

Estimasi Simpanan Fosfor (P) pada Lamun di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan

Estimation of Phosphorus Storage in Seagrass in the Coastal Waters of Eastern and Northern Bintan Island

Luthvi Nurwulandari^{1*}, Tri Apriadi¹, dan Andi Zulfikar¹ 

^{1*}Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia

Article Info

Received: 2025-05-14

Revised: 2025-06-10

Accepted: 2025-08-07

Online: 2025-09-29

Koresponding: Luthvi Nurwulandari, Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia

E-mail:
luthvinurwulandari7@gmail.com

Abstrak

Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan merupakan wilayah konservasi lamun dengan keanekaragaman hayati dan tutupan yang tinggi. Lamun diketahui berperan penting dalam siklus karbon dan memiliki potensi menyimpan fosfor, namun informasi terkait simpanan fosfornya masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi simpanan fosfor (P) pada lamun serta menganalisis hubungan antara parameter ekologis lamun terhadap kandungan fosfor tersebut. Metode survei, *systematic random sampling*, dan teknik *hierarchical sampling* diterapkan di enam lokasi, dengan pengambilan sampel lamun, substrat, dan air pada 162 titik yang kemudian dianalisis di laboratorium. Hasil menunjukkan bahwa kepadatan lamun tertinggi terdapat di Pengudang (816 tegakan/m²), dan terendah di Berakit 2 (107 tegakan/m²); tutupan tertinggi di Teluk Bakau 1 (83,5%) dan terendah di Teluk Bakau 2 (43,1%); serta biomassa tertinggi di Pengudang (138,55 gr/m²) dan terendah di Berakit 2 (19,39 gr/m²). Simpanan fosfor tertinggi ditemukan di Berakit 2 (0,321%) dan terendah di Teluk Bakau 2 (0,258%). Terdapat korelasi positif antara tutupan dan kandungan fosfor, mengindikasikan bahwa peningkatan tutupan lamun dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan fosfor. Temuan ini memberikan wawasan baru tentang peran lamun dalam siklus fosfor dan implikasinya bagi pengelolaan ekosistem pesisir berkelanjutan.

Kata kunci: Bintan, Ekosistem Lamun, Fosfor, Konservasi, Tutupan Lamun

Abstract

The eastern and northern coastal waters of Bintan Island are seagrass conservation areas with high biodiversity and coverage. Seagrass is known to play an essential role in the carbon cycle and has the potential to store phosphorus, but limited information is available regarding its phosphorus reserves. This study aims to estimate phosphorus (P) storage in seagrass and analyze the relationship between seagrass ecological parameters and phosphorus content. A field survey and hierarchical sampling technique were conducted at six locations, with samples of seagrass, substrate, and water analyzed in laboratory. Results showed the highest seagrass density in Pengudang (816 shoots/m²) and the lowest in Berakit 2 (107 shoots/m²); the highest coverage in Teluk Bakau 1 (83.5%) and the lowest in Teluk Bakau 2 (43.1%); and the highest biomass in Pengudang (138.55 gr/m²) and the lowest in Berakit 2 (19.39 gr/m²). The highest phosphorus storage was recorded in Berakit 2 (0.321%) and the lowest in Teluk Bakau 2 (0.258%). A positive correlation was observed between coverage and phosphorus content, indicating that increased seagrass coverage potentially enhances phosphorus storage capacity. These findings offer new insights into the role of seagrass in the phosphorus cycle and its implications for sustainable coastal ecosystem management.

Keywords: Bintan, Conservation, Phosphorus, Seagrass ecosystem, Seagrass Coverage

1. Pendahuluan

Wilayah pesisir memiliki karakteristik khusus yang dihasilkan dari interaksi antara proses-proses yang berlangsung di ekosistem darat dan laut (Hapsari *et al.*, 2022). Selain itu, wilayah pesisir mengalami tekanan yang lebih besar dibandingkan wilayah lainnya, karena memiliki fungsi sebagai penyedia sumber daya dan jasa kehidupan serta penerima limbah dari aktivitas di sekitarnya (Asyiawati and Akliyah, 2014). Pulau Bintan merupakan salah satu wilayah pesisir yang terdapat di Kepulauan Riau yang memiliki hamparan lamun yang cukup luas yaitu lebih dari 2500 ha (Damayanti, 2011; Khairunnisa *et al.*, 2018). Sejak tahun 2007 melalui Surat Keputusan Bupati Bintan Nomor 36/VIII/2007, Pulau Bintan ditetapkan menjadi wilayah konservasi padang lamun (Habibah *et al.*, 2023) dan diperkuat dengan SK Bupati Kabupaten Bintan No. 267/VI/2010 tentang Kawasan Konservasi Padang Lamun (Sjafrie, 2018), sehingga melalui Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2022 Perairan Timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau ditetapkan sebagai kawasan konservasi.

Padang lamun adalah ekosistem utama dari kawasan konservasi yang ada di pesisir timur dan utara Pulau Bintan yang mencapai 20,94 km². Ekosistem

padang lamun adalah salah satu ekosistem pesisir yang berfungsi sebagai area pemijahan, tempat mencari makan bagi berbagai organisme perairan, dan sebagai penyerap karbon terbesar (Koch *et al.*, 2012; Jemi, 2022). *Trikora Seagrass Management Demonstration Site* mencatat 10 jenis lamun ditemukan di perairan Kabupaten Bintan. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Kawaroe *et al.* (2016) yang menemukan 10 jenis meliputi *Cymodocea rotundata* (Cr), *Cymodocea serrulata* (Cs), *Enhalus acoroides* (Ea), *Halodule univervis* (Hu), *Halodule pinifolia* (Hp), *Halophila ovalis* (Ho), *Halophila minor* (Hm), *Halophila spinulosa* (Hs), *Thalassia hemprichii* (Th), dan *Syringodium isoetifolium* (Si).

Padang lamun adalah ekosistem perairan pesisir dengan produktivitas primer yang tinggi. Salah satu faktor utama dalam menunjang produktivitas primer adalah ketersediaan nutrisi. Lamun menyerap nutrisi melalui daun dan sistem perakaran (Widiyanti *et al.*, 2018). Ketersediaan nutrisi berperan sebagai faktor pembatas dalam pertumbuhan lamun yang erat kaitannya dengan kerapatan serta tutupan lamun, oleh karena itu efisiensi daur nutrisi memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga produktivitas primer padang lamun serta organisme autotrof yang terdapat di dalamnya. Nitrat dan

fosfat adalah nutrisi yang vital untuk mendukung proses metabolisme dan pertumbuhan lamun (Nabilla *et al.*, 2019).

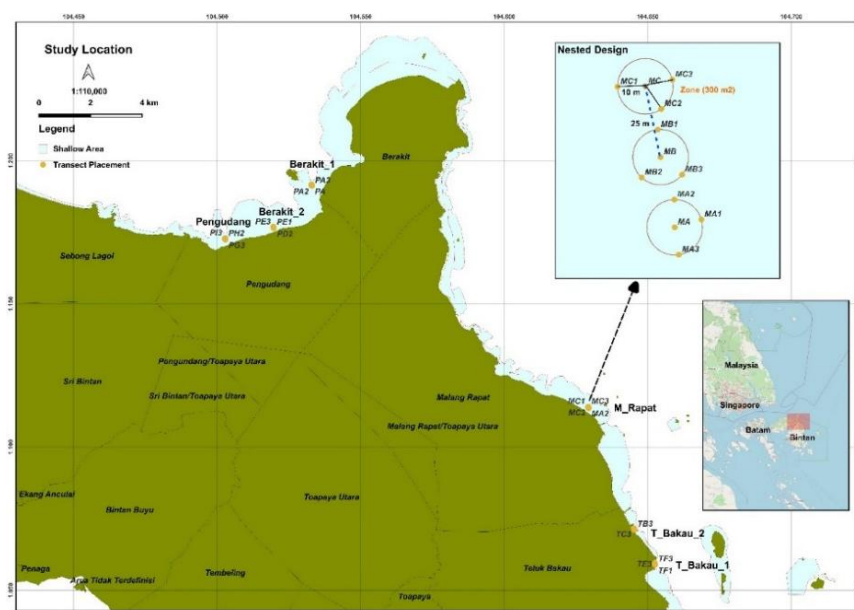
Pertumbuhan, morfologi, kelimpahan, dan produktivitas primer lamun di suatu perairan biasanya dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi, termasuk fosfor yang memiliki peran penting dalam menentukan fungsi lamun (Yamamuro *et al.*, 2003). Kandungan fosfor dalam lamun bervariasi tergantung pada musim dan lokasi (Thangaradjou and Kannan, 2007). Dalam penelitian Subiakto *et al.* (2019), diketahui bahwa peningkatan konsentrasi fosfat dapat berhubungan positif dengan kerapatan lamun dibandingkan nitrogen. Hal ini menunjukkan bahwa fosfor dapat berfungsi sebagai faktor pembatas yang lebih penting untuk pertumbuhan lamun. Selain itu, siklus fosfor tidak melibatkan fase gas seperti nitrogen atau karbon sehingga keberadaannya lebih stabil. Simpanan fosfor pada lamun sangat mendukung pertumbuhannya di perairan, sehingga beberapa penelitian telah dilakukan untuk menilai kadar unsur fosfor dalam jaringan lamun, seperti yang dilakukan oleh Ramadhan *et al.* (2016) di wilayah pesisir Kabonga Besar. Namun

demikian, hingga saat ini belum banyak penelitian yang khusus menilai besaran simpanan fosfor dalam jaringan lamun di kawasan konservasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar simpanan fosfor dalam lamun.

