JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN
Journal of Environmental Sustainability Management

**JPLB**
Vol. 10 No. 2 (2026)
ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025
Tersedia di https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb

# Potensi stok dan nilai ekonomi karbon ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai, Kabupaten Kotabaru

## *Potential carbon stock and economic value of seagrass ecosystem carbon in Tanjung Sungkai Village, Kotabaru Regency*

Aprizal Junaidi[1*], Gatot Yulianto[2], Niken Tunjung Murti Pratiwi[2], Novi Susetyo Adi[3]

[1]Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, IPB University, Bogor, Indonesia
[2]Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB University, Bogor, Indonesia
[3]Balai Besar Riset Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta, Indonesia

**Abstrak**.

Ekosistem lamun merupakan salah satu ekosistem karbon biru yang berperan penting dalam penyimpanan karbon pesisir. Namun secara global mengalami penurunan luasan dan kualitas. Desa Tanjung Sungkai di Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan, memiliki potensi padang lamun yang cukup dan termasuk dalam lokasi indikatif RZ KSNT Cadangan Karbon Biru. Namun ketersediaan informasi ilmiah terkait besaran simpanan karbon total dan nilai ekonomi karbon di kawasan ini masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi ekosistem lamun berdasarkan persentase tutupan, estimasi potensi stok karbon dan nilai ekonomi karbon sebagai dasar pengelolaan pesisir berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tutupan lamun rata-rata sebesar 33,05 ± 20,36% (kategori sedang), dengan empat jenis lamun yang teridentifikasi, yaitu *Enhalus acoroides, Thalassia hemprichii, Syringodium isoetifolium dan Halophila ovalis.* Struktur komunitas didominasi oleh *H. ovalis* (59%), diikuti *S. isoetifolium* (36%). Total stok karbon mencapai 2.951,278 ton. Nilai ekonomi karbon lamun diperkirakan sebesar Rp 17,82 miliar, sementara degradasi ekosistem per hektare berpotensi menimbulkan kerugian hingga Rp 660 juta. Pendekatan *Adaptive Management* dinilai relevan untuk mendukung pengelolaan ekosistem lamun yang berkelanjutan.

Kata kunci: ekosistem lamun, karbon biru, stok karbon, nilai ekonomi karbon, Desa Tanjung Sungkai

***Abstract***.

*Seagrass ecosystems are blue carbon ecosystems that play a crucial role in coastal carbon storage. However, they are undergoing a global decline in terms of area and quality. The village of Tanjung Sungkai in Kotabaru Regency, South Kalimantan, has significant seagrass potential and is included in the indicative location of the KSNT Blue Carbon Reserve. However, scientific information regarding the total carbon storage and economic value of carbon in this area is limited. Therefore,this study aimed to evaluate the condition of the seagrass ecosystem based on seagrass cover percentage, estimate carbon stock potential and assess the economic value of carbon to support sustainable coastal management. The results showed that the average seagrass cover was 33.05 ± 20.36% (moderate category), with four types of seagrass identified: Enhalus acoroides, Thalassia hemprichii, Syringodium isoetifolium and Halophila ovalis. The community structure was dominated by H. ovalis (59%), followed by S. isoetifolium (36%). The total carbon stock reached 2,951.278 tons and the economic value of seagrass carbon was estimated at IDR 17.82 billion, while ecosystem degradation per hectare had the potential to cause losses of up to IDR 660 million. The Adaptive Management approach is considered relevant to support sustainable seagrass ecosystem management.*

*Keywords:* seagrass ecosystem, blue carbon, carbon stock, carbon economic value, Tanjung Sungkai Village

## 1. PENDAHULUAN

Ekosistem lamun (*seagrass meadows*) merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki peran ekologis yang sangat penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan pesisir. Lamun berfungsi sebagai habitat dan *nursery ground* bagi berbagai organisme laut, penstabil sedimen, serta pelindung alami garis pantai dari abrasi dan erosi (Orth *et al.* 2006; Waycott *et al.* 2009). Selain fungsi ekologis tersebut, lamun juga

* Korespondensi Penulis
Email : aprizaljunaidi@gmail.com

 DOI: https://doi.org/10.36813/jplb.10.2.123-141

berperan sebagai penyedia jasa ekosistem pengaturan melalui kemampuannya menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, sehingga dikategorikan sebagai ekosistem karbon biru (*blue carbon ecosystem*) (Nellemann *et al.* 2009).

Lamun mampu menyimpan karbon organik dalam biomassa di atas dan di bawah permukaan, serta dalam sedimen melalui proses pengendapan jangka panjang (Fourqurean *et al.* 2012). Meskipun hanya mencakup sekitar 0,1% dari total luas dasar laut global (Kennedy *et al.* 2010), ekosistem ini mampu mengakumulasi cadangan karbon dalam jumlah besar, yang secara global diperkirakan mencapai 4,2-8,4 miliar ton (Fourqurean *et al.* 2012), dengan laju simpanan rata-rata sekitar 138 $gC/m^2$ tahun (McLeod *et al.* 2011). Kapasitas penyimpanan karbon tersebut menjadikan ekosistem lamun sebagai salah satu penyerap karbon pesisir yang paling efisien dan relevan dalam upaya mitigasi perubahan iklim (Duarte *et al.* 2013).

Kemampuan ekosistem lamun dalam menyimpan karbon sangat dipengaruhi oleh kondisi ekosistemnya. Tutupan lamun sering digunakan sebagai indikator yang merepresentasikan stabilitas dan fungsi ekosistem lamun secara keseluruhan (Unsworth *et al.* 2022). Penurunan tutupan lamun dapat menyebabkan terganggunya fungsi ekologis dan berkurangnya kapasitas penyimpanan karbon bahkan menyebabkan pelepasan kembali karbon yang sebelumnya tersimpan ke atmosfer, sehingga mengubah peran lamun dari penyerap karbon menjadi sumber emisi karbon (Pendleton *et al.* 2012; Lovelock *et al.* 2017).

Secara global, ekosistem lamun mengalami penurunan luasan dan kualitas yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Menurut Waycott *et al* (2009), sekitar 29% ekosistem lamun dunia telah hilang sejak akhir abad ke-19, dengan laju kehilangan yang meningkat tajam dari sekitar 0,9% per tahun sebelum 1940 menjadi sekitar 7% per tahun sejak 1990. Skala nasional, kondisi ekosistem lamun Indonesia bersifat tidak seragam antarwilayah, dengan beberapa lokasi mengalami degradasi berat. Kondisi tersebut tercermin pada studi kasus Bangka Belitung yang mencatat kehilangan habitat lamun sebesar 82,79% selama periode 2000-2022, sehingga merepresentasikan tekanan degradasi serius di wilayah pesisir Indonesia (Adi *et al.* 2024). Penurunan ini terutama dipicu oleh intensifikasi aktivitas manusia di wilayah pesisir, seperti pembangunan infrastruktur pantai, aktivitas perikanan, lalu lintas perahu, serta peningkatan beban nutrien dan sedimen dari daratan (Orth *et al.* 2006;

Unsworth *et al.* 2022). Degradasi ekosistem lamun berdampak langsung pada penurunan fungsi ekologis, hilangnya jasa ekosistem, serta meningkatnya kerentanan wilayah pesisir terhadap dampak lingkungan dan perubahan iklim.

