

**SIMPANAN KARBON PADA EKOSISTEM LAMUN DI
PERAIRAN PULAU TANGKIL, KABUPATEN PESAWARAN,
PROVINSI LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**AILSABRINDA SAHASIKA
1914221012**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

SIMPANAN KARBON PADA EKOSISTEM LAMUN DI PERAIRAN PULAU TANGKIL, KABUPATEN PESAWARAN, PROVINSI LAMPUNG

Oleh

Ailsa Brinda Sahasika

Pengasaman laut terjadi ketika jumlah karbon dioksida (CO₂) yang terlarut dalam air laut meningkat. Lamun memiliki potensi sebagai penyimpan karbon dalam jumlah besar dan waktu yang lama. Akan tetapi, habitat lamun yang berada di perairan dangkal dapat terancam hilang oleh aktivitas antropogenik. Ekosistem lamun di Pulau Tangkil mulai terancam dengan semakin berkembangnya kegiatan wisata. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur komunitas dan kesehatan ekosistem lamun, menganalisis simpanan karbon yang tersimpan dalam tegakan, serasah, dan sedimen lamun serta menganalisis hubungan variabel karbon lamun dengan variabel lingkungan. Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2023. Data yang digunakan terdiri dari jenis lamun, jumlah tegakan lamun, tutupan epifit, tutupan makroalga serta kualitas perairan. Sampel yang diambil untuk analisis di laboratorium terdiri dari tegakan lamun, serasah lamun, dan sedimen. Simpanan karbon dianalisis menggunakan metode LOI (*Loss on Ignition*) dan WB (*Walkley and Black*). Jenis lamun yang ditemukan terdiri atas 4 jenis, yaitu *E. acoroides*, *T. hemprichii*, *H. uninervis*, dan *C. rotundata*. Hasil penelitian menunjukkan indeks nilai penting tinggi pada *E. acoroides* dan kesehatan lamun berada pada kondisi bagus hingga sedang. Simpanan karbon tertinggi diperoleh pada tegakan lamun (80,11 gC/m²) diikuti simpanan karbon pada sedimen (3,34 gC/m²) lebih tinggi dibandingkan dengan serasah (0,16 gC/m²). Variabel karbon lamun memiliki hubungan yang kuat dengan variabel lingkungan di Pulau Tangkil.

Kata kunci: karbon, lamun, sedimen, serasah, Lampung

ABSTRACT

THE CARBON STORAGE IN SEAGRASS MEADOW OF TANGKIL ISLAND WATERS, PESAWARAN REGENCY, LAMPUNG PROVINCE

By

Ailsa Brinda Sahasika

Ocean acidification occurring when the concentration of dissolved carbon dioxide was increasing. Seagrass has the ability to absorb and store carbon from the ocean. Seagrass ecosystem in Tangkil Island is getting threaten by the increasing of tourism activities. The aims of this research were to analyzed the community structure and the indices of ecological quality of seagrass. This research also to analyzing of carbon storage on above and below ground. Furthermore this research was determined the correlation between carbon storage and environmental variable. This research was conducted in September 2023. The data collected consist of the kind of seagrass, population size, epiphyte, macroalgae, and waters quality parameters. Total carbon storage analyzed using LOI (loss on ignition) and WB (walkley and black) method. The result showed there were four types of seagrass namely, *E. acoroides*, *T. hemprichii*, *H. uninervis*, and *C. rotundata*. The important value index showed that *E. acoroides* had the highest value. The condition of seagrass showed that the ecosystem at good to moderate condition based on the value of seagrass ecological quality index. The highest carbon stock was obtained in seagrass stand (80,11 gC/m²) followed by sediment (3,34 gC/m²) and seagrass litter (0,16 gC/m²). Environmental variable and the carbon storage in seagrass meadow showed the strong correlation.

Keywords: carbon, seagrass, sediment, seagrass litter, Lampung

**SIMPANAN KARBON PADA EKOSISTEM LAMUN DI
PERAIRAN PULAU TANGKIL, KABUPATEN PESAWARAN,
PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

AILSА BRINDA SAHASIKA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Program Studi Ilmu Kelautan
Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : **SIMPANAN KARBON PADA EKOSISTEM LAMUN DI PERAIRAN PULAU TANGKIL, KABUPATEN PESAWARAN, PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Ailsa Brinda Sahasika**

No. Pokok Mahasiswa : **1914221012**

Program Studi : **Ilmu Kelautan**

Jurusan : **Perikanan dan Kelautan**

Fakultas : **Pertanian**



Menyetujui,

1. Komisi Pembimbing



Eko Efendi, S.T., M.Si.
NIP. 197803292003121001



Anna Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.
NIP. 199001202019031011

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

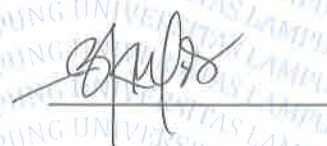


Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.
NIP. 197008151999031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Eko Efendi, S.T., M.Si.



Sekretaris : Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.



Anggota : Dr. Henry Mayaguezz, S.Pi., M.T.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal lulus ujian skripsi : 18 Juli 2024

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ailsa Brinda Sahasika

NPM : 1914221012

Judul Skripsi : “Simpanan Karbon pada Ekosistem Lamun di Perairan Pulau Tangkil, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung”

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis merupakan hasil karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan, pengalaman, dan data yang saya peroleh dari hasil penelitian yang sudah saya lakukan. Selain itu, semua yang tertulis di dalam skripsi sudah sesuai dengan panduan penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terbukti terdapat kecurangan atau salinan yang berasal dari karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandarlampung, Oktober 2024



Ailsa Brinda Sahasika

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Magelang, pada tanggal 14 Maret 2001, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Bapak Henu Pramudito dan Ibu Sri Hartiwiek. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDSN Pekayon Jaya VI pada tahun 2007-2013, pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 12 Kota Bekasi pada tahun 2013-2016, dan sekolah menengah atas (SMA) di SMA Negeri 8 Kota Bekasi pada tahun 2016-2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Fisiologi Biota Laut, Biologi Laut, dan Adaptasi dan Mitigasi Ekosistem serta aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himpik) Universitas Lampung sebagai Sekretaris Bidang Pengkaderan pada tahun 2022. Penulis pernah mengikuti magang di Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKS) pada bulan Januari-Februari tahun 2020. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Telaga Murni, Kabupaten Bekasi, Provinsi Jawa Barat pada bulan Januari-Februari 2022. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Loka Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (LPSPL) Serang pada bulan Juni-Agustus tahun 2022.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan berkah serta rahmat-Nya kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua orang tua tercinta yaitu, Bapak Henu Pramudito dan Ibu Sri Hartiwiek atas segala pengorbanan dan perjuangan yang telah diberikan dengan memberikan kasih sayang, nasihat, dan doa yang tidak pernah terputus, serta semangat dan dukungan moral maupun material kepada penulis selama penulisan skripsi dan proses pendidikan sarjana.

Saudara dan saudariku, Brian Setiaduta dan Ciptaning Aisha Praharti, yang selalu memberikan dukungan, doa, dan semangat.

Teman-teman di Jurusan Perikanan dan Kelautan, khususnya teman-teman Ilmu Kelautan 2019 yang telah berbagi tawa, tangis dan perjuangan, terima kasih karena selalu terus ada di samping penulis selama penyelesaian skripsi ini.

Serta,

Almamaterku tercinta, Universitas Lampung.

MOTO

“Sungguh, engkau (Muhammad) tidak dapat memberi petunjuk kepada orang yang engkau kasihi, tetapi Allah memberi petunjuk kepada orang yang Dia kehendaki, dan Dia lebih mengetahui orang-orang yang mau menerima petunjuk”
(Q.S Al-Qasas, 28 : 56)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”
(Q.S Al-Insyirah, 94 : 5-6)

“Tidaklah mungkin bagi matahari mengejar bulan dan malam pun tidak dapat mendahului siang, masing-masing beredar pada garis edarnya”
(Q.S Yasiin, 36 : 40)

“Cuek dan masa bodoh adalah cara yang sederhana untuk mengarahkan kembali ekspektasi hidup kita dan memilih apa yang penting dan apa yang tidak”
(Mark Manson)

“To be an alpha girl isn't about mastering everything at once. It's about how to stand on your own feet and have a courage choosing your own decision without interference from others”
(Lillasötnos)

“Life can be heavy, especially if you try to carry it all at once. Part of growing up and moving into new chapters of your life is about catch and release. Knowing what things to keep, and what things to release”
(Taylor Swift)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simpanan Karbon pada Ekosistem Lamun di Perairan Pulau Tangkil Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung”. Shalawat beserta salam semoga senantiasa tercurah kepada suri tauladan dan nabi akhir zaman Rasulullah Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat serta kita selaku umatnya di akhir zaman. Skripsi ini dibuat dan diselesaikan untuk memenuhi syarat sebagai Sarjana Sains di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi, penulis banyak mendapat dukungan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan dan sebagai Penguji yang telah memberikan arahan, kritik, saran, dan nasihat yang bermanfaat dalam proses penyelesaian skripsi;
4. Eko Efendi, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Ketua yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, serta petunjuk kepada penulis;
5. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan, petunjuk, serta arahan kepada penulis;

6. Kedua orang tua, Bapak Hernu Pramudito dan Ibu Sri Hartiwiek, adik serta keluarga besar penulis yang tiada henti mengalirkan doa, motivasi, hingga dukungan secara moral maupun material kepada penulis;
7. Sahabat jauh, Ni Made Aulia Sinta yang telah menemani dengan dukungan moral dan semangat penuhnya kepada penulis sejak awal penulisan skripsi;
8. Ira Sepiana, Destrya Happy Claudia, dan Di Ajeng Melinda Safitri sudah menjadi tempat pulang dan berkeluh-kesah serta dengan penuh semangat dan perjuangan bersamanya untuk menyelesaikan skripsi;
9. Teman-teman Ilmu Kelautan angkatan 2019 yang selalu setia menemani dan membersamai dalam suka maupun duka dengan canda, tawa, dan tangis berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi;
10. Teman-teman Kabinet Daiva Sagara dan Bidang Pengkaderan Himapik Tahun 2022 yang selalu memberikan motivasi juga semangat serta perjuangan bersamanya untuk penulis.