2. Material dan Metode

Material

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Desember 2024. Lokasi pengamatan, pengukuran parameter, serta pengambilan sampel seperti lamun, substrat, dan air dilakukan di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan yang meliputi Teluk Bakau, Malang Rapat, Berakit, dan Pengudang dengan total 162 sampel. Selanjutnya analisis sampel dan analisis data dilakukan di *Laboratorium Marine Biology* dan *Laboratorium Marine Chemistry* Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Maritim Raja Ali Haji serta *Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan* Institut Pertanian Bogor. Peta lokasi disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi GPS, *Water Quality sampler*, *handrefractometer*,

turbidimeter, transek, roll meter, sekop kecil, pancang, meteran, botol sampel, plastik sampel, *cool box*, oven, *sieve*

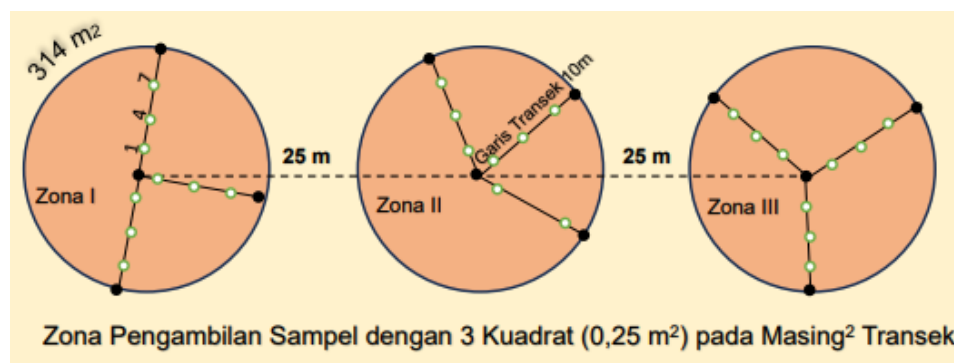
shaker, kamera *under water*, alat tulis, tisu, sampel lamun, sampel substrat, sampel air, dan aquades.

Metode

a. Penentuan titik sampling

Penentuan titik pengamatan lamun dilakukan berdasarkan teknik *systematic random sampling* dengan dibantu QGIS versi 3.32.3. *Systematic random sampling* merupakan metode pengambilan sampel yang digunakan dengan memilih unsur pertama secara acak lalu meneruskan pemilihan unsur berikutnya secara sistematis berdasarkan pola tertentu (Andriani *et al.*, 2017). Penelitian ini dilakukan di enam lokasi pengamatan berbeda berdasarkan keberadaan lamun. Pesisir bagian Timur terdapat tiga wilayah meliputi Teluk Bakau 1 (TB1), Teluk

Bakau 2 (TB2), dan Malang Rapat (MR). Pesisir bagian Utara juga terdapat tiga lokasi yang meliputi Berakit 1 (BR1), Berakit 2 (BR2), dan Pengudang (PG). Desain sampling yang digunakan untuk menentukan titik sampling yaitu rancangan tersarang bertingkat (*nested hierarchical design*) yang dimodifikasi dari Martinez-Crego *et al.* (2008). Pada masing-masing lokasi terdapat tiga zona dengan luas 314 m² dan jarak antar zona adalah 25 m. Setiap zona ditarik tiga *line* transek dengan panjang masing-masing 10 m, kemudian pengambilan sampel diambil pada meter ke 1, 4, dan 7. Hal ini dilakukan untuk mewakili populasi lamun yang ada (Gambar 2). Total area sampling mencakup 6 lokasi, 18 zona, dan 162 titik sampling.



Gambar 2. Desain sampling tersarang bertingkat (*Nested Hierarchical Design*).

Sumber: Modifikasi dari Martinez-Crego *et al.* (2008).

b. Pengumpulan data

Penelitian ini dilaksanakan dengan menerapkan metode survei yang dilakukan secara langsung di lokasi. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengambilan sampel lamun, substrat, dan air serta pengukuran parameter fisika-kimia secara *in situ*. Kemudian sampel yang didapatkan dibawa dan dianalisis di Laboratorium FIKP UMRAH dan Laboratorium Proling IPB. Data sekunder dikumpulkan dari berbagai jurnal, *website*, dan didukung dengan referensi penelitian terkait lamun.

c. Pengambilan sampel lamun

Sampel lamun diambil pada meter ke-1, 4, dan 7 dengan cara

mengambilnya dari substrat secara acak, kemudian disimpan ke dalam plastik sampel dan dibawa ke laboratorium untuk dibersihkan. Hal ini dilakukan untuk mewakili populasi lamun yang ada. Sampel lamun yang telah diambil dicuci menggunakan air bersih hingga semua butiran pasir yang melekat pada jaringan lamun hilang. Setelah itu, sampel dimasukkan ke dalam oven selama 2 x 24 jam pada suhu 60°C untuk kemudian dihitung berat kering lamun.

d. Pengambilan sampel substrat

Sampel substrat diambil pada meter ke-1, 4, dan 7 menggunakan sekop kecil sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam plastik sampel. Hal ini dilakukan untuk mewakili populasi lamun yang ada.

Setelah itu sampel yang telah diambil dibawa untuk dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam (Lewerissa *et al.*, 2018). Setelah pengeringan, dilakukan pengayakan dan penimbangan untuk analisis jenis substrat.

e. Pengukuran parameter kualitas perairan

Parameter kualitas perairan diukur melalui pengukuran secara *in situ* dan *ex situ*. Parameter fisika-kimia yang diukur meliputi suhu, kekeruhan, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), dan salinitas.

f. Kerapatan jenis lamun

Proses pengukuran kerapatan lamun dimulai dengan kalibrasi gambar substrat lamun menggunakan perangkat lunak PhotoQuad. Kalibrasi ini memanfaatkan objek referensi seperti transek kuadrat untuk mengubah satuan piksel dalam foto menjadi luas nyata dalam cm². Setelah itu, pada gambar ditentukan area kuadrat seluas 2.500 cm² menggunakan fitur pengukur luas

berbentuk persegi. Setelah itu, hitung jumlah total tegakan lamun dalam setiap kisi kuadrat. Data ini kemudian dihitung rata-ratanya dan dikonversi ke dalam satuan per cm² atau m², guna mengetahui kerapatan masing-masing spesies lamun. Akhirnya, data dari berbagai kuadrat digabungkan dan dianalisis guna menghasilkan nilai rata-rata kerapatan lamun yang merepresentasikan kondisi umum lokasi studi, dengan mempertimbangkan jumlah dan penyebaran sampel. Perhitungan kerapatan jenis menggunakan rumus Hardiyanti *et al.* (2011), sebagai berikut:

$$Di = \frac{ni}{A}$$

Keterangan:

Di = Kerapatan jenis (ind/m²)
ni = Jumlah tegakan jenis 1 (ind)
A = Luas daerah yang disampling (m²)

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi padang lamun berdasarkan kerapatan, dapat dilihat dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Kondisi padang lamun berdasarkan kerapatan (Gosari and Haris, 2012).

Skala	Kerapatan (ind/m ²)	Kondisi
5	>175	Sangat rapat
4	125-175	Rapat
3	75-125	Agak rapat
2	25-75	Jarang
1	<25	Sangat jarang

g. Tutupan lamun

Tutupan lamun berfungsi untuk menggambarkan luasan lamun yang ditutupi lamun di perairan yang dinyatakan dalam satuan (%). Penentuan tutupan lamun dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *photoQuad* versi 1.4 (Trygonis and Sini, 2012). Foto yang telah diambil kemudian dikalibrasi untuk menentukan plot seluas 0,25 m². Plot tersebut ditempatkan pada titik foto, kemudian disebar 30 titik dan setiap titik diidentifikasi berdasarkan jenis kelas

tutupannya. Kemudian akan didapatkan Cov % per spesies untuk data tutupan lamun. Untuk menentukan persen tutupan lamun, perhitungan menggunakan rumus persamaan menurut Rahmawati *et al.* (2014).

$$\% \text{tutupan lamun} = \frac{\text{Jumlah persen tutupan lamun}}{\text{Jumlah transek kuadrat pengamatan}}$$

Untuk mengetahui kondisi lamun berdasarkan tingkat tutupan, dapat dilihat dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Penentuan kondisi lamun berdasarkan tutupan

No	Status	Kondisi	Penutupan (%)
1	Baik	Kaya/sehat	>60
2	Sedang	Kurang kaya/sehat	30-59,9
3	Rusak	Miskin	<29,9

*Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.200 Tahun 2004

h. Biomassa lamun

Pengukuran biomassa lamun dilakukan dengan mengambil sampel lamun yang berada pada meter ke 1, 4, dan 7 sesuai dengan kebutuhan penelitian yang representatif. Kemudian dilakukan pengeringan pada temperatur 60°C selama 2×24 jam. Selanjutnya pengukuran biomassa dilakukan dengan menghitung berat kering lamun secara utuh (*shoot*) setelah proses pengeringan dan penimbangan. Perhitungan biomassa lamun menggunakan rumus persamaan menurut Duarte (1990) sebagai berikut:

$$B = W \times D$$

Keterangan:

B = Biomassa lamun (gr/m²)

W = Berat kering lamun (gram)

D = Kerapatan jenis (ind/m²)

Rumus perhitungan tersebut kemudian dimodifikasi untuk dikoversi bentuk persen ke dalam gram. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$B = \frac{PDW}{100} \times D$$

Keterangan:

B = Biomassa lamun (gr/m²)

PDW = % Berat jenis

D = Kerapatan jenis (ind/m²)

i. Fraksi substrat

Analisis fraksi substrat dilakukan dengan metode pengayakan kering menggunakan bantuan sieve net yang terdiri dari delapan tingkat dengan masing-masing ukuran *mesh* yang berbeda diulai dari ukuran yang terbesar yaitu 2,36 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 500 µm; 250µm; 125µm; 106µm; dan <106 µm. Setelah didapatkan bobot yang telah ditimbang pada masing-masing ukuran *mesh*,

kemudian jenis substrat ditentukan menggunakan Gradistat versi 8.0.

j. Analisis simpanan fosfor pada lamun

Analisis simpanan fosfor dimulai dengan menyiapkan sampel yang telah dikeringkan (kg). Selanjutnya, untuk mengubah fosfor organik menjadi fosfor anorganik, sampel dicampur dengan asam sulfat (H₂SO₄) dan hydrogen peroksida (H₂O₂), kemudian dipanaskan dalam autoklaf untuk mendestruksi molekul organik. Setelah proses hidrolisis, campuran tersebut ditambahkan asam askorbat (C₆H₈O₇) yang bereaksi membentuk kompleks feri-fosfat yang stabil. Kompleks ini kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum sekitar 690-800 nm. Data absorbansi yang diperoleh digunakan untuk menghitung kadar fosfor dalam sampel dengan memanfaatkan kurva kalibrasi (Baird *et al.*, 2017).

Analisis Data

a. Analysis of variance (ANOVA) satu arah

Data yang diperoleh dari hasil penelitian disajikan secara statistik. Data dikumpulkan kemudian diolah ke dalam tabel dan diuji statistik menggunakan aplikasi JAMOWI versi 2.4.14. Untuk mengetahui adanya perbedaan yang signifikan antara simpanan fosfor pada lamun di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan. Data dianalisis menggunakan *one way analysis of variance* (ANOVA). Apabila data yang didapatkan menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata maka dilanjutkan dengan uji post hoc Tukey.

b. Analisis korelasi

Analisis hubungan variabel lainnya seperti kerapatan, tutupan, dan biomassa terhadap simpanan fosfor pada lamun disajikan dalam bentuk koefisien korelasi. Menurut Sugiyono (2019), koefisien korelasi berganda digunakan untuk

mengukur seberapa kuat hubungan antara beberapa variabel secara bersama-sama. Analisis hubungan antara variabel lainnya dengan nitrogen menggunakan software JAMOV versi 2.4.14. Adapun rumus korelasi berganda sebagai berikut:

$$r_{y \cdot x_1 \cdot x_2} = \sqrt{\frac{(ryx_1)^2 + (ryx_2)^2 - 2 \cdot (ryx_1) \cdot (ryx_2) \cdot (rx_1x_2)}{1 - (rx_1x_2)^2}}$$

Keterangan:

$r_{y \cdot x_1 \cdot x_2}$: Korelasi antara variabel x_1 dan x_2 secara bersama-sama dengan variabel y .

ryx_1 : Korelasi antara variabel x_1 dengan variabel y .

ryx_2 : Korelasi antara variabel x_2 dengan variabel y .

rx_1x_2 : Korelasi antara variabel x_1 dengan variabel x_2 .

Untuk menentukan kekuatan hubungan yang dilihat dari nilai korelasi koefisien yang memiliki hubungan -1, 0, 1 yaitu:

1. Jika mendekati -1, maka hubungan yang terjadi tidak kuat atau negatif
2. Jika mendekati 0, maka hubungan yang terjadi semakin lemah atau tidak

punya hubungan

3. Jika nilai 1, maka hubungan yang terjadi kuat atau positif.

Adapun pedoman yang dapat digunakan untuk interpretasi terhadap kuatnya hubungan korelasi dari pendapat Sugiyono (2018) berikut:

Tabel 3. Pedoman interpretasi koefisien korelasi

Interval Koefisien	Tingkat hubungan
0,00 – 0,199	Sangat lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

3. Hasil dan Pembahasan

Parameter Kualitas Perairan

Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia perairan di Perairan Pesisir

Timur dan Utara Pulau Bintan yang meliputi Teluk Bakau, Malang Rapat, Berakit, dan Pengudang disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai parameter kualitas perairan

Lokasi	Suhu (°C)	DO (mg/L)	pH	Salinitas (‰)	Kekeruhan (NTU)	Substrat
Timur						
TB1	29,2 ± 0,29	5,74 ± 0,41	8,52 ± 0,19	32,3 ± 0,06	0,32 ± 0,16	Pasir
TB2	30,3 ± 0,78	5,46 ± 0,62	8,52 ± 0,09	32,0 ± 0,38	0,99 ± 0,16	Pasir

Lokasi	Suhu (°C)	DO (mg/L)	pH	Salinitas (‰)	Kekeruhan (NTU)	Substrat
MR	30,0 ± 0,21	5,87 ± 0,62	8,66 ± 0,01	32,1 ± 0,27	1,46 ± 0,82	Pasir
Utara						
BR1	31,0 ± 0,06	6,69 ± 1,03	9,31 ± 0,02	31,8 ± 0,29	2,81 ± 2,43	Pasir
BR2	30,4 ± 0,06	5,33 ± 0,41	8,93 ± 0,06	29,7 ± 0,38	2,71 ± 1,01	Pasir
PG	31,5 ± 0,23	6,15 ± 0,41	9,22 ± 0,10	31,4 ± 0,12	1,51 ± 0,29	Pasir
Baku Mutu**	28-30	>5	7-8,5	33-34	5	

*± (Standar Deviasi)

**PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran VIII mengenai baku mutu air laut peruntukan biota laut (lamun).

Suhu merupakan salah satu parameter lingkungan yang sangat penting dalam ekosistem lamun. Suhu memengaruhi berbagai proses fisiologis penting pada lamun seperti fotosintesis, pertumbuhan, dan reproduksi (Bongga *et al.*, 2021). Hasil pengukuran rata-rata suhu di Pesisir Timur Pulau Bintan memiliki rentang 29,2-30,3°C, sedangkan rata-rata rentang suhu di Pesisir Utara Pulau Bintan yaitu 30,4-31,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tersebut tidak begitu berbeda jika mengacu pada baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 untuk pertumbuhan lamun. Suhu optimum untuk pertumbuhan lamun yaitu 28-30°C. Jika suhu berada di luar kisaran tersebut, proses-proses fisiologis lamun akan menurun tajam (Hasanuddin, 2013). Lokasi Berakit 1 dan Pengudang (utara) tidak memenuhi kriteria baku mutu yaitu 31,0°C dan 31,5°C, namun masih tergolong pada batas normal suhu untuk pertumbuhan lamun. Perbedaan suhu yang terjadi tidak begitu jauh. Hal tersebut juga terjadi karena adanya perbedaan kondisi cuaca pada saat pengukuran (Rahman *et al.*, 2016).

Oksigen terlarut (DO) menggambarkan ketersediaan jumlah oksigen di dalam air yang dibutuhkan organisme akuatik, termasuk lamun. Hasil pengukuran rata-rata DO pada semua lokasi penelitian memiliki nilai yang berfluktuasi, namun memenuhi kriteria baku mutu yaitu >5 mg/L. Nilai DO yang

melebihi 5 mg/L menunjukkan perairan berada dalam kondisi yang mendukung proses fisiologis lamun, terutama fotosintesis dan respirasi sesuai standar baku mutu PP No. 22 Tahun 2021. Felisberto *et al.* (2015) menyatakan bahwa kadar oksigen terlarut di padang lamun cenderung mengalami fluktuasi secara alami yang berkaitan erat dengan proses respirasi dan fotosintesis. Faktor-faktor fisik seperti gelombang, arus, dan turbulensi air juga berperan dalam meningkatkan difusi oksigen dari atmosfer ke kolom air, sebagaimana dijelaskan oleh Wulandari *et al.* (2018).