Indonesia tercatat sebagai salah satu negara dengan luasan ekosistem lamun terbesar di dunia dan berkontribusi signifikan terhadap penyimpanan karbon global, dengan total simpanan karbon diperkirakan mencapai 368,5 Tg dan sedimen sebagai komponen penyimpan utama sekitar 129,9 Mg C/ha (Alongi *et al.* 2016). Besarnya potensi tersebut juga mencerminkan nilai ekonomi yang penting, karena simpanan karbon lamun dapat dikonversi menjadi nilai moneter melalui konsep nilai ekonomi karbon (Pendleton *et al.* 2012). Estimasi nilai ini berperan dalam meningkatkan pemahaman, serta komitmen pemerintah dan masyarakat terhadap konservasi ekosistem pesisir yang sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim (UNEP 2020). Meskipun demikian, pengelolaan ekosistem lamun di Indonesia masih relatif tertinggal dibandingkan ekosistem pesisir lainnya, khususnya mangrove, akibat keterbatasan data, rendahnya integrasi nilai jasa ekosistem dalam perencanaan pesisir, serta minimnya mekanisme insentif perlindungan lamun (Howard *et al.* 2017; IOJI 2023)

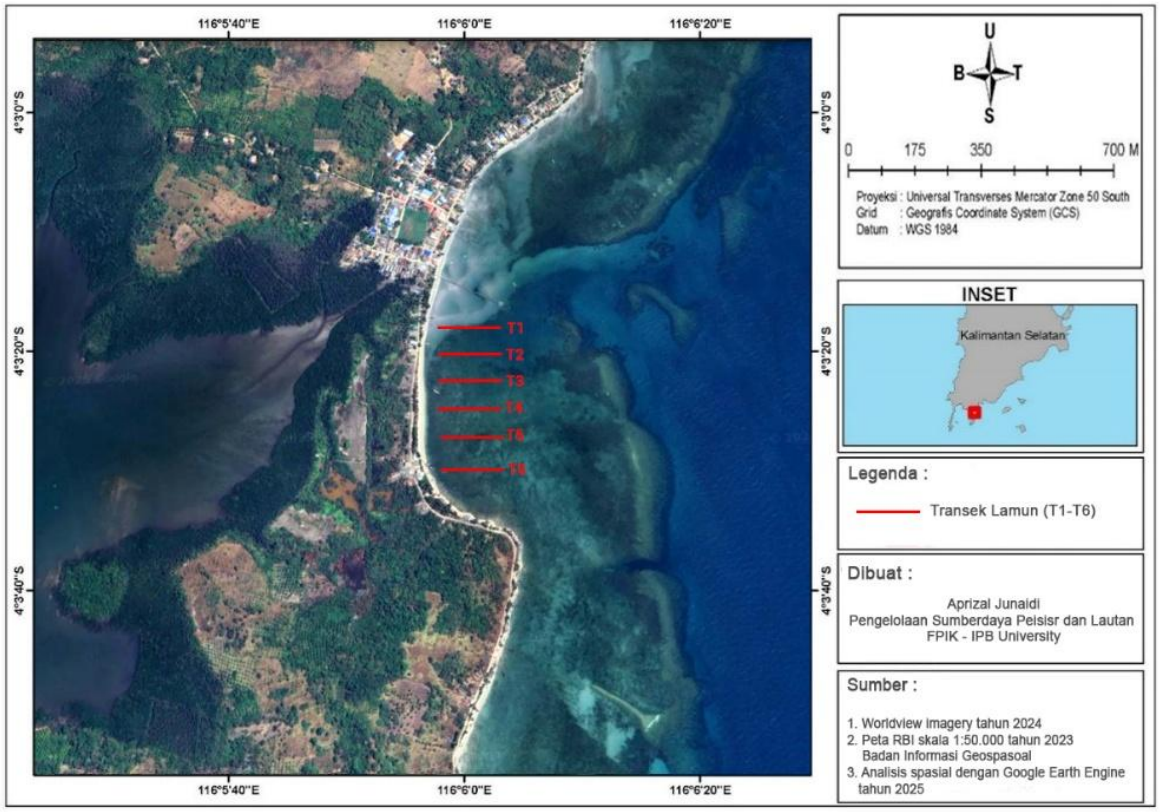
Desa Tanjung Sungkai merupakan wilayah pesisir di Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan, yang memiliki potensi padang lamun relatif luas dengan tingkat tutupan beragam. Variasi tutupan tersebut mengindikasikan perbedaan intensitas tekanan lingkungan dan aktivitas antropogenik yang memengaruhi. Secara kebijakan, kawasan ini termasuk dalam lokasi indikatif Rencana Zonasi Kawasan Strategis Nasional Tertentu (RZ KSNT) Cadangan Karbon Biru (KKP 2025). Meskipun memiliki potensi lamun yang signifikan, ketersediaan informasi ilmiah terkait besaran simpanan karbon total dan nilai ekonomi karbon di kawasan ini masih sangat terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan utama penelitian ini terletak pada belum tersedianya data dan informasi yang komprehensif mengenai kondisi ekosistem lamun, potensi penyimpanan karbon, serta nilai ekonomi jasa ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai sebagai dasar perumusan pengelolaan lingkungan berkelanjutan pada skala desa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi ekosistem lamun berdasarkan persentase tutupan, estimasi potensi stok karbon dan nilai ekonomi karbon sebagai dasar pengelolaan pesisir berkelanjutan.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei-Juni 2025 di Desa Tanjung Sungkai, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan (**Gambar 1**), yang merupakan kawasan pesisir dangkal dan relatif terlindung, dengan kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh dinamika pasang surut dan aktivitas masyarakat pesisir. Karakteristik tersebut menjadikan wilayah ini representatif untuk kajian ekosistem lamun dan pengelolaan lingkungan pesisir.




