

Estimasi Simpanan Karbon Pada Padang Lamun di Perairan Jepara Menggunakan Metode Nondestruktif

Raynazza Anditra Khawarizmi, Ita Riniatsih*, Gunawan Widi Santosa

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

Corresponding author, email: iriniatsih@gmail.com

ABSTRAK: Padang lamun merupakan ekosistem penting di wilayah pesisir yang memiliki berbagai peran. Salah satu peran lamun adalah sebagai penyerap karbon (carbon sink). Penelitian ini bertujuan untuk mengukur simpanan karbon pada padang lamun di Pantai Prawean dan Pantai Marina, Jepara, menggunakan metode nondestruktif. Hasil menunjukkan bahwa Pantai Prawean memiliki simpanan karbon sebesar 66,54 gC/m² dan tingkat sekuestrasi karbon 5,73 ton C/ha/tahun, lebih tinggi dibandingkan Pantai Marina yang memiliki simpanan karbon 51,53 gC/m² dan tingkat sekuestrasi 4,43 ton C/ha/tahun. Perbedaan ini dipengaruhi oleh tutupan lamun, dengan Pantai Prawean mencapai 46,07% dibandingkan Pantai Marina yang hanya mencapai 31,01%. Metode nondestruktif terbukti efisien untuk mengestimasi karbon lamun, meskipun dibutuhkan pengembangan lebih lanjut untuk dapat lebih memfaktorkan variasi ekosistem dan meningkatkan akurasi model.

Kata kunci: lamun; karbon; jepara; metode nondestruktif

Estimation Of Carbon Stocks In Seagrass Meadows in the Waters of Jepara Using Non-Destructive Methods

ABSTRACT: Seagrass meadows are complex and important coastal ecosystems with various roles. One of its roles is to act as carbon sinks. This study aims to estimate carbon storage in seagrass meadows at Prawean Beach and Marina Beach, Jepara, using non-destructive methods. The results show that Prawean Beach has carbon storage of 66.54 gC/m² and a carbon sequestration rate of 5.73 tons C/ha/year, higher than Marina Beach with 51.53 gC/m² and 4.43 tons C/ha/year. This difference is influenced by seagrass cover, with Prawean Beach reaching higher percentage of 46.07% compared to Marina Beach at 31.01%. Non-destructive methods have proven efficient in estimating seagrass carbon, although further development is needed to better factor in ecosystem variability and improve model accuracy.

Keywords: seagrass; carbon; jepara; non-destructive method

PENDAHULUAN

Padang lamun merupakan salah satu komponen penting dalam ekosistem pesisir. Ekosistem ini mampu menyediakan berbagai jasa penting, seperti sebagai tempat tinggal bagi berbagai makhluk hidup, menstabilisasi sedimen dan mencerahkan perairan, serta menyediakan tempat bagi masyarakat untuk melakukan kegiatan ekonomi (Chrismanola *et al.*, 2024). Padang lamun juga mampu mengurangi efek rumah kaca dan pemanasan global dengan memerangkap karbon yang ada di udara (Ningrum *et al.*, 2020). Padang lamun dikenal memiliki kemampuan menyimpan karbon dalam jumlah besar baik di bagian atas (*above ground*) maupun di sedimen (*below ground*) (Collier *et al.*, 2021). Karbon yang tersimpan di padang lamun ini sering disebut sebagai *blue carbon* dan memainkan peran penting dalam mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer (Endarwati *et al.*, 2023). Namun, meskipun memiliki peran yang penting, perhatian dan penelitian mengenai ekosistem lamun masih terbatas dan belum dilakukan secara optimal (Rauf *et al.*, 2017).

Walaupun lamun memiliki banyak sekali kegunaan, padang lamun di Indonesia mengalami penurunan kualitas ekologis dalam beberapa tahun ini, yang sebagian besar diakibatkan oleh kegiatan manusia dan perubahan iklim (Rahmawati *et al.*, 2022). Ketika padang lamun mengalami kerusakan atau hilang, karbon yang tersimpan dalam ekosistem ini dapat dilepaskan kembali ke atmosfer, yang dapat memperburuk efek rumah kaca dan mempercepat laju perubahan iklim (Liu *et al.*, 2020). Oleh karena itu, konservasi padang lamun menjadi sangat penting dalam upaya untuk mengurangi emisi karbon dan melindungi ekosistem pesisir, sehingga metode yang dilakukan untuk memonitor kondisi lamun haruslah bersifat nondestruktif untuk menghindari kerusakan yang lebih lanjut.