Derajat keasaman (pH) adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen (H⁺) dalam air, yang menentukan tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Skala pH berkisar antara 0 hingga 14, dengan nilai 7 dianggap netral; nilai di bawah 7 menunjukkan kondisi asam, sedangkan di atas 7 menunjukkan kondisi basa. Menurut Silburn *et al.* (2017), proses-proses kimia seperti dekomposisi, perombakan senyawa organik, serta reaksi reduksi organisme dapat berlangsung di lapisan tertentu di bawah permukaan dasar. Hasil pengukuran rata-rata pH pada bagian pesisir Timur Pulau Bintan menunjukkan keragaman yang relatif kecil, yaitu sebesar 8,52-8,66, sedangkan rata-rata pH di bagian pesisir Utara Pulau Bintan sebesar 8,93-9,31. Menurut standar baku mutu PP No.22 Tahun 2021, nilai pH yang ideal untuk

kehidupan lamun yaitu 7-8,5. Hal tersebut menunjukkan rata-rata nilai pH pada bagian pesisir Timur Pulau Bintan masih berada dalam kisaran batas normal. Namun, di pesisir Utara Pulau Bintan, rata-rata pH yang terukur sebesar 8,93–9,31 sudah melebihi batas baku mutu yang direkomendasikan untuk kehidupan lamun. Nilai pH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gangguan fisiologis pada lamun, seperti penurunan kandungan klorofil, terhambatnya proses fotosintesis, serta menurunnya laju pertumbuhan dan produktivitas lamun. Selain itu, ketersediaan unsur hara penting seperti nitrat dan fosfat juga dapat berkurang akibat perubahan kelarutan pada pH tinggi, sehingga semakin memperburuk kondisi lamun (Andika *et al.*, 2020). Jika kondisi ini berlangsung dalam jangka panjang, maka akan terjadi penurunan kerapatan dan keanekaragaman lamun, yang pada akhirnya dapat mengganggu fungsi ekosistem pesisir, seperti penyerapan karbon, habitat biota laut, dan stabilisasi sedimen (Andika *et al.*, 2023). Dengan demikian, penting untuk memantau dan menjaga nilai pH perairan agar tetap berada dalam kisaran optimal demi kelestarian ekosistem lamun di Pulau Bintan.

Salinitas adalah ukuran konsentrasi total garam yang terlarut dalam air laut dan berperan penting dalam menjaga keseimbangan osmotik organisme laut, termasuk lamun. Berdasarkan hasil pengukuran di lokasi penelitian, rata-rata salinitas pada lokasi penelitian bagian Timur Pulau Bintan berkisar antara 32,0-32,3‰, sedangkan bagian Utara Pulau Bintan berkisar antara 29,7-31,8‰. Nilai-nilai ini masih berada dalam kisaran toleransi lamun, meskipun sedikit berada di bawah nilai optimum. Berdasarkan PP No.22 Tahun 2021, nilai salinitas yang ideal untuk kehidupan lamun yaitu 33-34‰. Dengan demikian, nilai salinitas pada setiap lokasi tidak memenuhi standar baku mutu. Walaupun demikian, lamun memiliki kemampuan untuk bertahan dalam rentang salinitas tersebut, meskipun pertumbuhan dan kesehatannya mungkin tidak seoptimal saat berada pada nilai ideal. Penelitian yang dilakukan di Pulau Tidung Kecil

menunjukkan salinitas antara 32 hingga 33‰ selama musim hujan, yang walaupun sedikit di bawah standar, tetap memungkinkan lamun bertahan, meski dengan risiko stres osmotik yang dapat menurunkan produktivitasnya (Nurmasari *et al.*, 2023). Oleh karena itu, meskipun nilai salinitas di lokasi penelitian sedikit di bawah standar baku mutu, lamun masih dapat hidup, namun kondisi ini berpotensi menyebabkan stres dan menurunkan kesehatan lamun jika berlangsung dalam jangka waktu lama.

Kekeruhan adalah parameter kualitas air yang menunjukkan tingkat kejernihan perairan, yang dipengaruhi oleh konsentrasi partikel tersuspensi seperti sedimen, plankton, serta bahan organik maupun anorganik lainnya (Aida and Utomo, 2016). Penurunan penetrasi cahaya akibat peningkatan kekeruhan dapat menyebabkan stres fisiologis pada lamun, yang berdampak terhadap penurunan produktivitas, gangguan struktur jaringan, hingga kematian (Amara, 2023). Hasil pengukuran rata-rata kekeruhan di Pesisir Timur Pulau Bintan memiliki rentang 0,32-1,46 NTU, sedangkan rata-rata rentang kekeruhan di Pesisir Utara Pulau Bintan yaitu 1,51-2,81 NTU. Menurut standar baku mutu dalam PP No. 22 Tahun 2021, standar nilai kekeruhan bagi kehidupan lamun sebesar 5 NTU. Hal tersebut menunjukkan nilai kekeruhan pada setiap lokasi masih sesuai untuk kehidupan lamun.

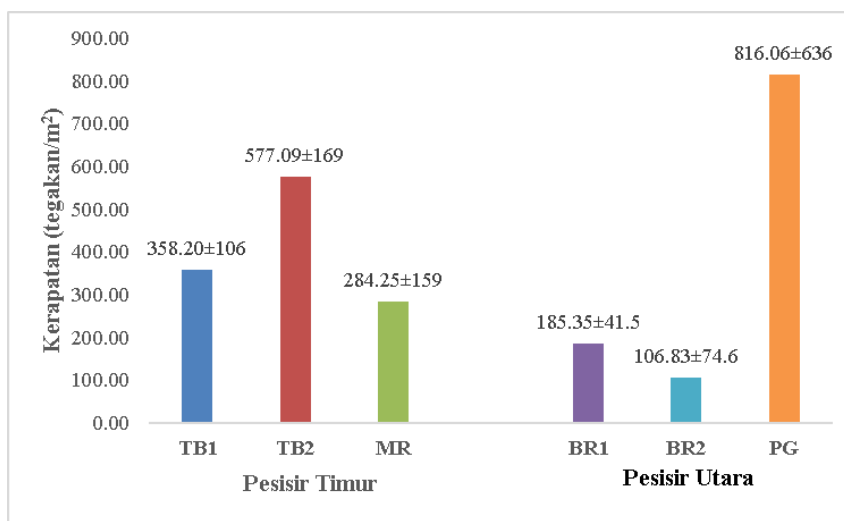
Karakteristik substrat dasar di seluruh lokasi penelitian menunjukkan dominasi yang kuat oleh jenis pasir (*sand*), yang merupakan tipe substrat paling umum ditemukan di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan. Analisis komposisi substrat di wilayah timur menunjukkan bahwa Teluk Bakau 1 memiliki kandungan pasir sebesar 93,2%, dengan sisanya 6,8% berupa kerikil (*gravel*). Kemudian di Teluk Bakau 2 terdiri dari 82,1% pasir dan 17,9% kerikil, Malang Rapat dengan substrat yang didominasi oleh 83,9% pasir dan 16,1% kerikil. Kemudian di wilayah utara yaitu Berakit 1 dan Berakit 2 menunjukkan pasir masing-masing 94,0% dan 95,0%, dengan proporsi kerikil yang lebih kecil, yaitu 6,0% dan 5,0%. Lokasi Pengudang

bahkan memiliki dominasi pasir tertinggi, yaitu 96,5%, dan hanya 3,5% kerikil. Berdasarkan data tersebut, secara umum diketahui bahwa tipe substrat dominan di seluruh lokasi penelitian adalah pasir, yang membentuk lebih dari 80% komposisi substrat di setiap stasiun. Substrat pasir dianggap cocok untuk lamun karena memiliki tingkat oksidasi yang baik, menyediakan lingkungan yang stabil, serta memungkinkan cahaya menembus dengan cukup untuk proses

fotosintesis, sehingga mendukung pertumbuhan lamun (Nybakken, 1992; Isnaini and Aryawati, 2023).

Kerapatan Lamun

Kerapatan lamun digambarkan dengan satuan tegakan per meter persegi. Hasil pengukuran kerapatan lamun di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Kerapatan lamun di pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan.

Berdasarkan Gambar 3, rentang rata-rata kerapatan lamun di Pesisir Timur Pulau Bintan yaitu 284,25-577,09 tegakan/m² dan di Pesisir Utara Pulau Bintan yaitu 106,83-816,06 tegakan/m². Rata-rata kerapatan tertinggi berada di Pengudang sebesar 816 tegakan/m² dan rata-rata kerapatan terendah berada di Berakit 2 sebesar 107 tegakan/m².

