



Perbandingan Estimasi Stok Karbon Lamun Menggunakan Metode Loss on Ignition (LOI) di Pantai Pejarakan dan Gili Putih Sumberkima, Bali

Comparison of Seagrass Carbon Stock Estimates Using the Loss on Ignition (LOI) Method at Pejarakan Beach and Gili Putih Sumberkima, Bali

Lathif Akmal Assajid^{1,2*}, Aufa Syakira Abdurrohman^{1,2}, Sulis Hamidah^{1,2}, Zikri Fahrezi^{1,2}, Javier Malik Azriel^{1,2}, Diva Perta^{1,2}, Wahyu Nur Arfiyan^{1,2}, Ani Haryati^{1,3}, Teguh Agustiadi⁴, Iis Triyulianti⁴

1Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno, Karangwangkal, Purwokerto Utara, Indonesia 53122

2Himpunan Mahasiswa Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno, Karangwangkal, Purwokerto Utara, Indonesia 53122

3SDGs Center Universitas Jenderal Soedirman, Grendeng, Purwokerto Utara, Indonesia 53122

4Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim BRIN, Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat, Indonesia 10340

*Corresponding author, e-mail: lathif.assajid@mhs.unsoed.ac.id

Diterima: 01 Desember 2024, Disetujui 20 Desember 2024

ABSTRAK.

Pemanasan global merupakan salah satu krisis iklim yang mempengaruhi perubahan iklim global. Tahun 2018 kadar CO₂ di atmosfer mencapai angka 407,4 ppm dan tahun 2023 terdapat 7 bulan terhangat yang pernah tercatat. Ekosistem padang lamun memiliki fungsi yang penting, seperti kemampuan lamun untuk menyerap karbon dalam bentuk biomassa dan sedimen lamun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi simpanan karbon organik total dari biomassa dan sedimen lamun, serta perbandingan jumlahnya di dua tempat yaitu Pantai Pejarakan dan Gili Putih Sumberkima Provinsi Bali. Penelitian ini menggunakan metode Loss on Ignition (LOI) dengan analisis data dilakukan secara deskriptif meliputi analisis karbon organik total. Berdasarkan hasil penelitian ditemukan 2 jenis lamun pada setiap stasiunnya. Jenis yang mendominasi di Pantai Perajakan adalah *Halodule uninervis* dan *Halophila minor*. Jenis yang mendominasi pada Gili Putih Sumberkima adalah *Cymodocea rotundata* dan *Enhalus acoroides*. Secara berturut-turut total stok karbon biomassa lamun pada stasiun 1 dan 2 yaitu 1,97 Mg C/ha dan 32,19 Mg C/ha dan pada sedimen sebesar 0,444 Mg C/ha dan 0,536 Mg C/ha. Perbandingan dari jumlah estimasi stok karbon menunjukkan Gili Putih Sumberkima memiliki jumlah stok karbon yang lebih besar baik dari biomassa maupun sedimen.

Kata kunci: Lamun, Stok karbon, Biomassa, Sedimen, Loss on Ignition (LOI)

ABSTRACT

*Global warming is one of the climate crises affecting global climate change. In 2018, the concentration of CO₂ in the atmosphere reached 407.4 ppm, and in 2023, there were seven of the warmest months ever recorded. Seagrass ecosystems play a crucial role, such as the ability of seagrass to absorb carbon in the form of biomass and sediment. This study aims to estimate the total organic carbon storage from seagrass biomass and sediment, as well as compare the amounts between two locations: Pejarakan Beach and Gili Putih Sumberkima. The research uses the Loss on Ignition (LOI) method, with descriptive data analysis including total organic carbon analysis. The research results found two types of seagrass at each station. The species dominating at Pejarakan Beach are *Halodule uninervis* and *Halophila minor*, while *Cymodocea rotundata* and *Enhalus acoroides* dominate at Gili Putih Sumberkima. The total seagrass biomass carbon stock at Stations 1 and 2 is 1.97 Mg C/ha and 32.19 Mg C/ha, respectively, and the sediment carbon stock is 0.444 Mg C/ha and 0.536 Mg C/ha, respectively. The comparison of the estimated carbon stock shows that Gili Putih Sumberkima has a larger carbon stock in both biomass and sediment.*

Keywords: *Walne Seagrass, Carbon stock, Biomass, Sediment, Loss on Ignition (LOI)*

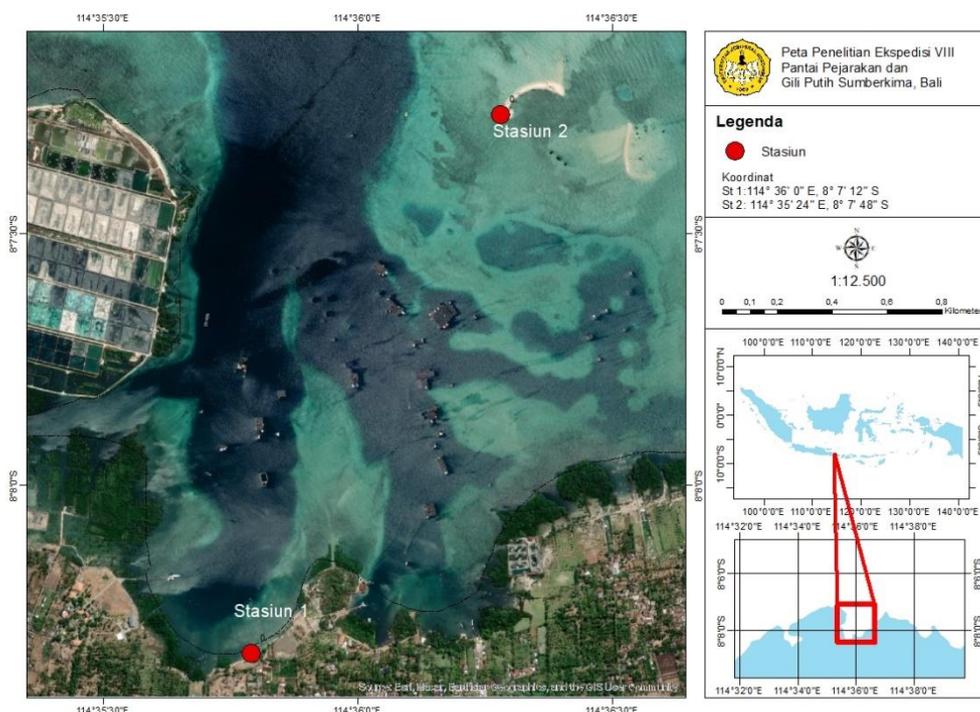
PENDAHULUAN

Fenomena *global warming* menjadi isu permasalahan yang kian mengkhawatirkan sehingga diangkat menjadi salah satu poin dalam SDGs (*Sustainability of Development Goals*) No. 13 (Arora dan Mishra, 2023). Fenomena ini merupakan peningkatan suhu rata-rata bumi secara berkelanjutan yang mempengaruhi perubahan iklim secara global. Hal ini diduga karena konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer terus mengalami peningkatan dan menutupi bumi sehingga menahan panas matahari. Data pada tahun 2018, melaporkan kadar CO₂ di atmosfer mencapai angka 407,4 ppm. Menurut data dari National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2024), tren suhu permukaan bumi secara tahunan dalam beberapa dekade terakhir (1994-2023) mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Dampaknya, suhu pada bulan Juni-Desember 2023 merupakan 7 bulan terhangat yang pernah tercatat. Pada bulan Juli, Agustus, dan September suhu global lebih dari 1,0°C di atas rata-rata jangka panjang (Lindsey dan Dahlman, 2024). Perubahan iklim yang terjadi saat ini memerlukan kajian terbaru untuk

mengurangi penyebab ataupun efek dari pemanasan global (Septaria, 2019).

Salah satu kajian terbaru untuk mengurangi penyebab maupun efek dari pemanasan global yaitu *blue carbon*. Kajian tersebut mengacu pada karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem lautan dan pesisir bumi, terutama oleh mangrove, rawa asin, dan padang lamun. Ekosistem tersebut mempunyai fungsi penting dalam proses penyerapan karbon, sebagai *reservoir* karbon dan membantu pengurangan dampak perubahan iklim (Dompok *et al.*, 2024). Indonesia memiliki luas ekosistem lamun kurang lebih 293.464 ha yang memiliki peran penting bagi ekosistem laut dangkal, karena ekosistem lamun memiliki estimasi laju penyimpanan karbon yang lebih tinggi (138 g C/m² tahun) dibandingkan dengan hutan daratan. Lebih lanjut, per unit area lamun diduga mampu menyimpan karbon hingga 600 Mg C/ha di dalam sedimen, lebih tinggi daripada di hutan daratan yaitu <400 Mg C/ha (Sakmiana *et al.*, 2023).