**Gambar 1**. Lokasi penelitian di Desa Tanjung Sungkai, Kabupaten Kotabaru.

### 2.2. Pengambilan data dan sampel penelitian

Pengambilan data tutupan lamun dilakukan menggunakan metode *SeagrassWatch* (McKenzie *et al.* 2003), dengan enam transek yang dipasang tegak lurus terhadap garis pantai (**Gambar 1**). Setiap transek sepanjang 100 m dengan interval pengamatan 10 m menggunakan transek kuadrat. Pada setiap kuadrat dilakukan estimasi visual persentase tutupan lamun dan pencatatan komposisi jenis yang dijumpai.

Pengambilan sampel ditentukan berdasarkan tingkat tutupan lamun dari hasil tutupan lamun di lokasi penelitian, yaitu: (1) tutupan jarang, (2) tutupan sedang dan (3) tutupan padat/sangat padat. Sampel lamun diambil menggunakan pipa pvc ukuran diameter 6 inci dan panjang 30 cm, mencakup semua spesies yang ditemukan di lokasi. Individu lamun diambil utuh dari akar hingga daun, kemudian dipisahkan menjadi dua bagian : bagian atas permukaan (*above ground*) yang terdiri dari daun dan tangkai, serta bagian bawah permukaan (*below ground*) yang meliputi akar dan rimpang (*rhizome*). Sampel sedimen diambil menggunakan pipa PVC berdiameter 3 inci dan panjang 120 cm yang ditekan atau diketuk ke dalam substrat hingga terisi penuh, kemudian nilai kompaksi diukur (Rustam *et al.* 2019). Core sedimen kemudian dibelah dan dipotong per 5 cm, lalu dikelompokkan ke dalam empat interval kedalaman: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm dan 50-100 cm (Donato *et al.* 2011; Kauffman *et al.* 2011).

## 2.3. Analisis data dan sampel penelitian

Tutupan lamun dianalisis menggunakan metode Rahmawati *et al.* (2017) dengan menghitung rata-rata persentase tutupan lamun pada setiap transek. Nilai rata-rata seluruh transek kemudian digunakan untuk merepresentasikan persentase tutupan lamun pada lokasi pengamatan. Penentuan kandungan karbon biomassa dan sedimen diawali dengan pengeringan sampel lamun dan sedimen di laboratorium pada suhu 60-70 °C menggunakan oven, selama sekitar tiga hari sampai diperoleh bobot kering konstan. Bobot kering tersebut selanjutnya digunakan untuk mengestimasi kandungan karbon biomassa vegetasi lamun dengan menerapkan faktor konversi karbon sebesar 0,34 yang menunjukkan bahwa rata-rata kandungan karbon pada biomassa kering lamun adalah 34% (Duarte 1990) menggunakan **Persamaan 1**.

$$Karbon\ Biomassa\ (kg\ C\ /m^2) = \frac{Biomassa\ tanaman\ x\ 0{,}34}{luas\ area\ plot\ (m^2)} \quad \ldots\ldots (1)$$

Kandungan karbon organik sedimen dianalisis menggunakan metode *Loss on Ignition* (LOI). Metode ini menghitung persentase bahan organik berdasarkan selisih berat sampel sebelum dan sesudah proses pembakaran (%LOI), Selanjutnya, nilai %LOI dikonversi menjadi kandungan karbon organik (%C) menggunakan faktor konversi Fourqurean *et al.* (2012) menggunakan **Persamaan 2** atau **Persamaan 3**.

$\%C_{Org} = 0{,}40\ \times \%LOI - 0{,}21$ ; jika % LOI < 0,2 ..... (2)

$\%C_{Org} = 0{,}43\ \times \%LOI - 0{,}33$; jika % LOI > 0,2 ..... (3)

Keterangan:

$\%C_{Org}$ = Kandungan karbon organik (%)

$\%LOI$ = *Loss on Ignition* (LOI) atau massa yang hilang saat dipanaskan pada suhu tinggi

Total stok karbon ditentukan dengan menjumlahkan stok karbon pada komponen biomassa dan sedimen, kemudian dikalikan dengan luas ekosistem lamun berbasis data Allen Coral Atlas (2022) seperti pada **Persamaan 4**.

$$C_{\text{total}} = (\text{C}_{\text{biomassa}} + \text{C}_{\text{sedimen}}) \times \text{A} \quad (4)$$

Keterangan:

$C_{biomass}$ = Stok karbon biomassa per satuan luas (ton C/ha)

$C_{sediment}$ = Stok karbon sedimen per satuan luas (ton C/ha)

A = Luasan ekosistem lamun (ha)

Perhitungan nilai ekonomi karbon ekosistem lamun dilakukan menggunakan pendekatan *Social Cost of Carbon* (SCC) dengan mempertimbangkan fraksi kehilangan karbon pasca degradasi. Pendekatan ini digunakan untuk mengestimasi kerugian ekonomi akibat emisi $CO_2$ yang berasal dari karbon biomassa dan sedimen lamun selama 25 tahun (2025-2050) setelah terjadinya degradasi. Perhitungan dilakukan mengikuti **Persamaan 5** yang merupakan modifikasi dari metode Krause *et al.* (2025).

$$SC_{IDR} = [(C_{biomass} + C_{sediment} \times f_{loss}) \times A \times 3{,}67 \times SCC] \times R \quad (5)$$

Keterangan:

$SC_{IDR}$ = Nilai ekonomi karbon dalam rupiah (Rp),

$C_{biomass}$ = Stok karbon biomassa per satuan luas (ton C/ha)

$C_{sediment}$ = Stok karbon sedimen per satuan luas (ton C/ha)

$f_{loss}$ = Fraksi kehilangan karbon sedimen selama 25 tahun (0,53),

$A$ = Luas ekosistem lamun (ha)

3,67 = Faktor konversi karbon (C) menjadi karbon dioksida ($CO_2$), berdasarkan rasio massa molekul $CO_2$ terhadap C (44/12),

$SCC$ = *Social Cost of Carbon* (185 USD /ton $CO_2$)

$R$ = Nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat (Rp16.800).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kondisi ekosistem lamun

Secara umum, tutupan lamun di lokasi penelitian memiliki nilai rata-rata sebesar 33,05 ± 20,36%. Berdasarkan kategori tutupan lamun, nilai rata-rata tersebut berada pada kategori sedang. Namun demikian, nilai standar deviasi yang relatif tinggi menunjukkan bahwa kondisi ekosistem lamun di lokasi penelitian bersifat heterogen, dengan perbedaan tutupan yang mencolok antar transek. Rentang nilai tutupan yang lebar, dari 3,98% (kategori jarang) hingga 61,93% (kategori padat) (**Tabel 1**).

