

Estimasi Stok Karbon pada Tegakan Lamun *Enhalus acoroides* di Malang Rapat, Kabupaten Bintan

Ayie Davila Lubis, Roseani Baiti Rohmah, Hilman Wiranata, Jelita Rahma Hidayati*

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji

Jl. Politeknik, Senggarang, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau 29100 Indonesia

Corresponding author, e-mail : jelitarahmahidayati@umrah.ac.id

ABSTRAK: Emisi karbon dioksida (CO_2) telah meningkat di atmosfer menyebabkan peningkatan gas rumah kaca dan terjadinya pemanasan global. Salah satu metode penurunan emisi yaitu kemampuan organisme yang mampu menyerap CO_2 melalui proses fotosintesis. Lamun merupakan organisme *autotroph* yang berpotensi sebagai penyerap dan penyimpan karbon, dimana lamun menyerap sebagian karbon untuk menghasilkan energi, dan lainnya disimpan sebagai biomassa. Penelitian estimasi stok atau simpanan karbon bertujuan untuk mengevaluasi dan mengestimasi karbon pada tegakan lamun, khususnya *Enhalus acoroides*, di Desa Malang Rapat, Kabupaten Bintan. Penelitian dilakukan mulai bulan April-Agustus 2024. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa metode *line transect* untuk pengambilan data lamun. Estimasi stok karbon pada lamun menggunakan metode LOI (*Loss of Ignition*). Berdasarkan hasil penelitian ditemukan 3 jenis lamun yaitu *E. acoroides*, *Thalassia hemprichii*, dan *Cymodocea rotundata*. Persentase tutupan lamun tertinggi menunjukkan nilai 29,55% di stasiun 2 yang termasuk dalam kategori sedang, sedangkan kerapatan lamun jenis *E. acoroides* tertinggi menunjukkan nilai sebesar 193,09 tegakan/ m^2 dengan kategori sangat rapat di stasiun 3. Biomassa lamun diukur pada ketiga stasiun, dengan biomassa bawah substrat dominan lebih tinggi daripada biomassa atas substrat. Hasil analisis simpanan karbon biomassa atas maupun bawah substrat diketiga stasiun berkisar antara 4.368,81–19.661,83 gC/ m^2 , dengan stasiun 3 menunjukkan nilai stok karbon tertinggi.

Kata kunci: Lamun; *Enhalus acoroides*; Stok Karbon; Malang Rapat

Estimation of Carbon Stocks in Seagrass Stands of Enhalus acoroides in Malang Rapat, Bintan Regency

ABSTRACT: Carbon dioxide (CO_2) emissions have increased in the atmosphere, causing an increase in greenhouse gases and global warming. One method of reducing emissions is the ability of organisms to absorb CO_2 through the process of photosynthesis. Seagrasses are autotroph organisms that have the potential to absorb and store carbon, where seagrasses absorb some carbon to produce energy, and others are stored as biomass. Carbon stock estimation research aims to evaluate and estimate carbon in seagrass stands, especially *Enhalus acoroides*, in Malang Rapat Village, Bintan Regency. The research was conducted from April-August 2024. The method used in this study was the line transect method for seagrass data collection. Estimation of carbon stock in seagrass using LOI (*Loss of Ignition*) method. Based on the results of the study, 3 types of seagrass were found, namely *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, and *Cymodocea rotundata*. The highest percentage of seagrass cover showed a value of 29.55% at station 2 which was included in the medium category, while the highest density of seagrass species *Enhalus acoroides* showed a value of 193.09 stands/ m^2 with a very tight category at station 3. Seagrass biomass was measured at all three stations, with the dominant bottom substrate biomass higher than the top substrate biomass. The results of carbon stock analysis of both above and below substrate biomass at the three stations ranged from 4,368.81–19,661.83 gC/ m^2 , with station 3 showing the highest carbon stock value.

Keywords: Seagrass; *Enhalus acoroides*; Carbon Stock; Malang Rapat

PENDAHULUAN

Emisi karbon dioksida (CO_2) telah meningkat di atmosfer karena pembakaran bahan bakar dan biomassa, yang menyebabkan peningkatan akumulasi gas rumah kaca dan terjadinya pemanasan global (Harimbi *et al.*, 2019). Penurunan emisi karbon adalah langkah penting dalam upaya mengatasi pemanasan global. Salah satu metode untuk penurunan emisi adalah biosekuestrasi yaitu kemampuan organisme yang berfotosintesis dalam penyerapan karbon. Lamun merupakan organisme *autotroph* yang berpotensi sebagai penyerap dan penyimpan karbon, dimana lamun menyerap sebagian karbon untuk menghasilkan energi, dan lainnya disimpan sebagai biomassa. Pengukuran biomassa ekosistem termasuk lamun, dapat memberikan informasi tentang cadangan karbon dan kandungan nutrisi dalam jumlah total atau tertentu.