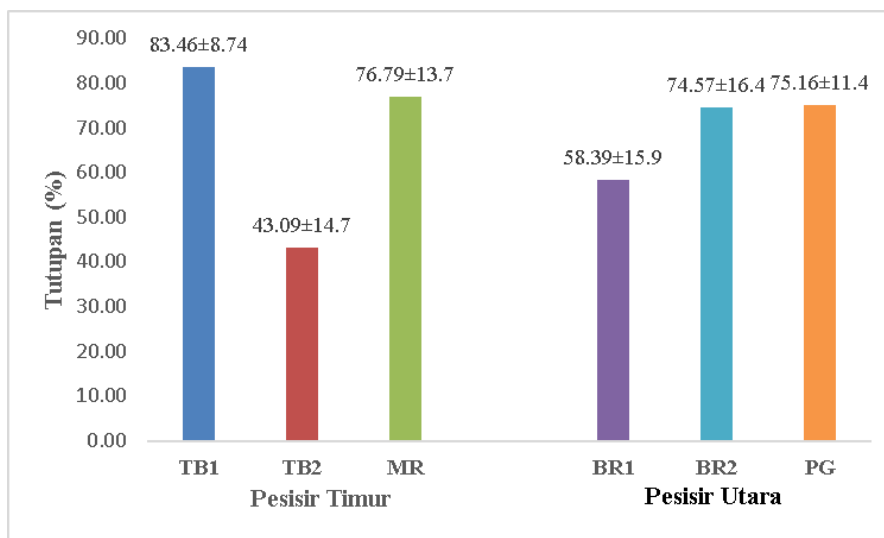
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa rata-rata kerapatan lamun di wilayah timur dan utara Pulau Bintan bervariasi cukup signifikan, yaitu berkisar antara 107-816 tegakan/m². Di antara lokasi yang diteliti, Pengudang (utara) menunjukkan kerapatan lamun tertinggi yaitu sebesar 816 tegakan/m². Kondisi ini diduga kuat berkaitan dengan karakteristik substrat di lokasi tersebut, di mana substratnya yang paling didominasi oleh pasir dibandingkan kerikil, yaitu sebanyak 96,5%. Rizal *et al.* (2017) menjelaskan bahwa substrat dasar yang lebih halus mengandung lebih

banyak nutrisi dibandingkan dengan substrat kasar, sehingga mendukung proses penyerapan nutrisi oleh akar tanaman secara lebih efisien. Sebaliknya, kerapatan lamun terendah tercatat di Berakit 2 (utara) sebesar 107 tegakan/m². Karakteristik substrat di lokasi ini berbeda dengan lokasi Pengudang yang memiliki komposisi pasir 96,5%, Berakit 2 memiliki komposisi pasir yang lebih rendah yaitu 95%. Hal ini dapat mengurangi penyerapan nutrisi oleh akar yang memengaruhi rendahnya kerapatan lamun. Selain itu, rendahnya kerapatan lamun di wilayah ini juga diperkirakan akibat tingginya interaksi manusia di sekitar area tersebut. Jika dilihat berdasarkan klasifikasi tingkat kerapatan lamun menurut Gosari and Haris (2012), sebagian besar lokasi penelitian seperti Teluk Bakau 1 (Pantai Dolphin), Teluk Bakau 2 (Pantai Shady Shack), Berakit 1, Malang Rapat, dan Pengudang tergolong dalam skala 5 dengan kerapatan >175

ind/m² yang termasuk dalam kondisi kerapatan sangat rapat. Sementara itu, Berakit 2 tergolong dalam skala 3 dengan kerapatan berkisar 75-125 ind/m² yang termasuk dalam kondisi kerapatan agak rapat.

Tutupan Lamun

Tutupan Lamun menggambarkan seberapa luas dasar perairan yang tertutupi oleh lamun. Hasil pengukuran tutupan lamun di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Tutupan lamun di pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan.

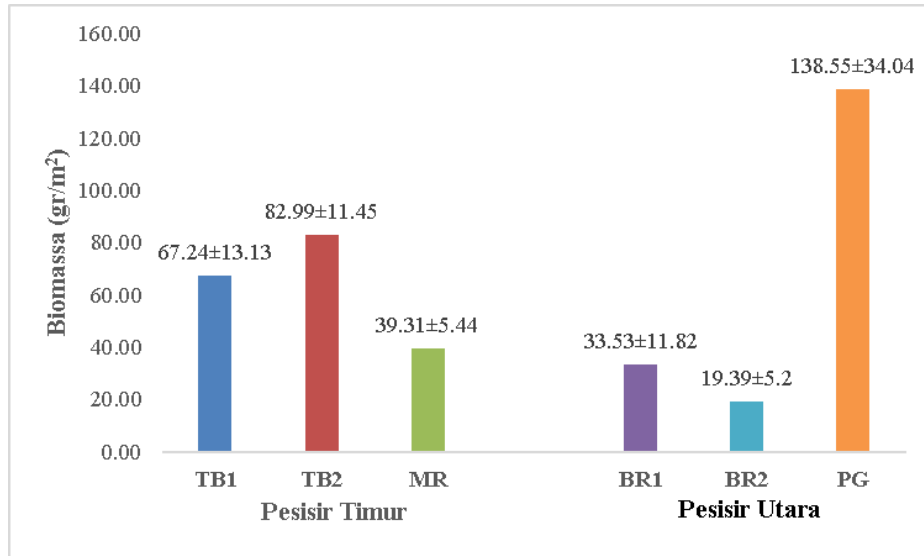
Berdasarkan Gambar 4, rentang rata-rata tutupan lamun di Pesisir Timur Pulau Bintan yaitu 43,09-83,46% dan di Pesisir Utara Pulau Bintan yaitu 58,39-75,16%. Rata-rata tutupan tertinggi berada di Teluk Bakau 1 (timur) sebesar 83,46% dan rata-rata tutupan terendah berada di Teluk Bakau 2 (timur) sebesar 43,09%.

Tutupan lamun merupakan indikator penting dalam menilai kondisi ekosistem padang lamun, yang menunjukkan persentase luas dasar perairan yang tertutupi oleh vegetasi lamun. Rata-rata tutupan lamun tertinggi ditemukan di Teluk Bakau 1 dengan persentase 83,5% dan rata-rata tutupan lamun terendah tercatat di Teluk Bakau 2 dengan persentase 43,1%. Teluk Bakau 1 yang memiliki tutupan tertinggi kemungkinan besar memiliki kondisi lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan lamun, seperti kedalaman perairan yang sesuai, kecerahan air yang baik, dan tekanan antropogenik yang minimal. Sebaliknya, Teluk Bakau 2 yang memiliki nilai tutupan terendah mungkin menghadapi tantangan

ekologis seperti sedimentasi tinggi, aktivitas manusia yang intensif, atau faktor-faktor fisik lainnya yang menghambat pertumbuhan lamun secara optimal. Berdasarkan penentuan status padang lamun menurut KepMenLH No. 200 Tahun 2004, tutupan lamun pada lokasi Teluk Bakau 1, Berakit 2, Malang Rapat, dan Pengudang tergolong dalam status baik atau berada dalam kondisi kaya/sehat dengan nilai persentase penutupan yaitu >60%. Sedangkan pada lokasi Teluk Bakau 2 dan Berakit 1 tergolong dalam status sedang atau berada dalam kondisi kurang kaya/sehat dengan nilai persentase penutupan yaitu 30-59,9%. *Biomassa Lamun*

Biomassa Lamun

Biomassa lamun menggambarkan ukuran berat total dari seluruh jaringan termasuk rhizome, akar, dan daun. Hasil pengukuran tutupan lamun di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Biomassa lamun di pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan.

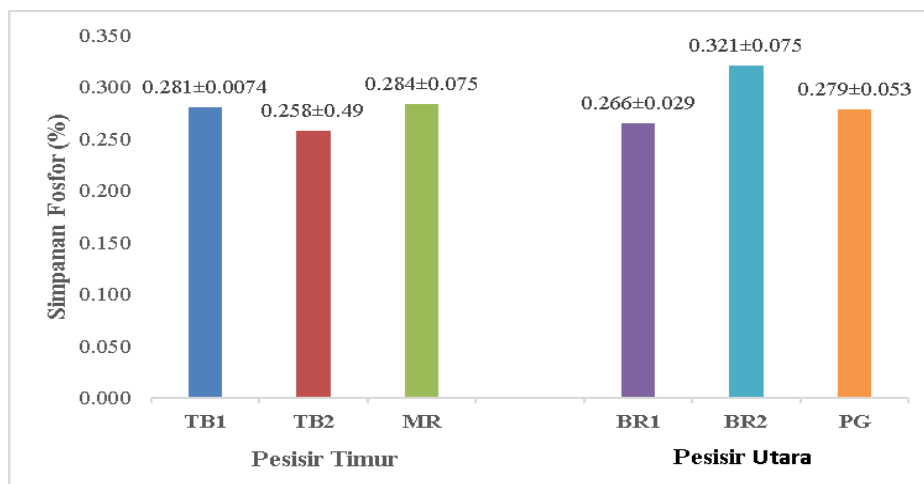
Berdasarkan Gambar 5, rentang rata-rata biomassa lamun di Pesisir Timur Pulau Bintan yaitu 39,31-82,99 gr/m² dan di Pesisir Utara Pulau Bintan yaitu 19,39-138,55 gr/m². Rata-rata biomassa tertinggi berada di Pengudang (utara) sebesar 138,55 gr/m² dan rata-rata biomassa terendah berada di Berakit 2 (utara) sebesar 19,39 gr/m².