**Tabel 1**. Tutupan lamun, jenis dominan dan karakteristik lokasi per transek.

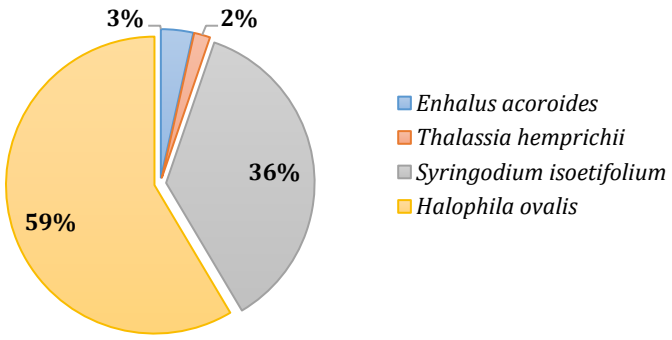
| Lokasi/ transek | Tutupan lamun (%) | Kategori tutupan | Jenis lamun dominan | Keterangan lokasi |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 3,98 | Jarang | *Syringodium isoetifolium* | Aktivitas manusia tinggi; dekat dermaga kayu, area labuh jangkar dan permukiman |
| T2 | 16,48 | Jarang | *Syringodium isoetifolium; Halophila ovalis* | Aktivitas manusia tinggi; sandar kapal nelayan dan kawasan permukiman |
| T3 | 39,77 | Sedang | *Halophila ovalis* | Aktivitas manusia sedang |
| T4 | 23,30 | Jarang | *Halophila ovalis* | Aktivitas manusia sedang |
| T5 | 61,93 | Padat | *Halophila ovalis* | Area terlindung; aktivitas manusia jarang |
| T6 | 52,84 | Padat | *Halophila ovalis* | Area terlindung; aktivitas manusia jarang |
| **Rata-rata** | **33,05 ± 20,36** | **Sedang** | | |

Transek T1 dan T2 menunjukkan tutupan lamun rendah, masing-masing sebesar 3,98% dan 16,48%. Kedua transek ini berada pada area dengan aktivitas manusia yang tinggi, ditandai oleh keberadaan dermaga kayu, lokasi sandar dan labuh kapal nelayan, serta kedekatannya dengan kawasan permukiman. Kondisi tersebut berimplikasi pada tingginya gangguan fisik terhadap padang lamun. Transek T3 dan T4 memiliki tutupan lamun kategori sedang, yaitu 39,77% dan 23,30%. Area ini merupakan zona dengan aktivitas manusia tingkat sedang, di mana tekanan antropogenik masih terjadi namun tidak seintensif T1 dan T2.Transek T5 dan T6 menunjukkan tutupan lamun tertinggi, masing-masing sebesar 61,93% dan 52,84%. Kedua transek ini terletak pada area yang relatif terlindung, dengan aktivitas manusia yang jarang, sehingga memungkinkan lamun tumbuh dan berkembang secara lebih optimal.

Secara umum, pola tutupan lamun memperlihatkan peningkatan seiring berkurangnya intensitas aktivitas manusia, yang mengindikasikan bahwa tekanan antropogenik berperan penting dalam menentukan kondisi ekosistem lamun di lokasi penelitian. Hal ini sejalan dengan temuan Turschwell *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa pada skala global, penurunan tutupan lamun berkaitan dengan tingginya tekanan aktivitas manusia, sedangkan wilayah dengan tekanan antropogenik rendah cenderung mengalami stabilitas atau peningkatan luas lamun.

Jenis lamun yang teridentifikasi di lokasi penelitian terdiri atas *Enhalus acoroides, Thalassia hemprichii, Syringodium isoetifolium dan Halophila ovalis*. Berdasarkan komposisi jenis (**Gambar 2**), Tutupan lamun didominasi oleh *H. ovalis* dengan proporsi 59%, diikuti oleh *S. isoetifolium* sebesar 36% dan *E. acoroide*s dan *T.*

*hemprichii* masing-masing hanya menyumbang sekitar 3% dan 2%. Keempat spesies tersebut merupakan lamun yang umum dijumpai di perairan pesisir tropis Indonesia dan memiliki tingkat toleransi yang berbeda terhadap kondisi lingkungan. Hasil tersebut menunjukkan peredaan dibandingkan dengan hasil penelitian (Agustiana *et al.* 2024) yang juga dilakukan di Perairan Desa Tanjung Sungkai. Penelitian tersebut mencatat keberadaan tujuh spesies lamun, termasuk *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata* dan *Halodule uninervis*, dengan struktur komunitas yang didominasi oleh lamun berukuran besar dan bersifat klimaks seperti *C. rotundata, E. acoroides, S. isoetifolium* dan *T. hemprichii*. Perbedaan komposisi dan dominasi jenis ini mengisyaratkan adanya variasi kondisi ekosistem lamun secara temporal, yang kemungkinan dipengaruhi oleh intensitas aktivitas antropogenik, karakteristik substrat, serta perbedaan waktu pengamatan, sehingga berdampak pada struktur komunitas lamun di lokasi penelitian.




**Gambar 2.** Komposisi jenis lamun di Desa Tanjung Sungkai.

Dominasi *H. ovalis* pada sebagian besar transek, khususnya pada T3 hingga T6, menunjukkan tingginya kemampuan adaptasi spesies ini terhadap variasi kondisi perairan, termasuk fluktuasi kekeruhan dan dinamika substrat. *H. ovalis* dikenal sebagai spesies pionir dengan kemampuan kolonisasi yang cepat di perairan dangkal yang relatif dinamis (Waycott *et al.* 2009; McKenzie *et al.* 2014). Sebaliknya, *S. isoetifolium* lebih dominan pada transek T1 dan T2, yang merupakan lokasi dengan tingkat aktivitas manusia lebih tinggi dan tutupan lamun relatif rendah. Dominasi spesies tersebut mencerminkan tingkat toleransi ekologis yang tinggi terhadap kondisi perairan dangkal yang mengalami tekanan lingkungan. Karakteristik ini memungkinkan spesies tersebut memiliki kemampuan pemulihan yang relatif cepat, laju ekspansi yang tinggi, serta kecenderungan untuk mengolonisasi dan mendominasi

area yang baru mengalami gangguan, sehingga secara bertahap menggantikan spesies lamun lain yang memiliki toleransi lebih rendah terhadap tekanan lingkungan (Rasheed 2004; McKenzie *et al.* 2014).

Sementara itu, kontribusi *E. acoroides* dan *T. hemprichii* yang rendah di lokasi penelitian mencerminkan kondisi lingkungan yang belum stabil dan masih mengalami tekanan. Kedua spesies klimaks ini membutuhkan kejernihan perairan tinggi, substrat yang stabil, serta gangguan fisik yang minimal untuk dapat berkembang optimal. Sifat pertumbuhannya yang lambat dan kemampuan pemulihan yang terbatas menyebabkan keduanya sulit bertahan dan bersaing pada habitat yang sering terganggu, sehingga tutupannya cenderung rendah dan digantikan oleh spesies lamun yang lebih toleran dan cepat tumbuh (Pedersen *et al.* 2016; Gole *et al.* 2023; Jang dan Awiati 2023).