Lamun merupakan tumbuhan tingkat tinggi dengan struktur tersusun atas rhizoma, daun, buah, bunga dan akar. Morfologi lamun yang besar terdapat pada spesies *Enhalus acoroides*, sehingga lamun ini mampu menyimpan karbon dalam jumlah yang besar (Indriani *et al.*, 2017). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Tupan *et al.* (2021), menunjukkan bahwa *Enhalus acoroides* memiliki potensi cadangan karbon lebih besar, berkisar $112,38 - 126,34 \text{ gC.m}^{-2}$ yang lebih tinggi daripada *Thalassia hemprichii* yang berkisar $9,31 - 11,28 \text{ gC.m}^{-2}$. Menurut Githaiga *et al.* (2017) ekosistem lamun di Indonesia mempunyai total kapasitas untuk menyimpan dan menyerap karbon sebesar 16,11 juta ton/ha per tahun, dengan potensi setiap padang lamun menyerap sekitar 4,88 ton/ha per tahun. Oleh karena itu, lamun dianggap sebagai penyerap karbon yang baik. (Khairunnisa *et al.*, 2018).

Nugraha *et al.* (2020) menyatakan bahwa meskipun banyak penelitian telah dilakukan untuk menghitung stok karbon di ekosistem lamun, penelitian masih jarang berkonsentrasi pada spesies tertentu atau kondisi lokal tertentu, seperti *Enhalus acoroides* di lokasi tertentu. Ini menunjukkan bahwa penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami bagaimana stok karbon lokal bergerak. Penelitian oleh Indriani *et al.* (2017) menekankan bahwa estimasi stok karbon di area padang lamun pesisir Pulau Bintan menunjukkan adanya variasi yang signifikan dalam kapasitas penyimpanan karbon, namun penelitian ini masih terbatas pada lokasi tersebut dan tidak mencakup kajian yang lebih luas di daerah lain seperti Desa Malang Rapat. Dari permasalahan tersebut, dilakukan penelitian estimasi stok atau simpanan karbon dengan tujuan untuk mengevaluasi dan mengestimasi karbon tegakan lamun, khususnya *Enhalus acoroides*, di Desa Malang Rapat, Kabupaten Bintan. Peran penting lamun terhadap upaya mengatasi perubahan iklim dan pemanasan global, serta kondisi ekosistem lamun di Malang rapat yang memiliki potensi sebagai *blue carbon* menjadikan penelitian ini dilakukan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Agustus 2024 di Desa Malang Rapat. Lokasi pengambilan sampel terdiri dari 3 stasiun yang ditentukan berdasarkan keterwakilan ekosistem padang lamun di Desa Malang Rapat (Gambar 1). Tahapan penelitian terbagi menjadi pengambilan sampel di lokasi penelitian dan pengamatan di laboratorium Kimia FIKP UMRAH Senggarang.

Pengumpulan data lamun dilakukan dengan metode *line transect*, dimana data lamun diambil dimulai dari ditemukannya keberadaan lamun pertama kali dari arah daratan. Pada setiap stasiun pengambilan data kerapatan dan tutupan per jenis lamun diambil pada 3 line transek yang masing-masing line transek berjarak 50 meter ke kanan, satu line transek memiliki 11 titik jarak antar titik 10 meter terdiri titik 0 meter, 10meter, 20 meter, dan seterusnya. Pemasangan transek kuadran dimulai dari menarik roll meter sepanjang 100m tegak lurus dengan garis pantai. Plot yang digunakan untuk pengambilan lamun adalah bingkai segi empat dengan ukuran 50x50cm kemudian sub bingkai berukuran 25x25cm (Rahmawati *et al.*, 2014). Rumus menghitung kerapatan diuraikan dalam persamaan yang dikemukakan Supriadi *et al.*, (2014):