Bandarlampung, Oktober 2024

Ailsa Brinda Sahasika

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pikir.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Taksonomi Lamun.....	5
2.2 Morfologi Lamun.....	6
2.3 Reproduksi Daur Hidup Lamun.....	9
2.4 Habitat Lamun	9
2.5 Siklus Karbon	11
III. METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat.....	13
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Tahapan Penelitian.....	15
3.3.1 Penentuan Stasiun.....	15

3.3.2 Penentuan Plot	15
3.3.3 Pengambilan Data.....	17
3.3.4 Kesehatan Ekosistem Lamun	18
3.3.5 Simpanan Karbon	24
3.4 Analisis Data.....	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Komposisi dan Struktur Komunitas Lamun	29
4.2 Kesamaan Habitat Lamun.....	34
4.3 Penilaian Kesehatan Ekosistem Lamun di Pulau Tangkil	35
4.4 Simpanan Karbon Lamun	36
4.4.1 Karbon pada Tegakan Lamun.....	36
4.4.2 Karbon pada Serasah dan Sedimen	39
4.5 Hubungan Variabel Karbon Lamun dengan Variabel Lingkungan.....	42
V. SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat yang digunakan	14
2. Bahan yang digunakan	14
3. Kriteria tingkat kerapatan lamun.....	19
4. Parameter tutupan lamun	20
5. Batas nilai SEQI dan status kategorinya	22
6. Kategori kualitas perairan dari tutupan makroalga	23
7. Kategori penilaian kelimpahan relatif epifit	23
8. Sebaran jenis lamun yang ditemukan pada setiap stasiun.....	30
9. Struktur komunitas lamun di perairan Pulau Tangkil	32
10. Nilai indeks kualitas ekologi lamun (SEQI)	35
11. Biomassa dan simpanan karbon lamun	36
12. Simpanan karbon lamun di perairan Pulau Tangkil (gC/m ²).....	38
13. Total simpanan karbon berdasarkan luas tutupan di perairan Pulau Tangkil	39
14. Karbon pada serasah dan sedimen di perairan Pulau Tangkil.....	40
15. Tipe sedimen di perairan Pulau Tangkil	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	4
2. Morfologi lamun.	7
3. Siklus karbon.....	12
4. Peta lokasi penelitian.....	13
5. Kerapatan lamun berdasarkan persentase tutupan	16
6. Ilustrasi penentuan plot pada stasiun 1.....	17
7. Jenis lamun yang ditemukan di perairan Pulau Tangkil	29
8. Dendrogram pengelompokkan indeks Bray-Curtis dengan analisis klaster ..	34
9. Fraksi sedimen berdasarkan ukuran butir.	41
10. Biplot komponen utama	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perhitungan biomassa lamun.....	55
2. Perhitungan karbon lamun	56
3. Perhitungan karbon sedimen dan serasah lamun	57
4. Perhitungan indeks Bray-Curtis	58
5. Perhitungan penilaian kesehatan ekosistem lamun.....	59
6. Hasil analisis PCA	60
7. Kualitas perairan di Pulau Tangkil.....	61
8. Hasil analisis karbon lamun dan serasah.....	62
9. Hasil analisis karbon sedimen.....	64
10. Desain plot.....	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengasaman laut terjadi ketika jumlah karbon dioksida (CO₂) yang terlarut dalam air laut meningkat. Penyerapan karbon dioksida oleh lautan dapat membantu mengurangi kadar CO₂ di atmosfer. Penyerapan karbon dioksida melalui proses fotosintesis mencapai 93% dari karbon dioksida di atmosfer (Nelleman *et al.*, 2009). Proses penyerapan karbon dioksida melalui fotosintesis dilakukan oleh fitoplankton dan tumbuhan laut, yaitu lamun.

Penyerapan karbon pada lamun melalui proses fotosintesis akan menghasilkan bahan organik. Karbon organik tersebut disimpan dalam bentuk biomassa di bagian atas substrat maupun di bagian bawah substrat (Supriadi *et al.*, 2014). Karbon yang tersimpan di dalam substrat akan disimpan dan terkunci pada sedimen walaupun lamun mengalami kematian, sedangkan karbon di bagian atas substrat akan tersimpan hanya saat lamun hidup (Fourqurean *et al.*, 2014).

Lamun mampu mengakumulasi dan menyimpan karbon sebesar 15% dari total karbon di perairan, sehingga berkontribusi mitigasi perubahan iklim (Laffoley and Grimsditch, 2009). Konservasi dan pemulihan ekosistem dapat meningkatkan penyerapan karbon (Duarte *et al.*, 2013; Lovelock and Reef, 2020). Ferawati *et al.* (2018) menyatakan bahwa keberadaan lamun memiliki potensi dalam menyerap karbon. Berdasarkan data terkini, Provinsi Lampung memiliki nilai stok karbon sebesar 0,42 ton C/ha (Kusuma *et al.*, 2024). Wilayah lain seperti pada hasil penelitian Setyanto *et al.* (2023) menemukan simpanan karbon di Pulau Sintok dan Pulau Menjangan Besar Karimunjawa yang memiliki nilai simpanan karbon sebesar 2,59 – 404,57 gC/m². Wahyudi *et al.* (2020) menyatakan bahwa penyerapan

karbon oleh lamun di Indonesia diperkirakan mencapai 5,62-8,40 ton C, dua kali lipat lebih tinggi dari rata-rata global 2,78 ton C.

Menurut Strydom *et al.* (2020) kemampuan lamun dalam penyerapan karbon dipengaruhi oleh kondisi lamun itu sendiri. Ekosistem lamun rentan terhadap berbagai tekanan, di antaranya pengaruh perubahan iklim dan aktivitas antropogenik (Unsworth *et al.*, 2014; Nordlund *et al.*, 2016). Tekanan tersebut akan menyebabkan hilangnya ekosistem lamun, sehingga akan mengurangi kemampuan lamun sebagai penyedia jasa ekosistem dalam menyerap karbon (Arias-Ortiz *et al.*, 2018; Chefaoui *et al.*, 2018).

Ekosistem lamun di Pulau Tangkil, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, mulai terancam dengan meningkatnya aktivitas terutama kegiatan wisata. Hal ini diduga akan menyebabkan penurunan kepadatan dan luasan lamun di Pulau Tangkil. Informasi mengenai kondisi ekosistem lamun dan simpanan karbon menjadi sangat penting. Akan tetapi, kondisi ekosistem dan kemampuan penyerapan karbon lamun di Pulau Tangkil belum banyak diketahui, sehingga penelitian ini menjadi sangat penting untuk dilakukan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kesehatan ekosistem lamun di perairan Pulau Tangkil,
2. Menganalisis simpanan karbon yang tersimpan dalam tegakan, serasah, dan sedimen lamun di perairan Pulau Tangkil,
3. Menganalisis hubungan variabel karbon lamun dengan variabel lingkungan di perairan Pulau Tangkil.

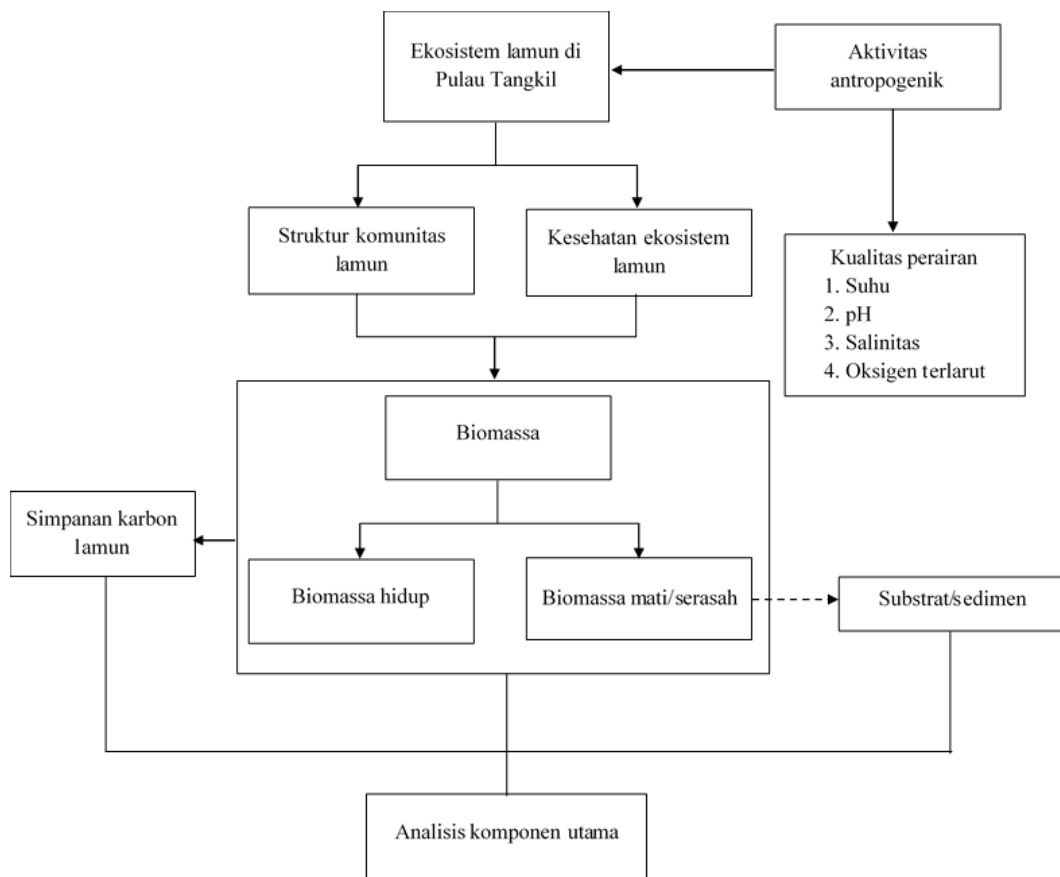
1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan mengenai simpanan karbon pada ekosistem lamun serta sumber data pendukung untuk pengelolaan lamun di perairan Pulau Tangkil Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

1.4 Kerangka Pikir

Salah satu layanan ekosistem yang mampu menyimpan menyerap dan melepaskan kembali karbon adalah ekosistem lamun. Kemampuan ekosistem lamun dalam penyerapan karbon rentan dipengaruhi berbagai tekanan, seperti aktivitas antropogenik. Perairan Pulau Tangkil mengalami beberapa aktivitas, seperti aktivitas wisata, yang diduga akan menjadi tekanan bagi ekosistem lamun. Selain berpengaruh terhadap kemampuan lamun menyerap karbon, peningkatan aktivitas wisata dapat menyebabkan penurunan nilai kualitas perairan, seperti suhu, pH, salinitas, dan oksigen terlarut. Kualitas perairan juga dapat memengaruhi kesehatan lamun dan struktur komunitas lamun. Untuk mengetahui kesehatan lamun dilakukan analisis terhadap parameter jenis lamun, tutupan epifit, tutupan makroalga hingga kecerahan perairan.

Aktivitas wisata yang terjadi di Pulau Tangkil dapat memengaruhi nilai biomassa lamu. Biomassa lamun terdiri atas biomassa hidup yaitu pada tegakan lamun dan biomassa mati yaitu pada serasah dan sedimen. Biomassa yang terakumulasi pada lamun akan berpengaruh terhadap jumlah simpanan karbon pada lamun hidup atau lamun mati hingga terdeposit ke sedimen. Hubungan kualitas perairan, struktur komunitas dan karbon tersimpan dapat diketahui dari analisis komponen utama (AKU), sehingga dapat diketahui faktor dominan yang dapat memengaruhi simpanan karbon pada lamun. Secara ringkas kerangka pikir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Taksonomi Lamun

Lamun atau *seagrass* adalah tumbuhan berbunga (Angiospermae) yang sepenuhnya dapat menyesuaikan diri untuk dapat bertahan hidup terbenam di dalam laut (Sjafrie *et al.*, 2018). Semua lamun adalah tumbuhan berbiji satu atau monokotil yang memiliki rhizoma, daun, bunga, dan buah seperti tumbuhan berpembuluh yang hidup di darat. Lamun tumbuh membentuk hamparan berupa padang lamun yang terdiri dari beberapa spesies maupun satu spesies (Parawansa *et al.*, 2020).