Salah satu wilayah Indonesia yang memiliki potensi dalam penyerapan karbon yaitu pulau Bali. Adanya aktivitas manusia,



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

pariwisata serta pembangunan seperti hotel dan reklamasi, berdampak pada kondisi padang lamun di Bali yang mengakibatkan banyak terjadinya degradasi. Wilayah pesisir Bali memiliki luas lamun yaitu sekitar 1.316 ha dan data kerusakan padang lamun di Bali berkisar 8 - 30,23% (Rahadiarta *et al.*, 2018). Salah satu tempat tumbuhnya lamun yaitu di Pantai Pejarakan dan Gili Putih Sumberkima, yang memiliki potensi dalam penyerapan karbondioksida. Penelitian mengenai kandungan karbon pada biomassa dan sedimen lamun belum pernah dilakukan sebelumnya di Pantai Pejarakan dan Gili Putih Sumberkima. Oleh karena itu, diperlukannya penelitian tentang kandungan karbon pada biomassa dan sedimen lamun. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui simpanan karbon pada biomassa dan sedimen lamun serta perbandingannya di Pantai Pejarakan dan Gili Putih Sumberkima. .

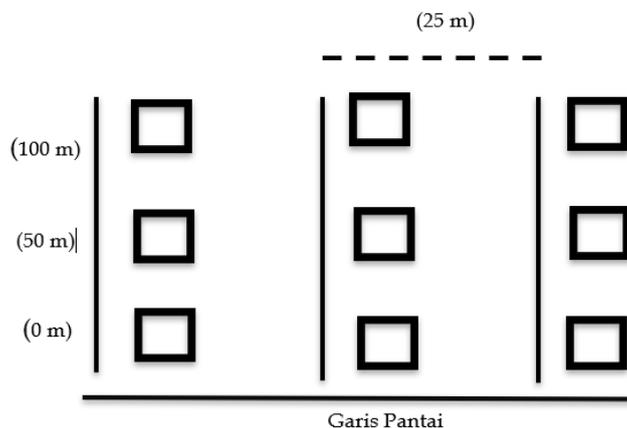
METODE

Waktu dan Tempat

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 7 sampai dengan 9 Agustus 2024 di Pantai Pejarakan (Stasiun 1) dan Gili Putih Sumberkima (Stasiun 2), Bali. Sampel biomassa dan sedimen lamun dianalisis selama satu bulan September-Oktober 2024 di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jenderal Soedirman. Metode yang digunakan untuk penentuan titik lokasi dengan metode purposive sampling, yaitu teknik pengambilan sampel yang dilakukan berdasarkan pertimbangan khusus yang dibuat oleh peneliti, dengan mempertimbangkan karakteristik atau sifat tertentu yang telah diketahui sebelumnya (Cahyani *et al.*, 2020).

Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan untuk mendukung proses penelitian mencakup *roll meter*, transek kuadran 50x50 cm, penanda plot, *core sampler*, *Global Positioning System (GPS)*, sekop, aluminium foil, *ziplock*, dan *cool box* yang digunakan untuk proses pengambilan data kerapatan, tutupan serta sampel lamun.



Gambar 2. Skema Transek Lamun

Multimeter digunakan mengukur parameter kualitas perairan. Sedangkan timbangan analitik, oven, *furnace*, laptop, dan alat tulis digunakan untuk mendukung proses pengolahan serta analisis sampel. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencangkup sampel biomassa dan sedimen lamun yang akan dianalisis kandungan karbon organik.

Pengambilan Data

a. Kerapatan dan Tutupan Lamun

Pengambilan data lamun dilakukan saat air laut surut rendah secara *purposive sampling* dengan menggunakan metode transek kuadran yang ditempatkan berdasarkan perbedaan kerapatan dan penutupan secara visual. Metode transek kuadran dimulai dengan membentangkan transek garis sejauh 100 m tegak lurus dengan garis pantai sejak ditemukannya lamun pertama. Sebanyak 3 transek garis dibentangkan ke arah laut dengan jarak 25 m setiap garisnya (Khairunnisa *et al.*, 2018). Transek kuadrat kemudian diletakkan sesuai dengan keterwakilan lamun secara acak, dengan jarak masing-masing transek kuadrat 50 meter.

Pengamatan kondisi tutupan lamun dan kerapatan lamun dilakukan menggunakan transek kuadran 0,5 m x 0,5 m dengan kisi 10 cm x 10 cm. Pengamatan tutupan lamun dilakukan dengan

menghitung berapa persen lamun menutupi areal dalam tiap kisi pengamatan. Perhitungan kerapatan jenis lamun dilakukan dengan menghitung berapa tegakan lamun yang terdapat dalam setiap kisi untuk setiap jenis lamun yang ada (Ansal *et al.*, 2017). Pengolahan data lamun yang diperoleh selanjutnya diolah dengan rumus sebagai berikut, (Fachrul, 2007):

$$K = \frac{n_i}{A}$$

Keterangan:

K = Kerapatan jenis ke-i

n_i = Total banyaknya individu jenis ke-i

A = Total luas wilayah sampel 50 cm x 50 cm

Hasil data kerapatan lamun yang telah didapat selanjutnya diolah dan kemudian dianalisis. Analisis kerapatan lamun memiliki kriteria klasifikasi tersendiri. Menurut Negara *et al.*, (2020) kerapatan lamun dapat dikategorikan berdasarkan pada **Tabel 1**.

Penutupan lamun (%) = Σ tutupan lamun kuadrat / Σ kuadrat seluruh transek

Hasil perhitungan tutupan lamun yang telah didapatkan kemudian dianalisis. Analisis pada tutupan lamun, berdasarkan

Tabel 1. Skala Kondisi Kerapatan Lamun

Skala	Kerapatan (ind/m ²)	Kondisi
1	<25	Sangat Jarang
2	25-224	Jarang
3	225-424	Agak Rapat
4	425-624	Rapat
5	>625	Sangat Rapat

(Negara *et al.*, 2020)**Tabel 2.** Kategori Persentase Tutupan Lamun

Kategori	Tutupan Lamun (%)
Jarang	0-25
Sedang	26-50
Padat	51-75
Sangat Padat	76-100

Rahmawati *et al.*, (2017) menyatakan pembagian kategori tutupan lamun yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

b. Sampel Biomassa dan Sedimen Lamun

Sampel biomassa lamun diambil di luar plot kuadrat terdekat, dan diperkirakan mewakili jenis yang ada di plot. Plot kuadrat yang digunakan berukuran 20 x 20 cm, yang dimasukkan ke dalam substrat yang di atasnya terdapat lamun. Pengambilan sampel digunakan sekop kecil berukuran lebar 20 cm dibenamkan ke dalam substrat di setiap sisi kuadrat 20 x 20 cm. Sampling diulang pada titik meter ke-0, 50, dan 100 pada setiap garis. Sampel dibersihkan kemudian disimpan di dalam kantong plastik atau *ziplock* dan diberi label sesuai dengan spesies dan plotnya (Pandiangan *et al.*, 2023). Sampel sedimen dilakukan menggunakan *sediment core* yang dimodifikasi menggunakan pipa paralon sepanjang 30 cm dengan diameter 7 cm (Irham *et al.*, 2020). Sampel sedimen yang sudah diambil dibungkus menggunakan aluminium foil dan disimpan didalam *coolbox* untuk menjaga dari kontaminasi, yang selanjutnya akan dianalisis di laboratorium (Nainggolan, 2011).

c. Kualitas Perairan dan Tipe Sedimen

Pengukuran kualitas perairan dilakukan menggunakan alat multimeter, berupa parameter suhu, pH, salinitas, dan *dissolve oxygen* dalam ppm. Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada daerah supratidal, intertidal dan subtidal digabungkan untuk mewakili keseluruhan tiap titik. Metode perasan atau *texture by feel* (Harahap, 2014), digunakan untuk mengidentifikasi jenis substrat atau sedimen secara kualitatif yang dilakukan langsung di lapangan. Kriteria jenis substrat :

1. Jika terasa butiran-butiran lepas dan dapat dibentuk, substrat tersebut diklasifikasikan sebagai jenis pasir. Warna pasir (putih atau hitam) dapat juga menjadi kriteria tambahan.
2. Jika terasa butiran-butiran kasar yang tercampur dengan pecahan karang, atau tidak dapat dibentuk karena merupakan endapan, substrat tersebut dianggap sebagai pasir berkarang.
3. Jika sedimen dapat dibentuk menjadi cincin dan terasa lembut, substrat tersebut dianggap sebagai jenis tekstur liat.