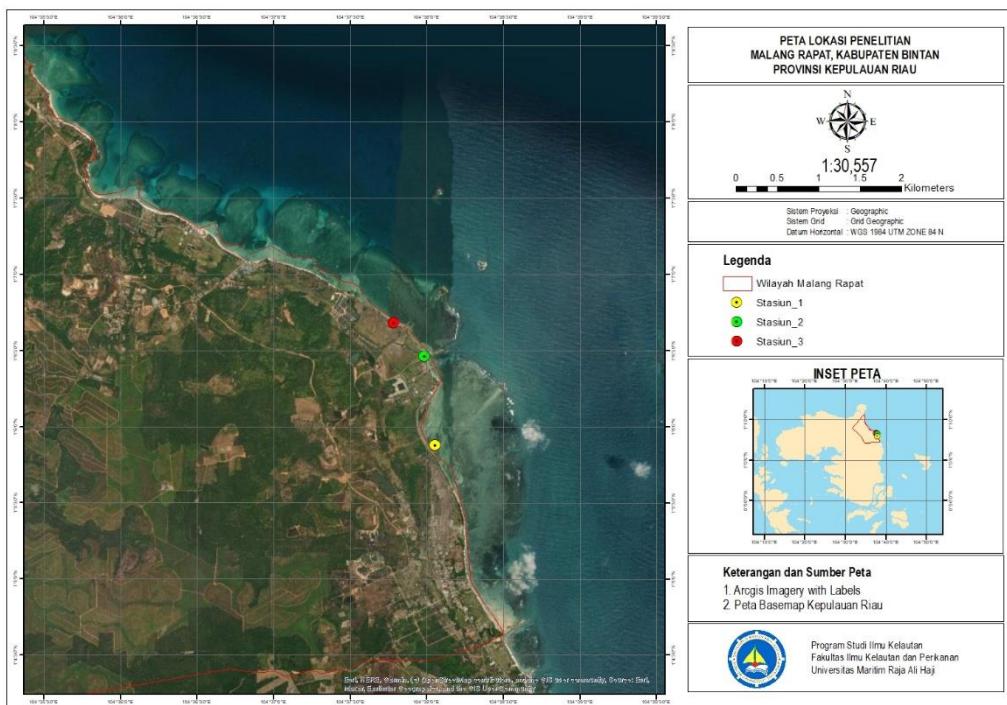
$$D = \sum ni/A$$

Keterangan: D = kerapatan jenis (tegakan/ m^2); ni = jumlah tegakan di transek kuadrat (tegakan); A = luas area sampling (m^2)

Tabel 1. Kategori Kerapatan Lamun

Kerapatan (tegakan/m ²)	Kondisi
>175	Sangat rapat
125-175	Rapat
75-125	Agak rapat
25-75	Jarang
<25	Sangat jarang

Sumber: Gosari dan Haris (2012)

**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian

Rumus menghitung persentase tutupan lamun diuraikan dalam persamaan yang dikemukakan Rahmawati *et al.* (2014):

$$\text{Rata - rata tutupan lamun (\%)} = \frac{\text{Jumlah tutupan lamun seluruh plot}}{\text{Jumlah seluruh plot}}$$

Pengukuran parameter air dilakukan di kedua lokasi penelitian yang mencakup suhu, salinitas, pH, DO, dan jenis substrat. Setiap parameter diukur pada masing-masing stasiun sebanyak tiga kali pengulangan, yaitu pada titik-titik di sepanjang *line transect* kedua pada meter ke-0, 50, dan 100. Pengukuran suhu perairan dilakukan langsung di lapangan (*in situ*) menggunakan termometer. Sementara itu, salinitas, pH, dan DO diukur di laboratorium (*ex situ*) menggunakan perangkat *multitester*.

Sampel biomassa lamun dengan metode Rustam *et al.* (2019) pada plot 0m, 50m dan 100m pada masing-masing *line transect*. Sampel lamun *Enhalus acoroides* diambil sebanyak 2-3 tegakan yang berada dalam transek kuadran. Sampel lamun *Enhalus acoroides* dibawa dari lokasi pengambilan sampel ke laboratorium untuk dilakukan pengolahan sampel. Sampel dibersihkan dengan air bersih, kemudian dibagi antara biomassa atas (helai daun dan pelepas) dan biomassa bawah substrat (akar dan rhizoma). Setelah itu, timbang berat basah sampel lamun *Enhalus acoroides*, dan dikeringkan

dengan oven selama 48 jam (suhu 60°C), dinginkan hingga suhu konstan lalu timbang sebagai berat kering. Rumus menghitung biomassa diuraikan dalam persamaan yang dikemukakan Duarte (1990):

$$B = W \times D$$

Keterangan: B = biomassa (gr.m⁻²); W = berat kering tegakan (gr.tegakan⁻¹)D = kerapatan (tegakan.m⁻²)