Secara keseluruhan, dominasi lamun pionir dan spesies yang toleran terhadap gangguan menunjukkan bahwa padang lamun di lokasi penelitian masih berada pada tahap suksesi awal hingga menengah dan belum mencapai kondisi komunitas yang stabil serta matang secara ekologis. Menurut Balestri *et al.* (2021), pola tersebut mencerminkan dinamika pasca gangguan, di mana spesies berumur relatif pendek dengan kemampuan adaptasi tinggi berkembang lebih cepat, sebelum secara bertahap diikuti oleh spesies tahap lanjut yang lebih kompetitif dan berumur panjang

## 3.2. Stok karbon

### 3.2.1. Stok karbon biomassa dan sedimen ekosistem lamun

Hasil perhitungan stok karbon ekosistem lamun di lokasi penelitian menunjukkan pola yang konsisten (**Tabel 2**), di mana peningkatan tutupan lamun diikuti oleh kenaikan stok karbon pada biomassa maupun sedimen. Pola ini menegaskan fungsi fisik-ekologis lamun dalam memperlambat dinamika perairan, meningkatkan penjebakan partikel sedimen, serta mendorong akumulasi dan penguburan karbon organik dalam jangka panjang (Sakmiana *et al.* 2023). Sejumlah studi menunjukkan bahwa padang lamun dengan tutupan tinggi memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang jauh lebih besar dibandingkan padang lamun dengan tutupan rendah atau terdegradasi, sehingga keberadaan dan kondisi tutupan lamun menjadi faktor penentu dalam peran ekosistem ini sebagai penyimpan karbon biru di wilayah pesisir. (McLeod *et al.* 2011; Wahyudi *et al.* 2020; McHenry *et al.* 2023)

**Tabel 2.** Stok karbon biomassa dan sedimen ekosistem lamun.

| Tutupan lamun | Karbon biomassa (Ton C/Ha) | | Karbon sedimen (Ton C/Ha) |
|---|---|---|---|
| | ***Above*** | ***Below*** | |
| Jarang | 0,1212 | 0,4486 | 77,1973 |
| Sedang | 0,2443 | 0,6123 | 114,1871 |
| Padat | 0,6964 | 0,8138 | 133,5987 |

Kategori tutupan lamun jarang menunjukkan stok karbon terendah pada seluruh fraksi penyimpanan karbon yang diamati, yaitu karbon biomassa *above ground* sebesar 0,1212 ton C/ha, karbon biomassa *below ground* sebesar 0,4486 ton C/ha dan karbon sedimen sebesar 77,1973 ton C/ha. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa rendahnya tutupan lamun berpengaruh terhadap terbatasnya akumulasi karbon baik pada biomassa maupun sedimen.

Kategori tutupan lamun sedang memiliki stok karbon yang lebih tinggi dibandingkan kategori jarang, dengan nilai karbon biomassa *above ground* sebesar 0,2443 ton C/ha dan *below ground* sebesar 0,6123 ton C/ha. Stok karbon sedimen mencapai 114,1871 ton C/ha. Peningkatan nilai tersebut menunjukkan bahwa bertambahnya tutupan lamun berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas penyimpanan karbon dalam ekosistem.

Kategori tutupan lamun padat menghasilkan stok karbon tertinggi pada seluruh fraksi penyimpanan karbon, yaitu 0,6964 ton C/ha untuk biomassa *above ground*, 0,8138 ton C/ha untuk biomassa *below ground* dan 133,5987 ton C/ha untuk karbon sedimen. Tingginya stok karbon pada kategori ini menunjukkan bahwa padang lamun dengan tutupan yang lebih rapat memiliki kemampuan yang lebih besar dalam mengakumulasi karbon melalui peningkatan biomassa serta penangkapan dan penyimpanan bahan organik di dalam sedimen.

Peningkatan stok karbon biomassa dan sedimen seiring dengan meningkatnya tutupan lamun pada lokasi penelitian mengindikasikan bahwa tutupan lamun merupakan faktor pengendali penting dalam proses akumulasi karbon. Semakin tinggi tutupan lamun, semakin besar kemampuan ekosistem dalam menyerap, menyimpan dan mengakumulasi karbon baik pada biomassa maupun sedimen. Hasil ini sejalan dengan temuan Fourqurean *et al.* (2012) dan Alongi *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa tutupan dan kondisi padang lamun merupakan faktor penting yang memengaruhi kapasitas penyimpanan karbon pada ekosistem lamun tropis.

### 3.2.2. Total stok karbon ekosistem lamun di lokasi penelitian

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total stok karbon ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai mencapai 2.951,28 ton C pada luas area 27 ha (**Tabel 3**). Berdasarkan luasan tersebut, nilai stok karbon rata-rata mencapai 108,32 ton C/ha. Nilai ini berada dalam rentang nilai stok karbon ekosistem lamun Indonesia yang dilaporkan Stankovic *et al.* (2021) sebesar 56,11-139,09 ton C/ha. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan karbon ekosistem lamun Desa Tanjung Sungkai sebanding dengan ekosistem lamun di berbagai wilayah pesisir Indonesia.

**Tabel 3.** Total stok karbon ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai.

| Parameter | Stok karbon |
|---|---|
| Karbon biomassa | 0,979 ton C/ha |
| Karbon sedimen | 108,328 ton C/ha |
| Luas area lamun | 27 ha |
| **Total stok karbon kawasan** | **2.951,278 ton C** |

Stok karbon sedimen mendominasi penyimpanan karbon dengan nilai 108,33 ton C/ha, sedangkan stok karbon biomassa hanya sebesar 0,98 ton C/ha. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar cadangan karbon ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai tersimpan di dalam sedimen. Hasil ini konsisten dengan Stankovic *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa karbon sedimen merupakan penyumbang terbesar total stok karbon ekosistem lamun di Indonesia. Dominasi karbon pada sedimen mengindikasikan bahwa proses akumulasi dan penguburan bahan organik berperan penting dalam penyimpanan karbon jangka panjang pada ekosistem lamun. Temuan ini sejalan dengan Fourqurean *et al.* (2012) yang menjelaskan bahwa sebagian besar stok karbon pada ekosistem lamun tersimpan di dalam sedimen dengan proporsi jauh lebih besar dibandingkan biomassa lamun. Duarte *et al.* (2013) menyatakan bahwa akumulasi karbon organik dalam sedimen merupakan mekanisme utama yang mendukung fungsi ekosistem pesisir sebagai penyimpan karbon jangka panjang.

