpanan karbon ini sangat penting bagi stakeholder dalam membuat kebijakan dalam pengelolaan mangrove berkelanjutan di Kabupaten Kolaka.

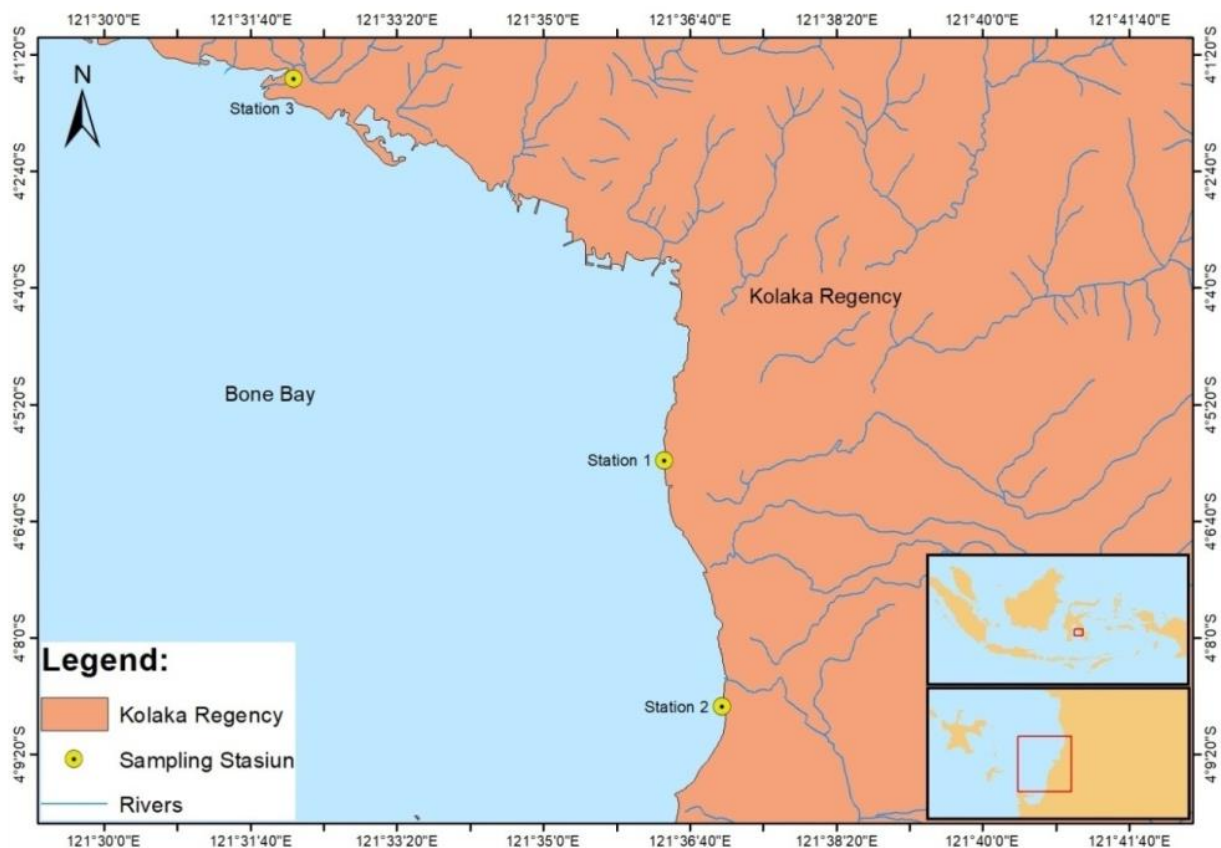
BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat. Penelitian ini dilakukan di kawasan ekosistem mangrove pesisir Kabupaten Kolaka, pada bulan Agustus sampai September

2022. Ekosistem mangrove ini merupakan ekosistem mangrove tepian, dengan ketebalan kurang dari 100 meter. Penentuan titik pengambilan sampel berdasarkan karakteristik dan komposisi vegetasi mangrove. Stasiun 1 memiliki karakteristik vegetasi murni dari spesies *R. apiculata*. Stasiun 2 memiliki karakteristik vegetasi campuran, dan didominasi oleh spesies *S. alba*. Sementara itu, Stasiun 3 memiliki karakteristik vegetasi campuran, namun didominasi oleh spesies *R. apiculata*. Berikut merupakan peta lokasi penelitian di kawasan mangrove pesisir Kabupaten Kolaka (Gambar 1).