Metode *Loss of Ignition* (LOI) digunakan dalam mengukur simpanan karbon biomassa lamun (Rustam et al. 2019). Dasarnya metode ini menggunakan prinsip penghilangan bahan organik akibat proses pembakaran tanur. Cawan porselein dipanaskan selama lima belas menit dengan tanur suhu 900 °C. Setelah itu, cawan porselein dimasukkan dalam desikator lalu ditimbang (a). Satu gram sampel kering dihomogenisasi dengan menggunakan mortar dan alu, lalu timbang bersama cawan (b). Setelah itu, sampel kembali dipijarkan dalam tanur selama empat jam pada suhu 450–550 °C hingga sampel berubah menjadi abu, kemudian didinginkan di dalam desikator dan ditimbang (c). Berikut rumus untuk mengetahui kandungan bahan organik (Fourqurean et al., 2012):

$$\text{Kandungan bahan organik} = \frac{[(b - a) - (c - a)]}{(b - a)} \times 100\%$$

Keterangan: a = berat wadah; b = berat wadah + sampel; c = berat wadah + abu

Berikut rumus untuk menghitung kandungan karbon (Fourqurean et al., 2012):

$$\text{Kandungan karbon} = \frac{\text{bahan organik}}{1,724}$$

Dimana 1,724 merupakan nilai tetap bahan organik karbon.

Kemudian, digunakan rumus berikut untuk mendapatkan nilai estimasi stok karbon (Rahmawati, 2011):

$$\text{Stok karbon} = \text{Biomassa} \times \text{kandungan stok karbon}$$

Sampel sedimen diperoleh hanya pada *line transect* kedua di meter ke 50 pada masing-masing stasiun. Sampel sedimen yang diambil hanya pada permukaan sebanyak >1000 gram berat basah yang selanjutnya dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Sampel sedimen yang sudah dikumpulkan kemudian dikeringkan menggunakan oven hingga mencapai berat konstan, lalu diayak menggunakan *sieve shaker*. *Sieve shaker* berfungsi memisahkan butir sedimen berdasarkan ukuran tertentu, setiap tingkatan pada *sieve shaker* memiliki ukuran yang berbeda-beda. Sampel sedimen ditimbang menggunakan timbangan digital sebanyak ±1000 gram berat kering untuk mewakili setiap stasiun. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam *sieve shaker* selama 10-15 menit. Setelah itu sampel pada setiap tingkatan ditimbang beratnya. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung presentase berat sedimen dari masing-masing fraksi sedimen:

$$\% \text{berat}_i = \frac{\text{berat fraksi}_i}{\text{berat total sampel}} \times 100\%$$

Keterangan: berat fraksi i = berat setiap fraksi ukuran butir (g) (Bird, 2008).

Tabel 2. Kategori Tutupan Lamun

Percentase Tutupan (%)	Kondisi
0-25	Jarang
26-50	Sedang
51-75	Padat
76-100	Sangat padat

Sumber: Rahmawati et al. (2014)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas air menjadi faktor pengaruh terhadap kondisi lamun. Tabel 3 menyajikan hasil pengamatan parameter kualitas perairan pada penelitian ini. Data parameter perairan di Desa Malang Rapat, Kabupaten Bintan seperti pH yang diukur di ketiga stasiun menunjukkan nilai yang sesuai dengan baku mutu yaitu mulai rentang 7.09-7.52, menandakan perairan ini masih optimal untuk pertumbuhan lamun. Kondisi pH perairan yang asam maupun basa akan mengganggu proses respirasi dan metabolisme, sehingga pH merupakan faktor signifikan dalam monitoring kestabilan di perairan (Hamuna *et al.*, 2018). Nilai DO perairan pada ketiga stasiun antara 4.23-5.36 mg/L yang masih dapat dikategorikan baik untuk pertumbuhan lamun. Dalam studi oleh Subarni *et al.* (2023), menegaskan bahwa kisaran DO yang lebih rendah dari 5 mg/L dapat mempengaruhi pertumbuhan pada lamun, tetapi nilai di atas 4 mg/L masih dianggap baik. Salinitas ketiga stasiun berada dibawah rentang baku mutu untuk biota laut, dimana data diperoleh mulai dari 30-32.67 ppm. Menurut Hutomo (1999), lamun memiliki kemampuan toleransi yang berbeda-beda terhadap salinitas, kondisi salinitas yang masih dapat ditoleransi untuk pertumbuhan lamun berada pada kisaran 10-40 %. Ini menunjukkan bahwa salinitas yang diperoleh di ketiga stasiun, meskipun berada di bawah baku mutu, masih dalam batas toleransi bagi pertumbuhan lamun.