Nilai stok karbon ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai masih berada dalam kisaran stok karbon lamun di Indonesia (Wahyudi *et al.* 2020). Temuan ini mengindikasikan bahwa ekosistem lamun di kawasan tersebut masih memiliki fungsi sebagai penyimpan karbon. Meskipun demikian, beberapa transek dengan tutupan lamun rendah ditemukan pada area yang berdekatan dengan dermaga, lokasi sandar kapal nelayan, area labuh jangkar dan kawasan permukiman. Aktivitas-aktivitas

tersebut berpotensi menimbulkan gangguan fisik pada padang lamun melalui kerusakan vegetasi, peningkatan kekeruhan perairan, serta gangguan terhadap stabilitas sedimen. Tekanan tersebut dapat mengurangi tutupan dan biomassa lamun, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan kapasitas penyimpanan karbon ekosistem lamun (Waycott *et al.* 2009; Unsworth *et al.* 2015). Selain itu, kerusakan padang lamun juga dapat mengganggu akumulasi karbon dalam sedimen dan meningkatkan risiko hilangnya cadangan karbon yang telah tersimpan dalam jangka panjang (Marbà *et al.* 2015).

### 3.3. Nilai ekonomi karbon

Hasil valuasi menunjukkan bahwa nilai ekonomi karbon ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai mencapai Rp 17.825.364.972 (**Tabel 4**). Nilai tersebut mencerminkan manfaat ekonomi yang dihasilkan oleh ekosistem lamun melalui fungsi penyimpanan karbon dan kontribusinya dalam mitigasi perubahan iklim. Berdasarkan pendekatan *Social Cost of Carbon*, nilai ekonomi tersebut merepresentasikan besarnya biaya sosial yang dapat dihindari melalui penyimpanan karbon oleh ekosistem lamun. Dengan demikian, keberadaan padang lamun tidak hanya memberikan manfaat ekologis, tetapi juga menghasilkan manfaat ekonomi melalui pengurangan dampak perubahan iklim yang ditimbulkan oleh emisi $CO_2$ (Rennert *et al.* 2022).

**Tabel 4**. Nilai ekonomi karbon lamun.

| Indikator nilai ekonomi | Nilai (Rp) |
|---|---|
| Nilai ekonomi karbon total | 17.825.364.972 |
| Nilai ekonomi karbon per hektare | 660.198.703 |
| Nilai ekonomi karbon per tahun | 713.014.599 |

Jika dihitung per satuan luas ekosistem, nilai ekonomi karbon yang tersimpan mencapai Rp 660.198.703 per hektare. Besaran ini menunjukkan bahwa kehilangan satu hektare ekosistem lamun memiliki implikasi terukur terhadap peningkatan emisi $CO_2$ yang dapat menimbulkan konsekuensi lingkungan dan kerugian sosial ekonomi yang signifikan pada skala global. Krause *et al.* (2025) menegaskan bahwa degradasi ekosistem lamun tidak dapat dipandang sebagai persoalan lokal semata, melainkan memiliki implikasi global melalui kontribusinya terhadap perubahan iklim, serta berpotensi menimbulkan kerugian sosial-ekonomi yang signifikan akibat meningkatnya dampak perubahan iklim.

Hasil perhitungan selanjutnya menunjukkan bahwa potensi kerugian selama periode 2025-2050 mencapai Rp 713.014.599 per tahun. Nilai ini mencerminkan konsekuensi ekonomi jangka panjang dari degradasi atau kehilangan ekosistem lamun akibat potensi pelepasan karbon secara berkelanjutan apabila tidak ada intervensi pengelolaan. Potensi kerugian ekonomi karbon tersebut memiliki implikasi penting dalam konteks pengelolaan lingkungan berkelanjutan, tanpa upaya perlindungan dan pengelolaan yang memadai, nilai kerugian karbon akan terus meningkat dari waktu ke waktu dan berpotensi melampaui kapasitas pembiayaan pengelolaan lingkungan di tingkat lokal. Pola akumulasi kerugian ini sejalan dengan temuan bahwa kehilangan ekosistem karbon biru menyebabkan peningkatan emisi karbon yang bersifat kumulatif dan berdampak jangka panjang terhadap sistem iklim (Pendleton *et al.* 2012; Krause *et al.* 2025).

Nilai tersebut menjadi signifikan apabila dikaitkan dengan estimasi biaya restorasi lamun. Bayraktarov *et al.* (2016) yang memperkirakan biaya restorasi ekosistem lamun sebesar US$106.782/ha atau sekitar Rp1,71 miliar/ha (kurs Rp16.000/US$). Implikasinya, degradasi lamun tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi akibat hilangnya fungsi penyimpanan karbon dan meningkatnya emisi $CO_2$, tetapi juga menciptakan beban biaya tambahan yang diperlukan untuk rehabilitasi ekosistem. Dengan demikian, total kerugian yang ditimbulkan mencakup kerugian ekonomi karbon sekaligus kebutuhan pembiayaan restorasi untuk memulihkan fungsi ekosistem yang hilang (Pendleton *et al.* 2012; Bayraktarov *et al.* 2016).

### 3.4. Pengelolaan ekosistem lamun

Pengelolaan ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai dirumuskan berdasarkan kondisi tutupan lamun, stok karbon, nilai ekonomi karbon dan tingkat tekanan antropogenik menggunakan pendekatan *ecosystem-based management* yang mengintegrasikan kondisi ekosistem, jasa ekosistem dan aktivitas manusia dalam pengambilan keputusan pengelolaan (McLeod and Leslie 2009; Long *et al.* 2015).

Area dengan tutupan lamun rendah dan tekanan antropogenik tinggi diprioritaskan untuk pengendalian aktivitas yang berpotensi menyebabkan kerusakan, seperti penataan aktivitas pesisir dan pembatasan penjangkaran kapal (Orth *et al.* 2006; Waycott *et al.* 2009). Area dengan tutupan rendah hingga sedang diarahkan pada rehabilitasi lamun secara bertahap untuk memulihkan struktur dan

fungsi ekosistem (Paling *et al.* 2009; van Katwijk *et al.* 2016). Sementara itu, area dengan tutupan lamun tinggi dan stok karbon yang besar diprioritaskan sebagai zona perlindungan guna mempertahankan fungsi ekologis dan kapasitas penyimpanan karbon (McLeod *et al.* 2011; Duarte *et al.* 2013).