4. Jika terasa terdapat pecahan karang pada tekstur liat, substrat tersebut dianggap sebagai lumpur berbatu.

Pengukuran Persentase Karbon Organik

Pengolahan dan pengukuran stok karbon pada sedimen dan lamun dilakukan dengan metode *Loss on Ignition* (LOI), yang menghilangkan bahan organik melalui pembakaran di dalam tanur pada suhu 450-550°C selama 4-8 jam. Sampel pertama-tama dikeringkan dan ditimbang, kemudian dipanaskan dalam oven untuk menghilangkan air. Setelah homogenitas, sekitar 1 gram sampel dimasukkan cawan porselen yang telah ditimbang, lalu dibakar dalam tanur (*furnace*). Setelah pembakaran, sampel ditimbang kembali dan selisih beratnya menunjukkan kandungan bahan organik yang digunakan untuk menghitung karbon organik dalam sampel. Nilai bahan organik yang telah didapat dari proses pengeringan dan pengabuan kemudian dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%LOI \text{ bahan organik} = ((D-E)/(D-C)) \times 100$$

Keterangan:

- C : Bobot cawan porselen kosong
- D : Bobot cawan porselen + contoh
- E : Bobot cawan porselen + contoh setelah pemijaran (residu)

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai karbon organik yang didapatkan dari %LOI maka dilakukan koreksi sebagai berikut :

$$\%Corg = 0,40 \times \%LOI - 0,21$$

Karena dalam metode LOI bukan hanya karbon organik yang terukur tapi juga bahan organik lainnya di luar karbon seperti nitrogen, sulfur dan lainnya (Fourquean *et al.*, 2014).

Pengukuran Karbon Biomassa

Setelah %Corg dan berat kering diketahui, maka analisis kandungan karbon pada biomassa dapat dihitung berdasarkan rumus Fourquean *et al.*, (2014):

$$\text{Biomassa karbon} = \frac{\text{Berat kering (kg)}}{\text{Luas (m}^2\text{)}} \times \%C$$

$$\text{Konversi (Mg C/ha)} = \text{Biomassa karbon (kg C/m}^2\text{)} \times (\text{Mg/1000kg}) \times (10000 \text{ m}^2\text{/ha})$$

Perhitungan dilakukan pada setiap jenis lamun yang ditemukan dalam satu plot. Setelah dihitung dalam setiap plot selanjutnya dirata-ratakan sehingga diperoleh total biomassa dalam lokasi penelitian dengan satuan Mg C/ha. Nilai stok karbon biomassa (Mg C) di kawasan tersebut diketahui dengan cara mengalikan nilai stok karbon biomassa per satuan luas (Mg C/ha) dengan luas ekosistem lamun yang diketahui (ha).

$$\text{Stok karbon kawasan A (Mg C)} = \text{Mg C/ha} \times \text{luas ekosistem lamun kawasan A}$$

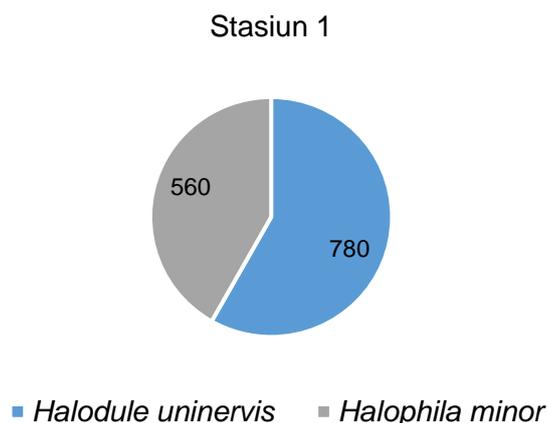
Pengukuran Karbon Sedimen

Pada sedimen, perhitungan *Dry Bulk Density* perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum menghitung kandungan karbon. Nilai *Dry Bulk Density* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Kauffman dan Donato, 2012):

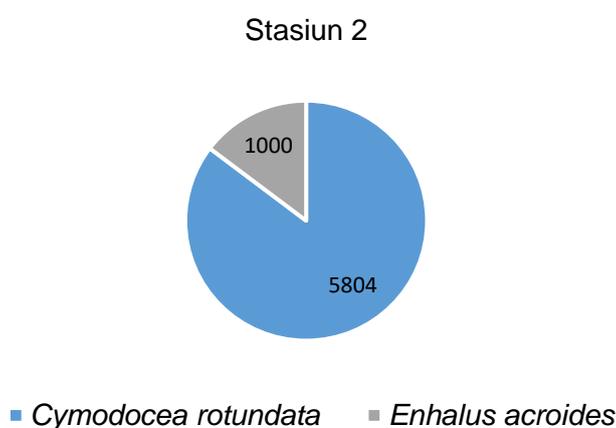
$$\text{Dry Bulk Density} = \frac{\text{Berat kering sampel (g)}}{\text{volume sampel (cm}^3\text{)}}$$

Setelah nilai *dry bulk density* diketahui, kemudian untuk mendapatkan besaran kandungan karbon dalam sedimen dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Karbon Sedimen A (Mg C/ha)} = \text{dry bulk density (g/cm}^3\text{)} \times \%Corg$$



Gambar 3. Kerapatan Lamun Stasiun 1



Gambar 4. Kerapatan Lamun Stasiun 2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan dan Tutupan Lamun

Berdasarkan hasil pengamatan didapatkan 2 spesies lamun yang terdapat di Pantai Pejarakan yaitu *Halodule uninervis* dan *Halophila minor* serta pada Pantai Sumberkima yaitu *Cymodocea rotundata* dan *Enhalus acoroides* tersaji dalam **Gambar 3.** dan **Gambar 4.**

Berdasarkan grafik kerapatan pada jenis *Halodule uninervis* menunjukkan angka 178 ind/m² lalu pada jenis *Halophila minor* menunjukkan angka 137 ind/m². Rata - rata kerapatan jenis lamun yang ada di pantai Pejarakan yaitu 157,5 ind/m² yang menunjukkan kondisi jarang. Kerapatan pada jenis *Cymodocea rotundata* menunjukkan angka 1387 ind/m² dan kerapatan jenis *Enhalus acroides*

menunjukkan angka 1000 ind/m². Kemudian, rata – rata kerapatan spesies di Gili Putih Sumberkima yaitu 812,5 ind/m² yang menunjukkan sangat rapat sesuai referensi dari (Negara *et al.*, 2020). Kerapatan tertinggi yaitu pada stasiun 2 dengan jenis *Cymodocea rotundata*, yaitu 5804 ind/m² yang menunjukkan kondisi sangat rapat dan kerapatan terendah pada stasiun 1 yaitu pada jenis *Halophila minor* yaitu 560 ind/m² namun masih menunjukkan kerapatan yang jarang. Kerapatan jenis pada stasiun 1 *Halodule uninervis* dan *Halophila minor* tergolong jarang, dengan kisaran 25–224 individu/m². *Halodule uninervis* lebih padat dibandingkan *Halophila minor* karena morfologinya yang lebih besar, sementara *Halophila minor* cenderung memiliki kerapatan lebih rendah karena bersaing

Tabel 3. Parameter Kualitas Perairan

Parameter	Baku mutu	Stasiun 1	Stasiun 2
Suhu (°C)	28-30	30,65	27,59
Salinitas (‰)	33-34	31,70	32,77
pH	7-8,5	6,19	7,79
DO (ppm)	>5	1,58	1,71

(PP RI No. 22 Tahun 2021)

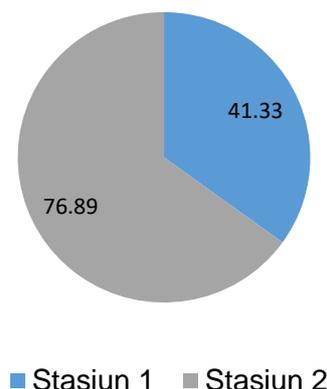
dalam penyerapan nutrisi dan memiliki ukuran morfologi yang lebih kecil.