Penelitian ini juga mengukur parameter fisika berupa suhu dan jenis sedimen. Suhu merupakan faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan lamun terutama saat terjadinya fotosintesis (Repolho *et al.*, 2016). Hasil pengamatan suhu dari ketiga stasiun yaitu rentang antara 28.33-29.33°C menunjukkan nilai suhu di lokasi penelitian sesuai dengan standar baku mutu. Jenis sedimen di Desa Malang Rapat, Kabupaten Bintan memiliki karakteristik yang sama yaitu pasir sedang, dimana pasir ini berkomposisi antara pasir halus dan pasir kasar. Karakteristik sedimen ini memungkinkan untuk pertumbuhan lamun dengan baik.

Penelitian ini menghasilkan tingkat kerapatan yang berbeda dari ketiga stasiun. Nilai kerapatan yang tertinggi diperoleh pada stasiun 3 sebesar 193.09 tegakan/m² dan terendah sebesar 61.82 tegakan/m² pada stasiun 1 (Gambar 2). Menurut skala dari Gosari dan Haris (2012), nilai kerapatan diketiga stasiun berturut-turut dari stasiun 1 hingga stasiun 3 dikategorikan jarang, rapat, dan sangat rapat. Perbedaan tingkat kerapatan lamun di ketiga stasiun diduga dipengaruhi oleh variasi tingkat aktivitas manusia berdasarkan observasi selama pengambilan data di lapangan.

Stasiun 1, yang memiliki kerapatan lamun terendah, terletak di area dengan aktivitas nelayan yang cukup intensif, seperti penangkapan ikan dan penggunaan perahu, yang berpotensi menyebabkan kerusakan fisik pada lamun dan substratnya, serta meningkatkan sedimentasi yang dapat menghambat penetrasi cahaya ke dasar perairan. Stasiun 2, dengan aktivitas pariwisata berupa pantai yang ramai dikunjungi masyarakat, juga menunjukkan kerapatan lamun yang lebih rendah dibandingkan stasiun 3. Aktivitas wisata, seperti berenang dan kemungkinan adanya pembuangan limbah organik atau anorganik, dapat mengganggu pertumbuhan lamun. Sebaliknya, stasiun 3 yang memiliki kerapatan lamun tertinggi cenderung lebih minim pengaruh aktivitas manusia. Lingkungan yang relatif lebih terlindungi ini memungkinkan lamun tumbuh dan berkembang secara optimal tanpa banyak gangguan fisik atau perubahan kualitas air yang signifikan. Kerapatan lamun mempengaruhi biomassa lamun, peningkatan biomassa lamun berbanding lurus dengan peningkatan kandungan, cadangan maupun serapan gas CO₂(Nugraha *et al.*, 2019).

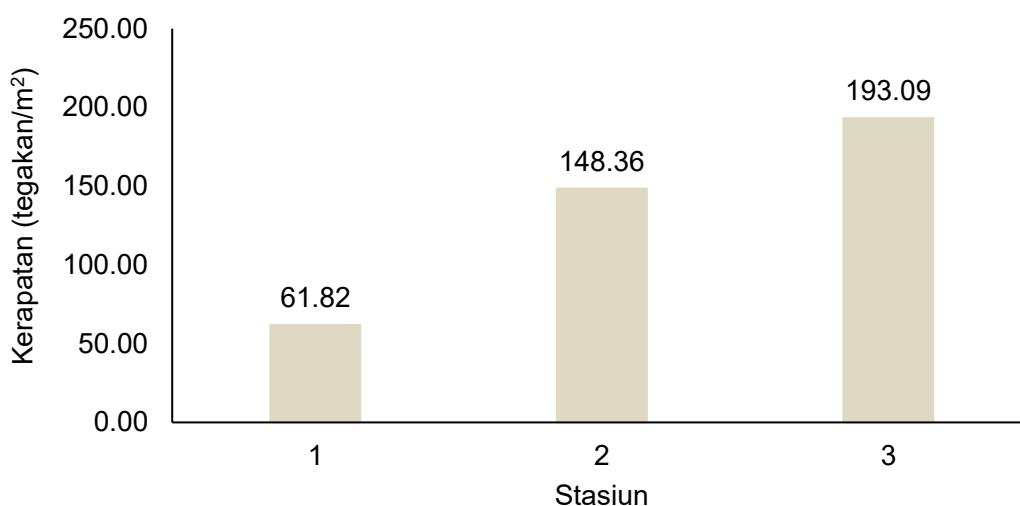
Tabel 3. Parameter Kualitas Air

Parameter Perairan	Satuan	Stasiun Pengamatan Parameter			Baku Mutu*
		1	2	3	
pH	-	7.52	7.09	7.33	7 - 8.5
DO	mg/L	4.80	4.23	5.36	> 5
Salinitas	ppm	30	32.67	32.67	33 - 34
Suhu	°C	29.33	28.33	29	28 - 30
Sedimen	-	Medium Sand/ Pasir sedang	Medium Sand/ Pasir sedang	Medium Sand/ Pasir sedang	-