Metode yang biasanya dilakukan untuk menilai simpanan dan sekuestrasi karbon lamun seringkali bersifat destruktif, yang melibatkan pengambilan sampel lamun dari lapangan (Lyons *et al.*, 2015). Walaupun metode ini mampu memberikan hasil yang lebih akurat, namun juga dapat merusak ekosistem yang ingin dipelajari, dan seringkali memerlukan tenaga dan biaya yang lebih tinggi. Untuk mengatasi masalah ini, telah dikembangkan beberapa metode untuk mengestimasi simpanan dan sekuestrasi karbon tanpa merusak padang lamun, salah satunya adalah yang dikemukakan oleh Wahyudi *et al.* (2020) dan Stankovic *et al.* (2018). Wahyudi *et al.* (2020) menjelaskan bahwa sekuestrasi karbon pada lamun dapat diketahui hanya dengan menggunakan data persentase tutupan. Hal ini dikarenakan persentase tutupan mewakili total area fotosintesis dari padang lamun, yang dapat merepresentasikan kemampuan padang lamun tersebut dalam mensekuestrasi karbon. Stankovic *et al.* (2018), menyarankan pendekatan menggunakan model yang memprediksi simpanan karbon dengan persentase tutupan lamun sebagai proksi tunggal. Penggunaan dari kedua rumus ini dapat digunakan untuk memberikan gambaran dari kondisi penyimpanan karbon dari suatu padang lamun secara berkelanjutan, sehingga tidak mengganggu fungsi dari padang lamun tersebut.

Pantai Prawean dan Marina dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki keanekaragaman jenis lamun yang kaya, termasuk *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, *Syringodium isoetifolium*, *Cymodocea serrulata*, *Halodule uninervis*, dan *Halophila ovalis* (Riniatsih, 2015). Selain itu, kerapatan lamun di Pantai Prawean masih relatif baik meskipun ada gangguan dari aktivitas manusia (Endarwanti *et al.*, 2023). Perairan pantai ini juga digunakan oleh masyarakat setempat untuk penangkapan ikan dan lokasi persinggahan kapal, yang mampu mempengaruhi kemampuan lamun dalam menyimpan karbon (Baeti *et al.*, 2019). Berdasarkan kondisi lokasi penelitian di Pantai Prawean di mana terdapat berbagai aktivitas manusia, diperlukan pengembangan metode nondestruktif yang dapat mengestimasi simpanan dan sekuestrasi karbon secara akurat tanpa merusak ekosistem padang lamun. Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan metode monitoring yang lebih ramah lingkungan, dan membantu pengelolaan ekosistem lamun secara berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan gambaran tentang kondisi ekosistem padang lamun di Perairan Jepara, yang penting bagi kebijakan pengelolaan lingkungan dan kegiatan ekonomi masyarakat setempat.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan September hingga Oktober 2024. Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tutupan lamun dari kawasan Pantai Prawean dan Pantai Marina. Data yang diambil berupa data persentase tutupan lamun dan parameter perairan. Data yang telah diambil kemudian dikonversi menjadi nilai simpanan karbon dan nilai sekuestrasi karbon dengan rumus konversi dari Stankovic *et al.* (2018), dan Wahyudi *et al.* (2020). Sebagai data pendukung, data simpanan karbon dari wilayah yang sama dikumpulkan untuk dibandingkan hasilnya.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif kuantitatif merupakan pendekatan yang digunakan untuk menjelaskan atau menganalisis suatu permasalahan berdasarkan data yang diperoleh, dengan menggunakan perhitungan angka dan analisis statistik terhadap hasil penelitian (Millah, 2020). Data yang digunakan berupa data primer untuk tutupan lamun yang diambil secara langsung di lapangan dengan menggunakan metode *line transect quadrat* berdasarkan dari buku panduan monitoring lamun dari LIPI, sesuai dengan yang dijelaskan

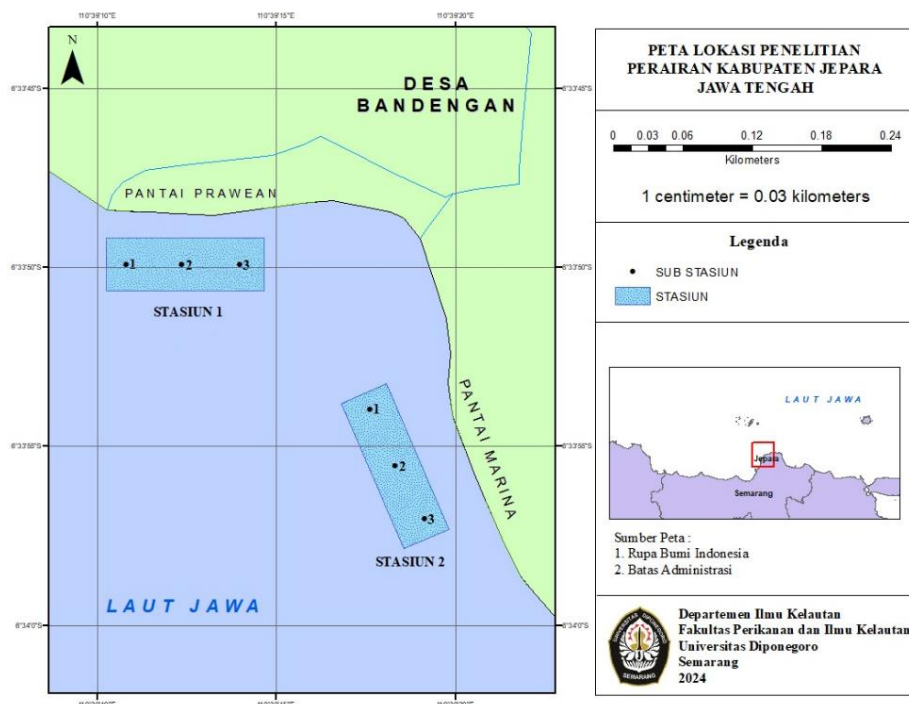
oleh Rahmawati *et al.* (2017). Data diambil dengan menggunakan transek kuadran berukuran 50 x 50 cm, Transek garis sepanjang 100 meter sebanyak tiga buah dibentangkan tegak lurus garis pantai kearah laut. Jarak antar ketiga transek garis sejauh 50 m. Pencuplikan data persentase tutupan lamun dilakukan setiap jarak 10 m dimulai dari titik 0 hingga 100 m, sehingga total ada 11 titik pendataan di setiap garis transek. Parameter perairan (suhu, salinitas, pH, kecerahan dan arus) diukur bersamaan dengan dilakukannya pendataan.