Stasiun 2, terdapat perbedaan signifikan *Cymodocea rotundata* memiliki kerapatan sangat rapat, sementara *Enhalus acoroides* memiliki kerapatan agak rapat. *Enhalus acoroides* dapat mengalahkan lamun yang lebih kecil dalam persaingan untuk mendapatkan cahaya matahari dan nutrisi berkat ukuran dan kanopi daun yang lebih besar. Tingginya kerapatan *Cymodocea rotundata* dan *Enhalus acoroides* dikarenakan karakteristik substratnya yang berpasir, dalam sebuah kutipan bahwa karakteristik substrat berpengaruh terhadap struktur dan kelimpahan lamun (Dan *et al.*, 2024). Substrat dasar yang lebih halus memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan substrat kasar sehingga akar lebih mudah dalam penyerapan nutrisi.

Perbedaan kerapatan di kedua stasiun dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan. Suhu pada stasiun 1 dan stasiun 2 berkisar antara 27 – 30 °C. Kondisi tersebut sesuai dengan baku mutu kualitas perairan bagi ekosistem lamun yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Suhu dapat berpengaruh terhadap berbagai proses fisiologi, seperti fotosintesis, pertumbuhan, dan reproduksi. Hal ini mengakibatkan penurunan yang signifikan dalam proses fotosintesis jika suhu berada di luar rentang optimal (Hartini *et al.*, 2024). Pada parameter salinitas, stasiun 1 dan stasiun 2 memiliki nilai yang tidak jauh

berbeda, yaitu 31,70 ‰ dan 32,77 ‰. Salinitas dapat memengaruhi biomassa, kerapatan, dan produktivitas lamun. Setiap spesies lamun memiliki nilai toleransi salinitas yang berbeda. Menurut Parawansa *et al.* (2020) sebagian besar lamun tumbuh optimal pada kisaran salinitas 24 - 35 ‰.

Hasil pengukuran derajat keasaman (pH) berkisar antara 6,19 - 7,79. Variasi nilai pH pada suatu perairan dapat mempengaruhi keberlangsungan hidup biota. Nilai pH yang ideal bagi ekosistem lamun berkisar antara 7 - 8,5. Tingginya nilai pH berkaitan dengan pemanasan global yang menyebabkan asidifikasi laut sehingga berdampak negatif bagi kehidupan laut. Lamun memiliki kemampuan untuk menyerap dan menyimpan karbon, sehingga perairan di sekitar lamun cenderung jarang mengalami pengasaman (Rayyis *et al.*, 2021). Nilai DO yang didapatkan berkisar antara 1,58 - 1,71 ppm, yang menunjukkan nilai tersebut jauh dibawah nilai baku mutu. Rendahnya nilai DO dapat disebabkan oleh dua faktor, yakni faktor alam seperti masukan bahan organik seperti pencemaran limbah organik atau faktor manusia yaitu *human error* pada saat penggunaan alat. Pada penelitian Setyawati *et al.* (2021) kondisi DO di perairan Sumberkima berkisar antara 6,9 - 7 ppm. Air dengan konsentrasi yang rendah dapat memengaruhi kesehatan organisme karena dapat menyebabkan serangan parasit dan penyakit (Setianingrum, *et al.*, 2022). Faktor lingkungan lainnya seperti substrat, kecepatan arus, dan kecerahan juga dapat



Gambar 5. Persentase Tutupan Lamun

memengaruhi produktivitas lamun (Sutadi et al., 2021).

Tutupan lamun di stasiun 1 Pantai Pejarakan berdasarkan **Tabel 2**. Kategori Persentase Tutupan Lamun masuk dalam kategori sedang dengan nilai tutupan lamun 41,33%. Sedangkan, tutupan lamun yang ada di stasiun 2 Gili Putih Sumberkima dengan nilai tutupan 76,89% termasuk ke dalam kategori sangat rapat. Hasil persentase tutupan lamun dapat ditentukan kondisi statusnya berdasarkan (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 200 Tahun 2004) dalam (Rahmawati et al., 2017), kondisi padang lamun di Pantai Pejarakan dikategorikan kurang sehat. Status kondisi lamun di Gili Putih Sumberkima termasuk dalam kondisi sehat. Salah satu penyebab terjadinya perubahan atau degradasi lamun di Pantai Pejarakan disebabkan oleh faktor sedimennya. Hal ini dikarenakan sedimen yang berada di Pantai Pejarakan memiliki tipe sedimen berlumpur. Menurut (Supratman et al., 2024) sedimen berdampak pada ekosistem padang lamun karena mampu mengurangi penetrasi cahaya matahari sehingga menghambat fotosintesis, penguburan tumbuhan lamun, dan sedimen halus yang mengendap akan mengurangi ruang pori substrat dan menurunkan kondisi fisika-kimia substrat

lamun dengan mengurangi porositas dan permeabilitas. Hal ini sedimentasi memiliki dampak yang sangat serius terhadap keberadaan lamun.

Tingginya tutupan dan sebaran lamun di stasiun 2 dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu parameter kualitas air, adaptasi morfologi dari lamun, kondisi lingkungan yang cocok dan kemampuan beradaptasi pada rentang lingkungan yang lebar. Secara umum morfologi *Cymodocea rotundata* pada lokasi pengamatan berukuran cukup besar dan daunnya rimbun sehingga mempengaruhi dalam pemanfaatan ruang pada kuadran pengamatan. Selain itu jenis *Enhalus acoroides* memiliki karakteristik morfologi yang menguntungkan untuk berkompetisi di ekosistem padang lamun, hal ini dikarenakan daun yang lebar dan panjang, bentuk akar dan sistem akar yang kuat sehingga dapat membantu dan menjaga stabilitas pada beberapa tipe substrat.

Rendahnya tutupan dan sebaran lamun pada stasiun 1 yang memiliki spesies *Halodule uninervis* dan *Halophila minor*, disebabkan karena morfologi lamun jenis ini memiliki ukuran relatif lebih kecil. Karakter morfologi jenis lamun *Halophila* tidak menguntungkan untuk berkompetisi dengan jenis lamun lainnya. Lamun jenis *Halophila* tidak ditemukan secara

Tabel 4. Stok Karbon Biomassa Lamun

Stasiun	Spesies	Biomassa (g BK/m ²)	Karbon (Mg C/ha)
1	<i>Halodule uninervis</i>	49,83	1,93
	<i>Halophila minor</i>	1,51	0,04
	Total	51,34	1,976
2	<i>Cymodocea rotundata</i>	890	14,41
	<i>Enhalus acroides</i>	952,36	17,78
	Total	1842,36	32,19

menyeluruh di stasiun 1, jenis ini umumnya ditemukan di perairan dengan substrat berpasir dengan penetrasi cahaya atau kecerahan yang baik. Selain itu jenis lamun *Halophila* rentan terhadap gangguan terutama sedimentasi, dikarenakan ukuran yang kecil mudah terkubur dan sulit mendapatkan cahaya matahari, kemudian berdampak pada berkurangnya kemampuan fotosintesis sehingga menyebabkan kematian. Meskipun jenis *Halophila* rentan terhadap gangguan, akan tetapi jenis lamun ini merupakan lamun pionir yang memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat dan keberadaannya sangat penting untuk pemulihan ekosistem padang lamun ketika terjadi gangguan dan ancaman (Nugraha *et al.*, 2023).