Prosedur Penelitian.

Sampling Sedimen. Sampling sedimen menggunakan *Peat Auger* dengan diameter 6 cm dan panjang 100 cm. Penentuan titik sampling sedimen secara purposive untuk menghindari adanya akar, batang yang telah tumbang, maupun sampah di permukaan sedimen. Sampling sedimen dilakukan sebanyak 3 kali pengeboran di setiap lokasi. Sampel sedimen kemudian dipisahkan berdasarkan interval lapisan kedalaman (0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, dan 50-100 cm). Sampel dikoleksi setebal 5 cm di setiap interval lapisan kedalaman, kemudian dimasukkan kedalam plastic *ziplock* dan box sampel, dan dikirim ke laboratorium.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di kawasan mangrove pesisir Kabupaten Kolaka

Analisis C-organik Sedimen. Analisis C-organik sedimen menggunakan metode LOI (*Lost of Ignition*). Sampel sedimen dikeringkan dengan oven bersuhu 50°C selama 1 minggu. Sampel kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik untuk memperoleh berat kering sedimen. Kemudian, 5 gram sampel dimasukkan di dalam cawan kursibel, dan ditimbang untuk memperoleh berat awal sampel. Selanjutnya, sampel kemudian diabukan menggunakan furnace bersuhu 700°C selama 6 jam. Setelah pengabuan, sampel kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh berat akhir.

Analisis Data. Analisis kepadatan sedimen (SBD) menggunakan rumus yang mengacu kepada Kauffman & Donato (2012) berikut:

$$\text{SBD (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Berat kering sampel}}{\text{Volume sampel}}$$

Volume sampel diperoleh menggunakan rumus volume auger yang sama dengan volume tabung berikut:

$$V = \pi r^2 t$$

Dimana. V: volume (g cm³), π (3,14), r: jari-jari auger (3 cm), t: tinggi atau ketebalan sampel (5 cm). Oleh karena Auger yang digunakan merupakan setengah dari tabung, maka volume tabung yang diperoleh dikali 0,5 untuk memperoleh volume sampel sedimen.

Analisis kadar C-organik menggunakan metode LOI, dengan rumus berikut:

$$\text{LOI (\%)} = \frac{\text{berat kering sebelum pengabuan} - \text{berat setelah pengabuan}}{\text{berat kering sebelum pengabuan}} \times 100\%$$

Analisis stok C-organik sedimen mengacu kepada Kauffman dan Donato *et al.* (2012) berikut:

$$\text{C stok sedimen (Mg ha)} = \text{SBD} \times \text{interval kedalaman sedimen} \times \% \text{ C organik dari LOI}$$

Sementara itu, konversi stok karbon ke penyimpanan CO₂ oleh sedimen mangrove dikalkulasi dengan mengacu kepada Zulhalifah *et al.* (2021) dengan rumus berikut:

$$\text{Penyerapan CO}_2 = \text{Mr. CO}_2 / \text{Ar. C} \times \text{Stok karbon}$$

HASIL

Kepadatan Sedimen (SBD) dan Kandungan C-organik Sedimen. Hasil analisis SBD, dan kandungan C-organik sedimen yang ditemukan di kawasan mangrove pesisir Kabupaten Kolaka ditunjukkan pada tabel berikut (Tabel 1).

SBD menunjukkan hasil yang bervariasi di antara stasiun penelitian. Rata-rata SBD tertinggi terdapat pada stasiun 1 (0,67±0,02 g cm⁻³), stasiun 2 (0,49±0,04 g cm⁻³), dan stasiun 3 (0,41±0,03 g cm⁻³) secara berturut-turut. Sementara itu, hasil analisis kadar C-organik sedimen menunjukkan trend yang dinamis pada setiap lapisan kedalaman sedimen di setiap stasiun. Secara umum, rata-rata kadar C-organik sedimen berbanding terbalik dengan SBD. Rata-rata kadar C-organik sedimen tertinggi terdapat pada stasiun 3 (4,12±0,15%), stasiun 2 (3,62±0,11%), dan stasiun 1 (3,38±0,06%) secara berturut-turut.

