

LAMBOK MAURIO VINCENTIUS PURBA. NPM. 22.03.4.1.1.00014. Estimasi Stok Karbon Ekosistem Lamun Melalui Pendekatan Data Lapangan dan Citra Satelit di Pulau Poteran, Kabupaten Sumenep. Di bawah bimbingan **Herlambang Aulia Rachman, M.Si**

ABSTRAK

Ekosistem padang lamun memiliki peran krusial sebagai penyerap karbon biru (*blue carbon*) dalam mitigasi perubahan iklim global. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis struktur komunitas lamun serta membandingkan estimasi stok karbon melalui pendekatan data lapangan dengan metode *Loss on Ignition* (LOI) dan pendekatan penginderaan jauh menggunakan citra satelit Sentinel-2 di Pulau Poteran, Kabupaten Sumenep. Pengumpulan data lapangan dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober 2025 menggunakan metode transek garis kuadrat. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan tiga spesies lamun yaitu *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, dan *Halophila minor* dengan Indeks Keanekaragaman (H') yang tergolong rendah (<1) di seluruh stasiun. Estimasi stok karbon biomassa melalui metode LOI menunjukkan nilai antara 0,78 hingga 87,86 gC/m^2 . Simpanan karbon pada bagian bawah substrat (*below-ground*) secara konsisten lebih tinggi dibandingkan bagian atas (*above-ground*), dengan nilai tertinggi ditemukan pada spesies *Enhalus acoroides*. Pemetaan spasial menggunakan citra Sentinel-2 menunjukkan total luas tutupan lamun mencapai 475,94 hektare. Namun, uji akurasi model citra satelit menunjukkan korelasi yang rendah dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,1119. Rendahnya akurasi tersebut dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan perairan yang tinggi di lokasi penelitian dan keterbatasan resolusi spasial citra.

Kata Kunci: Karbon Biru, Lamun, *Loss on Ignition*.

LAMBOK MAURIO VINCENTIUS PURBA. NPM. 22.03.4.1.1.00014. Estimation of Seagrass Ecosystem Carbon Stocks Through Field Data and Satellite Imagery Approaches on Poteran Island, Sumenep Regency. Under the guidance of **Herlambang Aulia Rachman, M.Si,**

ABSTRACT

*Seagrass ecosystems play a crucial role as blue carbon sinks in global climate change mitigation. This study was conducted to analyze seagrass community structure and compare carbon stock estimations using a field data approach with the Loss on Ignition (LOI) method and a remote sensing approach using Sentinel-2 satellite imagery on Poteran Island, Sumenep Regency. Field data collection was carried out from August to October 2025 using the line transect quadrat method. Based on the results, three seagrass species were identified: *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii*, and *Halophila minor*, with a consistently low Diversity Index ($H' < 1$) across all stations. Biomass carbon stock estimation via the LOI method showed values ranging from 0.78 to 87.86 gC/m². Below-ground carbon storage was consistently higher than above-ground storage, with the highest values found in *Enhalus acoroides*. Spatial mapping using Sentinel-2 imagery indicated a total seagrass coverage area of 475.94 hectares. However, the satellite imagery model accuracy test showed a low correlation with a coefficient of determination (R^2) of 0.1119. This low accuracy was influenced by the high water turbidity at the research site and the limitations of the satellite's spatial resolution.*

Keywords: Blue Carbon, Seagrass, Loss on Ignition.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekosistem padang lamun memiliki peran krusial sebagai penyimpan karbon biru di wilayah pesisir (Saputra *et al.*, 2024). Kemampuan ekosistem ini dalam menyerap karbon dioksida dari atmosfer bahkan melampaui efektivitas hutan terestrial untuk luasan yang sama (Wahyudi *et al.*, 2018). Karbon yang diserap kemudian disimpan dalam biomassa dan terakumulasi di sedimen dasar laut untuk periode yang sangat panjang (Wahyudi *et al.*, 2018). Struktur perakaran yang padat serta kondisi sedimen yang minim oksigen membuat karbon dapat terperangkap secara stabil selama ribuan tahun (Wahyudi *et al.*, 2018). Ekosistem lamun yang sehat juga menyediakan jasa ekologis vital lainnya, termasuk sebagai area asuhan biota laut dan pelindung garis pantai (Hisamuddin *et al.*, 2021).