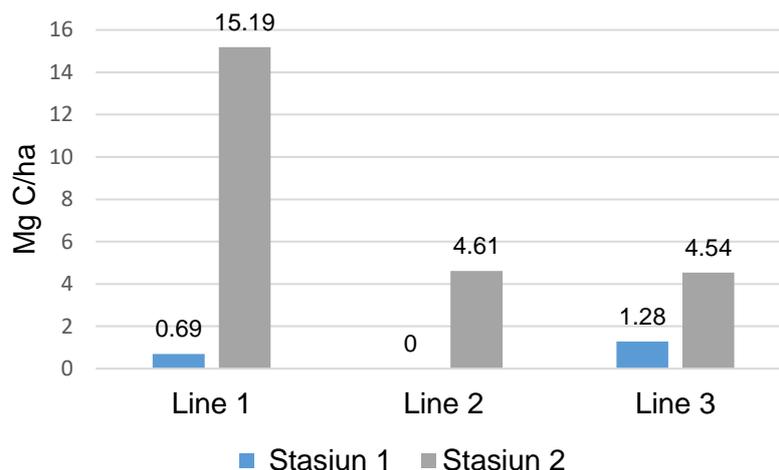
Estimasi Stok Karbon Biomassa Lamun

Nilai total biomassa dan kandungan karbon lamun pada stasiun 2 lebih banyak daripada stasiun 1. Nilai estimasi stok karbon biomassa lamun disajikan pada **Tabel 4.**

Nilai total biomassa pada stasiun 1 yang terletak di pantai Pejarakan diperoleh sebesar 51,34 g BK/m² dan total nilai karbonnya sebesar 1,97 Mg C/ha. Spesies *Halodule uninervis* memiliki nilai biomassa sebesar 49,83 g BK/m² dan spesies *Halophila minor* memiliki nilai 1,51 g BK/m²

sedangkan untuk nilai karbon pada spesies *Halodule uninervis* memiliki nilai 1,93 Mg C/ha dan spesies *Halophila minor* memiliki nilai 0,04 Mg C/ha. Total biomassa pada stasiun 2 yang terletak di Gili Putih Sumberkima memiliki nilai 1842,36 g BK/m² dan total nilai karbonnya adalah 32,19 Mg C/ha. *Enhalus acoroides* memiliki nilai biomassa sebesar 952,36 g BK/m² dan nilai karbon sebesar 14,41 Mg C/ha. Sementara itu *Cymodocea rotundata* memiliki nilai biomassa 890 g BK/m² dengan nilai karbonnya adalah 17,78 Mg C/ha. Kedua stasiun tersebut memiliki perbedaan nilai biomassa sebesar 1791,02 g BK/m² dan nilai karbon 30,22 Mg C/ha.

Perbedaan nilai biomassa di setiap stasiun dipengaruhi oleh kerapatan dan karena adanya perbedaan morfologi antar spesies, seperti *Halodule uninervis* yang memiliki morfologi lebih besar daripada *Halophila minor* dan ini mempengaruhi kandungan biomassa dan karbon lamun. Lamun yang berukuran besar cenderung memiliki biomassa yang tinggi (Hartati *et al.*, 2017). Kerapatan juga memiliki hubungan terhadap biomassa dan karbon yang menunjukkan keterkaitan yang berbanding lurus. Semakin tinggi kerapatan maka semakin besar karbon yang terserap di dalam lamun. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Hilyana *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa



Gambar 6. Estimasi Stok Karbon Biomassa

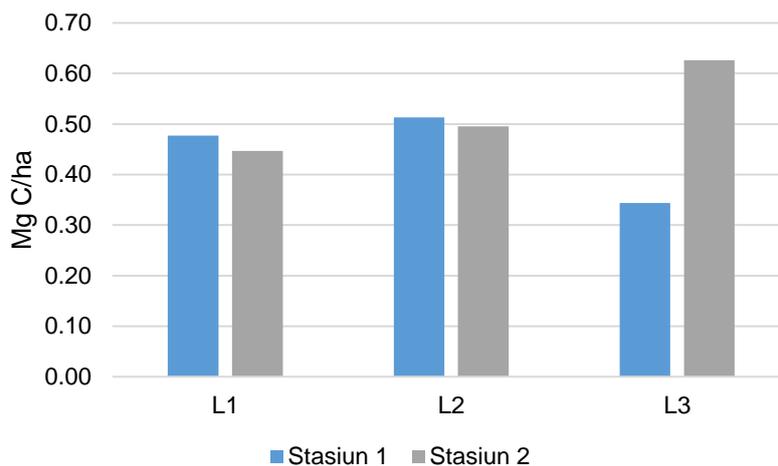
kerapatan morfologi lamun mampu mempengaruhi stok karbon pada lamun.

Estimasi stok karbon lamun yang berasal dari stasiun 1 Pantai Pejarakan ditampilkan pada **Gambar 6**. mempunyai kisaran nilai antara 0 Mg C/ha – 1,28 Mg C/ha. Stok karbon terendah ditemukan pada line 2, sedangkan stok karbon tertinggi terdapat pada line 3 dengan nilai 1,28 Mg C/ha. Stok karbon stasiun 2 memiliki rentang nilai 4,54 C/ha - 15,19 Mg C/ha. Stok karbon line pertama berkisar 15,19 Mg C/ha, line kedua 4,61 Mg C/ha dan line ketiga 4,54 Mg C/ha. Perbedaan estimasi stok karbon pada setiap line bisa disebabkan karena adanya aktivitas antropogenik pada lokasi penelitian. Berdasarkan pengamatan secara langsung di stasiun 1 Pantai Pejarakan, lokasi tersebut berdekatan langsung dengan pemukiman warga dan terlihat adanya aktivitas pelayaran dan sebagian area yang digunakan sebagai tempat berlabuh kapal. Sedangkan pada stasiun 2 Gili Putih Sumberkima lokasi tersebut tidak berpenghuni dan hanya dijadikan sebagai tempat wisata. Sesuai dengan penelitian Negara *et al.* (2020) bahwa kegiatan manusia di wilayah pesisir seperti rekreasi atau wisata pantai dan aktivitas lainnya dapat mempengaruhi keberadaan lamun secara langsung atau tidak langsung.

Estimasi Stok Karbon Sedimen

Nilai estimasi karbon sedimen pada 2 stasiun penelitian kali ini memiliki perbedaan yang tidak begitu signifikan, dimana berada pada rentang 0,444-0,536 Mg C/ha. Perbedaan estimasi tersebut disebabkan oleh berbagai faktor seperti kerapatan ekosistem dan tekstur substrat. Menurut (Pangestika *et al.*, 2023), nilai karbon sedimen dipengaruhi oleh beberapa kondisi lingkungan dan tekstur sedimen ekosistem tersebut, ukuran sedimen yang lebih halus juga biasanya memiliki ikatan karbon organik yang kuat. Sedimen yang berada di bawah biomassa merupakan bagian yang berperan penting dalam menyimpan karbon dalam jangka waktu panjang karena karbon yang tersimpan pada sedimen sedikit dipengaruhi oleh faktor fisik lingkungan sehingga padang lamun dianggap sebagai *carbon sinker* yang efektif (Miyajima *et al.*, 2015).

Total estimasi karbon sedimen kedua stasiun, ditampilkan pada **Gambar 7**. dengan variasi karbon sedimen di berbagai *line* terdiri dari 9 plot pengamatan di setiap stasiun. Estimasi stok karbon sedimen pada Pantai Pejarakan memiliki rentang 0,344 – 0,513 Mg C/ha dengan rata-rata sebesar 0,444 Mg C/ha dan Gili



Gambar 7. Estimasi Stok Karbon Sedimen

Putih Sumberkima berada pada rentang 0,175-0,992 Mg C/Ha dengan rata-rata 0,536 Mg C/ha. Walaupun tidak terlihat perbedaan yang signifikan, kandungan karbon pada Pantai Pejarakan memiliki nilai lebih kecil dibanding Gili Putih Sumberkima, hal ini tidak terlepas dari biomassa lamun yang lebih tinggi pada Gili Putih Sumberkima. Graha *et al.* (2016) menyatakan bahwa variasi kandungan karbon lamun dipengaruhi oleh perbedaan biomassa antar jenis ataupun antar jaringan. Semakin tinggi kandungan biomassa pada lamun maka nilai kandungan karbon pada jaringan lamun juga semakin meningkat, hal inilah yang mempengaruhi besaran karbon pada sedimen. Hal tersebut juga diperkuat oleh pernyataan Serrano *et al.*, (2016) Tingginya konsentrasi karbon organik di sedimen dapat disebabkan oleh tingginya biomassa lamun, dimana Kondisi lamun dengan biomassa yang tinggi tersebut dapat membantu proses akumulasi partikel sedimen berukuran halus sehingga

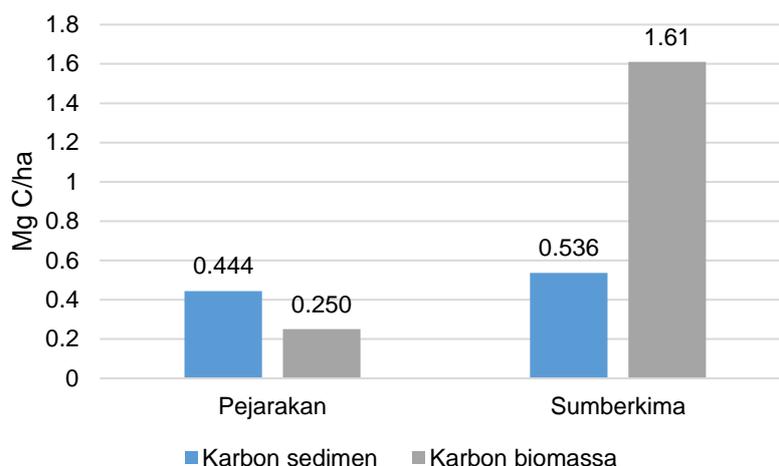
meningkatkan konsentrasi karbon organik di sedimen.