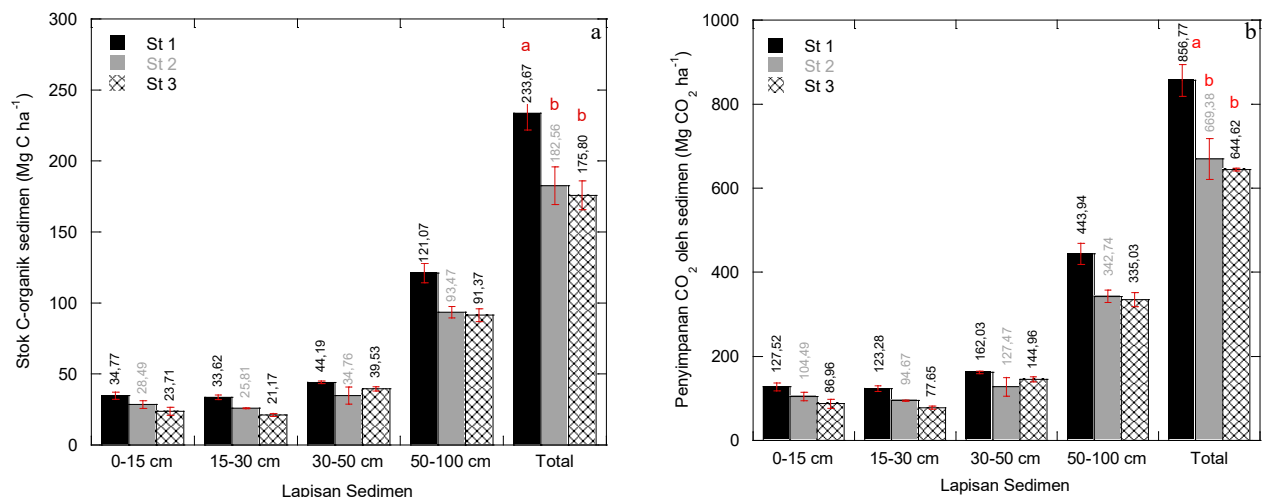
Stok C-Organik Sedimen dan Kapasitas Penyimpanan CO₂ oleh Sedimen. Hasil analisis stok C-organik sedimen serta kapasitas penyimpanan CO₂ oleh sedimen mangrove di setiap lokasi penelitian ditunjukkan oleh grafik berikut (Gambar 2).

Nilai stok C-organik sedimen menunjukkan trend yang semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman sedimen di setiap stasiun (Gambar 2a). Secara keseluruhan, total stok C-organik sedimen di stasiun 1 lebih tinggi (233,67±11,90 Mg C ha⁻¹) dibandingkan stasiun 2 (182,56±13,23 Mg C ha⁻¹) dan stasiun 3 (175,80±10,13 Mg C ha⁻¹). Selain itu, nilai penyimpanan CO₂ sedimen berbanding lurus dengan nilai stok C-organiknya. Total kemampuan penyimpanan CO₂ oleh sedimen di stasiun 1 lebih

Tabel 1. SBD dan kadar C-organik sedimen mangrove tiap lokasi

Karakteristik vegetasi	Lapisan sedimen (cm)	SBD±stdev (g cm ⁻³)	C-organik ±stdev (%)
Monospesifik <i>R. apiculata</i>	0-15	0,69±0,04	3,35±0,02
	15-30	0,65±0,01	3,44±0,08
	30-50	0,64±0,02	3,41±0,06
	50-100	0,73±0,02	3,31±0,07
Rata-rata		0,67±0,02	3,38±0,06
Spesies campuran: <i>R. apiculata</i> , <i>R. mucronata</i> , <i>R. stylosa</i> , <i>A. lanata</i> , <i>S. alba</i> (Didominasi oleh tegakan <i>S. alba</i>)	0-15	0,54±0,06	3,47±0,10
	15-30	0,48±0,00	3,52±0,02
	30-50	0,46±0,11	3,79±0,25
	50-100	0,50±0,01	3,72±0,06
Rata-rata		0,49±0,04	3,62±0,11
Spesies campuran: <i>R. apiculata</i> , <i>R. mucronata</i> , <i>C. tagal</i> , <i>B. gymnorrhiza</i> , <i>X. granatum</i> (Didominasi oleh tegakan <i>R. apiculata</i>)	0-15	0,40±0,04	3,93±0,01
	15-30	0,33±0,02	4,22±0,15
	30-50	0,49±0,02	3,98±0,01
	50-100	0,42±0,06	4,36±0,41
Rata-rata		0,41±0,03	4,12±0,15

C (karbon), SBD (Soil Bulk Density), St. (Stasiun), stdev (standard deviasi)



Gambar 2. (a) Stok C organik sedimen, dan (b) penyimpanan CO₂ oleh sedimen

tinggi ($856,77 \pm 37,66$ Mg CO₂ ha⁻¹), dibandingkan stasiun 2 ($669,38 \pm 48,52$ Mg CO₂ ha⁻¹), maupun stasiun 3 ($644,62 \pm 3,36$ Mg CO₂ ha⁻¹).