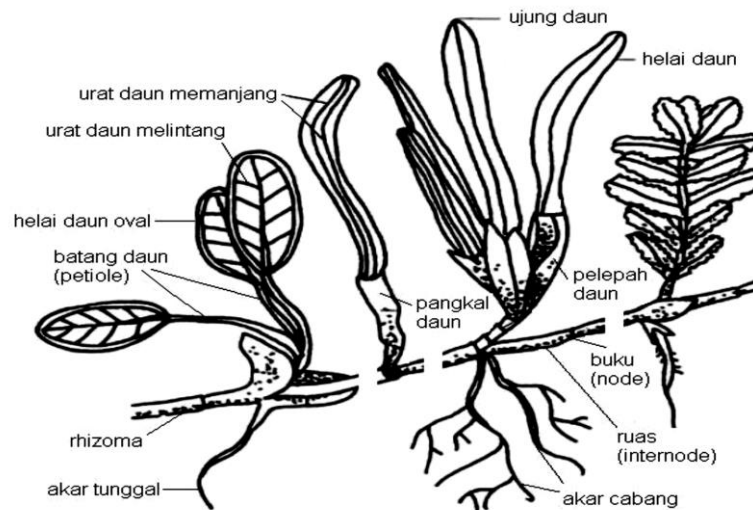
Menurut Kuo and McComb (1998) terdapat 60 jenis lamun di dunia yang terdiri dari 2 suku dan 12 marga. Pada perairan Indonesia, lamun yang ditemukan terdiri dari 13 jenis dengan 2 suku dan 7 marga, yaitu dari famili Potamogetonaceae dengan subfamili Cymodoceaceae dengan jenis lamun *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Halodule pinifolia*, *Halodule uninervis*, *Syringodium isoetifolium*, *Thalassodendron ciliatum* serta dari famili Hydrocharitaceae, yaitu *Enhalus acoroides*, *Halophila minor*, *Halophila ovalis*, *Halophila sulawesii*, *Halophila decipiens*, *Halophila spinulosa*, dan *Thalassia hemprichii* (Hernawan *et al.*, 2017). Den Hartog (1970) mengklasifikasikan lamun sebagai berikut:

Divisi : Anthophyta
Kelas : Angiospermae
Famili : Potamogetonaceae
Subfamili : Zosteroidae
Genus : *Zostera* sp.
Phyllospadix sp.
Heterozostera sp.

- Subfamili : Posidonioidae
Genus : *Posidonia* sp.
- Subfamili : Cymodoceaceae
Genus : *Halodule* sp.
Cymodoceae sp.
Syringodium sp.
Amphibolis sp.
Thalassodendron sp.
- Famili : Hydrocharitaceae
Subfamili : Hydrocharitaceae
Genus : *Enhalus* sp.
- Subfamili : Thalassioideae
Genus : *Thalassia* sp.
- Subfamili : Halophiloideae
Genus : *Halophila* sp.

2.2 Morfologi Lamun

Secara umum lamun memiliki bentuk luar yang sama, perbedaan antar spesies dilihat dari keragaman bentuk organ vegetatif. Berbeda dengan makroalga (*seaweeds*), lamun memiliki akar sejati, daun, pembuluh internal yang merupakan sistem yang menyalurkan nutrisi, air dan gas (Rahman *et al.*, 2022). Beberapa peneliti membedakan lamun berdasarkan morfologinya seperti dengan melihat bentuk akar, rhizoma, dan daun (Rahmawati *et al.*, 2014). Morfologi secara umum disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi lamun.

Sumber: McKenzie dan Yoshida (2009).

2.2.1 Akar

Lamun memiliki tipe perakaran lamun yang berbeda-beda di setiap jenisnya. Pada umumnya lamun memiliki perakaran serabut yang dapat berfungsi untuk menancapkan tumbuhan ke substrat dan menyerap zat hara. Akar lamun memiliki pusat stele dan endodermis di sekitarnya. Stele terdiri dari xilem atau jaringan yang menyalurkan air dan floem atau jaringan yang mengangkut nutrisi (Rahman *et al.*, 2022). Akar serabut pada lamun menyebar secara horizontal di bawah permukaan sedimen untuk melakukan penyerapan nutrisi dan menstabilkan sedimen. Stabilitas sedimen yang lebih tinggi juga menciptakan lingkungan yang kondusif untuk penumpukan material organik.

Selain itu, akar yang ekstensif dapat memperkokoh sedimen sehingga dapat membantu menjaga karbon tetap terperangkap di dalam sedimen. Akar yang panjang dan bercabang pada lamun memungkinkan untuk menutupi area yang luas dan meningkatkan kemampuan untuk menyerap karbon organik dari sedimen, sekaligus sebagai penyimpan karbon dalam bentuk biomassa akar. Karbon yang tersimpan dalam sistem akar lamun bisa bertahan dalam jangka waktu yang lama, sehingga dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon (Rahman *et al.*, 2022).

2.2.2 Rhizoma

Beberapa jenis lamun memiliki rhizoma yang tumbuh secara vertikal, meskipun secara umum rhizoma lamun tumbuh secara horizontal. Rhizoma lamun tumbuh secara horizontal di bawah sedimen menciptakan jaringan yang luas dan saling terhubung. Rhizoma juga berfungsi untuk menyimpan karbon. Karbon yang disimpan dapat bertahan dalam waktu yang lama karena kondisi anaerobik pada sedimen yang memperlambat dekomposisi bahan organik (Rahman *et al.*, 2022).

Struktur rhizoma yang kompleks akan membantu menangkap partikel organik yang terbawa air dan terjebak di antara jaringan rhizoma yang akan mengakumulasi karbon di sedimen sekitar rhizoma. Rhizoma juga berperan dalam stabilitas sedimen yang membantu menangkap partikel organik yang terbawa air dan terjebak di sekitar jaringan rhizoma. Rhizoma dapat mencegah pengangkutan material organik ke laut terbuka sehingga dapat memastikan karbon yang tersimpan dalam sedimen tidak mudah terlepas kembali ke air laut (Rahman *et al.*, 2022).

2.2.3 Daun

Bentuk daun lamun biasanya monopodial memanjang, tipis, dan menyerupai pita. Daun lamun dapat tumbuh dari petiole (tangkai daun), atau langsung dari rhizoma yang tumbuh tegak ke permukaan. Daun lamun yang berbentuk menyerupai pita memiliki luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan laju fotosintesis. Pada umumnya, daun lamun memiliki jumlah stomata yang sedikit dan kutikula yang tipis. Lapisan kutikula berfungsi dalam pertukaran gas, sehingga memungkinkan terjadinya penyerapan karbon dioksida (Rahman *et al.*, 2022).

Selain berfungsi dalam proses fotosintesis untuk menyerap karbon, daun lamun juga berfungsi sebagai penyimpan karbon. Bentuk daun lamun yang panjang menyebabkan lamun memiliki biomassa yang besar, sehingga karbon mampu menyaring partikel organik dari kolom air dan karbon yang tersimpan dalam biomassa daun juga relatif tinggi (Rahman *et al.*, 2022).

2.3 Reproduksi Daur Hidup Lamun

Sistem reproduksi lamun dilakukan secara aseksual dan seksual. Reproduksi lamun secara aseksual dilakukan dengan membentuk stolon yang merupakan perpanjangan dari bagian bawah tanah yang berupa rhizoma. Secara seksual, reproduksi lamun dilakukan dengan hidrophilus. Hidrophilus memiliki kemampuannya untuk melakukan polinasi di bawah air. Polinasi pada bunga lamun akan menghasilkan buah dan menyebarkan bibit seperti kebanyakan tumbuhan darat. Lamun memiliki dua bentuk pembungaan yaitu, *monoecious* dimana bunga jantan dan betina berada pada satu individu, *dioecious* yaitu jantan dan betina berada pada individu yang berbeda (Siahaan *et al.*, 2024). Selain beradaptasi untuk hidup pada lingkungan laut, lamun juga beradaptasi untuk melakukan reproduksi pada saat mata-hari terbenam.

2.4 Habitat Lamun

Jumlah spesies lebih banyak terdapat di daerah tropis daripada di daerah ughari. Habitat utama lamun di daerah tropis adalah di teluk dangkal dan *platform* terumbu tepi dangkal yang terlindung. Lamun ditemukan tumbuh pada daerah *midintertidal* sampai kedalaman 0,5-10 m dan sangat melimpah di daerah sublitoral. Lamun dapat hidup mulai dari rendah nutrien dan melimpah pada habitat yang tinggi nutrien. Lamun pada umumnya dianggap sebagai kelompok tumbuhan yang homogen (Rahman *et al.*, 2022).

Sifat-sifat lingkungan pantai terutama dekat estuari, cocok untuk pertumbuhan dan perkembangan lamun. Penyesuaian secara morfologi dilakukan dengan berbagai bentuk misalnya daun yang seperti rumput, lentur dan sistem akar dari rimpang yang meluas mampu bertahan terhadap pengaruh ombak pasut dan perpindahan dua habitat pantai yang dangkal. Lamun yang hidup di perairan yang suhunya lebih tinggi karena pemanasan yang intensif, didominasi oleh varietas yang berdaun kecil (Romimohtarto dan Juwana, 2001).

Habitat lamun erat hubungannya dengan kualitas perairan. Kualitas perairan dibutuhkan bagi ekosistem lamun untuk mengetahui lingkungan yang sesuai untuk mendukung proses pertumbuhan dan berkembangnya lamun. Kualitas perairan yang menjadi faktor pembatas dari pertumbuhan dan perkembangan lamun, antara lain suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut, dan kecerahan.

Lamun yang hidup di daerah tropis dapat tumbuh optimal pada suhu 28° C hingga 30° C (KLHK, 2021). Suhu yang tinggi dapat menyebabkan stres dan memengaruhi struktur membran sel, sehingga akan mengganggu proses fotosintesis. Suhu yang rendah dapat memperlambat aktivitas enzim yang terlibat dalam fotosintesis dan pertumbuhan lamun serta proses metabolik lainnya. Beberapa jenis lamun pertumbuhannya akan terhenti ketika suhu terlalu rendah (Sutadi *et al.*, 2021).

Lamun dapat tumbuh optimal pada derajat keasaman 7-8,5 (KLHK, 2021). pH yang terlalu tinggi (basa) dapat mengganggu proses fotosintesis dengan tidak berfungsinya aktivitas enzim dan merusak sel-sel lamun dalam penyerapan karbon dioksida. pH dalam kondisi basa juga memengaruhi ketersediaan nutrisi esensial untuk pertumbuhan lamun yang akan mengurangi efisiensi fotosintesis dan kemampuan menyimpan karbon. Hal sebaliknya, pada pH yang terlalu rendah akan terjadi denaturasi enzim fotosintesis, merusak membran sel dan dinding sel yang dapat mengganggu integritas seluler dalam penyerapan karbon dioksida sehingga memengaruhi kemampuan lamun dalam menyimpan karbon (Sutadi *et al.*, 2021).

Kisaran salinitas yang dapat ditolerir oleh lamun yaitu antara 33 hingga 34 ppt (KLHK, 2021). Salinitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres osmotik dan kerusakan kloroplas pada lamun untuk mengatur keseimbangan ion dan air dalam sel. Konsentrasi garam yang tinggi juga dapat menyebabkan kerusakan sel dan mengurangi pertumbuhan daun hingga akar lamun (Minerva *et al.*, 2014). Salinitas yang rendah akan mengganggu keseimbangan nutrisi esensial menjadi kurang tersedia atau sulit diserap (Sutadi *et al.*, 2021).