Pengelolaan tersebut tidak hanya bertujuan menjaga kondisi ekosistem lamun, tetapi juga mempertahankan fungsi karbon biru yang dimilikinya dengan mengintegrasikan aspek karbon biru sebagai salah satu dasar pengambilan keputusan prioritas pengelolaan dalam penentuan lokasi perlindungan dan rehabilitasi. Pertimbangan ini memungkinkan upaya perlindungan dan rehabilitasi diarahkan pada area yang memberikan kontribusi terbesar terhadap penyimpanan karbon sehingga pengelolaan tidak hanya mendukung keberlanjutan ekosistem lamun tetapi juga mempertahankan manfaat ekonomi yang dihasilkan melalui jasa penyimpanan karbon. Berbagai studi menunjukkan bahwa perlindungan ekosistem karbon biru lebih efisien secara ekonomi dibandingkan menanggung kerugian akibat degradasi ekosistem pesisir (Bayraktarov *et al.* 2016; Krause *et al.* 2025).

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Persentase tutupan lamun di Desa Tanjung Sungkai berada pada kategori sedang. Ekosistem lamun terdiri atas empat spesies, yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii, Syringodium isoetifolium* dan *Halophila ovalis*, dengan dominasi *Halophila ovalis*. Total stok karbon yang tersimpan mencapai 2.951,278 ton C, yang terdiri atas karbon biomassa sebesar 0,979 ton C/ha dan karbon sedimen sebesar 108,328 ton C/ha. Nilai ekonomi karbon ekosistem lamun sebesar Rp17.825.364.972.Pengelolaan ekosistem lamun di Desa Tanjung Sungkai disarankan menggunakan pendekatan *ecosystem-based management* melalui pengendalian tekanan antropogenik, rehabilitasi area terdegradasi, perlindungan kawasan dengan stok karbon tinggi, serta penguatan peran masyarakat.

## 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Kelautan dan Perikanan yang telah memberikan dukungan biaya pendidikan dan penelitian untuk pelaksanaan tugas belajar di IPB University dan penyelesaian penelitian ini. Selain itu, kepada semua pihak terkait yang telah banyak membantu terselesaikannya penelitian ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

Adi W, Hartoko A, Purnomo PW, Supratman O, Pringgenies D, Hernawan UE. 2024. Ecological condition of seagrass meadows around sea-based tin mining activities in the waters of Bangka Belitung Islands, Indonesia. Mar Pollut Bull. 209 PA:117151. doi:10.1016/j.marpolbul.2024.117151.

Agustiana TA, Nursalam N, Lestarina PM. 2024. Estimasi Stok Karbon Pada Padang Lamun Di Perairan Desa Tanjung Sungkai Kabupaten Kotabaru Provinsi Kalimantan Selatan. Mar Coast Small Islands J - J Ilmu Kelaut. 5(2):1. doi:10.20527/m.v5i2.11802.

Alongi DM, Murdiyarso D, Fourqurean JW, Kauffman JB, Hutahaean A, Crooks S, Lovelock CE, Howard J, Herr D, Fortes M. 2016. Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. Wetl Ecol Manag. 24(1):3-13. doi:10.1007/s11273-015-9446-y.

Balestri E, Menicagli V, Lardicci C. 2021. Managing biotic interactions during early seagrass life stages to improve seed-based restoration. J Appl Ecol. 58(11):2453-2462. doi:10.1111/1365-2664.13980.

Bayraktarov E, Saunders MI, Abdullah S, Mills M, Beher J, Possingham HP, Mumby PJ, Lovelock CE. 2016. The Cost and Feasibility of Marine Coastal Restoration. Ecol Appl. 26(4):1055-1074. doi:10.1890/15-1077.

Donato DC, Kauffman JB, Murdiyarso D, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nat Geosci. 4(5):293-297. doi:10.1038/ngeo1123.

Duarte CM. 1990. Seagrass nutrient content. Mar Ecol Prog Ser. 67:201-207. doi:10.3354/meps067201.

Duarte CM, Losada IJ, Hendriks IE, Mazarrasa I, Marbà N. 2013. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. Nat Clim Chang. 3(11):961-968. doi:10.1038/nclimate1970.

Fourqurean JW, Duarte CM, Kennedy H, Marbà N, Holmer M, Mateo MA, Apostolaki ET, Kendrick GA, Krause-Jensen D, McGlathery KJ. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. Nat Geosci. 5(7):505-509. doi:10.1038/ngeo1477.

Gole S, Prajapati S, Prabakaran N, Das H, Kuppusamy S, Johnson JA. 2023. Spatial

diversity and habitat characteristics of seagrass meadows with management recommendations in the Andaman and Nicobar Islands, India. Front Mar Sci. 10 December:1-17. doi:10.3389/fmars.2023.1251887.

Howard J, Sutton-Grier A, Herr D, Kleypas J, Landis E, Mcleod E, Pidgeon E, Simpson S. 2017. Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. Front Ecol Environ. 15(1):42-50. doi:10.1002/fee.1451.

[IOJI] Indonesi Ocean Justice Initiative. 2023. Blue Carbon Ecosystem as Critical Natural Capital: Governance of Blue Carbon Ecosystems in Indonesia. Jakarta Ed ke-Accessed 2025-10-22. https://oceanjusticeinitiative.org/wp-content/uploads/2023/12/exsum-bceg-english.pdf.

Jang J dan Awiati W. 2023. Karbon Biru Di Indonesia: Memahami Pentingnya Konservasi Dan Restorasi Untuk Mencapai Netralitas Karbon. J Huk dan Bisnis. 9(1):18-36.

van Katwijk MM, Thorhaug A, Marbà N, Orth RJ, Duarte CM, Kendrick GA, Althuizen IHJ, Balestri E, Bernard G, Cambridge ML. 2016. Global analysis of seagrass restoration: The importance of large-scale planting. J Appl Ecol. 53(2):567-578. doi:10.1111/1365-2664.12562.

Kauffman JB, Heider C, Cole TG, Dwire KA, Donato DC. 2011. Ecosystem carbon stocks of micronesian mangrove forests. Wetlands. 31(2):343-352. doi:10.1007/s13157-011-0148-9.

Kennedy H, Beggins J, Duarte CM, Fourqurean JW, Holmer M, Marbá N, Middelburg JJ. 2010. Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. Global Biogeochem Cycles. 24(4):1-8. doi:10.1029/2010GB003848.

[KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2025. KKP Dorong Percepatan Legalisasi Rencana Zonasi KSNT untuk Karbon Biru. Humas Ditjen Penataan Ruang Laut, Kementeri Kelaut dan Perikan., siap terbit. https://kkp.go.id/news/news-detail/kkp-dorong-percepatan-legalisasi-rencana-zonasi-ksnt-untuk-karbon-biru-vQAr.html.