PEMBAHASAN

SBD menunjukkan hasil yang bervariasi di antara stasiun penelitian (Tabel 1). Kisaran nilai SBD ini lebih rendah dibandingkan SBD yang diperoleh oleh beberapa penelitian lain. Bomer *et al.* (2020) memperoleh SBD berkisar antara 0,6 sampai dengan 1,0 g cm⁻³, Chen *et al.* (2020) memperoleh SBD berkisar antara 1,46-1,96 g cm⁻³ dengan kedalaman sedimen 50 cm. Selain itu, Hasidu *et al.* (2021b) memperoleh nilai SBD berkisar antara $1,2387 \pm 0,2469$ g cm⁻³ sampai $1,4919 \pm 0,2948$ g cm⁻³ di kawasan mangrove bekas lahan tambak (hasil suksesi mangrove secara alami). SBD menggambarkan massa sedimen dalam volume tertentu. Nilai SBD ini dapat mempengaruhi SOC yang ada di dalam suatu kawasan. Sementara itu, kadar C-organik yang diperoleh (Tabel 1) hampir sama dengan yang diperoleh oleh Rahman *et al.* (2021) yang memperoleh persentase kadar karbon sedimen berkisar antara 0,3 sampai dengan 4,4%, namun cenderung lebih kecil dari yang diperoleh oleh Bomer *et al.* (2020) yang berkisar antara 3,7% sampai dengan 6,5%.

Nilai stok C-organik sedimen menunjukkan trend yang semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman sedimen di setiap stasiun (Gambar 2a). Hasil yang diperoleh ini cenderung sama dengan kisaran stok karbon organik sedimen yang ditemukan oleh Atwood *et al.* (2017) untuk beberapa spesies, namun lebih rendah dari spesies *Laguncularia* (424 ± 262 Mg C ha⁻¹) dan *Rhizophora* (388 ± 227 Mg C ha⁻¹). Sementara itu, Hasidu & Prasetya (2022) menemukan bahwa stok karbon di sedimen kawasan mangrove monospesifik *Sonneratia alba* di pesisir kabupaten Kolaka dengan kisaran $28,41 \pm 1,50$ Mg C ha⁻¹ sampai dengan $103,12 \pm 12,20$ Mg C ha⁻¹ dengan kriteria lapisan kedalaman yang sama dengan penelitian

ini. Lebih lanjut, total penyimpanan karbon sedimen untuk semua lapisan sebesar $209,60 \pm 15,78$ Mg C ha⁻¹, yang mana hasil tersebut tujuh kali lebih besar dari penyimpanan karbon yang ada di vegetasinya, yaitu sebesar 33,12 Mg C ha⁻¹. Menurut Analuddin *et al.* (2022), ekosistem pesisir seperti ekosistem mangrove dan lamun mampu menyimpan 80% stok karbonnya ke dalam sedimen. Hal ini disebabkan karena nekromassa mangrove yang tertimbun oleh sedimen, serta serasah yang terdekomposisi akan tersimpan dan terakumulasi di dalam sedimen bertahun-tahun, yang menjadi stok karbon sedimen mangrove.

Data penyimpanan CO₂ oleh sedimen berbanding lurus dengan data stok karbon sedimennya (Gambar 2b). Proses penyimpanan CO₂ oleh sedimen terjadi secara tidak langsung. CO₂ yang diserap oleh vegetasi akan tersimpan ke dalam bentuk biomassa, kemudian terdeposit ke dalam sedimen dan menjadi stok karbon yang tersimpan di dalam sedimen. Nilai penyimpanan CO₂ oleh sedimen mangrove ini merupakan hasil konversi nilai stok karbon sedimen ke dalam bentuk serapan CO₂. Oleh karena itu, nilai stok karbon sedimen dengan serapan CO₂ tersebut akan berbanding lurus.