Kisaran optimal oksigen terlarut pada lamun yaitu >5 (KLHK, 2021). Konsentrasi oksigen yang terlalu tinggi menyebabkan stres oksidatif pada lamun yang dapat mengganggu proses fotosintesis dan respirasi hingga menurunkan efisiensi serapan dan simpanan karbon (Tuapattinaya, 2014). Oksigen terlarut yang terlalu rendah (hipoksia) dapat mengurangi respirasi yang esensial untuk menghasilkan energi. Selain itu, oksigen yang rendah akan menyebabkan akar tidak mendapat cukup oksigen untuk respirasi dan mengurangi penyerapan nutrisi dari sedimen (Minerva *et al.*, 2014).

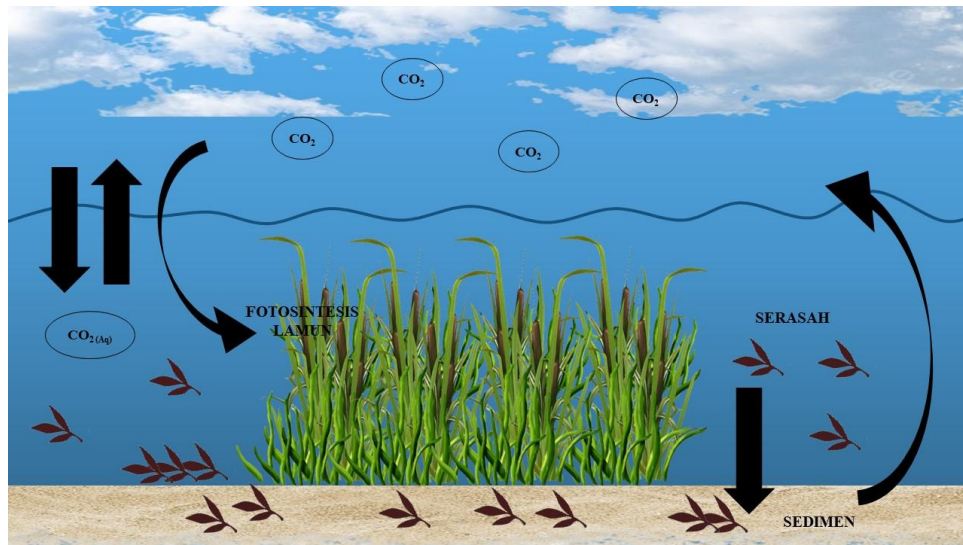
Lamun dapat tumbuh optimal dengan kecerahan >3 m (KLHK, 2021). Kecerahan yang rendah memungkinkan intensitas cahaya yang mencapai lamun tidak mencukupi untuk fotosintesis yang optimal. Lamun yang tidak mendapatkan cukup cahaya juga akan mengalami pertumbuhan yang terhambat, sehingga mengakibatkan produksi biomassa yang berkurang (Tuapattinaya, 2014).

2.5 Siklus Karbon

Pada permukaan dan sedimen laut, terdapat karbon yang terlarut dan mengendap yang disimpan dalam bentuk CO_2 . *Blue carbon sink* di lautan mempunyai efektivitas lebih baik dan lebih tinggi dalam penyerapan karbon di atmosfer dan kemampuannya dalam menyimpan karbon dalam waktu yang lama hingga jutaan tahun (Sari *et al.*, 2023).

Lamun melakukan fotosintesis, mengubah karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer menjadi glukosa dan oksigen. Proses tersebut akan menghasilkan oksigen (O_2) yang dilepaskan kembali. Sebagian karbon yang dihasilkan dari fotosintesis akan disimpan dalam jaringan lamun sebagai bahan organik. Lamun dapat menyimpan karbon pada biomassa dalam jangka waktu yang lama, sehingga memungkinkan lamun membantu mengurangi karbon dioksida di atmosfer. Lamun yang telah mati (serasah) melayang atau tenggelam masih menyimpan karbon, sehingga serasah yang tenggelam akan terakumulasi di sedimen.

Ketika lamun mati atau bagian jaringan lamun terlepas, maka bahan organik akan terurai. Proses penguraian tersebut dapat melepaskan karbon kembali ke air dan atmosfer dalam bentuk karbon dioksida (CO_2). Karbon yang tidak terlarut di laut dapat terdeposit di sedimen. Proses tersebut dapat berlangsung selama berbulan-bulan atau tahunan mengakumulasi karbon dalam bentuk sedimen. Proses siklus karbon dapat dilihat pada Gambar 3.



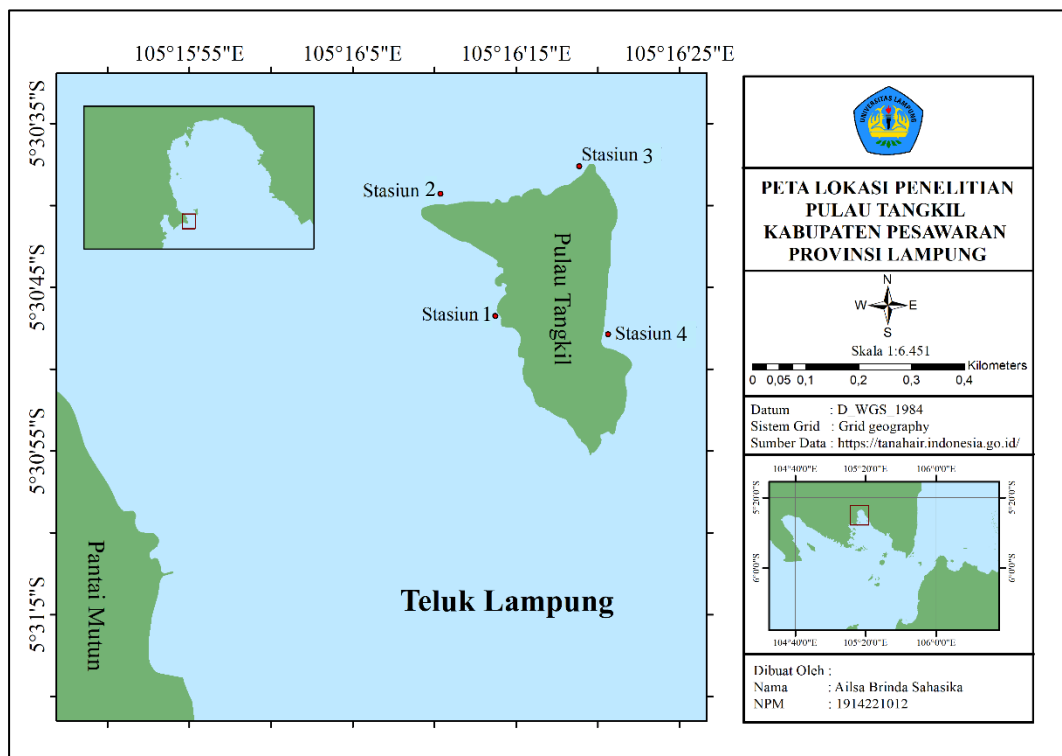
Gambar 3. Siklus karbon

Sumber: Mazarassa *et al.* (2015).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada 5-8 September 2023. Pengamatan kondisi ekosistem lamun dilakukan di perairan Pulau Tangkil Kabupaten Pesawaran (Gambar 4). Sampel lamun, serasah, dan sedimen lamun yang diambil dari lokasi pengamatan dianalisis di Laboratorium Oseanografi, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan Laboratorium Analisis, Politeknik Negeri Lampung.



Gambar 4. Peta lokasi penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Alat yang digunakan.

No.	Alat	Spesifikasi	Keterangan/Fungsi
1.	GPS	Garmin Map 76	Menentukan titik koordinat.
2.	ADS	AmScuD	Membantu berenang.
3.	<i>Roll meter</i>	Magnum	Membuat transek garis.
4.	Kamera <i>underwater</i>	Fujifilm Finepix xp90	Mendokumentasikan.
5.	Transek kuadran	PVC Rucika 1 inch	Membatasi pengambilan sampel lamun dan sedimen.
6.	<i>Core sampler</i>	PVC Rucika 3 inch	Mengambil sampel sedimen.
7.	Sieve shaker	RETSCH	Mengayak sedimen.
8.	Termometer	AMT07	Mengukur suhu.
9.	pH <i>paper</i>	Merck Universal	Mengukur pH.
10.	Refraktometer	RHS-10ATC	Mengukur salinitas.
11.	DO meter	YSI 550A	Mengukur oksigen terlarut.
12.	Kantong plastik	NAF 35x25	Menyimpan sampel lamun dan sedimen.
13.	<i>Coolbox</i>	<i>Styrofoam cooler</i>	Menyimpan sampel lamun dan sedimen.
14.	Gunting dan pisau	Deli dan Tanica	Memotong sampel lamun.
15.	Oven	EYELA NDO-400	Mengurangi kadar air.
16.	Timbangan analitik	ARD-TBG 1	Mengukur berat sampel lamun dan sedimen.
17.	Kertas label	T&J Self Adhesive Labels No. 103	Memberi keterangan sampel lamun dan sedimen.
18.	Alat tulis	SIDU, 2B, dan Joyko	Mencatat data.
19.	<i>Nylon filter</i>	OXFIL	Menyaring air sedimen.

Tabel 2. Bahan yang digunakan.

No.	Bahan	Keterangan/Fungsi	Kegunaan
1.	Akuades	Membersihkan sampel lamun dan serasah	<i>Waterone 5L.</i>
2.	Lamun	Sampel	
3.	Sedimen lamun	Sampel	
4.	Serasah lamun	Sampel	

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi penentuan stasiun, penentuan plot, pengambilan data, penilaian kesehatan ekosistem lamun dan analisis simpanan karbon.