Lokasi sampling dalam penelitian ini ditentukan menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu pemilihan lokasi berdasarkan pertimbangan tertentu melalui pengamatan lapangan dan representativitas terhadap wilayah studi secara keseluruhan (Lenaini, 2021). Pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan masing-masing stasiun dapat mewakili daerah penelitian secara keseluruhan. Penentuan lokasi juga penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa Pantai Prawean dan Marina memiliki keanekaragaman jenis lamun yang tinggi serta kondisi kerapatan lamun yang masih relatif baik (Endarwanti *et al.*, 2023). Penelitian dibagi menjadi 2 stasiun dan masing-masing stasiun terbagi menjadi 3 *line* sepanjang 100 meter tegak lurus terhadap garis pantai. Pembagian stasiun disajikan dalam Gambar 1.

Pengambilan data parameter lingkungan air dan sedimen dilakukan pada permukaan dengan kedalaman yang relatif dangkal dan menyesuaikan dengan kondisi lapangan saat pengambilan data dilakukan. Pengambilan data parameter lingkungan dilakukan secara *in situ* untuk beberapa parameter lingkungan antara lain adalah pH, suhu, salinitas, dan *Dissolved Oxygen* (DO). Pengambilan data pH diukur menggunakan alat pH meter. Pengukuran suhu perairan menggunakan termometer, pengambilan data salinitas diukur menggunakan refraktometer dan pengambilan data DO diukur menggunakan alat DO meter.

Pengukuran biomassa lamun dapat dilakukan dengan pendekatan pemodelan matematis berdasarkan persentase tutupan lamun di suatu area. Metode ini menggunakan model empiris yang dikembangkan oleh Stankovic *et al.* (2018) untuk memprediksi biomassa atas (*above-ground biomass/AG*) dan biomassa bawah (*below-ground biomass/BG*). Proses penghitungan dimulai dengan menentukan biomassa atas (AG) melalui rumus:

$$AG = 9,033 + 0,771 \times \text{Persen Tutupan}$$



Gambar 1. Peta Lokasi Pengamatan

Setelah AG diketahui, biomassa bawah (*BG*) dihitung menggunakan hubungan berikut:

$$BG = 26,554 + 2,8491 \times AG$$

Pengukuran kandungan karbon lamun dapat dilakukan dengan pendekatan berbasis biomassa menggunakan faktor konversi karbon organik Duarte. Proses penghitungan dimulai dengan menentukan biomassa lamun, setelah nilai biomassa (*AG dan BG*) diketahui, kandungan karbon dihitung dengan rumus berikut:

$$C = \text{Biomassa Kering} \times 0,336$$

Nilai penutupan lamun rata-rata yang sudah diperoleh kemudian juga diolah lebih lanjut untuk mendapatkan nilai sekuestrasi karbon. Nilai sekuestrasi karbon diperoleh dengan mengkonversi nilai tutupan lamun dengan rumus yang dikemukakan oleh Wahyudi *et al.* (2020) dimana:

$$\text{Sekuestrasi Karbon} = 1,74315 + 0,08654 [\text{Persen Tutupan}]$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi lamun pada lokasi penelitian berbeda-beda. Pada umumnya Pantai Prawean memiliki komposisi spesies lamun sebanyak 6 spesies, diantaranya *E. acoroides*, *T. hemprichii*, *C. rotundata*, *O. serrulata*, *H. uninervis*, dan *S. isoetifolium*. Sedangkan pada Pantai Marina hanya terdapat 4 spesies, yakni *E. acoroides*, *T. hemprichii*, *C. rotundata*, dan *O. serrulata*.