Sedimen lamun melakukan proses penyimpanan karbon melalui proses fotosintesis yang akan ditimbun di sedimen ekosistem lamun. Karbon sedimen yang telah terakumulasi di padang lamun tidak hanya berasal dari produksi lamun saja, melainkan masukan dari material organik yang terbawa oleh arus dan kemudian terendapkan pada sedimen lamun (Kusuma *et al.*, 2024). Selain itu, Kusuma (2024) juga menambahkan bahwa akumulasi karbon pada sedimen berasal dari serasah. Serasah adalah sumber bahan organik di perairan yang melalui proses dekomposisi dan akan dirombak oleh mikroba menjadi energi dan berbagai senyawa sederhana. Serasah itu sendiri merupakan bagian tanaman yang telah gugur berupa daun dan rintang yang terletak di permukaan sedimen. Berdasarkan pengamatan secara visual yang ditampilkan pada **Tabel 5.** pada umumnya kondisi tekstur sedimen pada Gili Putih Sumberkima didominasi oleh sedimen

Tabel 5. Karakteristik Sedimen

Stasiun	Karakteristik
1	Pasir berlumpur dan pasir berkarang
2	Berpasir dan pasir berlumpur disertai dengan pecahan karang

Perbandingan Estimasi Stok Karbon Pantai Pejarakan dan Gili Putih Sumberkima



Gambar 8. Perbandingan Estimasi Stok Karbon Stasiun 1 dan 2

berpasir pada bagian depan dekat dengan garis pantai dan pasir berlumpur pada bagian belakang yang disertai pecahan-pecahan karang kecil, sedangkan Pantai Pejarakan memiliki sedimen dengan tipe pasir berlumpur pada bagian depan dekat garis pantai dan pasir disertai pecahan karang di bagian belakang.

Menurut Setyawati *et al.* (2021) Gili Putih Sumberkima memiliki jenis substrat yaitu pasir berlumpur dengan pantai yang memiliki terumbu karang. Pada substrat di pantai ini dapat dijumpai pecahan – pecahan terumbu karang. Ningrum *et al.* (2020) dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa tipe substrat pada sedimen lamun mempengaruhi kemampuan penyerapan karbon. Tipe substrat yang baik menyimpan karbon adalah lanau, lumpur, dan lempung karena memiliki tekstur lebih padat sehingga optimal mengikat karbon. Rasong *et al.* (2024) juga menambahkan bahwa sumber kandungan karbon organik pada sedimen lamun berada pada kedalaman 0-10 m dari biomassa lamun. Karbon organik pada sedimen ekosistem lamun berasal dari serasah jaringan lamun dan sisanya berasal dari lingkungan sekitar ekosistem

lamun. Hal tersebut juga diperkuat oleh Sakmiana *et al.*, (2023) bahwa kedalaman sampel sedimen yang digunakan dalam menghitung stok karbon dapat memengaruhi tinggi rendahnya perhitungan stok karbon bagian sedimen.

Hasil analisis data estimasi stok karbon dari dua stasiun menunjukkan perbedaan yang signifikan. Nilai estimasi stok karbon di Pantai Pejarakan sebesar 0,25 Mg C/Ha dan Gili Putih Sumberkima sebesar 1,61 Mg C/H. Perbedaan yang cukup besar ini diindikasikan karena adanya perbedaan spesies yang tumbuh di kedua stasiun. Spesies lamun yang tumbuh di stasiun 2 didominasi oleh *Enhalus acoroides* dan *Cymodocea rotundata*, sedangkan spesies yang tumbuh di stasiun 1 didominasi oleh *Halodule uninervis*. Ukuran lamun yang lebih besar mempengaruhi nilai stok karbon biomassa yang dihasilkan dan ukuran tubuh berbanding lurus dengan nilai stok karbon biomassa yang terkandung di dalamnya.

Khairunnisa *et al.* (2018) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa setiap jenis lamun memiliki kemampuan penyerapan karbon yang berbeda. Lamun-

lamun yang berukuran lebih besar memiliki kemampuan penyerapan karbon yang lebih baik daripada spesies lamun yang berukuran kecil, hal ini berbanding lurus dengan kemampuan penghasil biomassa. Supriadi *et al.* (2014) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa besarnya serapan karbon oleh spesies *Enhalus acoroides* disebabkan karena ukuran lamun yang besar dan persebarannya yang luas serta spesies ini sangat berkontribusi banyak dalam penyerapan karbon saat musim kemarau. Perbedaan yang signifikan tersebut juga dipengaruhi oleh jenis sedimennya. Tipe sedimen yang cocok untuk pertumbuhan lamun membuat lamun dapat menyerap karbon dengan lebih optimal. *Enhalus acoroides* umumnya tumbuh di tipe sedimen pasir atau pasir berlumpur serta dapat tumbuh menjadi padang yang monospesifik, juga tumbuh pada substrat berukuran sedang dan kasar mendominasi padang lamun campuran (Bratakusuma *et al.*, 2013). Spesies *Cymodocea rotundata* atau dikenal sebagai lamun ujung bulat (*round tipped seagrass*) tumbuh di substrat pasir, kadang pecahan karang dan sedikit berlumpur (Naue *et al.*, 2024). Lamun ini juga dapat tumbuh pada substrat berpasir dan berlumpur karena kedua substrat ini mudah di tembus oleh akar lamun sehingga memungkinkan untuk lamun dapat tumbuh pada substrat tersebut (Charisma *et al.*, 2016).

Menurut hasil dari penelitian yang telah dilakukan didapati bahwa perbandingan estimasi stok karbon sedimen dari kedua pantai memiliki perbedaan sebesar 0,092 Mg C/ha. Estimasi stok karbon di Gili Putih Sumberkima memiliki nilai yang lebih besar yaitu dengan nilai 0,536 Mg C/ha sedangkan di Pantai Pejarakan memiliki nilai 0,444 Mg C/ha. Perbedaan nilai estimasi stok karbon di kedua pantai ini

dapat disebabkan karena perbedaan karakteristik sedimen yang ada. Tipe sedimen berlumpur dapat menyerap lebih banyak karbon dibandingkan dengan tipe berpasir. Nilai estimasi stok karbon sedimen dipengaruhi oleh jenis lamun yang tumbuh, semakin rapat dan besar lamun yang tumbuh maka akan semakin terpengaruh pula nilai estimasi stok karbonnya. Hasil ini sesuai dengan pernyataan Saputra *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa estimasi stok karbon yang tersimpan di padang lamun dipengaruhi oleh luas lamun dan kerapatan lamun.

Tipe sedimen juga berpengaruh signifikan terhadap kemampuan serapan dan penyimpanan karbon di ekosistem lamun. Sedimen dengan tipe lebih halus seperti lumpur dan lanau mampu menyerap dan menyimpan karbon organik lebih banyak dibandingkan dengan sedimen berpasir. Hal ini disebabkan karena sedimen yang lebih halus seperti lumpur memiliki ukuran partikel yang lebih kecil, sehingga luas permukaannya lebih besar untuk mengikat bahan organik dan karbon (Khairunnisa *et al.*, 2023). Luasan area lamun yang ada juga akan mempengaruhi serapan sedimen yang berada dibawahnya karena lamun membantu sedimen dalam menyerap karbon, hal ini sesuai dengan referensi dari (Rahayu *et al.*, 2023).