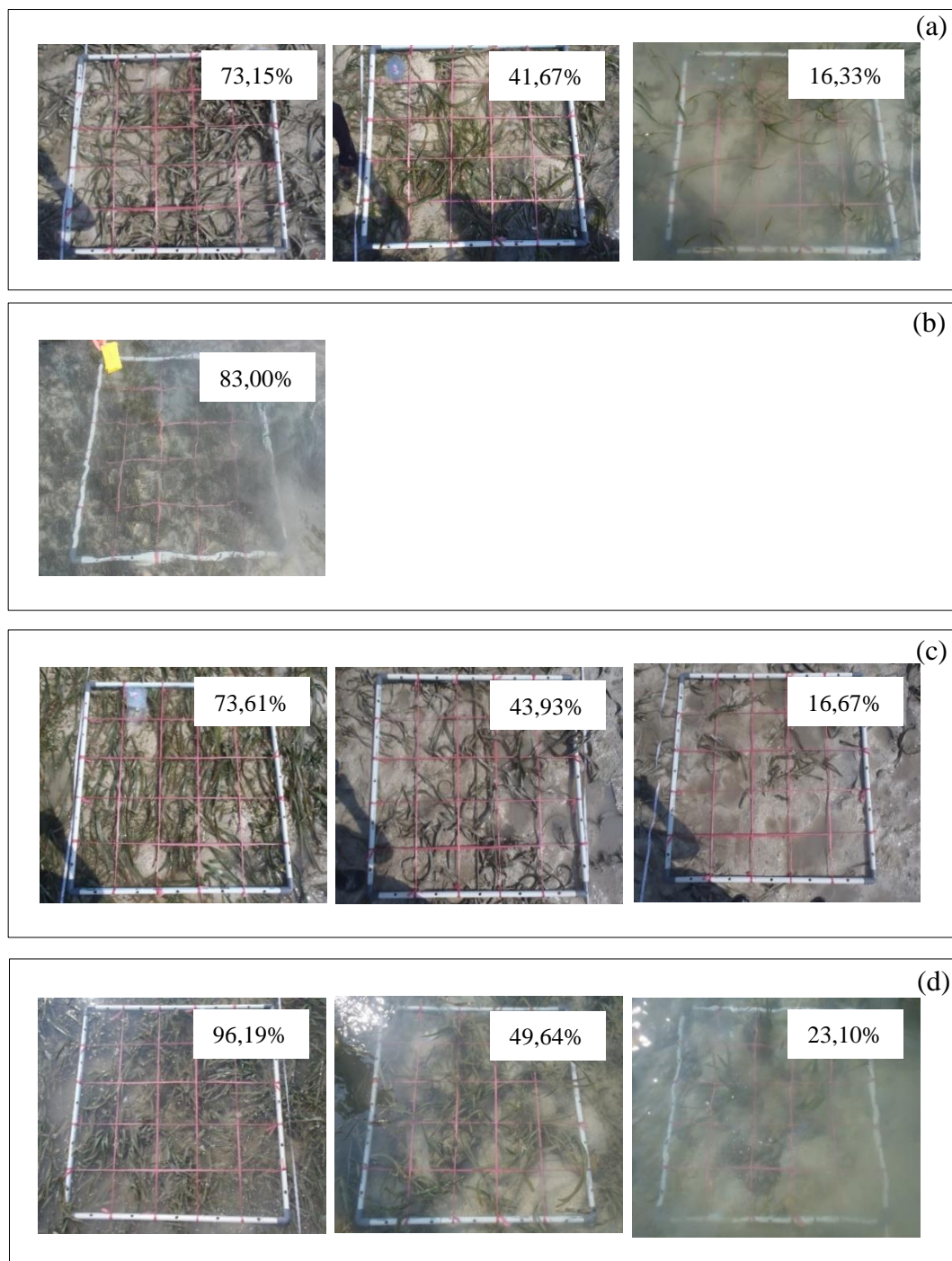
3.3.1 Penentuan Stasiun

Stasiun pengambilan data ditentukan berdasarkan keberadaan lamun yang ada di Pulau Tangkil, sehingga diperoleh sebanyak 4 stasiun. Stasiun 1 terletak di bagian barat Pulau Tangkil dengan luas sebesar 2,20 hektar (ha). Stasiun 2 terletak di bagian barat laut Pulau Tangkil dengan luas sebesar 0,08 ha. Stasiun 3 terletak di bagian utara Pulau Tangkil dengan luas sebesar 0,68 ha dan Stasiun 4 terletak di bagian timur Pulau Tangkil dengan luas sebesar 1,01 ha.

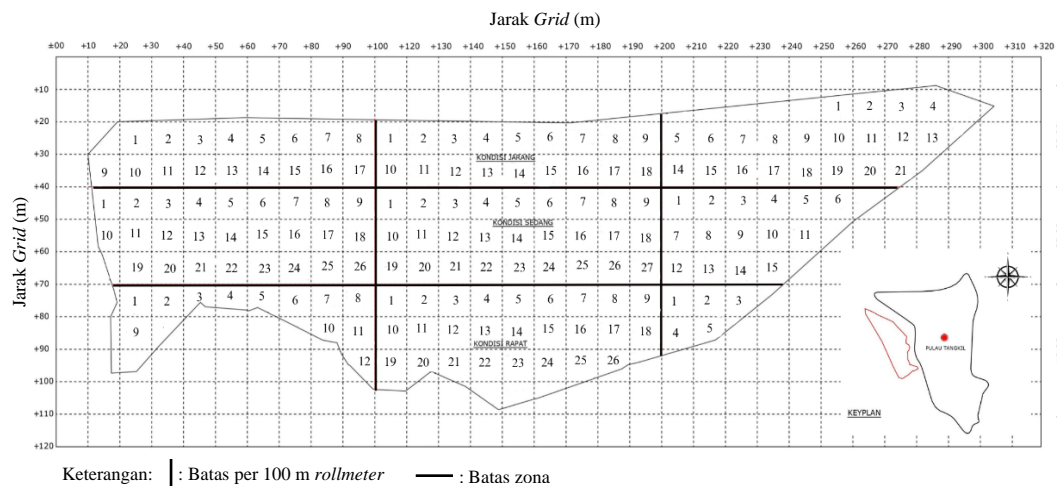
Masing-masing stasiun dibagi menjadi 3 zona berdasarkan tingkat kerapatan tutupan lamun. Kerapatan tutupan lamun ditentukan berdasarkan hasil studi pendahuluan. Kriteria tutupan lamun mengacu pada Rahmawati *et al.* (2014). Tutupan lamun sebesar 51-100% dikategorikan sebagai padat, tutupan lamun sebesar 26-50% dikategorikan sedang, sedangkan tutupan lamun sebesar 0-25% dikategorikan jarang. Hasil pengamatan studi pendahuluan kerapatan lamun disajikan pada Gambar 5.

3.3.2 Penentuan Plot

Pada masing-masing stasiun, setelah diketahui zona tutupan lamun dibuat batas antar zona. Masing-masing zona dibagi ke dalam plot pengamatan berukuran 10x10 m², yang diatur dalam bentuk *grid* dan diberi nomor secara berurutan. Pengambilan sampel dilakukan pada plot yang terpilih secara acak. Pengacakan dilakukan pada aplikasi Randomizer. Jumlah plot pengamatan adalah 10% dari total *grid* yang terbentuk di masing-masing zona. Ilustrasi plot pengamatan disajikan pada Gambar 6 dan ilustrasi plot di setiap stasiun dapat dilihat pada Lampiran 10.



Gambar 5. Kerapatan lamun berdasarkan persentase tutupan di (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3 dan (d) Stasiun 4.



Gambar 6. Ilustrasi penentuan plot pada stasiun 1.

Keterangan: garis putus-putus vertikal dan horizontal menunjukkan *grid*, *grid* yang bernomor merupakan plot yang diamati setelah dipilih secara acak.

3.3.3 Pengambilan Data

Data *in situ* diamati pada plot yang telah terpilih secara acak. Pada plot tersebut, pengamatan dilakukan dalam transek kuadran berukuran $1 \times 1 \text{ m}^2$. Prosedur pengambilan data *in situ* dengan tahapan sebagai berikut:

1. Jenis lamun dalam transek kuadran diamati berdasarkan morfologinya dengan identifikasi menggunakan panduan identifikasi lamun Rahmawati *et al.* (2014);
2. Jumlah tegakan lamun dalam transek kuadran dihitung untuk menentukan kepadatan lamun hingga tutupan lamun;
3. Panjang dan lebar daun diukur, kemudian diamati ada tidaknya tutupan epifit;
4. Jika terdapat epifit yang menutupi, kemudian diukur luasnya;
5. Keberadaan makroalga diamati didalam transek dan diukur tutupan makroalga;
6. Kualitas perairan diukur pada air yang tersaring dalam sedimen (*pore water*).
Parameter kualitas perairan yang diukur meliputi suhu, pH, salinitas dan oksigen terlarut.

Pengambilan sampel dilakukan untuk tujuan analisis lanjutan di laboratorium. Sampel yang diambil berupa sampel lamun dan sedimen dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sampel lamun yang diambil terdiri dari sampel lamun hidup dan lamun mati (serasah), masing-masing sampel diambil pada 3 titik berbeda di setiap stasiun;
2. Sampel lamun hidup dipisahkan, yaitu bagian atas substrat (*above ground*) terdiri atas daun dan bagian bawah substrat (*below ground*) yang terdiri atas rizoma dan akar;
3. Sampel sedimen diambil menggunakan *core sampler* dengan panjang 30 cm dan diameter 7,5 cm pada 3 titik yang berbeda di setiap stasiun;
4. Sampel sedimen pada *core sampler* dibagi menjadi 3 bagian berdasarkan kedalaman setiap 10 cm.

3.3.4 Kesehatan Ekosistem Lamun

Struktur komunitas lamun yang seimbang dapat memastikan bahwa ekosistem lamun berfungsi dengan baik. Struktur komunitas lamun yang seimbang dan beragam penting untuk menjaga kesehatan ekosistem lamun. Data yang diperlukan untuk mengetahui struktur komunitas lamun, yaitu kerapatan jenis dan relatif, frekuensi jenis dan relatif, penutupan jenis dan relatif, serta indeks nilai penting (INP).

Penilaian kesehatan ekosistem lamun dilakukan dengan menggunakan metode SEQI (*seagrass ecological quality index*). Status ekologis dengan nilai SEQI menunjukkan kondisi padang lamun di suatu wilayah sebagai penilaian dan pemantauan kondisi lamun untuk pengelolaan lamun berkelanjutan (Hernawan *et al.*, 2021). Variabel SEQI yang dimasukkan dalam parameter penilaian kondisi habitat lamun terdiri atas kekayaan spesies lamun, tutupan lamun, tutupan makroalga, penutupan epifit, dan transparansi air.

a. Kerapatan jenis dan kerapatan relatif

Kerapatan jenis dihitung berdasarkan jenis tegakan dari setiap jenis lamun per satuan luas pengamatan. Kerapatan jenis dihitung menggunakan persamaan (1) (Brower *et al.*, 1984) dan kerapatan relatif menggunakan persamaan (2) (English *et al.*, 1994) sebagai berikut:

$$D_i = \frac{\sum N_i}{A} \dots\dots\dots(1)$$

$$RD_i = \frac{N_i}{\sum n} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

D_i = kerapatan jenis (ind/m²)

RD_i = kerapatan jenis relatif

N_i = jumlah lamun ke-i (tegakan)

A = luas daerah yang disampling (m²)

n = jumlah total tegakan seluruh jenis

Kriteria tingkat kerapatan ditentukan dari hasil kerapatan jenis. Kriteria kerapatan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria tingkat kerapatan lamun.

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

(Sumber: Rahmawati *et al.*, 2014)

b. Frekuensi jenis dan frekuensi relatif

Frekuensi jenis merupakan peluang ditemukannya suatu jenis lamun dalam area yang diamati dan dirumuskan dengan persamaan (3) dan frekuensi relatif dihitung menggunakan persamaan (4) (Brower *et al.*, 1984) sebagai berikut:

$$F_i = \frac{P_i}{\sum P} \dots\dots\dots(3)$$

$$RF_i = \frac{F_i}{\sum F} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

F_i = frekuensi jenis ke-i

RF_i = frekuensi relatif jenis ke-i

- P_i = petak contoh dimana spesies ditemukan
 P = jumlah petak contoh yang diamati
 F = jumlah frekuensi seluruh spesies

c. Penutupan jenis dan penutupan relatif

Untuk melakukan perhitungan persentase tutupan jenis dilakukan dengan analisis menggunakan metode *rapid assessment* di setiap kuadran dengan menggunakan persamaan (5) dan penutupan relatif dihitung menggunakan persamaan (6) (McKenzie *et al.*, 2009) sebagai berikut:

$$C_i = \frac{\sum(M_i \times F_i)}{\sum F} \dots\dots\dots(5)$$

$$RC_i = \frac{C_i}{C} 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- C_i = penutupan jenis ke-i
 RC_i = penutupan relatif ke-i
 M_i = *mid point* (titik tengah)
 F_i = frekuensi jenis ke-i
 F = jumlah frekuensi seluruh spesies
 C = penutupan seluruh jenis

Tabel 4. Parameter tutupan lamun.