Tutupan lamun di Perairan Jepara lebih tinggi rata-ratanya pada Pantai Prawean dibandingkan Pantai Marina (Tabel 1). Hal ini kemungkinan disebabkan adanya Sungai Sekembu di Pantai Marina yang membuat perairan menjadi kurang jernih. Kecerahan perairan sangat penting dalam mendukung kehidupan lamun karena berkaitan langsung dengan proses fotosintesis. Menurut Sari *et al.* (2021), lamun memerlukan cahaya matahari untuk menghasilkan energi yang diperlukan bagi pertumbuhannya, sehingga penetrasi cahaya sangatlah penting bagi ekosistem ini.

Pantai Prawean dan Pantai Marina terletak di Desa Bandengan, Kecamatan Jepara, Kabupaten Jepara. Aktivitas masyarakat di kedua pantai ini meliputi kegiatan nelayan pencari ikan, layanan wisata oleh nelayan yang membawa pengunjung ke Pulau Panjang, serta terdapat pemukiman warga. Di area sekitar pantai, tidak ditemukan ekosistem mangrove atau hutan pantai karena lahan di sekitarnya digunakan untuk pemukiman dan bangunan publik. Kedua pantai memiliki karakteristik pantai yang landai dengan substrat berupa pasir putih halus. Kondisi lamun di pantai ini cukup baik dengan tingkat persentase tutupan yang tinggi. Pengamatan terhadap lamun dilakukan di wilayah Pantai Prawean dan wilayah Pantai Marina. Parameter Perairan dari kedua pantai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Tutupan Lamun di Pantai Perairan Jepara

Jenis Lamun	Tutupan (%)	
	Pantai Prawean	Pantai Marina
<i>Enhalus acoroides</i>	2,98	0,39
<i>Thalassia hemprichii</i>	21,97	5,97
<i>Cymodocea rotundata</i>	12,64	10,13
<i>Oceana serrulata</i>	2,13	13,62
<i>Halodule uninervis</i>	5,07	0
<i>Syringodium isoetifolium</i>	1,42	0
Σ	46,07	31,01

Tabel 2. Parameter Perairan di Pantai Prawean, Jepara

Parameter	Pantai Prawean	Pantai Marina	Baku Mutu
Salinitas (ppt)	32,9 - 34,1	30,3 - 31,3	33-34*
pH	6,9 - 7,1	7,0 - 7,1	7-8,5*
Temperatur (°C)	27,7 - 28,3	29,4 - 30,1	28-30*
Oksigen Terlarut (mg/L)	6,1 - 6,3	7,2 - 7,4	>5*
Kecepatan arus (m/s)	0,081-0,093	0,088-0,098	-
Kedalaman (m)	1,2	1,3	-
Kecerahan (m)	1,2 (sampai dasar)	1,3 (sampai dasar)	>3*

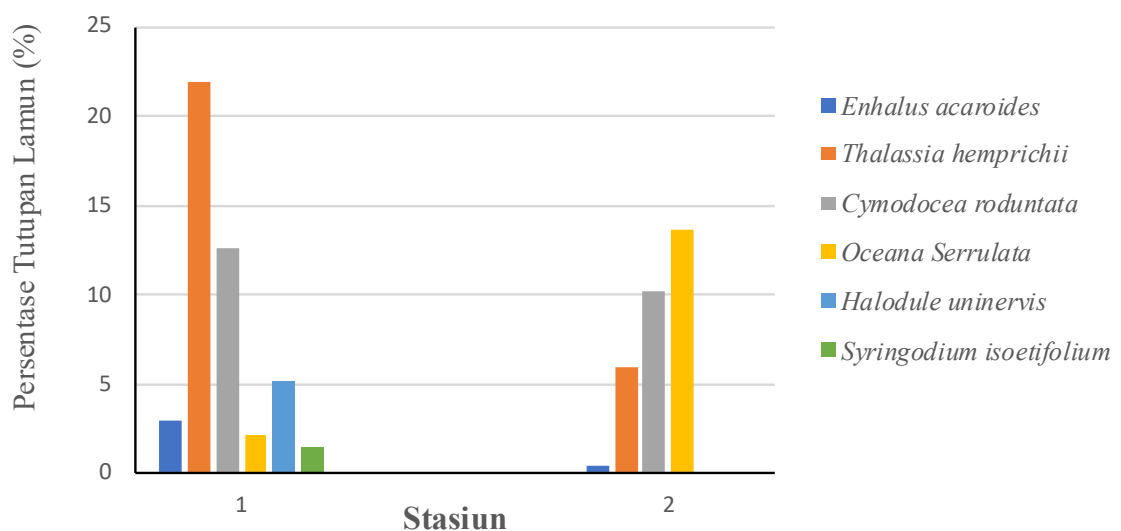
Keterangan: * Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Tabel 3. Estimasi Nilai Biomassa Lamun di Pantai Prawean, Jepara