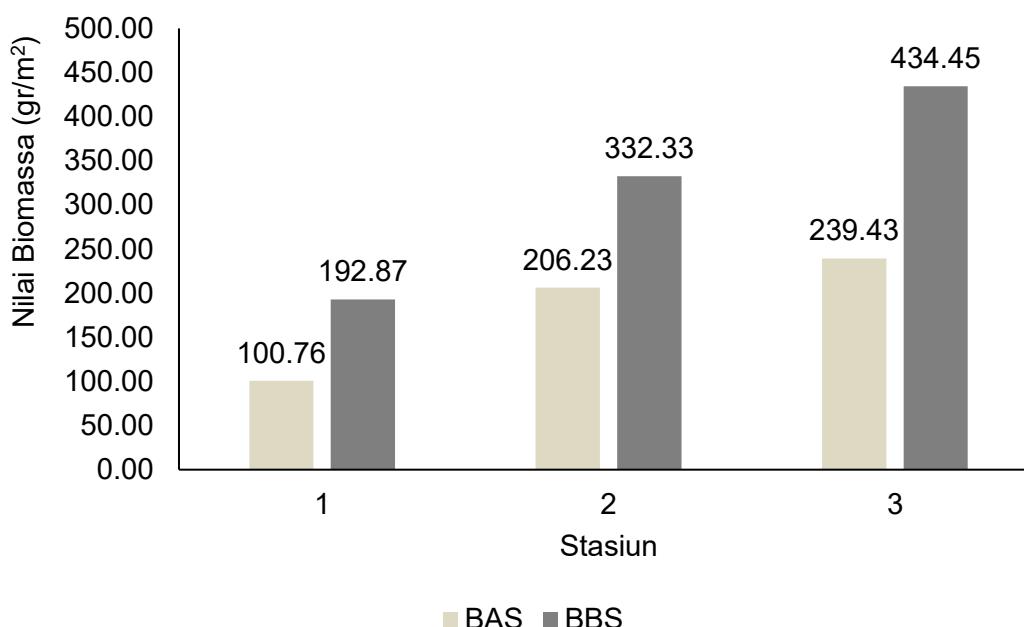
*Sumber : Baku Mutu PP RI No. 22 Tahun 2021

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan biomassa lamun *Enhalus acoroides* di tiga stasiun, terdapat variasi nilai biomassa di bagian atas sedimen (BAS) dan bagian bawah sedimen (BBS). Stasiun 3 memiliki nilai biomassa tertinggi, baik pada BAS maupun BBS, sedangkan stasiun 1 menunjukkan biomassa terendah pada BAS dan BBS. Stasiun 2 memiliki nilai biomassa yang berada di antara keduanya. Hal ini diduga karena kerapatan *E. acoroides* yang lebih tinggi di stasiun 3 yang berkontribusi langsung pada peningkatan total biomassa. Penelitian menunjukkan bahwa kerapatan tinggi pada stasiun-stasiun tertentu diikuti oleh tutupan lamun dan biomassa yang signifikan (Runtuboi *et al.*, 2018). Perbandingan nilai biomassa atas dan bawah substrat lamun di lokasi penelitian disajikan pada Gambar 3.

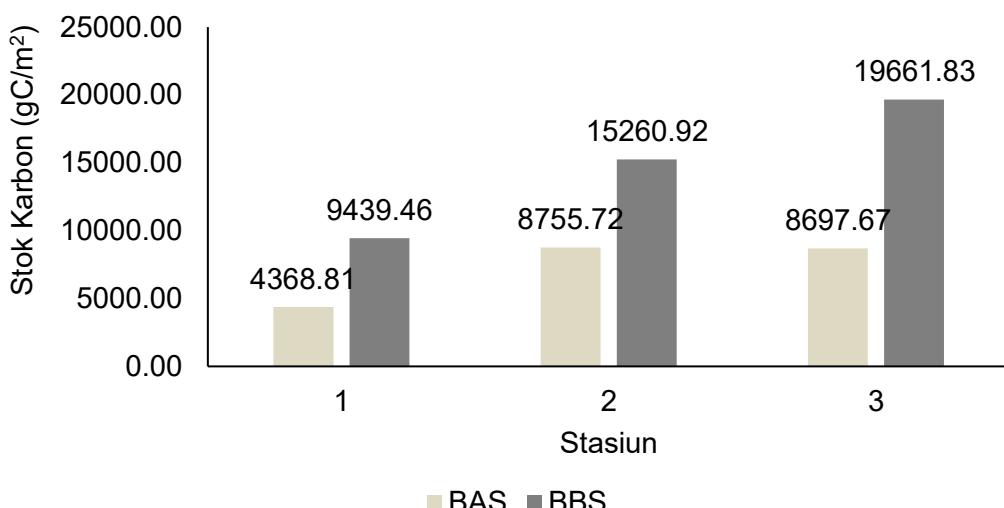
Biomassa atas substrat lebih rendah daripada biomassa bawah substrat di ketiga stasiun. Karbohidrat dan zat hara yang didistribusikan melalui fotosintesis dan terkumpul di bagian bawah substrat (rhizoma) diduga menjadi alasan biomassa bawah substrat lebih tinggi (Supriadi *et al.*, 2012).