Kelas	Luas area tutupan	% Penutupan area	% Titik tengah
5	$1/2$ – penuh	50-100	75
4	$1/4$ - $1/2$	25-50	37,5
3	$1/8$ - $1/4$	12,5-25	18,75
2	$1/16$ - $1/8$	6,25-12,5	9,83
1	$<1/16$	$<6,25$	3,13
0	Tidak Ada	0	0

(Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 20 Tahun 2004)

d. Indeks Nilai Penting (INP)

Indeks nilai penting (INP) dipergunakan untuk menghitung dan menduga keseluruhan dari peranan satu spesies di dalam suatu komunitas. Semakin tinggi nilai INP suatu spesies terhadap spesies lainnya, maka semakin tinggi peranan spesies tersebut pada komunitasnya (Zurba, 2018) yang berkisar antara 0-300% dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut (Brower *et al.*, 1984):

$$INP = RD_i + RF_i + RC_i \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

RD_i = kerapatan relatif

RF_i = frekuensi relatif

RC_i = penutupan relatif

Kategori indeks nilai penting (INP):

201%-300% = Tinggi

101%-200% = Sedang

0%-100% = Rendah

e. Indeks Bray-Curtis

Indeks Bray-Curtis (1957) merupakan indeks yang digunakan untuk mengukur kesamaan dalam dua data yang memiliki jenis-jenis berbeda. Data diukur kesamaan dalam dua dstasiun yang memiliki jenis-jenis lamun berbeda pada ekosistem lamun di Pulau Tangkil. Indeks Bray-Curtis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$B = \frac{\sum_{i=0}^n |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=0}^n (X_{ij} + X_{ik})} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

X_{ij} = banyaknya spesies ke-i dalam setiap contoh ke-j

X_{ik} = banyaknya spesies ke-i dalam setiap contoh ke-k

n = banyaknya spesies dalam contoh

Nilai indeks Bray-Curtis berkisar antara 0-1 dengan ketentuan:

B mendekati 0 : menunjukkan kesamaan sempurna

B mendekati 1 : menunjukkan tidak ada kesamaan

f. Penilaian kesehatan ekosistem padang lamun

Hasil perhitungan tiap variabel SEQI di setiap lokasi kemudian dimasukkan ke persamaan (9) untuk menghitung SEQI dan batas nilai serta kategori menurut (Hernawan *et al.*, 2021) disajikan dalam (Tabel 5) sebagai berikut:

$$SEQI = \left(\frac{S_t}{S_{ref}}\right) \times 0,2 + \left(\frac{C_t}{C_{ref}}\right) \times 0,2 + \left(\frac{W_t}{W_{ref}}\right) \times 0,2 + \left(1 - \left(\frac{M_t}{M_{max}}\right)\right) \times 0,2 + \left(1 - \left(\frac{E_t}{E_{max}}\right)\right) \times 0,2 \dots\dots(9)$$

Keterangan:

S_t = kekayaan jenis lamun yang diamati

S_{ref} = nilai maksimal kekayaan jenis lamun (9)

C_t = persen tutupan lamun yang diamati (%)

C_{ref} = nilai maksimum persen tutupan lamun (100)

W_t = transparansi air yang diamati

W_{ref} = nilai maksimal transparansi air (2)

M_t = persen tutupan makroalga yang diamati (%)

M_{max} = nilai maksimal persen tutupan makroalga (100)

E_t = persen tutupan epifit yang teramati (%)

E_{max} = nilai maksimal persen tutupan epifit (100)

Tabel 5. Batas nilai SEQI dan status kategorinya.

Nilai SEQI	Status ekologis
0-0,36	Buruk
0,37-0,52	Miskin
0,53-0,68	Sedang
0,69-0,84	Bagus
0,85-1	Bagus Sekali

Sumber: Hernawan *et al.* (2021).

g. Tutupan makroalga

Makroalga sering dijumpai di padang lamun apabila jumlahnya meningkat maka makroalga akan menjadi ancaman bagi lamun. Makroalga dianalisis secara kualitatif dengan mendeskripsikan ciri morfologi dan dilakukan identifikasi dengan merujuk pada buku identifikasi (Atmadja *et al.*, 1996). Estimasi persen penutupan makroalga digunakan persamaan seperti perhitungan lamun pada persamaan (6).

Tabel 6. Kategori kualitas perairan dari tutupan makroalga.

Persentase penutupan makroalga (%)	Kategori kelimpahan	Kategori kualitas perairan
<10%	Sedikit	Baik
10-30%	Sedang	Sedang
>30%	Melimpah	Buruk

Sumber: Rahmawati *et al.* (2019).

h. Penutupan epifit

Persentase tutupan epifit pada daun lamun dapat dihitung dengan melihat tutupan epifit yang terdapat di daun lamun dominan yang ditemukan pada setiap transek kuadran. Persentase tutupan epifit diperkirakan secara visual berdasarkan persentase daun yang tertutup mengikuti metode pengamatan lamun dengan mengambil foto lamun yang terdapat epifit dan dihitung panjang serta lebar lamun sehingga, dapat dianalisis persentase tutupan epifit pada lamun. Kategori penilaian epifit pada lamun dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kategori penilaian kelimpahan relatif epifit.

Persentase penutupan epifit (%)	Kategori kelimpahan	Kategori kualitas perairan
<20%	Sedikit	Baik
20-40%	Sedang	Sedang
>40%	Melimpah	Buruk

Sumber: Rahmawati *et al.* (2019).

i. Transparansi air

Lamun membutuhkan cahaya untuk melakukan fotosintesis yang diserap dan dipantulkan oleh partikel tersuspensi. Partikel tersuspensi yang rendah (air jernih) memungkinkan cahaya yang optimal bagi pertumbuhan lamun, sementara jumlah partikel tersuspensi yang tinggi (air keruh) akan menghalangi ketersediaan cahaya

sehingga dapat menyebabkan kematian pada lamun. Pada penilaian transparansi air merujuk pada penelitian (Hernawan *et al.*, 2021) mengategorikan transparansi air menjadi:

1. Air keruh, ketika lamun dan substrat tidak terlihat dari atas
2. Transparansi sedang, ketika lamun terlihat samar dan substrat terlihat jelas
3. Air jernih, ketika lamun dan substrat terlihat jelas

3.3.5 Simpanan Karbon

3.3.5.1 Simpanan Karbon Lamun dan Serasah

Analisis karbon lamun dan serasah dilakukan dengan metode pengabuan LOI (*loss on ignition*) (Agustin *et al.*, 2014) dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sampel lamun dan serasah yang telah diambil, ditimbang berat basah kemudian dikeringkan menggunakan oven suhu 60-70°C hingga beratnya konstan selama 12-24 jam;
2. Sampel lamun ditimbang berat keringnya dan diukur biomasanya dengan persamaan (10):

$$B = W \times D \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

B = biomassa (gbk/m²)

W = bobot kering (g/tunas)

D = kerapatan vegetasi lamun (tegakan/m²)

3. Sampel lamun dan serasah yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan dan dihomogenisasi dalam mortar hingga ukuran partikel sama dan halus;
4. Cawan porselen dipanaskan dahulu pada suhu 900°C selama 15 menit;
5. Cawan yang telah dipanaskan kemudian didinginkan dan ditimbang beratnya;
6. Sampel yang telah dihomogenisasi dimasukkan sebanyak ±1 g ke dalam cawan porselen dan dicatat bobotnya;
7. Sampel dimasukkan ke dalam tungku (*furnace*) pada suhu 450-550°C selama ±4 jam;
8. Sampel dalam cawan porselen didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

Berdasarkan SNI 7763:2018, simpanan karbon pada jaringan lamun dihitung dengan menggunakan metode pengabuan digunakan persamaan (11) dan persamaan (12) sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1}{W_0} \times 100\% \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{W_{1i}}{W_0} \times 100\% \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

W_0 = berat awal sampel (g)

W_1 = berat sampel setelah dikeringkan (g)

W_{1i} = berat abu (g)

fk = faktor koreksi kadar air

0,58 = faktor konversi bahan organik ke karbon

Kadar C-organik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (13) dan (14):

$$\text{Kadar C-organik (\%)} = 100\% - (\% \text{ kadar air} + \% \text{ kadar abu}) \dots \dots \dots (13)$$

$$\text{Persentase kadar C-organik (\%C)} = \% \text{ kadar bahan organik} \times 0,58 \times \text{fk} \dots \dots \dots (14)$$

Hasil dari persamaan (10) dan persamaan (14), kemudian digunakan untuk menentukan nilai simpanan karbon pada lamun (15) sebagai berikut:

$$\text{Simpanan karbon (gC/m}^2\text{)} = (\%C \times B) / 100 \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan:

%C = persentase kadar C-organik

B = biomassa (gbk/m²)

3.3.5.2 Simpanan Karbon Sedimen

Sampel sedimen yang telah diambil dilakukan beberapa analisis, yaitu analisis fraksi sedimen (pengukuran butir sedimen) dengan metode ayakan bertingkat (Triapriyasen *et al.*, 2016) dan analisis karbon sedimen dengan metode *Walkley and Black* (WB) (Agustin *et al.*, 2014) dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sampel sedimen dibagi menjadi 2 bagian, 1 bagian dioven dengan suhu 60-70°C hingga beratnya konstan selama 12-24 jam;

2. Sampel sedimen yang telah kering kemudian diayak menggunakan ayakan bertingkat dengan kriteria diameter ayakan 510 mm untuk fraksi pasir kasar, diameter ayakan 315 mm untuk fraksi pasir halus, diameter ayakan 305 mm untuk fraksi debu kasar, diameter ayakan 203 mm untuk fraksi debu halus, diameter ayakan 200 mm untuk fraksi liat kasar dan diameter ayakan 100 mm untuk fraksi liat halus;
3. Fraksi sedimen diukur dengan menimbang sedimen yang tertinggal di setiap ayakan dengan persamaan (16):

$$\%B_A = \frac{B_1}{B_0} \times 100\% \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan:

B_A = berat total sedimen di setiap ayakan (%)

B_1 = berat sedimen yang tertinggal di setiap ayakan (g)

B_0 = berat sedimen sebelum diayak (g)

4. Bagian sedimen yang lainnya digunakan untuk analisis karbon sebanyak 1 g dan dimasukkan ke dalam media labu erlenmeyer dengan kapasitas 250 mL;
5. Larutan ferrous sulfat distandarisasi dengan titrasi dua blanko (media tanpa sampel). Jika titrasi kedua blanko berbeda sebesar lebih dari 0,2 mL ferrous sulfat, maka buret dan pipa harus dibersihkan kemudian lakukan analisis ulang untuk dua larutan blanko lainnya;
6. Kalium dikromat 0,167 M sebanyak 10 mL diteteskan ke dalam setiap labu yang mengandung sampel dan larutan dihomogenisasi agar tercampur;
7. Masing-masing labu diletakkan di dalam ruang pengasaman (lemari asam) kemudian ditambahkan asam sulfat sebanyak 20 mL ke masing-masing labu dan dihomogenisasi, warna campuran akan berubah menjadi merah jingga;
8. Labu erlenmeyer dibiarkan selama 5 menit dalam lemari asam agar uap asam hilang;
9. Air murni ditambahkan ke masing-masing labu hingga volume akhirnya sebanyak 125 mL, kemudian dihomogenisasi hingga tercampur;
10. Sampel dibiarkan hingga mencapai suhu kamar dan volumenya diperiksa setelah 30 menit;

11. Indikator difenilamin sebanyak 1 mL dan H₃PO₄ 85% sebanyak 5 mL ditambahkan, selanjutnya di titrasi dengan ferrous sulfat 1 M. Larutan akan berubah warna menjadi warna hijau hingga coklat kemerahan ketika titik akhir titrasi tercapai.