	Lokasi	
	Pantai Prawean	Pantai Marina
Atas Substrat (g/m ²)	44,55	32,94
Bawah Substrat (g/m ²)	153,49	120,41
Total Nilai Biomassa (g/m ²)	198,04	153,35

Tabel 4. Estimasi Simpanan Karbon Lamun di Perairan Jepara

Jenis Substrat	Lokasi	
	Pantai Prawean	Pantai Marina
Atas Substrat (gC/m ²)	14,97	11,07
Bawah Substrat (gC/m ²)	51,57	40,46
Total Nilai Biomassa (gC/m ²)	66,54	51,53

**Gambar 2.** Persentase Tutupan Lamun di Setiap Stasiun

Tabel 5. Estimasi Nilai Sekuestrasi Karbon di Pantai Prawean

Lokasi	Nilai Sekuestrasi Karbon (ton C/ha/tahun)
Pantai Prawean	5,73
Pantai Marina	4,43

Penelitian ini menunjukkan bahwa tutupan lamun memiliki peran dalam menentukan biomassa dan simpanan karbon ekosistem lamun. Di Pantai Prawean, tutupan lamun yang lebih tinggi (46,07%) menghasilkan biomassa total 198,04 g/m², dengan simpanan karbon mencapai 66,54 gC/m². Sementara di Pantai Marina, yang memiliki tutupan lamun 31,01% hanya memiliki biomassa 153,35 g/m² dan simpanan karbon 51,53 gC/m². Tutupan lamun yang lebih luas juga memungkinkan kapasitas sekuestrasi karbon yang lebih tinggi, yakni 5,73 ton C/ha/tahun (1,57 gC/m²/hari) di Pantai Prawean dibandingkan 4,43 ton C/ha/tahun (1,21 gC/m²/hari) di Pantai Marina.

Meskipun metode nondestruktif menawarkan efisiensi dalam pengukuran karbon tanpa merusak ekosistem, pendekatan ini masih memiliki kekurangan. Salah satu keterbatasan utama adalah ketergantungan pada model empiris yang menggunakan tutupan lamun sebagai indikator biomassa dan karbon. Model ini mengasumsikan hubungan linear antara tutupan lamun dan biomassa, seperti yang diusulkan oleh Stankovic *et al.* (2018). Namun, variasi alami dalam kondisi ekosistem lamun, seperti jenis substrat, komposisi spesies, dan parameter lingkungan, dapat memengaruhi akurasi model. Sebagai contoh, meskipun tutupan lamun di Pantai Prawean lebih tinggi, nilai karbon yang dihasilkan dalam penelitian ini (66,54 gC/m²) lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di wilayah yang sama oleh Endarwanti *et al.* (2023) dan Shafiya *et al.* (2021), yang menggunakan metode destruktif. Endarwanti *et al.* (2023) mendapat nilai karbon lamun di Pantai Prawean sebesar 295,83 gC/m² dengan nilai tutupan 43,18% untuk Pantai Prawean dan 180,97 gC/m² dengan nilai tutupan 22,92% untuk Pantai Marina. Shafiya *et al.* (2021) mendapatkan hasil simpanan karbon sebesar 464,10 gC/m² dengan nilai tutupan lamun 45,98%.

Model estimasi nondestruktif sering kali mengasumsikan bahwa hubungan prediktif antara parameter struktural lamun, seperti panjang daun dan berat kering, bersifat tetap di berbagai Lokasi (Thomson *et al.*, 2024). Namun, asumsi ini tidak selalu berlaku, terutama pada kondisi lingkungan yang sangat bervariasi. Akibatnya, skala spasial dan temporal di mana model tersebut dapat menghasilkan prediksi akurat menjadi terbatas (Congdon *et al.*, 2017). Untuk mengurangi ketidakpastian, diperlukan pertimbangan mengenai variabel lingkungan yang relevan secara biologis, seperti suhu, kedalaman, dan ketersediaan cahaya, terutama jika variasinya berpotensi memengaruhi analisis.