Biomassa mencerminkan akumulasi massa organik yang dihasilkan oleh lamun dalam satuan luas tertentu. Berdasarkan tabel 11 rata-rata nilai biomassa lamun tertinggi berada di Pengudang (138,55 gr/m²) sedangkan rata-rata nilai biomassa lamun terendah berada di Berakit 2 (19,39 gr/m²). Begitu pula dengan rata-rata nilai kerapatan

lamun tertinggi berada di PG (816 tegakan/m²) dan rata-rata nilai kerapatan lamun terendah berada di Berakit 2 (107 tegakan/m²). Kerapatan lamun berkontribusi terhadap nilai biomassa lamun dalam luasan area tertentu. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan yang dijelaskan oleh Nugraha *et al.* (2019) yaitu kerapatan lamun berhubungan dengan nilai biomassa lamun. Semakin tinggi kerapatan lamun, semakin banyak pula biomassa yang ada di dalamnya.

Simpanan Fosfor pada Lamun

Hasil pengukuran tutupan lamun di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Simpanan fosfor pada lamun di pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan.

Berdasarkan Gambar 6, rentang rata-rata simpanan fosfor pada lamun di Pesisir Timur Pulau Bintan yaitu 0,258-0,284% dan di Pesisir Utara Pulau Bintan yaitu 0,266-0,321%. Hasil rata-rata simpanan fosfor tertinggi berada di Berakit 2 (utara) sebesar 0,321% dan rata-rata simpanan fosfor terendah berada di Teluk Bakau 2 (timur) sebesar 0,258%.

Kandungan fosfor yang tersimpan dalam lamun merupakan salah satu parameter yang dapat dijadikan tolak ukur untuk mengevaluasi tingkat kesuburan sedimen dan kondisi ekologis dari ekosistem lamun secara keseluruhan. Fosfor berperan penting dalam siklus nutrisi, berfungsi sebagai unsur esensial dalam proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis dan pertumbuhan jaringan (Handayani *et al.*, 2016). Nilai rata-rata simpanan fosfor tertinggi ditemukan di lokasi Berakit 2 sebesar 0,321%, yang dapat mengindikasikan tingginya pasokan fosfor dari lingkungan sekitar atau tingginya kapasitas akumulasi fosfor oleh sedimen dan tumbuhan lamun di lokasi tersebut. Letak geografis Berakit 2 yang berdekatan dengan area padat aktivitas manusia seperti kawasan permukiman pesisir, aktivitas perikanan, serta transportasi laut kemungkinan besar menjadi penyumbang utama tingginya masukan fosfor dari kegiatan tersebut ke lingkungan sekitar. Sebaliknya, nilai rata-rata simpanan fosfor terendah tercatat di Teluk Bakau 2 sebesar 0,258%, menunjukkan kemungkinan rendahnya input fosfor atau efisiensi penyerapan yang lebih rendah oleh lamun dan sedikitnya masukan dari lingkungan sekitar.

Lokasi Berakit 2 ditemukan komposisi sedimen halus yang tinggi yaitu terdiri dari 95,0% pasir (*sand*) dan 5,0% kerikil (*gravel*) yang mengindikasikan tingginya penyerapan fosfor. Hal ini didukung oleh pernyataan Bennet *et al.* (2001) di dalam Indriyani *et al.* (2022), bahwa konsentrasi fosfat yang tinggi juga

dapat disebabkan oleh proses difusi dari sedimen, karena sedimen berperan sebagai penyimpan fosfat di suatu badan perairan. Sementara pada Teluk Bakau 2 ditemukan komposisi sedimen halus yang lebih rendah yaitu terdiri dari 82,1% pasir (*sand*), dan 17,9% kerikil (*gravel*) yang mengindikasikan lebih rendah dalam penyerapan fosfor. Meskipun keduanya didominasi oleh pasir, perbedaan kecil dalam komposisi ini dapat memengaruhi kapasitas adsorpsi fosfor secara signifikan. Selain itu, faktor kerapatan dan tutupan yang tinggi juga berpengaruh terhadap kemampuan ekosistem lamun dalam menyimpan fosfor (Silvi *et al.*, 2022). Lamun yang tumbuh padat memiliki biomassa yang besar, menyediakan lebih banyak ruang bagi fosfor untuk diakumulasi dalam jaringan tumbuhan.

Jika dibandingkan dengan penelitian lain yang dilakukan di Pesisir Kabonga Kabupaten Donggala, kadar fosfor dalam lamun *Enhalus acoroides* mencapai 0,413% (Ramadhan *et al.*, 2016). Bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan di Mallorca (Pulau Carbera), kadar fosfor dalam lamun *Posidonia oceanica* yaitu 0,08-0,13% (Terrados and Medina-Pons, 2011), lebih rendah dari kadar fosfor dalam lamun yang ada di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan yaitu 0,274% dan 0,289%. Penelitian yang dilakukan Meirinawati and Muchtar (2017) pada April 2014 di Perairan Bintan rata-rata konsentrasi fosfat sebesar $0,005 \pm 0,0026$ mg/L, sedangkan pada Agustus 2014 sebesar $0,016 \pm 0,0091$ mg/L.

Anova

Analisis varians satu arah (One-way ANOVA) digunakan dalam penelitian ini untuk membandingkan antar parameter ekologis, yaitu kerapatan, tutupan, biomassa, dan simpanan fosfor pada lamun di setiap wilayah. Hasil uji ANOVA disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. One-Way ANOVA (Welch's).

	F	df1	df2	p
Biomassa	0.00593	1	103	0.939
Tutupan	0.27684	1	149	0.600
Kerapatan	19.70426	1	122	<.001
Simpanan Fosfor	2.01924	1	158	0.157

Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan perbedaan signifikan pada kerapatan lamun antar wilayah di Pulau Bintan dengan p-value 0,00. Uji lanjutan Games-Howell mengonfirmasi bahwa kerapatan lamun di Pesisir Timur (407 tegakan/m²) lebih tinggi dibanding Pesisir Utara (370 tegakan/m²), dengan perbedaan rata-rata 0,244 dan p-value 0,00. Hal ini sejalan dengan hasil uji ANOVA kerapatan antar stasiun (Teluk Bakau, Malang Rapat, dan Berakit) yang dilakukan oleh Irma (2024). Hasil dari penelitian tersebut adalah adanya perbedaan kerapatan yang nyata antar stasiun dengan nilai signifikansi 0,00. Perbedaan ini diduga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti tingkat kekeruhan, yang lebih tinggi di Pesisir Utara (2,34 NTU) dibanding Timur (0,92 NTU), sehingga mengurangi penetrasi cahaya dan menghambat fotosintesis serta pertumbuhan lamun. Selain itu, suhu dan pH yang lebih tinggi di Pesisir Utara juga berpotensi mengganggu keseimbangan karbon anorganik dan proses fisiologis lamun, termasuk penyerapan nutrisi dan pertumbuhan jaringan, serta kemungkinan pengaruh aktivitas antropogenik dan variasi tipe ekosistem pesisir turut memengaruhi kondisi habitat lamun di masing-masing wilayah.

Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan dalam parameter tutupan lamun antar wilayah, dengan p-value 0,600 yang jauh di atas ambang batas 0,05. Hal ini mengindikasikan variasi tutupan lamun antar wilayah tidak cukup besar untuk dianggap berbeda secara statistik, kemungkinan karena keseragaman morfologi dan pola pertumbuhan lamun di kedua wilayah. Sehubungan dengan tidak terpenuhinya kriteria signifikansi maka uji lanjut tidak diperlukan, sehingga distribusi

tutupan lamun dapat dianggap relatif seragam di seluruh wilayah.

Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan secara statistik dalam biomassa lamun antar wilayah, dengan p-value 0,939 yang jauh di atas ambang batas 0,05. Hal ini mengindikasikan variasi biomassa lamun antar wilayah tidak cukup besar untuk dianggap berbeda secara signifikan, kemungkinan karena dominasi spesies lamun dengan karakteristik pertumbuhan dan produksi biomassa yang seragam di kedua wilayah. Berkaitan dengan kriteria signifikansi tidak terpenuhi, uji lanjut tidak diperlukan, sehingga distribusi biomassa lamun dapat dianggap relatif seragam di seluruh wilayah.

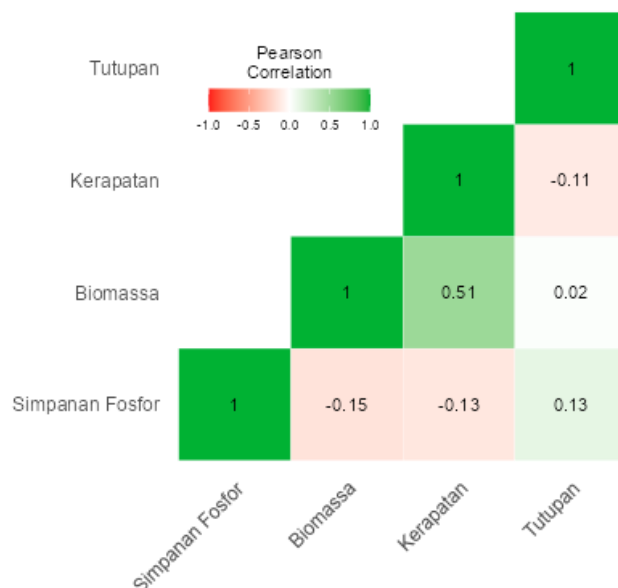
Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan secara statistik dalam simpanan fosfor pada lamun antar wilayah, dengan p-value 0,157 yang jauh di atas ambang batas 0,05. Hal ini mengindikasikan variasi simpanan fosfor antar wilayah tidak cukup besar untuk dianggap berbeda secara signifikan, kemungkinan karena substrat di kedua wilayah memiliki karakteristik serupa, didominasi oleh pasir lebih dari 80%. Namun, hasil penelitian ini berbeda dengan yang dilakukan Irma (2024) yang menunjukkan adanya perbedaan terhadap biomassa secara signifikan. Oleh karena kriteria signifikansi tidak terpenuhi, uji lanjut tidak diperlukan, sehingga distribusi simpanan fosfor pada lamun dapat dianggap relatif seragam di seluruh wilayah.