Persentase karbon organik dihitung dengan persamaan (17) sebagai berikut:

$$\% C = \frac{(B-A) \times M \text{ FeSO}_4 \times 12 \times 100}{\text{g sampel} \times 4.000} \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan:

A = volume larutan ferrous sulfate yang diperlukan untuk titrasi sampel (mL)

B = volume rata-rata larutan ferrous sulfat yang diperlukan untuk menitrasi dua blanko (mL)

12/4.000 = mili ekivalen berat dari C

Dry bulk density dihitung sebelum nilai karbon menurut Howard *et al.* (2014) dengan menggunakan persamaan (18) sebagai berikut:

$$\text{Dry bulk density } (\rho) = \frac{\text{berat kering sampel (g)}}{\text{volume sampel (cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots(18)$$

Konsentrasi karbon dalam sedimen dihitung dari hasil persamaan (17) dan persamaan (18) berdasarkan Rahmawati *et al.* (2019) pada persamaan (19) sebagai berikut:

$$C_t = \rho \times \%C\text{-organik} \times kd \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan:

C_t = karbon tersimpan di sedimen (gC/m²)

kd = kedalaman sampel sedimen (cm)

ρ = *dry bulk density*

3.4 Analisis Data

Analisis data untuk kesehatan ekosistem lamun dari berbagai parameter, yaitu struktur komunitas lamun yang diperoleh nilai indeks nilai penting (INP) dan nilai SEQI dianalisis secara deskriptif dan data ditabulasi menggunakan program

Microsoft Excel. Data simpanan karbon yang terdiri atas biomassa lamun, simpanan karbon lamun dan serasah, fraksi sedimen, dan simpanan karbon sedimen di-lakukan yang sama ditabulasi dengan Microsoft Excel dan dianalisis secara deskriptif. Hubungan variabel karbon lamun dengan variabel lingkungan dianalisis menggunakan metode analisis komponen utama (AKU) dengan program PAST 4.06b.

Dalam analisis komponen utama (AKU), variabel yang diujikan melibatkan data kerapatan lamun, nilai simpanan karbon lamun dan sedimen serta kualitas perairan, yaitu suhu, pH, salinitas, dan oksigen terlarut. Data variabel kemudian distandarisi untuk memastikan kontribusi yang sama dalam analisis. Langkah selanjutnya perhitungan matriks kovarians untuk mengetahui hubungan antar variabel. Perhitungan nilai dan vektor *eigen* dari matriks kovarians membantu mengidentifikasi komponen utama. Analisis berlanjut dengan menggunakan vektor fitur untuk meningkatkan interpretasi, diikuti dengan tahap interpretasi hasil. Kesimpulan ditarik dari grafik yang menampilkan sumbu faktorial yang merepresentasikan kombinasi linier dari variabel asal, dengan sumbu-sumbu yang mencerminkan nilai variabel yang dimasukkan. Semakin kecil sudut yang terbentuk pada grafik, semakin kuat hubungannya, dan titik yang dekat dengan sumbu variabel kemungkinan berhubungan dengan variabel sumbu yang terbentuk.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, yaitu:

1. Ekosistem lamun di Pulau Tangkil menunjukkan kondisi kesehatan ekosistem lamun atau kualitas ekologi yang cukup bagus,
2. Simpanan karbon pada lamun dipengaruhi oleh kerapatan, sedangkan simpanan karbon pada sedimen dipengaruhi oleh ukuran fraksi sedimen,
3. Faktor lingkungan lebih memengaruhi simpanan karbon pada lamun dibandingkan simpanan karbon sedimen.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh saran yang dapat diberikan, yaitu:

1. Menjaga dan melestarikan ekosistem lamun, karena kemampuan menyimpan karbon yang tinggi,
2. Pengelolaan Pulau Tangkil harus memperhatikan kelestarian dan kesehatan ekosistem lamun.

DAFTAR PUSTAKA

- Alif, N. R., Insafitri, dan Nugraha, W. A. 2023. *Seagrass ecological quality index* pada lokasi yang berbeda di Madura. *Jurnal Trunojoyo*, 3(4): 159-166.
- Alhabsy, H., Sudarmadji., Bahrul, U. F., Hari, S., dan Setiawan, R. 2018. Distribusi lamun di zona intertidal Tanjung Bilik Taman Nasional Baluran menggu-nakan metode geographic information system. *Jurnal Berkala Saintek*, 6(1): 22-27.
- Alongi, D. M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6: 195-219.
- Agustin, R., Adi, S. N., Daulat, A., Kiswara, W., Yusup, D. S., dan Rappe, R A. 2014. *Pedoman Pengukuran Karbon di Ekosistem Padang Lamun*. ITB Press. Bandung. 100 hlm.
- Ansal, M. H., Priosambodo, D., Litaay, M., dan Salam, M. A. 2017. Struktur komunitas padang lamun di perairan Kepulauan Waisai Kabupaten Raja Ampat Papua Barat. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 8(15): 29-37.
- Arias-Ortiz, A., Serrano, O., Masque, P., Lavery, P. S., Mueller, U., Kendrick, G. A., dan Duarte, C. M., 2018. A marine heatwave drives massive losses from the worlds largest seagrass carbon stocks. *National Climate Change*, 8: 338-344.
- Brower, J. E., Zar, J. H., dan Von Ende, C.N. 1984. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. WCB McGraw Hill. Illinois. 226 hlm.
- Condon, V. M., Wilson, S. S., dan Dunton, K. H. 2017. Evaluation of relationships between cover estimates and biomass in subtropical seagrass meadows and application to landscape estimates of carbon storage. *Southerastern Geographer*, 57(3): 231-245.

- Chefaoui, R. M., Duarte, C. M., dan Serrao, E. A. 2018. Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediteranian Sea. *Glob. Chang. Bio*, 24(10): 4919-4928.
- Den Hartog, S. 1970. *The Seagrass of The World*. North-Holland Publisihing Company. Amsterdam. 275 hlm.
- Dewi, S. K., Wilis, A. S., dan Ita, R. 2021. Stok karbon pada ekosistem lamun di Pulau Kemujan dan Pulau Bengkoang Taman Nasional Karimunjawa. *Journal of Marine Research*, 10(1): 39-47.
- Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., dan Marba, N. 2013. The role of coastal plan communities for climate change mitigation and adaptation. *National Climate Change*, 3(11): 961-968.
- English, S., Willkinson, C., dan Baker, V. 1994. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Townsville AIMS. Australia. 368 hlm.
- Fifianingrum, 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.
- Firdaus, M. R., dan Wijayanti, L. A. S. 2019. Fitoplankton dan siklus karbon global. *Jurnal Oseana*, 44(2): 35-48.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marba, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J., dan Serrano, O. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5(7): 505–509.
- Fourqurean, J. W., Johnson, B., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Emmer, I., Howard, J., Podgeon, E., dan Serrano, O. 2014. Conceptualizing the project and Developing a Field Measurement Plan. *dalam* Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., dan Telszewski, M. *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stock and Emissions Factor in Mangrove, Tidal Salt Marsh and Seagrass Meadow*. The Blue Carbon Initiative. United States of America. 180 hlm.
- Ganefiani, A., Suryanti, S. dan Latifah, N. 2019. Potensi padang lamun sebagai penyerap karbon di perairan Pulau Karimunjawan Taman Nasional Karimunjawa. *Saintek Perikanan*, 14(2): 115-122.

- Graha, Y. I., Arthana, I. W., dan Karang, I. W. G. A. 2016. Simpanan karbon padang lamun di kawasan Pantai Sanur, Kota Denpasar. *Ecotrophic: Journal of Environmental Science*, 10(1): 46-53.
- Gunawan, J. V., Parengkuan, M., Wahyudi, A. J., dan Zulpikar, F. 2019. Estimasi stok karbon pada biomassa lamun di Pulau Semak Daun, Kepulauan Seribu. *Jurnal Oseanologi dan Limnologi*, 4(2): 89-99.
- Han, Q., Soissons, L. M., Bouma, T. J., van Katwijk, M. M., dan Liu, D. 2016. Combined nutrient and macroalgae loads lead to response in seagrass indicator properties. *Marine pollution bulletin*, 106(1-2): 174-182.
- 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 Marima*, 1(6): 74-81.
- Hernawan, U. E., Rahmawati, S., Rappe, R. A., Sjafrie, N. D. M., Hadiyanto., Yusup, D. S., Nugraha, A. H., Nafie, Y. A. L., Adi, W., Prayudha, B., Irawan, A., Rahayu, Y. P., Ningsih, E., Riniathsih, I., Supriyadi, I. H., dan McMahan, K. 2021. The first nation wide assessment identifies valuable blue carbon seagrass habitat in Indonesia is in moderate condition. *Science of the Total Environment*, 782(1): 1-11.
- Hertyastuti, P. R., Putra, R. D., Apriadi, T., Suhana, M. P., Idris, F., dan Nugraha, A. H. 2021. Estimasi kandungan stok karbon pada ekosistem padang lamun di perairan Dompok dan Berakit, Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(3): 849-862.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., dan Pidgeon, E. 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO and IUCN. United States of America. 180 hlm.
- Isnaini, Bengen, D. G., Prartono, T., dan Arifin, Z. 2021. Functional correlation of seagrass meadows and ichthyofauna in the coastal water of the Lampung Bay, Indonesia. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 48(1): 147-156.
- Isnaini dan Aryawati, R. 2023. Kerapatan lamun dan hubungan dengan parameter lingkungan di perairan pesisir Teluk Lampung. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3): 331-339.

- Kaligis, C., Maabuat, P., dan Koneri, R. 2021. Nilai penting lamun di Pesisir Pulau Mentehage, Kabupaten Minahasa Utara. *Biofaal Journal*, 2(2): 75-80.
- Kawaroe, M., Nugraha, A. H., Juraij, J., dan Tsabaramo, I. A. 2016. Seagrass biodiversity at three marine ecoregions of Indonesia: Sunda Shelf, Sulawesi Sea, and Banda Sea. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 17(2): 585-591.
- Khairunnisa, K., Setyobudiandi, I., dan Boer, M. 2018. Estimasi cadangan karbon pada lamun di pesisir timur Kabupaten Bintan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3): 639-650.
- Kiswara, W. 1994. A review: seagrass ecosystem studies in Indonesia waters. Dalam Wilkinson, C. R., Sudara, S., dan Chou, L. M. (Eds.). *Prosiding ASEAN-Australia Symposium on Living Coastal Resources*. Chulalongkorn University. Bangkok. Hlm 259-282.
- Kiswara, W. 1992. Vegetasi lamun (seagrass) di rataan terumbu karang Pulau Pari, Pulau-Pulau Seribu. *Puslitbang Oseanologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*, 25: 32-36.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2004. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 51 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Jakarta. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta. Pemerintah Pusat.
- Kuo, J., dan McComb, A. J. 1998. *Flowering Plants Monocotyledons: Alismatae and Commelinanae: Posidoniaceae*. Springer. New York. 4 hlm.
- Kusuma, A. H., 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*, 14(1): 402-416.
- Laffoley, D., dan Grimsditch. 2009. *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks*. IUCN. Switzerland. 53 hlm.
- Lovelock, C. E., dan Reef, R. 2020. Variable impacts of climate change on blue carbon. *One Earth*, 3(2): 195-211.