Metode nondestruktif juga kurang mampu memfaktorkan perbedaan spesifik antar ekosistem lamun. Variasi dalam jenis lamun, substrat, atau kondisi hidrologi dapat menyebabkan model memberikan estimasi yang tidak sepenuhnya akurat. Thomson *et al.* (2024) mengungkapkan bahwa kondisi lingkungan seperti kedalaman, suhu, dan cahaya memiliki pengaruh signifikan terhadap hubungan allometri (panjang daun terhadap berat kering) serta hubungan penutupan lamun terhadap biomassa di atas substrat (*above-ground biomass*). Penelitian Krumhansl *et al.* (2021) menunjukkan bahwa padang lamun di area dangkal dan hangat dengan pergerakan air rendah memiliki produktivitas dan ketahanan yang lebih rendah dibandingkan padang lamun di area laut yang lebih dalam, dingin, dan memiliki sirkulasi air yang baik. Pada kondisi lingkungan yang kurang optimal tersebut, daun lamun sering kali lebih tipis, rapuh, dan memiliki ketahanan yang lebih rendah, yang berpotensi memengaruhi biomassa di atas substrat yang dihasilkan. Dalam kasus ekosistem multispesifik seperti Pantai Prawean dan Pantai Marina, hubungan antara tutupan lamun dan karbon mungkin tidak sesuai dengan asumsi model. Penelitian oleh Wicaksono *et al.* (2021) menunjukkan bahwa tingkat akurasi model berbasis tutupan lebih rendah pada komunitas multispesifik dibandingkan dengan komunitas monospesifik. Oleh karena itu, metode nondestruktif masih memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi untuk mampu mencerminkan variasi ekosistem lamun.

Walaupun begitu, Penelitian Sumbayak *et al.* (2021) di Perairan Pulau Besar Utara, Maumere, Nusa Tenggara Timur, menemukan nilai simpanan karbon sebesar 41,95 gC/m² dengan kondisi padang lamun yang tergolong sangat padat, mencapai tutupan 81,51%. Metode yang digunakan adalah metode destruktif melalui pengambilan sampel menggunakan *seagrass core* dan perhitungan karbon menggunakan metode *Loss on Ignition* (LOI). Meskipun kondisi lamun di lokasi penelitian tersebut lebih baik dibandingkan dengan Pantai Prawean, Jepara, baik dari segi kerapatan maupun persentase tutupan, nilai simpanan karbon yang dilaporkan justru lebih kecil dibandingkan dengan hasil penelitian ini, maupun penelitian Endarwanti *et al.* (2023) dan Shafiya *et al.* (2021).

Perbedaan ini dapat dihubungkan dengan potensi kesalahan dalam metode destruktif. Meskipun metode tersebut relatif lebih akurat dalam pengukuran biomassa dan karbon lamun, pengambilan sampel secara langsung sering kali meningkatkan risiko kesalahan manusia (*human error*) akibat variabilitas proses sampling dan pengolahan sampel. Sebaliknya, metode nondestruktif yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah, tetapi kesalahan pengukuran dapat diminimalkan dan distandardisasi melalui pendekatan yang konsisten (Stankovic *et al.*, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa metode nondestruktif, meskipun kurang akurat, lebih dapat diandalkan dalam pemantauan jangka panjang karena meminimalkan gangguan pada ekosistem lamun serta memberikan hasil yang lebih beragam dan dapat direproduksi.

Pengembangan metode nondestruktif yang lebih menyeluruh sangatlah dibutuhkan. Metode yang dapat memfaktorkan parameter tambahan seperti jenis lamun, karakteristik substrat, dan kondisi hidrologi lokal akan memberikan hasil yang lebih representatif. Kombinasi pendekatan, seperti integrasi data nondestruktif yang digabungkan dengan metode destruktif dalam skala kecil (Goibert *et al.*, 2020), juga dapat dilakukan untuk meningkatkan keakuratan model. Selain itu, validasi model menggunakan data empiris dari berbagai lokasi dengan kondisi ekosistem berbeda akan membantu memperkuat generalisasi hasil penelitian.

Peningkatan akurasi estimasi biomassa lamun juga memiliki beragam manfaat, termasuk untuk perencanaan pengelolaan habitat, memperbaiki proyeksi perubahan iklim, dan mengisi kesenjangan data karbon laut global (Duarte, 2017). Pendekatan nondestruktif berbasis penghitungan tegakan, panjang daun, atau data penutupan lamun dapat membantu mempercepat pengumpulan data biomassa tanpa merusak habitat lamun, meskipun mungkin masih dibutuhkan sedikit sampel destruktif untuk memvalidasi hubungan prediktif yang digunakan (Thomson *et al.*, 2024). Dengan pentingnya lamun terhadap struktur dan fungsi ekosistem, serta kontribusinya pada anggaran karbon global, penelitian yang lebih mendalam tentang pengaruh variabilitas lingkungan terhadap model estimasi karbon akan memberikan banyak manfaat. Selain meningkatkan akurasi data, langkah ini juga dapat mendukung upaya konservasi dan rehabilitasi ekosistem lamun secara berkelanjutan.

Degradasi padang lamun tidak hanya berdampak pada kehilangan habitat bagi biota laut, tetapi juga berpotensi melepaskan karbon yang tersimpan dalam sedimen ke atmosfer, memperburuk konsentrasi CO₂ dan efek rumah kaca (Liu *et al.*, 2020). Nilai kapasitas sequestrasi karbon di Pantai Prawean yang sebesar 5,73 ton C/ha/tahun dan Pantai Marina sebesar 4,43 ton C/ha/tahun menunjukkan pentingnya menjaga kondisi lamun yang sehat dalam upaya memitigasi perubahan iklim. Namun, perbedaan hasil ini juga menunjukkan adanya kebutuhan akan pengelolaan yang lebih baik, terutama di lokasi-lokasi yang terpapar tekanan antropogenik lebih tinggi. Oleh karena itu, konservasi ekosistem lamun harus menjadi prioritas, salah satunya melalui metode pemantauan dan rehabilitasi yang efektif dan ramah lingkungan.