Gambar 2. Nilai Kerapatan *Enhalus acoroides*



Gambar 3. Biomassa Lamun *Enhalus acoroides*



Gambar 4. Stok Karbon Lamun Ea

Estimasi stok karbon di biomassa atas maupun bawah substrat lamun *E. acoroides* menunjukkan jumlah yang berkisar antara 4.368,81-19.661,83 gC/m². Stasiun 3 memperoleh nilai stok karbon tertinggi sebesar 28.359,50 gC/m² yang terdiri dari 19.661,83 gC/m² stok karbon biomassa bawah substrat dan 8.697,67 gC/m² stok karbon biomassa atas substrat. Biomassa maupun kandungan karbon lamun saling berhubungan dengan jumlah stok karbon lamun. Ukuran morfologi juga memengaruhi jumlah karbon biomassa lamun (Gosh *et al.*, 2015). Nilai simpanan karbon di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

Diketahui ketiga stasiun menunjukkan rata-rata simpanan karbon pada biomassa lamun dominan tinggi di biomassa bawah dibandingkan atas substrat. Penelitian serupa dilakukan Khairunnisa *et al.* (2018), bahwa simpanan karbon biomassa bagian bawah lebih tinggi dari pada bagian atas substrat, dengan alasan bahwa akar dan rhizoma menyimpan sebagian besar karbon yang terakumulasi dalam ekosistem lamun. Diperkuat dengan Wahyudi *et al.* (2016) yang menyatakan materi biomassa yang terbentuk di bagian bawah substrat umumnya berupa biomassa yang lebih padat dibandingkan dengan biomassa diatas substrat seperti daun. Dikarenakan rhizoma mengandung banyak zat pati dan unsur hara dimana zat tersebut di distribusikan dari hasil foto sintesis yang disimpan pada bagian bawah substrat. Selain itu, menurut Bagu *et al.* (2020) juga menyatakan rhizoma salah satu komponen penyimpan karbon di bawah substrat, membentuk 60-80% dari bagian lain lamun.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem lamun di wilayah ini memiliki kemampuan menyimpan karbon yang signifikan, dengan stok karbon berkisar antara 4.368,81-28.359,50 gC/m². Stasiun dengan kerapatan lamun tertinggi (193,09 tegakan/m²) memiliki stok karbon terbesar, yang menggambarkan hubungan erat antara kerapatan, biomassa, dan kapasitas penyimpanan karbon. Penelitian ini menegaskan pentingnya menjaga kualitas perairan sebagai faktor pendukung utama bagi pertumbuhan dan keberlanjutan ekosistem lamun. Hasil ini memperlihatkan peran strategis ekosistem lamun, khususnya *Enhalus acoroides*, dalam mendukung fungsi ekologi dan mitigasi perubahan iklim melalui kemampuan menyerap dan menyimpan karbon biru.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterimakasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang mendukung penuh pelaksanaan penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa Riset Eksakta (081230291548). Penelitian terlaksana dengan bantuan banyak pihak,