Krause JR, Cameron C, Arias-Ortiz A, Cifuentes-Jara M, Crooks S, Dahl M, Friess DA, Kennedy H, Lim KE, Lovelock CE. 2025. Global seagrass carbon stock variability and emissions from seagrass loss. Nat Commun . 16(1):1-9. doi:10.1038/s41467-025-59204-4.

Long RD, Charles A, Stephenson RL. 2015. Key principles of marine ecosystem-based management. Mar Policy. 57:53-60. doi:10.1016/j.marpol.2015.01.013.

Lovelock CE, Fourqurean JW, Morris JT. 2017. Modeled CO2 emissions from coastal wetland transitions to other land uses: Tidal marshes, mangrove forests, and seagrass beds. Front Mar Sci. 4 MAY:1-11. doi:10.3389/fmars.2017.00143.

Marbà N, Arias-Ortiz A, Masqué P, Kendrick GA, Mazarrasa I, Bastyan GR, Garcia-Orellana J, Duarte CM. 2015. Impact of seagrass loss and subsequent revegetation on carbon sequestration and stocks. J Ecol. 103(2):296-302. doi:10.1111/1365-2745.12370.

McHenry J, Rassweiler A, Hernan G, Dubel AK, Curtin C, Barzak J, Varias N, Lester SE. 2023. Geographic variation in organic carbon storage by seagrass beds. Limnol Oceanogr. 68(6):1256-1268. doi:10.1002/lno.12343.

McKenzie L, Campbell S, C R. 2003. Seagrass-Watch: Manual for Mapping & Monitoring Seagrass Resources. Northern Fisheries Centre, Cairns: the Seagrass-Watch HQ.

McKenzie LJ, Yoshida RL, Unsworth RKF. 2014. Disturbance influences the invasion of a seagrass into an existing meadow. Mar Pollut Bull. 86(1-2):186-196. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.07.019.

McLeod E, Chmura GL, Bouillon S, Salm R, Björk M, Duarte CM, Lovelock CE, Schlesinger WH, Silliman BR. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2. Front Ecol Environ. 9(10):552-560. doi:10.1890/110004.

McLeod K and Leslie H. 2009. Ecosystem-Based Management for the Oceans. Ed ke-2. Island Press.

Nellemann C, Corcoran E, Duarte CM, Valdes L, Young C De, Fonseca L, Grimsdith G. 2009. Blue Carbon Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.

Orth RJ, Carruthers TIMJB, Dennison WC, Duarte CM, James W, Jr KLH, Hughes AR, Kendrick GA, Kenworthy WJ, Olyarnik S. 2006. A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. Bioscience. 56(12):987-996.

Paling EI, Fonseca M, van Katwijk MM, van Keulen M. 2009. Seagrass Restoration. Coast Wetl - An Integr Ecosyst approach., siap terbit.

Pedersen O, Colmer TD, Borum J, Zavala-Perez A, Kendrick GA. 2016. Heat stress of two

tropical seagrass species during low tides - impact on underwater net photosynthesis, dark respiration and diel in situ internal aeration. New Phytol. 210(4):1207-1218. doi:10.1111/nph.13900.

Pendleton L, Donato DC, Murray BC, Crooks S, Jenkins WA, Sifleet S, Craft C, Fourqurean JW, Kauffman JB, Marbà N. 2012. Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. PLoS One. 7(9). doi:10.1371/journal.pone.0043542.

Rahmawati S, Irawan A, Supriyadi IH, Azkab H. 2017. Panduan Pemantauan Penilaian Kondisi Padang Lamun. Coremap Cti Lipi. January:35.

Rasheed MA. 2004. Recovery and succession in a multi-species tropical seagrass meadow following experimental disturbance: The role of sexual and asexual reproduction. J Exp Mar Bio Ecol. 310(1):13-45. doi:10.1016/j.jembe.2004.03.022.

Rennert K, Errickson F, Prest BC, Rennels L, Newell RG, Pizer W, Kingdon C, Wingenroth J, Cooke R, Parthum B. 2022. Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO2. Nature. 610(7933):687-692. doi:10.1038/s41586-022-05224-9.

Rustam A, Adi NS, Daulat A, Kiswara W, Yusup DSu, Ambo-Rappe R. 2019. Pedoman Pengukuran Karbon di Ekosistem Padang Lamun. Bandung: ITB Press.

Sakmiana AF, Paputungan MS, Kusumaningrum W, Rahmawati S. 2023. Estimasi Konsentrasi dan Stok Karbon Organik pada Sedimen Lamun di Desa Selangan, Kalimantan Timur. J Mar Res. 12(3):483-492. doi:10.14710/jmr.v12i3.38011.

Stankovic M, Ambo-Rappe R, Carly F, Dangan-Galon F, Fortes MD, Hossain MS, Kiswara W, Van Luong C, Minh-Thu P, Mishra AK. 2021. Quantification of blue carbon in seagrass ecosystems of Southeast Asia and their potential for climate change mitigation. Sci Total Environ. 783:146858. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146858.

Turschwell MP, Connolly RM, Dunic JC, Sievers M, Buelow CA, Pearson RM, Tulloch VJD, Cote IM, Unsworth RKF, Collier CJ. 2021. Anthropogenic pressures and life history predict trajectories of seagrass meadow extent at a global scale. Proc Natl Acad Sci U S A. 118(45):1-11. doi:10.1073/pnas.2110802118.

[UNEP] United Nations Environment Programme. 2020. Out of the Blue: The value of seagrasses to the environment and to people. Nairobi: United Nations

Environment Programme.

Unsworth RKF, Collier CJ, Waycott M, Mckenzie LJ, Cullen-Unsworth LC. 2015. A framework for the resilience of seagrass ecosystems. Mar Pollut Bull. 100(1):34-46. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.08.016.

Unsworth RKF, Cullen-Unsworth LC, Jones BLH, Lilley RJ. 2022. The planetary role of seagrass conservation. Science (80). 377(6606):609-613. doi:10.1126/science.abq6923.

Wahyudi AJ, Rahmawati S, Irawan A, Hadiyanto H, Prayudha B, Hafizt M, Afdal A, Adi NS, Rustam A, Hernawan UE. 2020. Assessing Carbon Stock and Sequestration of the Tropical Seagrass Meadows in Indonesia. Ocean Sci J. 55(1):85-97. doi:10.1007/s12601-020-0003-0.

Waycott M, Duarte CM, Carruthers TJB, Orth RJ, Dennison WC, Olyarnik S, Calladine A, Fourqurean JW, Heck KL, Hughes AR. 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. Proc Natl Acad Sci U S A. 106(30):12377-12381. doi:10.1073/pnas.0905620106.