Faktor lain yang dapat mempengaruhi serapan sedimen salah satunya juga ada topografi. Topografi mempunyai pengaruh besar terhadap seberapa banyak karbon yang bisa diserap oleh sedimen di padang lamun. Dari berbagai penelitian, ternyata serapan karbon sedimen pada padang lamun yang rapat bisa menyimpan lebih banyak karbon organik (Corg) dibandingkan padang lamun yang jarang. Di area berpasir, padang lamun yang jarang cenderung menyimpan

lebih sedikit karbon karena lebih bergantung pada sumber karbon dari luar (Ricart *et al.*, 2017). Selain itu, kondisi geomorfologi seperti estuari, laguna, dan terumbu juga ikut berperan dalam penyerapan karbon. Padang lamun yang ada di laguna dan terumbu bisa menyimpan karbon jauh lebih banyak dibandingkan yang ada di estuari (Alemu I *et al.*, 2022). Karakteristik sedimen, seperti ukuran butir dan kepadatan, juga penting misalnya, sedimen yang lebih halus biasanya akan menampung lebih banyak karbon (Lima *et al.*, 2020).

Faktor lingkungan seperti kompleksitas kanopi lamun, kedalaman air, kecerahan, dan tinggi gelombang juga mempengaruhi kandungan karbon. Semakin kompleks strukturnya dan semakin rendah gelombangnya, semakin banyak karbon yang bisa disimpan (Samper-Villarreal *et al.*, 2016). Namun, kondisi geofisik bisa jadi penghalang, seperti yang terjadi di Zanzibar, di mana sedimen berkualitas rendah menghambat penyimpanan karbon meskipun memiliki banyak biomassa (Belshe *et al.*, 2018). Banyak faktor yang saling berinteraksi, baik dari topografi, lingkungan, maupun karakteristik biologi spesies lamun yang akan mempengaruhi seberapa banyak karbon yang bisa disimpan di ekosistem padang lamun.

KESIMPULAN.

Berdasarkan penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa lamun di Pantai Pejarakan didominasi oleh spesies *Halodule uninervis*, sementara di Gili Putih Sumberkima didominasi oleh *Cymodocea rotundata*. Tutupan lamun di Pantai Pejarakan termasuk dalam kategori sedang, sedangkan di Gili Putih Sumberkima memiliki tutupan lamun yang tergolong rapat. Secara keseluruhan, nilai

estimasi stok karbon biomassa lamun di Gili Putih Sumberkima lebih besar daripada di Pantai Pejarakan, dan hal yang sama juga berlaku untuk estimasi stok karbon sedimen, yang sedikit lebih besar di Gili Putih Sumberkima. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh tingginya tutupan lamun di kedua lokasi, yang pada gilirannya mempengaruhi serapan karbon di sedimen.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Kami mengucapkan terimakasih banyak yang sebesar-besarnya kepada Dr.rer.nat. Riyanti, S.T, M.Biotech, Mukti Trenggono, S.kel., M.Si, serta First Institute of Oceanography (FIO) atas dukungan finansial dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian ini. Penghargaan khusus kami sampaikan kepada Raihan Ramadhan, Nurlala Agustin, dan Ghinatanitha Haqu Haryadinaru S. Si selaku mentor yang telah memberikan bimbingan masukan dan kerja sama yang tak ternilai sepanjang penulisan artikel ini. Terakhir terimakasih kepada para reviewer dan editor yang telah memberikan saran konstruksi untuk penyempurnaan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adli, A., Rizal, A., dan Ya'la, Z. R. 2016. Profil Ekosistem Lamun Sebagai Salah Satu Indikator Kesehatan Pesisir Perairan Sabang Tende Kabupaten Tolitoli. *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*. 5(1): 49–62.
- Alemu I, J. B., Yaakub, S. M., Yando, E. S., Lau, R. Y. S., Lim, C. C., Puah, J. Y., dan Friess, D. A. 2022. Geomorphic gradients in shallow seagrass carbon stocks. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 265: 107681.
- Ansal, M. H., Priosambodo, D., Litaay, M., Salam, M. A., Biologi, D., Matematika, F., dan Alam, P. 2017.

- Muh. haidir ansal.2016. *Tesis*. 8(15): 29–37.
- Arora, N. K., & Mishra, I. (2023). Sustainable development goal 13: recent progress and challenges to climate action. *Environmental Sustainability*, 6(3), 297-301.
- Aziza, Nurul. 2023. *Metodologi Penelitian 1: Deskriptif Kuantitatif*. Media Sains Indonesia. Universitas Maarif Hastim Latif, Sidoarjo. 13 hal.
- Belshe, E. F., Hoeijmakers, D., Herran, N., Mtolera, M., dan Teichberg, M. 2018. Seagrass community-level controls over organic carbon storage are constrained by geophysical attributes within meadows of Zanzibar, Tanzania. *Biogeosciences*. 15(14): 4609–4626.
- Bratakusuma, N., Sahami, F. M., dan Nursinar, S. 2013. Komposisi Jenis, Kerapatan Dan Tingkat Kemerataan Lamun Di Desa Otiola Kecamatan Ponelo Kepulauan Kabupaten Gorontalo Utara. *Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 1(3): 139–146.
- Cahyani, A. P. P., Hakam, F., & Nurbaya, F. 2020. Evaluasi penerapan sistem informasi manajemen puskesmas (simpus) dengan metode hot-fit di puskesmas gatak. *Jurnal Manajemen Informasi Dan Administrasi Kesehatan (JMIAK)*, 3(2): 20-26.
- Charisma, L., Kelautan, J. I., Umrah, F., Karlina, I., dan Pratomo, A. 2016. Laju pertumbuhan lamun *Cymodocea rotundata* dengan teknik transplantasi terfs dan plugs pada jumlah tegakan yang berbeda. Advance Access published 2016.
- Dompak, T., Harefa, E., dan Salsabila, L. 2024. Analisis Komparatif Kebijakan Blue Carbon Di Indonesia Dan Meksiko. *In Prosiding Seminar Nasional Ilmu Sosial dan Teknologi (SNISTEK)*. 6: 126–135.
- Fourquean, J. W., Johnson, B., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Lovelock, C., Saintilan, N., Alongi, D. M., Cifuentes, M., Copertino, M., Crooks, S., Duarte, C. M., Fortes, M., Howard, J., Hutahaean, A., *et al.* 2014. Field sampling of vegetative carbon pools in coastal ecosystems. *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal marshes, and seagrass meadows*. (November): 67–108.
- Graha, Y. I., Arthana, I. W., dan Karang, I. W. G. A. 2016. Simpanan Karbon Padang Lamun. *Ecotrophic*. 10(1): 46–53.
- Hartati, R., Pratikto, I., dan Pratiwi, T. N. 2017. Biomassa dan Estimasi Simpanan Karbon pada Ekosistem Padang Lamun di Pulau Menjangan Kecil dan Pulau Sintok, Kepulauan Karimunjawa. *Buletin Oseanografi Marina*. 6(1): 74.
- Hartini, Y., Hidayati, J. R., dan Idris, F. 2024. Kerapatan dan distribusi lamun (seagrass) di perairan senggarang, Kota Tanjungpinang. *Jurnal Akuatika Indonesia*. 9(1): 1-13.
- Hilyana, S., Rahman, F. A., dan Hadi, A. P. 2022. Penyerapan Karbon Pada Ekosistem Lamun Di Kawasan Perairan Gili Maringkik Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat, Indonesia. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*. 8(1): 102–112.
- Irham, M., Adhla, S., dan Octavina, C. 2020. Analisis kimia sedimen di sekitar ekosistem mangrove desa Lambadeuk, Peukan Bada, Aceh Besar. *Depik*. 9(1): 1–7.
- J. Boone, K. 2012. Protocols for the measurement , monitoring and reporting of structure , biomass and. (January): 32.
- Jalaludin, M., Octaviyani, I. N., Praninda Putri, A. N., Octaviyani, W., dan