melalui ini penulis berterimakasih kepada Universitas Maritim Raja Ali Haji, Program Studi Ilmu Kelautan, Dosen Pendamping, Tim PKM RE-Blue Carbon, dan teman-teman Ilmu Kelautan yang telah membantu.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagu, I., Hamidun, M.S. & Baderan, D.W. 2020. Estimasi simpanan karbon lamun *Enhalus acoroides* di kawasan Pantai Langala, Dulupi Kabupaten Boalemo. *Jambura Edu Biosfer Journal*, 2(1): 13–21.
- Bird, E. 2008. *Coastal geomorphology an introduction: second edition*. John Wiley & Sons, Ltd: Southern Gate, Chichester, West Sussex, England.
- Duarte, C.M. 1990. Seagrass nutrient content. *Marine Ecology Progress Series*, 67: 201–207.
- Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M.A. & Serrano, O. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5(7): 505–509.
- Githaiga, M.N., Kairo, J.G., Gilpin, L. & Huxham, M. 2017. Carbon storage in the seagrass meadows of Gazi Bay, Kenya. *PLoS One*, 12(5): e0177001.
- Gosari, B.A.J. & Haris, A. 2012. Studi kerapatan dan penutupan jenis lamun di Kepulauan Spermonde. *Jurnal Kelautan dan Perikanan*, 22(3): 156–162.
- Gosh, R., Trivedi, S., Pramanick, P., Zaman, S. & Mitra, A. 2015. Seagrass: a store house of carbon. *STM Journals*, 5(2): 1–10.
- Hamuna, B., Tanjung, R.H. & Maury, H. 2018. Kajian kualitas air laut dan indeks pencemaran berdasarkan parameter fisika-kimia di perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1): 35–43.
- Harimbi, K.A., Taufiq-Spj, N. & Riniatsih, I. 2019. Potensi penyimpanan karbon pada lamun spesies *Enhalus acoroides* dan *Cymodocea serrulata* di perairan Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 8(2): 109–115.
- Hutomo, M. 1999. Proses peningkatan nutrien mempengaruhi kelangsungan hidup lamun. LIPI, Jakarta.
- Indriani, Wahyudi, A.J. & Yona, D. 2017. Cadangan karbon di area padang lamun pesisir Pulau Bintan, Kepulauan Riau. *OLDI (Oseanologi dan Limnologi di Indonesia)*, 2(3): 1–11.
- Khairunnisa, K., Setyobudiandi, I. & Boer, M. 2018. Estimasi cadangan karbon pada lamun di Pesisir Timur Kabupaten Bintan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3): 639–650.
- Nugraha, A.H., Tasabaramo, I.A., Hernawan, U.E., Rahmawati, S., Putra, R.D. & Idris, F. 2020. Estimasi stok karbon pada ekosistem lamun di perairan utara Papua (studi kasus: Pulau Liki, Pulau Befondi dan Pulau Meossu). *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(3): 291–298.
- Nugraha, A.H., Kawaroe, M., Srimariana, E.S., Jaya, I., Apdillah, D. & Deswati, S.R. 2019. Carbon storage in seagrass meadow of Teluk Bakau – Bintan Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 278: 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/278/1/012051
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 32. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Rahmawati, S. 2011. Estimasi cadangan karbon pada komunitas lamun di Pulau Pari, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Segara*, 7(1): 1–12.
- Rahmawati, S., Irawan, A., Supriyadi, H.I. & Azkab, M.H. 2014. Panduan monitoring padang lamun. LIPI, Jakarta. 45 Halaman.
- Repolho, T., Duarte, B., Dionísio, G., Paula, J.R., Lopes, A.R., Rosa, I.C. & Rosa, R. 2016. Seagrass ecophysiological performance under ocean warming and acidification. *Scientific Reports*, 7(1): 41443.
- Rustam, A., Adi, N.S., Daulat, A., Kiswara, W., Yusup, D.S. & Rappe, R.A. 2019. Pedoman pengukuran karbon di ekosistem padang lamun. ITB Press, Bandung.
- Subarni, S., Nurrahman, Y.A. & Nurdiansyah, S.I. 2023. Studi laju pertumbuhan lamun (*Thalassia hemprichii*) hasil transplantasi menggunakan metode TERFS dan peat pot di Teluk Melanau

- Pulau Lemukutan. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 6(1): 40–49.
- Supriadi, R.F., Kaswadji, D.G. & Bengen, M.H. 2014. Carbon stock of seagrass community in Barranglopo Island, Makassar. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 19(1): 1–10.
- Supriadi, R.F., Kaswadji, D.G., Bengen, M.H. & Hutomo, M. 2012. Stok dan neraca karbon komunitas lamun di Pulau Barranglopo, Makassar. *Ilmu Kelautan*, 1: 1–10.
- Tupan, C.I., Sangur, F. & Lailossa, G.W. 2021. Potensi karbon pada lamun *Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides* di perairan Pantai Waai Pulau Ambon. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 5(3): 293–302.
- Wahyudi, A.J., Rahmawati, S., Prayudha, B., Iskandar, M.R. & Arfianti, T. 2016. Vertical carbon flux of marine snow in *Enhalus acoroides*-dominated seagrass meadows. *Regional Studies in Marine Science*, 5: 27–34.