Korelasi

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antara simpanan fosfor pada lamun terhadap berbagai parameter ekologi seperti kerapatan, tutupan, dan biomassa lamun. Selain itu,

analisis ini juga digunakan untuk menilai hubungan antar parameter itu sendiri, seperti antara biomassa terhadap kerapatan lamun, biomassa terhadap tutupan lamun, dan kerapatan terhadap tutupan lamun. Berikut disajikan heatmap

korelasi yaitu visualisasi data yang menggunakan warna untuk menunjukkan kekuatan dan arah korelasi antara tutupan, kerapatan, biomassa, dan simpanan fosfor pada lamun dalam Gambar 7.



Gambar 7. Heatmap korelasi antar variabel yang diukur di pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan.

Nilai korelasi antara kerapatan terhadap tutupan lamun, simpanan fosfor pada lamun terhadap biomassa dan kerapatan lamun menunjukkan nilai negatif, mengindikasikan hubungan yang tidak searah. Sebaliknya, hubungan antara simpanan fosfor pada lamun terhadap tutupan, biomassa terhadap kerapatan lamun, dan biomassa terhadap tutupan lamun menunjukkan korelasi yang tinggi dan positif, menandakan adanya hubungan yang kuat dan berbanding lurus.

Hasil uji korelasi antara simpanan fosfor pada lamun terhadap biomassa menunjukkan nilai koefisien -0,15 yang menurut Sugiyono (2018) termasuk hubungan sangat lemah dan signifikan, dengan arah negatif yang mengindikasikan peningkatan biomassa tidak diikuti akumulasi fosfor. Hal ini terjadi karena lamun dengan pertumbuhan optimal menggunakan fosfor lebih cepat untuk metabolisme, sementara kondisi stres atau pertumbuhan lambat memicu akumulasi

fosfor akibat penggunaannya yang kurang efisien.

Hasil uji korelasi antara simpanan fosfor pada lamun dengan kerapatan menunjukkan koefisien -0,13, yang menurut Sugiyono (2018) termasuk hubungan sangat lemah namun signifikan. Korelasi negatif ini mengindikasikan bahwa jumlah tegakan lamun tidak selalu mencerminkan kapasitas penyimpanan fosfor, karena perbedaan spesies dan ukuran daun memengaruhi kemampuan penyerapan fosfor. Lamun berdaun besar dapat menyimpan fosfor lebih banyak meskipun kerapatan rendah, sedangkan lamun berdaun kecil dengan kerapatan tinggi memiliki kapasitas simpanan fosfor per individu lebih rendah. Selain itu, kerapatan tinggi menyebabkan kompetisi antar individu untuk nutrisi, sehingga penyerapan fosfor per individu menurun.

Hasil uji korelasi antara simpanan fosfor pada lamun dengan tutupan menunjukkan nilai koefisien 0,13, yang menurut Sugiyono (2018) termasuk

hubungan sangat lemah namun signifikan. Korelasi positif ini mengindikasikan bahwa semakin luas area substrat yang tertutupi lamun, ada kecenderungan peningkatan simpanan fosfor, meskipun pengaruhnya kecil. Hal ini kemungkinan karena tutupan lamun yang tinggi mencerminkan kepadatan daun yang besar, sehingga memperluas permukaan untuk penyerapan dan akumulasi fosfor.

Korelasi antara biomassa dan kerapatan lamun menunjukkan nilai koefisien 0,51, yang menurut Sugiyono (2018) termasuk hubungan sedang dan signifikan. Korelasi positif ini berarti semakin banyak tegakan lamun dalam suatu area, semakin besar potensi akumulasi biomassa. Hal ini sesuai dengan pernyataan Azizah (2017) bahwa biomassa lamun berkorelasi positif dengan kerapatan karena biomassa mencerminkan pertumbuhan fisik individu lamun.

Korelasi antara biomassa dan tutupan lamun menunjukkan nilai koefisien 0,02, yang menurut Sugiyono (2018) termasuk hubungan sangat lemah namun signifikan dengan arah positif. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tutupan bukan faktor utama penentu biomassa, peningkatan tutupan daun masih berpotensi meningkatkan akumulasi biomassa. Mashoreng *et al.* (2018) menjelaskan bahwa pada tutupan tinggi, daun lamun saling menutupi, sehingga peningkatan tutupan yang rendah cenderung lebih efektif mendorong pertumbuhan biomassa.

Korelasi antara kerapatan dan tutupan lamun menunjukkan nilai koefisien -0,11 yang menurut Sugiyono (2018) termasuk hubungan sangat lemah namun signifikan dengan arah negatif. Hal ini mengindikasikan bahwa tingginya tutupan lamun tidak selalu sejalan dengan jumlah tegakan atau kerapatan. Sesuai pendapat Aftari (2021), tutupan diukur dari luas permukaan daun yang menutupi substrat, sedangkan kerapatan dihitung berdasarkan jumlah individu per satuan luas, sehingga lamun dengan daun lebar dapat memiliki tutupan tinggi meskipun kerapatannya rendah.

4. Kesimpulan

Simpanan fosfor dalam lamun di Perairan Pesisir Timur dan Utara Pulau Bintan relatif seragam antar wilayah, dengan variasi kecil yang kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lingkungan lokal. Tidak terdapat hubungan yang kuat antara simpanan fosfor dengan kerapatan, tutupan, dan biomassa lamun. Temuan ini mengindikasikan bahwa simpanan fosfor tidak semata-mata ditentukan oleh karakteristik fisik lamun, melainkan juga oleh faktor lain seperti kondisi perairan dan sedimen.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia melalui Hibah Riset Fundamental tahun pendanaan 2024.

Kontribusi Penulis

Semua penulis telah berkontribusi pada naskah akhir. Kontribusi seluruh penulis: Luthvi Nurwulandari, dan Andi Zulfikar: konseptualisasi, metodologi, analisis format, penyusunan *draft* asli, penulisan *review* dan *editing*. Tri Apriadi : menulis *review* dan mengedit. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Konflik Kepentingan

Penulis tidak memiliki konflik kepentingan finansial atau komersial terkait penelitian ini.

Pendanaan

Penelitian ini menggunakan dana Hibah Riset Fundamental tahun pendanaan 2024.

Daftar Pustaka

Aftari. (2021). Status mutu perairan dan kesehatan lamun di kawasan wisata Perairan Teluk Bakau Kecamatan Gunung Kijang Kabupaten Bintan. (Skripsi). Universitas Maritim Raja Ali Haji.

- Aida, S. N., & Utomo, A. D. (2016). Kajian kualitas perairan untuk perikanan di Rawa Pening Jawa Tengah. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*, 8(3):173-182.
- Amara, F. D. (2023). Estimasi stok karbon dan kaitannya dengan kerapatan padang lamun di Pulau Bonetambung Kota Makassar. (Skripsi). Universitas Hasanuddin.
- Andika, Y., Kawaroe, M., Effendi, H., & Zamani, N. P. (2020). Pengaruh kondisi pH terhadap respons fisiologis daun lamun jenis *Cymodocea rotundata*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2):485-493.
- Andika, Y., Kawaroe, M., Effendi, H., Zamani, N. P., Adhar, S., Nurul'Akla, C. M., & Ilhami, B. T. K. (2023). Pengaruh perbedaan pH perairan terhadap laju pertumbuhan lamun jenis *Cymodocea rotundata*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 15(1):99-111.
- Andriani, A., Damar, A., Rahardjo, M. F., Simanjuntak, C. P., Asriansyah, A., & Aditriawan, R. M. (2017). Kelimpahan fitoplankton dan perannya sebagai sumber makanan ikan di Teluk Pabean, Jawa Barat. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 1(2):133-144.
- Asyriawati, Y., & Akliyah, L. S. (2014). Identifikasi dampak perubahan fungsi ekosistem pesisir terhadap lingkungan di wilayah pesisir Kecamatan Muaragembong. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 14(1):1-13.
- Azizah, E. (2017). Kerapatan dan biomassa lamun *Enhalus acoroides* di perairan Desa Jago-Jago Tapanuli Tengah Provinsi Sumatera Utara. Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (Eds.). (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Bennett, E.M., Carpenter, S.R. & Caraco, N. F. (2001). Human impact on erodable phosphorus and eutrophication: A global perspective. *BioScience*, 51(3):227-234
- Bongga, M., Sondak, C. F., Kumampung, D. R., Roeroe, K. A., Tilaar, S. O., & Sangari, J. (2021). Kajian kondisi kesehatan padang lamun di perairan Mokupa Kecamatan Tombariri Kabupaten Minahasa. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 9(3):44-54.
- Damayanti, A. S. (2011). Pola konektivitas sistem sosial-ekologi dalam pengelolaan ekosistem lamun (Kajian efektivitas pengelolaan kawasan konservasi padang lamun di Desa Malang Rapat dan Desa Teluk Bakau, Kabupaten Bintan). (Thesis). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Duarte, C. M. (1990). Seagrass nutrient content. *Marine Ecology Progress Series*, 67:201-207
- Felisberto, M. H. F., Wahanik, A. L., Ruffi, C. R., Clerici, M. T. P. S., Chang, Y. K., Steel, C. J. (2015). Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology*, 63(2): 1049-1055.
- Gosari, J. A., & Haris, A. (2012). Studi kerapatan dan penutupan jenis lamun di Kepulauan Spermonde. Torani: *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 22(3):256-162.
- Habibah, S. N., Febriamansyah, R., & Mahdi. (2023). Efektifitas pengelolaan kawasan konservasi lamun di Kawasan Konservasi Perairan Wilayah Timur Pulau Bintan. *Jurnal Akuatik Lestari*, 6(2):168-178.
- Handayani, D. R., Armid, A., & Emiyarti, E. (2016). Hubungan kandungan nutrien dalam substrat terhadap