- Aldiansyah, I. 2020. Padang Lamun Sebagai Ekosistem Penunjang Kehidupan Biota Laut Di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Indonesia. *Jurnal Geografi Gea*. 20(1): 44–53.
- Khairunnisa, K., Harahap, Z. A., dan Farahisah, H. 2023. The Variability of Sedimentary Carbon Stock in Seagrass Ecosystem in Central Tapanuli, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1221(1).
- Khairunnisa, Setyobudiandi, I., dan Boer, M. 2018. The Estimation of Seagrass Carbon Stocks in the East Coast of Bintan Regency. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 10(3): 639–650.
- Kusuma, A. H. (2024). Study of Carbon Storage in Mangrove Vegetation at Sumbernadi Village, Ketapang Distric, South Lampung Regency, Province of Lampung. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2), 161-168.
- Kusuma, A. hari, Efendi, E., Siregar, A. M., Adi, N. S., Rustam, A., dan Laresty, N. A. 2024. Estimasi Penyimpanan Karbon Ekosistem Lamun Di Desa Sukajaya, Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Perikanan Unram*. 14(1): 402–416.
- Lima, Ward R. D., Joyce C. B. 2020. Environmental drivers of sediment carbon storage in temperate seagrass meadows. Aquatic Research Centre.
- Lindsey, R., and Dahlman, L. 2024. Climate Change: Global Temperature. [Climate Change: Global Temperature | NOAA Climate.gov](https://www.noaa.gov/climate-change/global-temperature). Retrieved November, 3, 2024, from NOAA's National Centers for Environmental Information.
- Miyajima, T., Hori, M., Hamaguchi, M., Shimabukuro, H., Adachi, H., Yamano, H., & Nakaoka, M. (2015). Geographic variability in organic carbon stock and accumulation rate in sediments of East and Southeast Asian seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 29(4), 397-415.
- Nainggolan, P. 2011. Microsoft Word - DISTRIBUSI SPASIAL DAN PENGELOLAAN LAMUN. 95.
- Naue, N., Oliy, A. H., dan Kadim, M. K. 2024. Laju Pertumbuhan Lamun dan Organisme Asosiatif di Perairan Desa Olimoo'o 2. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 11(2): 105–109.
- Negara, I. K. S., Karang, I. W. G. A., dan Putra, I. N. G. 2020. Simpanan Karbon Padang Lamun di Perairan Pantai Nusa Lembongan, Klungkung, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*. 3(2): 82–89.
- Ningrum, K. P., Endrawati, H., dan Riniatsih, I. 2020. Simpanan Karbon pada Ekosistem Lamun di Perairan Alang – Alang dan Perairan Pancuran Karimunjawa, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*. 9(3): 289–295.
- Nugraha, A. H., Syahputra, I. P., Dharmawan, I. W. E., Arbi, U. Y., Hermanto, B., Kurniawan, F., Roni, S., Wibisono, G., dan Rivani, A. 2023. Sebaran Jenis dan Kondisi Tutupan Lamun di Perairan Kepulauan Riau. *Journal of Marine Research*. 12(3): 431–438.
- Pandiangan, J. K., Munasik, M., dan Riniatsih, I. 2023. Estimasi Serapan Karbon Lamun di Pulau Kelapa Dua, Taman Nasional Kepulauan Seribu. *Journal of Marine Research; Vol 12, No 2 (2023): Journal of Marine ResearchDO* - 10.14710/jmr.v12i2.35572. 12(2): 258–266.
- Pangestika, M. A., Soenardjo, N., dan Pramesti, R. 2023. Estimasi Simpanan Karbon Sedimen

- Mangrove di Hutan Mangrove Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen. *Journal of Marine Research*. 12(1): 89–94.
- Rahadiarta, I. K. V. S., Putra, I. D. N. N., dan Suteja, Y. 2018. Simpanan Karbon Pada Padang Lamun di Kawasan Pantai Mengiat, Nusa Dua Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 5(1): 1.
- Rahayu, Y. P., Kusumaningtyas, M. A., Daulat, A., Rustam, A., Suryono, D. D., Salim, H. L., Ati, R. N. A., Sudirman, N., Kepel, T. L., Hutahaean, A. A., dan Adi, N. S. 2023. Sedimentary seagrass carbon stock and sources of organic carbon across contrasting seagrass meadows in Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*. 30(43): 97754–97764.
- Rahmawati, S., Irawan, A., Supriyadi, indarto H., dan Husni Azkab. 2017. Panduan Pemantauan Penilaian Kondisi Padang Lamun. *Coremap Cti Lipi*. (2017): 35.
- Rani, C., Basri, M., Bahar, D. Y., dan Yolanda, M. 2020. Karakteristik Morfologi Lamun Thalassodendron ciliatum (Forsskall) Hartog 1970 (Kelas: Magnoliopsida, Famili: Cymodoceaceae) Berdasarkan Tipe Substrat di Perairan Pantai Timur Kabupaten Bulukumba. *Jurnal Kelautan Tropis*. 23(1): 85.
- Rasong, H. S., Dewa, A., Amalina, N., Ramadhan, R., dan Fitriani, A. 2024. Cadangan Karbon pada Komunitas Padang Lamun di Pulau Bawean. *Maiyah*. 3(2): 63.
- Rayyis, A., Suryono, dan Supriyantini, E. 2021. Pengaruh Nitrat Dan Fosfat dalam Sedimen terhadap Kerapatan Lamun di Jepara. *Marine Research*. 10(2):259-266.
- Ricart, A. M., Pérez, M., dan Romero, J. 2017. Landscape configuration modulates carbon storage in seagrass sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 185(September 2021): 69–76.
- Rustam, A, N.S. Adi, A. Daulat, W. Kiswara, D.S. Yusup, & R.A. Rappe. 2019. *Pedoman pengukuran karbon di ekosistem padang lamun*. ITB Press. Bandung. 90 hal.
- Sakmiana, A. F., Papatungan, M. S., Kusumaningrum, W., dan Rahmawati, S. 2023. Estimasi Konsentrasi dan Stok Karbon Organik pada Sedimen Lamun di Desa Selangan, Kalimantan Timur. *Journal of Marine Research*. 12(3): 483–492.
- Samper-Villarreal, J., Lovelock, C. E., Saunders, M. I., Roelfsema, C., dan Mumby, P. J. 2016. Organic carbon in seagrass sediments is influenced by seagrass canopy complexity, turbidity, wave height, and water depth. *Limnology and Oceanography*. 61(3): 938–952.
- Saputra, H., Nugraha, M. A., & Hudatwi, M. 2024. Penilaian stok karbon ekosistem padang lamun di Pesisir Tukak, Kabupaten Bangka Selatan. *Journal of Marine Research*. 13(1), 1-10.
- Septaria, K. 2019. Mengeksplorasi Argumentasi dan Pengetahuan Pendidik Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Tentang Pemanasan Global. *Pedagogia: Jurnal Pendidikan*. 8(2): 247–256.
- Serrano, O., Lavery, P. S., Duarte, C. M., Kendrick, G. A., Calafat, A., York, P. H., Steven, A., dan Macreadie, P. I. 2016. Can mud (silt and clay) concentration be used to predict soil organic carbon content within seagrass ecosystems?. *Biogeosciences*. 13(17): 4915–4926.
- Setianingrum, R., Weliyadi, E., dan Roem, M. 2022. Asosiasi echinoidea dengan

- komunitas lamun di perairan pulau derawan. *Journal of Aquatropica Asia*. 7(2): 104-116.
- Setyawati, A., Faiqoh, E., dan Indrawan, G. S. 2021. Epifauna Pada Ekosistem Lamun Di Kawasan Pantai Sumberkima dan Pantai Karang Sewu, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 7(2): 276.
- Supratman, O., Adi, W., Muftiadi, M. R., Henri, H., dan Pamungkas, A. 2024. Kondisi dan Status Kesehatan Ekosistem Padang Lamun di Pulau Bangka Bagian Selatan, Kepulauan Bangka Belitung. *Buletin Oseanografi Marina*. 13(1): 91–99.
- Supriadi, S., Kaswadji, R. F., Bengen, D. G., dan Hutomo, M. 2014. Carbon Stock of Seagrass Community in Barranglombo Island, Makassar (Stok Karbon pada Komunitas Lamun di Pulau Barranglombo, Makassar). *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*. 19(1): 1.
- Sutadi, S., Sulistyowati, L., dan Sriwiyono, E. 2021. Analisis Hubungan Atribut Ekologi Lamun Dengan Kualitas Perairan Di Taman Nasional Baluran Kabupaten Situbondo. *scientific journal of reflection: Economic, Accounting, Management and Business*. 4(2): 391–401.
- Vitri Lestari, K. I., Hendrawan, I. G., dan Faiqoh, E. 2020. Estimasi total simpanan karbon Pada Padang Lamun di Kawasan Pantai Karang Sewu, Gilimanuk, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*. 3(1): 40.