Strategi rehabilitasi padang lamun, seperti transplantasi lamun atau penanaman biji lamun, dapat menjadi solusi pemulihan ekosistem yang rusak. Namun, upaya ini memerlukan pemilihan lokasi yang tepat, pengelolaan faktor-faktor lingkungan, dan perlindungan dari aktivitas merusak agar tingkat keberhasilannya meningkat (Gamble *et al.*, 2021). Selain itu, pengelolaan berbasis ekosistem yang melibatkan masyarakat lokal juga penting untuk meningkatkan kesadaran dan mengurangi aktivitas destruktif di kawasan pesisir. Penelitian ini memberikan bukti bahwa padang lamun di Jepara memiliki potensi dalam menyimpan karbon, sehingga upaya konservasi ekosistem ini dapat berkontribusi secara nyata terhadap mitigasi perubahan iklim, sekaligus menjaga keseimbangan dan keberlanjutan ekosistem pesisir dan sumber daya hayati laut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, Pantai Prawean memiliki simpanan karbon sebesar 66,54 gC/m², lebih tinggi dibandingkan Pantai Marina yang mencapai 51,53 gC/m². Kapasitas sekuestrasi karbon di Pantai Prawean mencapai 5,73 ton C/ha/tahun (1,57 gC/m²/hari), sedangkan di Pantai Marina sebesar 4,43 ton C/ha/tahun (1,21 gC/m²/hari). Perbedaan ini disebabkan oleh variasi tutupan lamun, dengan Pantai Prawean memiliki tutupan lebih tinggi sebesar 46,07% dibandingkan Pantai Marina sebesar 31,01%. Metode nondestruktif terbukti efisien untuk mengestimasi karbon tanpa merusak ekosistem, namun memiliki keterbatasan dalam akurasi jika dibandingkan dengan metode destruktif. Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk mengembangkan model yang lebih akurat dan lebih mencerminkan variasi dari ekosistem lamun.

DAFTAR PUSTAKA

- Baeti, T.N., Hartati, R., & Riniatsih, I., 2019, Potensi Simpanan Karbon Pada Lamun *Cymodocea serrulata* di Pantai Prawean, Jepara. *Journal of Marine Research*, 8(1): 19–26.
- Collier, C.J., Langlois, L.M., McMahon, K.M., Udy, J., Rasheed, M., Lawrence, E., Carter, A. B., Fraser, M.W., & McKenzie, L.J., 2021. What Lies Beneath: Predicting Seagrass Below-Ground Biomass from Above-Ground Biomass, Environmental Conditions and Seagrass Community Composition. *Ecological Indicators*, 121: 1–11.
- Congdon, V.M., Wilson, S.S., & Dunton, K.H., 2017. Evaluation of Relationships Between Cover Estimates and Biomass in Subtropical Seagrass Meadows and Application to Landscape Estimates of Carbon Storage. *Southeastern Geographer*, 57(3): 231–245.
- Chrismanola, V.I. Riniatsih & Endrawati, H., 2024. Pengaruh Jenis Substrat Terhadap Pertumbuhan Semaian Biji Lamun (*Enhalus acoroides*). *Journal of Marine Research*, 13(2): 365–373.
- Duarte, C.M., 2017, Reviews and Syntheses: Hidden Forests, The Role of Vegetated Coastal Habitats in The Ocean Carbon Budget. *Biogeosciences*, 14(2): 301–310.
- Endarwanti, V., Djunaedi, A., & Santosa, G.W., 2023, Estimasi Simpanan Karbon dan Bioekologi Lamun di Pantai Prawean, Jepara. *Journal of Marine Research*, 12(4): 579–585.
- Gamble, C., Debney, A., Glover, A., Bertelli, C., Green, B., Hendy, I., Lilley, R., Nuuttila, H., Potouroglou, M., Ragazzola, F., Unsworth, R., & Preston, J., 2021. Seagrass Restoration Handbook, Zoological Society of London.
- Gobert, S., Lefebvre, L., Boissery, P., & Richir, J., 2020. A Non-Destructive Method to Assess the Status of *Posidonia oceanica* Meadows. *Ecological Indicators*, 119: 1–8.
- Krumhansl, K.A., Dowd, M., & Wong, M.C., 2020. A Characterization of The Physical Environment at Eelgrass (*Zostera marina*) Sites Along the Atlantic Coast of Nova Scotia, Fisheries and Oceans Canada.
- Lenaini, I., 2021. Teknik Pengambilan Sampel Purposive dan Snowball Sampling. *Historis: Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Pendidikan Sejarah*, 6(1): 33–39.
- Liu, S., Trevathan-Tackett, S.M., Ewers Lewis, C.J., Huang, X., & Macreadie, P.I., 2020. Macroalgal Blooms Trigger the Breakdown of Seagrass Blue Carbon. *Environmental Science & Technology*, 54(22): 14750–14760.
- Lyons, M., Roelfsema, C., Kovacs, E., Samper-Villarreal, J., Saunders, M., Maxwell, P., & Phinn, S., 2015. Rapid Monitoring of Seagrass Biomass Using a Simple Linear Modelling Approach, In the Field and from Space. *Marine Ecology Progress Series*, 530: 1–14.
- Millah, H., 2020. Pengaruh Kualitas Pelayanan Karyawan Terhadap Kepuasan Konsumen. *Iqtishodiyah: Jurnal Ekonomi Dan Bisnis Islam*, 6(2): 134–142.
- Ningrum, K.P., Endrawati, H., & 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.
- Rahmawati, S., Irawan, A., Supriyadi, I.H., & Azkab, M.H., 2017. Panduan Pemantauan Padang Lamun, Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI.