- kepadatan lamun di Perairan Desa Lalowaru Kecamatan Moramo Utara. (Disertasi). Universitas Haluoleo.
- Hapsari, F. N., Maslukah, L., Dharmawan, I. W. E., & Wulandari, S. Y. (2022). Simpanan karbon organik dalam sedimen mangrove terhadap pasang surut di Pulau Bintan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1):86-98.
- Hardiyanti, S., Umar, M. R., & Priosambodo, D. (2011). Analisis vegetasi lamun di perairan Pantai Mara Bombang Kabupaten Pinrang. E-Journal FMIPA. Universitas Hasanuddin.
- Hasanuddin, R. (2013). Hubungan antara kerapatan dan morfometrik lamun *Enhalus acoroides* dengan substrat dan nutrien di Pulau Sarappo Lompo Kabupaten Pangkep. (Skripsi). Universitas Hasanuddin.
- Indriyani, R., Nurgayah, W., & Ira. (2022). Kandungan nitrat dan fosfat sedimen pada kawasan padang lamun di Perairan Kolese Kota Baubau. *Sapa Laut*, 7(4):193-199.
- Irma, P. H. (2024). Estimasi simpanan karbon organik pada lamun di perairan pesisir Timur Pulau Bintan. (Skripsi). Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Isnaini, I., & Aryawati, R. (2023). Kerapatan lamun dan hubungan dengan parameter lingkungan di perairan pesisir Teluk Lampung. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3):331-339.
- Jemi. (2022). Struktur populasi ikan baronang (*Siganus* sp) pada ekosistem lamun di pesisir Pulau Bintan. (Skripsi). Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Kawaroe, M., Nugraha, A. H., Juraij, J., & Tasabaramo, 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.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2004). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 200 tentang Kriteria baku kerusakan dan pedoman penentuan status padang lamun. Jakarta.
- Khairunnisa, K., Setyobudiandi, I., & Boer, M. (2018). Estimasi cadangan karbon pada lamun di pesisir timur Kabupaten Bintan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3):639-650.
- Koch, E. W, Booth, D. M., & Palinkas, C. (2012, November). Seagrasses and the ecosystem service of shoreline protection (or is it sediment stabilization?). In J. C. Creed, S. S. OigmanPszczol (Eds.), Proceeding 10th International Seagrass Biology Workshop (ISBW10), 25–30 Nov. 2012. Armac, ão dos Búzios, Brazil. Instituto Biodiversidade Marinha, Rio de Janeiro, Brazil.
- Lewerissa, Y. A., Sangaji, M., & Latumahina, M. B. (2018). Pengelolaan mangrove berdasarkan tipe substrat di perairan Negeri Ihamahu Pulau Saparua. *Triton: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 14(1):1-9.
- Martínez-crego B, Vergés A, Alcoverro T, Romero J. (2008). Selection of Multiple Seagrass Indicators for Environmental Biomonitoring. *Marine Ecology Progress Series*, 361:93-109.
- Mashoreng, S., Selamat, M. B., Amri, K., & La Nafie, Y. A. (2018). Hubungan antara persen penutupan dan simpanan karbon lamun. *Akuatika Indonesia*, 3(1):74-83.
- Meirinawati, H., & Muchtar, M. (2017). Fluktuasi nitrat, fosfat dan silikat di Perairan pulau Bintan. *Jurnal Segara*, 13(3):141-148.
- Nabilla, S., Hartati, R., & Nuraini, R. A. T. (2019). Hubungan nutrien pada sedimen dan penutupan lamun di perairan Jepara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(1):42-48.
- Nugraha, A. H., Srimariana, E. S., Jaya,

- I., & Kawaroe, M. (2019) Struktur ekosistem lamun di Desa Teluk Bakau, pesisir Bintan Timur-Indonesia. *Depik*, 8(2):87-96.
- Nurmasari, R., Putri, A. H. A., Rosmaida, S., Nurkhalifah, U., & Ramadhan, F. (2023). Identifikasi tutupan dan kondisi perairan pada ekosistem lamun di Pulau Tidung Kecil. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 14(1):25-32.
- Nybakken, J. (1992). Biologi laut pendekatan ekologis. Jakarta: Penerbit Gramedia.
- PP (Peraturan Pemerintah). (2021). PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, Lampiran VIII mengenai baku mutu air laut peruntukan biota laut (lamun).
- Rahman, A. A., Nur, I. A., Ramli, M. (2016) Studi laju pertumbuhan lamun *Enhalus acoroides* di Perairan Pantai Desa Tanjung Tiram Kabupaten Konawe Selatan. *Sapa Laut*, 1(1):10-16.
- Rahmawati, S., Irawan, A., Supriyadi, H. I., & Azkab, M. H. (2014). Panduan monitoring padang lamun. Jakarta: LIPI.
- Ramadhan, S., Tiwow, V. M., & Said, I. (2016). Analisis kadar unsur nitrogen (N) dan posforus (P) dalam lamun (*Enhalus acoroides*) di Wilayah Perairan Pesisir Kabonga Besar Kecamatan Banawa Kabupaten Donggala. *Jurnal Akademika Kimia*, 5(1):37-43.
- Rizal, A. C., Ihsan, Y. N., Afrianto, E., & Juliadi, L. P. (2017). Pendekatan status nutrisi pada sedimen untuk mengukur struktur komunitas makrozoobentos di wilayah muara sungai dan pesisir Pantai Rancabuaya, Kabupaten Garut. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 8(2):7-16.
- Silburn, B., Kröger, S., Parker, E. R., Sivyer, D. B., Hicks, N., Powell, C. F., Johnson, M., & Greenwood, N. (2017). Benthic pH gradients across a range of shelf sea sediment types linked to sediment characteristics and seasonal variability. *Biogeochemistry*, 135(1–2):69-88.
- Silvi, M. V., Redjeki, S., & Riniatsih, I. (2022). Kandungan nutrisi di sedimen pada ekosistem padang lamun di Teluk Awur dan Pulau Panjang, Jepara. *Journal of Marine Research*, 11(3):420-428.
- Sjafrie, N. D. M. (2018). Identifikasi sistem sosial-ekologis (SES) ekosistem lamun di Kabupaten Bintan. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 3(2):123-135
- Subiakto, A. Y., Santosa, G. W., Suryono, S., & Riniatsih, I. (2019). Hubungan kandungan nitrat dan fosfat dalam substrat terhadap kepadatan lamun di Perairan Pantai Prawean, Jepara. *Journal of Marine Research*, 8(1):55-61.
- Sugiyono. (2018). Metode penelitian kualitatif. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono (2019). Metode penelitian pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R & D. Bandung: Alfabeta.
- Terrados, J., & Medina-Pons, F. J. (2011). Inter-annual variation of shoot density and biomass, nitrogen and phosphorus content of the leaves, and epiphyte load of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile off Mallorca, Western Mediterranean. *Scientia Marina*, 75(1):61-70.
- Thangaradjou, T., & Kannan, L. (2007). Nutrient characteristics and sediment texture of the seagrass beds of the Gulf of Mannar. *Journal of Environmental Biology*, 28(1):29-33.
- Trygonis, V., & Sini, M. (2012). photoQuad: A dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 424–425:99-108.
- Widiyanti, V. R., Sedjati, S., & Nuraini, R. A. T. (2018). Korelasi kandungan

- nitrat dan fosfat dalam air dan sedimen dengan kerapatan lamun yang berbeda di Perairan Teluk Awur, Jepara. *Journal of Marine Research*, 7(3):193-200.
- Wulandari, U., Wirawan, I., & Agustini, M. (2018). Oceanographic characteristics in Probolinggo as the potential fishing ground of *Sardinella fimbriata*. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 9(2):37-44.
- Yamamuro, M., Kayanne, H. & Yamho, H. (2003). 15 N of seagrass leaves for monitoring antropogenic nutrient increase in coral reef ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 46:452-458.