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi stok karbon organik maupun penyimpanan CO₂ di dalam sedimen mangrove, seperti perbedaan struktur vegetasi, produktivitas serasah, aktivitas dekomposisi serasah dan perbedaan kondisi lingkungan (McLeod *et al.* 2011), tekstur sedimen dan spesies mangrove yang dominan (Gao *et al.* 2019), maupun faktor musim (Rozainah *et al.* (2018). Selain itu, sumber lain yang dapat menyumbang stok karbon sedimen mangrove yaitu organisme sedimen yang telah mati, maupun runoff yang mengandung karbon yang terdepositasi ke dalam sedimen mangrove.

Upaya perlindungan ekosistem mangrove yang masih tersisa, rehabilitasi ekosistem mangrove yang rusak, serta upaya perluasan kawasan mangrove di pesisir Kabupaten Kolaka sangat diperlukan untuk mendukung fungsinya dalam menyerap dan

menyimpan stok karbon serta memitigasi perubahan iklim. Kerusakan ekosistem ini akan berdampak terhadap pelepasan emisi karbon kembali ke atmosfer.

Kesimpulannya, berdasarkan hasil yang diperoleh, disimpulkan bahwa kadar C-organik sedimen menunjukkan trend yang dinamis pada setiap lapisan kedalaman sedimen di setiap stasiun. Nilai stok C-organik sedimen menunjukkan trend yang semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman sedimen di setiap stasiun. Secara keseluruhan, total stok C-organik sedimen di stasiun 1 lebih tinggi ($233,67 \pm 11,90 \text{ Mg C ha}^{-1}$) dibandingkan stasiun lainnya. Selain itu, nilai penyimpanan CO_2 sedimen berbanding lurus dengan nilai stok C-organiknya. Total kemampuan penyimpanan CO_2 oleh sedimen distasiun 1 lebih tinggi ($856,77 \pm 37,66 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$), dibandingkan stasiun lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Rektor Universitas Sembilanbelas November Kolaka dan Kepala LPPM-PMP. Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada *Wetland Ecosystems and Biodiversity Care* (WEBCare) yang telah membantu fasilitas di lapangan, serta Kepala Laboratorium Biologi, FMIPA UHO atas fasilitas laboratorium untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Analuddin K, Sharma S, Jamili, Septiana A, Sahidin I, Rianse U, and Nadaoka K. 2017. Heavy metal bioaccumulation in mangrove ecosystem at the coral triangle ecoregion, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin* 125:472-480. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.065>
- Analuddin K, Sharma S, Kadidae LO, Haya LOMY, Septiana A, Rahim S, Syahrir L, Aba L, Fajar, LOA, MacKenzie RA, and Nadaoka K. 2022. Blue carbon stock in sediments of mangroves and seagrass ecosystems at Southeast Sulawesi, Indonesia. *Ecological Research*. 1-13. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12374>
- Atwood TB, Connolly RM, Almahasheer H, Carnell PE, Duarte CM, Ewers Lewis CJ, Irigoien X, Kelleway JJ, Lavery PS, Macreadie PI, Serrano O, Sanders CJ, Santos I, Steven ADL, and Lovelock CE. 2017. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change* 7:523-528. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>
- Bomer EJ, Wilson CA, and Elsey T. 2020. Process controls of the live root zone and carbon sequestration capacity of the sundarbans mangrove forest. *Bangladesh Sci* 2, 54:1-20. <https://doi.org/10.3390/sci2030054>
- Chen J, Huang Y, Chen G, and Ye Y. 2020. Effect of simulated sea level rise on stocks and sources of soil organic carbon in *Kandelia obovata* mangrove forests. *Forest Ecology and Management* 460:117898. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117898>
- Gao Y, Zhou J, Wang L, Guo J, Feng J, Wu H, and Lin G. 2019. Distribution patterns and controlling factors for the soil organic carbon in four mangrove forests of China. *Global Ecology and Conservation* 17:e00575. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00575>
- Hasidu LOAF, Jamili, Kharisma, GN, Prasetya, A, Maharani, Riska, Rudia LOAF, Ibrahim AF, Mubarak AA, Muhsafaat LO, and Anzani L. 2020. Diversity of mollusks (bivalves and gastropods) in degraded mangrove ecosystems of Kolaka District, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas* 21:5884-5892. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211253>