- Rahmawati, S., Lisdayanti, E., Kusnadi, A., Rizqi, M.P., Pangestiansyah Putra, I., Irawan, A., Happy Supriyadi, I., Prayudha, B., Suyarso, Alifatri, L.O., Iswari, M.Y., Anggraini, K., Hadiyanto, Hernawan, U.E., Ambo-Rappe, R., Choesin, D.N., Hikmat Nugraha, A., Mirah Sjafrie, N.D., Riniatsih, I., Rifai, H., Fachriansyah, K., Manafi, M.R., Rustam, A., Ningsih, E., & Rahmadi, P., 2022. Status Ekosistem Lamun di Indonesia Tahun 2021. Pusat Riset Oseanografi, Organisasi Riset Kebumihan dan Maritim, Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- Rauf, A., Asni, A., Hamsiah, H. & Asmidar A., 2017. Evaluasi Kesesuaian Lahan Budidaya Ikan Baronang pada Ekosistem Padang Lamun di Pantai Barat Sulawesi Selatan. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 2(1): 58–63.
- Riniatsih, I., 2015, Distribusi Muatan Padatan Tersuspensi (MPT) di Padang Lamun di Perairan Teluk Awur dan Pantai Prawean Jepara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(3): 121–126.
- Shafiya, R. W., Djunaedi, A., & Ario, R., 2021. Estimasi Biomassa dan Simpanan Karbon Pada Vegetasi Lamun di Perairan Pantai Jepara. *Journal of Marine Research*, 10(3): 446–442.
- Stankovic, M., Tantipisanuh, N., Rattanachot, E., & Prathep, A., 2018. Model-Based Approach for Estimating Biomass and Organic Carbon in Tropical Seagrass Ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 596: 61–70.
- Sari, R.M., Kurniawan, D., & Sabriyati, D., 2021. Kerapatan dan Pola Sebaran Lamun Berdasarkan Aktivitas Masyarakat di Perairan Pengujan Kabupaten Bintan. *Journal of Marine Research*, 10(4): 527–534.
- Sumbayak, J.E.W.S., Setyati, W.A., & Riniatsih, I., 2021. Potensi Penyimpanan Karbon Pada Vegetasi Padang Lamun di Perairan Pulau Besar Utara, Sikka, Maumere, Nusa Tenggara Timur. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(1): 51–60.
- Thomson, J.A., Vercaemer, B., & Wong, M.C., 2024. Non-Destructive Biomass Estimation for Eelgrass (*Zostera marina*): Allometric and Percent Cover-Biomass Relationships Vary with Environmental Conditions. *Aquatic Botany*, 198: 1-16.
- Wahyudi, A.J., Rahmawati, S., Irawan, A., Hadiyanto, H., Prayudha, B., Hafizt, M., Afdal, A., Adi, N. S., Rustam, A., Hernawan, U.E., Rahayu, Y.P., Iswari, M.Y., Supriyadi, I.H., Solihudin, T., Ati, R.N.A., Kepel, T.L., Kusumaningtyas, M.A., Daulat, A., Salim, H.L., Sudirman, N., Suryono, D.D., & Kiswara, W., 2020. Assessing Carbon Stock and Sequestration of The Tropical Seagrass Meadows in Indonesia. *Ocean Science Journal*, 55: 85–97.
- Wicaksono, P., Danoedoro, P., Hartono, H., Nehren, U., Maishella, A., Hafizt, M., Arjasakusuma, S., & Harahap, S.D., 2021, Analysis of Field Seagrass Percent Cover and Aboveground Carbon Stock Data for Non-Destructive Aboveground Seagrass Carbon Stock Mapping Using WorldView-2 Image. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2021*, 46: 321–327.