- Marliana, I., Ahyadi, H., Candri, D. A., Rohyani, I. S., Tarigan, S. A. R., Trilestari, P., Aviandhika, S., dan Astuti, S. P. 2021. Estimasi simpanan karbon dan status kesehatan lamun di Pulau Kelapa Kabupaten Bima. *Bioscientist: Ilmiah Biologi*, 9(1): 72-85.
- Mashoreng, S., Bengen, D. G. dan Hutomo, M. 2017. Kemana produktivitas daun lamun mengalir. *Torani: JFMarSci*, 1(1): 35-44.
- Mashoreng, S., Rani, C., Haris, A., Faizal, A., dan Yasir, I. 2018. Stok karbon pada bagian atas sedimen area padang lamun di Hamahera Timur, Maluku Utara. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan XV Hasil Perikanan dan Kelautan*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Hlm 27-34.
- Mashoreng, S., Alprianti, S., Samad, W., Isyrini, R., dan Inaku, D. F. 2019. Serapan karbon lamun *Thalassia hemprichii* pada beberapa kedalaman. *Jurnal Ilmu Kelautan Spermonde*, 5(1): 11-17.
- Mazarassa, I., Marba, N., Lovelock, C. E., Serrano, O., Lavery, P. S., Fourqurean, J. W., Kennedy, H., Mateo, M. A., Krause-Jensen, D., Steven, A. D. L., Duarte, C. M. 2015. Seagrass meadow as a globally significant carbonate reservoir. *Biogeosciences*, 12(16): 4993-5003.
- McKenzie, L. J. dan Yoshida, R. L. 2009. Seagrass-watch. *Prosiding Workshop for Monitoring Seagrass Habitats in South East Queensland*. Tropwater James Cook University. Australia. Hlm 29-32 hlm.
- Minerva, A., Purwanti, F., dan Suryanto, A. 2014. Analisis hubungan keberadaan dan kelimpahan lamun dengan kualitas air di Pulau Karimun Jawa. *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(3): 88-94.
- Miyajima, T., Hori M., Hamaguchi, M., Shimabukuro, H., Adachi, H., Yamano, H., dan Nakaoka M. 2015. Geographic variability in organic carbon stok and accumulation rate in sediments of East and Southeast Asian seagrass meadow. *Global Biogeochemical Cycles*, 29(4): 397-415.
- Monita, D., Endrawati, D., dan Riniatsih, I. 2021. Bioekologi lamun di perairan Teluk Awur Jepara, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 10(2): 165-174.
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., De Young, C., Fonseca, L., and Grimsditch, G. D. 2009. *Blue Carbon: The Role of Healthy Oceans*

in Binding Carbon: A Rapidresponse Assessment. GRID-Arendal. Arendal Norway. 80 hlm.

- Nordlund, L. M., Koch, E. W., Barbier, E. B., dan Creed, J. C. 2016. Seagrass ecosystem service and their variability across genera and geographical regions. *PLoS One*, 11(10): 1-23.
- Nugroho, S. H., dan Basit, A. 2014. Sediment distribution based on grain size analyses in Weda Bay, Northern Maluku. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1): 229-240.
- Parawansa, B., Ningsih, I. F., dan Omar, S. B. A. 2020. Biodiversitas lamun di Perairan Kepulauan Tonyaman Kabupaten Polewali Mandar. *Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan*. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin. Makassar. Hlm 155-168.
- Rahayu, Y. P., Solihuddin, T., Kusumaningtyas, M. A., Ati, R. N. A., Salim, H., Rixen, T., dan Hutahaean, A. A. 2019. The source of organic matter in seagrass sediments and their contribution to carbon stock in Spermonde Islands, Indonesia. *Aquatic Geochemistry*, 25(3): 161-178.
- Rahman, S., Rahardjanto, A., dan Husamah. 2022. *Mengenal Padang Lamun (Seagrass Beds)*. Dream Litera dan CV Perkasa Satu. Malang. 90 hlm.
- Rahmawati, S., Irawan, A., Supriyadi, I. H., dan Azkab, M. H. 2014. *Panduan Monitoring Padang Lamun*. COREMAP-CTI Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta. 37 hlm.
- Rahmawati, S., Hernawan, U. E., McMahan, K., Prayudha, B., Prayitno, H. B., Wahyudi, A. J., dan Vanderklift, M. 2019. *Blue Carbon in Seagrass Ecosystem: Guideline for The Assessment of Carbon Stock and Sequestration In Southeast Asia*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 114 hlm.
- Rhamadany, A., Suryono, C. A., dan Pringgenies, D. 2021. Biomasa dan simpanan karbon pada ekosistem lamun di Perairan Batulawang dan Pulau Sintok Taman Nasional Karimunjawa, Jepara. *Journal of Marine Research*, 10(3): 413-420.
- Romadoni, N. V. 2021. *Biomassa dan Estimasi Simpanan Karbon Ekosistem Lamun di Perairan Pantai Tunggul Kecamatan Paciran Kabupaten Lamongan*. (Disertasi). UIN Sunan Ampel. Surabaya: 79 hlm.

- Romimohtarto, K., dan Juwana, S. 2001. *Biologi Laut: Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut*. Djambatan. Jakarta. 540 hlm.
- Rustam, A., Kepel, T. L., Afiati, R. N., Salim, H. L., Astrid, M., Daulat, A., Mangindaan, P., Sudirman, N., Puspitaningsih, Y., Dwiyantri, D., dan Hutahaean, A. 2014. Peran ekosistem lamun sebagai blue carbon dalam mitigasi perubahan iklim studi kasus Tanjung Lesung Banten. *Jurnal Segara*, 10(2): 107-117.
- Rustam, A., Kepel, T.L., Kusumaningtyas, M.A., Ati, R.N., Mangindaan, P., Heriati, A., dan Hutahean, A. 2015. Ekosistem lamun sebagai bioindikator lingkungan di Pulau Lembeh Bitung Sumatera Utara. *Jurnal Biologi Indonesia*, 11(2): 233-241.
- Samper-Villarreal, J., Lovelock, C. E., Saunders, M. I., Roelfsema, C., dan Mumby, P. J. 2016. Seagrass organic carbon stocks show minimal variation over short time scales in a heterogeneous subtropical seascape. *Estuaries and Coasts*, 41: 1732 – 1743
- Santoso, B., Dharma, I. G. B. S., dan Faiqoh, E. 2018. Pertumbuhan dan produktivitas daun lamun *Thalassia hemprichii* di Perairan Tanjung Bena Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 4(2): 278-285.
- Sari, P. D., Ulqodry, T. Z., Aryawati, R., dan Isnaini. 2019. Asosiasi gastropoda dengan lamun (seagrass) di perairan Pulau Tangkil Lampung. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3): 131-139.
- Sari, S. H. J., Yona, D., Aliviyanti, D., As'adi, M. A., dan Yanuar, A. T. 2023. *Oseanografi Kimia*. UB Press. Malang. 145 hlm.
- Setiawati, T., Alifah, M., Mutaqin, A. Z., Nurzaman, M., Irawan, B., dan Budi-ono, R. 2018. Studi morfologi beberapa jenis lamun di pantai timur dan pantai barat, Cagar Alam Pangandaran. *Jurnal Pro-Life*, 5(1): 487-495.
- Setyanto, R. A., Widianingsih, W., dan Setyati, W. A. 2023. Simpanan karbon lamun di Pulau Sintok dan Pulau Menjangan Besar, Karimunjawa. *Journal of Marine Research*, 12(1): 110-115.
- Siahaan, R., Safrida., Rondonuwu, S. B., Leimena, H. E. P., Samsuria., Maabuat, P. V., Dhaniati, L., Lewerissa, Y. A., Handayani, S., Moniharapon, D. D., dan Umarella, M. I. S. 2024. *Potensi, Ancaman, dan Rehabilitasi Lamun*. Widina Media Utama. Bandung. 125 hlm.

- Sjafrie, N. D. M., Hernawan, U. E., Prayudha, B., Supriyadi, I. H., Iswari, M. Y., Rahmat, K. A., dan Rahmawati, S. 2018. *Status Padang Lamun Indonesia*. Pusat Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta. 24 hlm.
- Srimariana, E. S., Kawaroe, M., Lestari, D. F., Setyaningsih, W. A., dan Nugraha, A. H. 2020. Biodiversity of macroalgae in Pari Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429(012018): 1-5.
- Strydom, S., Murray, K., Wilson, S., Huntley, B., Rule, M., Heithaus, M., dan Zdunic, K. 2020. Too hot to handle: unprecedented seagrass death driven by marine heatwave in a world heritage area. *Glob. Chang Biol*, 26: 3525-3538.
- Sulaeman, Suprpto, dan Eviati. 2005. *Petunjuk Teknis Analisis Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian IPB. Bogor. 136 hlm.
- Supriadi, S., Kaswadji, R. F., Bengen, D. G., dan Hutomo, M. 2014. Stok karbon pada komunitas lamun di Pulau Barranglompo Makassar. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 19(1): 1-10.
- Surabi, A., Kondoy, K. I., dan Manu, G. D. 2018. Komunitas lamun di perairan Kampung Ambang Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Ilmiah Plataz*, 6(1): 12-20.
- Sutadi, S., Sulityowati, L., dan Sriwiyono, E. 2021. Analisis hubungan atribut ekologi lamun dengan kualitas perairan di Taman Nasional Baluran Kabupaten Situbondo. *Scientific Journal of Reflection*, 4(2): 391-401.
- Thorhaug, A., Gallagher, J. B., Kiswara, W., Prathep, A., Huang, Z., Yap, T. K., dan Berlyn, G. 2020. Coastal and estuarine blue carbon stocks in the greater Southeast Asia region: seagrasses and mangroves per nation and sum of total. *Marine Pollution Bulletin*, 160(111168): 1-17.
- Tito, C. K., dan Susilo, E. 2021. Pengasaman laut di perairan Indonesia. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 5(2): 419-425
- Triapriyasen, A., Muslim, M., dan Suseno, H. 2016. Analisis jenis ukuran butir sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Journal of Oseanografi*, 5(3): 309-316.
- Tuapattinaya, P. M. J. 2014. Hubungan faktor fisika kimia lingkungan dengan keanekaragaman lamun (*seagrass*) di perairan Pantai Desa Suli. *Journal Biology Science & Education*, 3(1): 54-67.

- Unsworth, R. K. F., Van Keulen, M., dan Coles, R. G. 2014. Seagrass meadows in a globally changing environment. *Marine Pollution Bulletin*, 83(2): 383-386.
- Unsworth, R. K. F., Ambo-Rappe, R., Jones, B. L., La Nafie, Y. A., Irawan, A., Hernawan, U. E., dan Cullen-Unsworth, L. C. 2018. Indonesia globally significant seagrass meadows are under widespread threat. *Sci. Total Environ*, 634: 279-286.
- Vernianda, C., Watiniasih, N. L., Faiqoh, E., dan Putra, I. N. G. 2022. Analisis karbon dalam sedimen pada ekosistem lamun di Teluk Gilimanuk Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 5(2):105-113.
- Wahyudi, A. J., Rahmawati, S., Irawan, A., Hadiyanto, H., Prayudha, B., Hafizt, M., dan Kiswara, W. 2020. Assessing carbon stocks and sequestration of the tropical seagrass meadows in Indonesia. *Ocean Science Journal*, 55: 85-97.
- Zurba, N. 2018. *Pengenalan Padang Lamun Suatu Ekosistem yang Terlupakan*. Unimal Press. Lhokseumawe. 114 hlm.