- Hasidu LOAF, Prasetya A, Maharani, Asni, Agusriyadin, Mubarak AA, Ibrahim AF, Kamur S, dan Kharisma GN. 2021a. Analisis vegetasi estimasi biomassa dan stok karbon ekosistem mangrove Pesisir Kecamatan Latambaga, Kabupaten Kolaka. *Jurnal Sains dan Inovasi Perikanan* 5:60-71.
- Hasidu LOAF, Prasetya A, Ode ATL. 2021b. Karakteristik vegetasi dan simpanan karbon sedimen kawasan regenerasi mangrove *Avicennia lanata* (Ridley). di Pesisir Kabupaten Muna. *BioWallacea: Jurnal Penelitian Biologi (Journal of Biological Research* 8:134-143.
- Hasidu LOAF, Prasetya A, Maharani M, Anisa N, Utami RT, dan Nadia LMH. 2022a. Struktur komunitas, biomassa permukaan dan status simpanan karbon biru di Kawasan Mangrove Terdegradasi Kabupaten Kolaka. *Journal of Marine Research* 11:667-675. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i4.35058>
- Hasidu LOAF, Prasetya A, Maharani M, Anisa N, Utami RT, dan Nadia LMH. 2022. Struktur komunitas, biomassa permukaan dan status simpanan karbon biru di Kawasan Mangrove Terdegradasi Kabupaten Kolaka. *Journal of Marine Research* 11:667-675. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i4.35058>
- Hasidu LOAF, Prasetya A. 2022. Status Blue Carbon Stock di Kawasan Suksesi Ekosistem Mangrove Pesisir Kabupaten Muna dalam Upaya Mitigasi Perubahan Iklim Global [Laporan Penelitian]. Kolaka: Universitas Sembilanbelas November Kolaka.
- Indrayani E, Kalor JD, Warpur M, and Hamuna B. 2021. Using allometric equations to estimate mangrove biomass and carbon stock in Demta Bay, Papua Province, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering* 22:263-271. <https://doi.org/10.12911/22998993/135945>
- Kauffman JB, Donato DC. 2012 *Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests*. Bogor: CIFOR.
- Mahasani IGAI, Widagti N, dan Karang IWGA. 2015. Estimasi persentase karbon organik di hutan mangrove bekas tambak, Perancak, Jembrana, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences* 1:14-18. <https://doi.org/10.24843/jmas.2015.v1.i01.14-18>
- McLeod E, Chmura GL, Bouillon S, Salm R, Björk M, Duarte CM, Lovelock CE, Schlesinger, WH, and Silliman BR. 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2 . *Frontiers in Ecology and the Environment* 9:552-560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Phan SM, Nguyen HTT, Nguyen TK, and Lovelock C. 2019. Modelling above ground biomass accumulation of mangrove plantations in Vietnam. *Forest Ecology and Management* 432:376-386. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.028>
- Profil Kawasan Konservasi Provinsi Sulawesi Tenggara (EKP3K) Tahun 2015. Direktorat Konservasi Kawasan dan Jenis Ikan Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Rahman Md S, Donoghue DNM, and Bracken LJ. 2021. Is soil organic carbon underestimated in the largest mangrove forest ecosystems? Evidence from the Bangladesh Sundarbans. *CATENA* 200:105159. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105159>
- Rozainah MZ, Nazri MN, Sofawi AB, Hemati Z, and Juliana WA. 2018. Estimation of carbon pool in soil, above and below ground vegetation at different types of mangrove forests in Peninsular Malaysia. *Marine Pollution Bulletin* 137:237-245. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.023>
- Rudia LOAF, Bahtiar B, Jamili, Muhsin M, dan Nasaruddin N. 2019. Diversitas gastropoda berdasarkan tingkat kerusakan mangrove di Pulau Towea Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara. *Journal of Biological Research* 6:881-894. <https://doi.org/10.33772/biowallacea.v6i1.8742>
- Verisandria R, Schaduw J, Sondak C, Ompi M, Rumengan A, Rangan J. 2018. Estimasi potensi karbon pada sedimen ekosistem mangrove di pesisir Taman Nasional Bunaken bagian utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis* 1:81-97. <https://doi.org/10.35800/jplt.6.1.2018.20567>
- Zulhalifah, Syukur A, Santoso D, and Karnan. 2021. Species diversity and composition, and above-ground carbon of mangrove vegetation in Jor Bay, East Lombok, Indonesia. *Biodiversitas* 22:2066-2071. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220455>