Perairan Indonesia, yang menjadi rumah bagi padang lamun yang luas, kini menghadapi tekanan antropogenik yang signifikan (Ilyas *et al.*, 2020). Aktivitas seperti pembangunan pesisir, pencemaran, dan metode penangkapan ikan yang merusak menjadi penyebab utama degradasi habitat penting ini (Ilyas *et al.*, 2020). Kerusakan tersebut tidak hanya mengancam keanekaragaman hayati tetapi juga berpotensi melepaskan kembali simpanan karbon ke atmosfer (Sirait *et al.*, 2022). Pulau Poteran di Sumenep diketahui memiliki ekosistem lamun yang berpotensi menyimpan karbon dalam jumlah besar (Hisamuddin *et al.*, 2021). Namun, data kuantitatif mengenai total stok karbon di lokasi ini masih sangat terbatas dan terdapat inkonsistensi laporan mengenai komposisi spesiesnya (Sirait *et al.*, 2022).

Penilaian stok karbon ekosistem lamun sangat krusial dilakukan untuk mengevaluasi seberapa besar kapasitas nyata perairan dalam memitigasi dampak perubahan iklim. Kapasitas penyimpanan karbon ini memiliki hubungan timbal balik yang sangat erat dengan keanekaragaman dan struktur komunitas penyusunnya. Vegetasi lamun yang padat dan kaya akan ragam spesies cenderung memiliki perluasan biomassa perakaran yang masif sehingga mampu mengunci lebih banyak emisi karbon di dalam substrat sedimen (Tupan, 2019). Hilangnya tutupan vegetasi akibat tekanan lingkungan berisiko besar mengubah status ekosistem yang awalnya menjadi penyerap karbon (*carbon sink*) menjadi penyumbang emisi karbon (*carbon source*). Penelitian mengenai ekosistem lamun di Indonesia telah banyak dilakukan, namun sebagian besar masih berfokus pada pemetaan tutupan dan dinamika spasial tanpa mengintegrasikan estimasi stok

karbon secara kuantitatif. Informasi mengenai stok karbon lamun yang memiliki resolusi spasial dan temporal yang baik masih terbatas, khususnya di wilayah dengan karakteristik perairan kompleks seperti Indonesia (Alongi, 2020; Serrano *et al.*, 2021). Pendekatan penginderaan jauh berbasis citra Sentinel-2 telah terbukti efektif dalam pemetaan lamun dan habitat bentik, tetapi penerapannya dalam estimasi karbon masih memerlukan validasi lapangan yang kuat (Traganos & Reinartz, 2018; Caballero *et al.*, 2022). Ketiadaan studi yang secara simultan mengombinasikan pengukuran laboratorium dan pemodelan spasial serta membandingkan akurasi keduanya menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang signifikan dalam penyediaan data karbon lamun yang akurat dan representatif.

Kuantifikasi stok karbon lamun melibatkan survei lapangan melalui pengambilan sampel biomassa dan sedimen untuk analisis laboratorium yang akurat (Maulidiyah, 2019). Analisis laboratorium seperti *Loss on Ignition* (LOI) digunakan untuk menentukan kandungan karbon organik secara presisi (Hertyastuti *et al.*, 2020). Teknologi penginderaan jauh menggunakan citra satelit memungkinkan pemetaan skala luas dengan akurasi yang bergantung pada validasi data lapangan (Rais *et al.*, 2023). Ketersediaan data stok karbon yang andal menjadi prasyarat penting untuk mendukung kebijakan mitigasi perubahan iklim nasional (Wahyudi *et al.*, 2018). Pengujian dilakukan pada kondisi perairan keruh yang dikenal sebagai salah satu tantangan utama dalam aplikasi penginderaan jauh di wilayah pesisir tropis (Hossain *et al.*, 2023). Penelitian ini membandingkan tingkat akurasi metode laboratorium *Loss on Ignition* (LOI) dengan pemodelan algoritma citra *Sentinel-2* di Pulau Poteran. Studi ini diharapkan menyediakan basis data ilmiah yang solid untuk mendukung upaya pengelolaan sumber daya pesisir yang berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana struktur komunitas lamun (kerapatan, frekuensi, penutupan, dan keanekaragaman) di perairan Pulau Poteran, Kabupaten Sumenep?
2. Berapa besar estimasi total stok karbon (*Above Ground Carbon* dan *Below Ground Carbon*) pada ekosistem lamun di Pulau Poteran berdasarkan analisis data lapangan menggunakan metode *Loss on Ignition* (LOI)?

3. Bagaimana sebaran spasial dan estimasi stok karbon (*Above-ground Carbon* - AGC) ekosistem lamun di Pulau Poteran berdasarkan hasil analisis citra satelit Sentinel-2?
4. Bagaimana perbandingan antara hasil estimasi stok karbon dari pendekatan data lapangan dengan pendekatan data citra satelit (Sentinel-2)?

1.3 Tujuan

1. Menganalisis struktur komunitas lamun (kerapatan, frekuensi, penutupan, dan keanekaragaman) di perairan Pulau Poteran, Kabupaten Sumenep.
2. Menghitung estimasi total stok karbon ((*Above Ground Carbon* dan *Below Ground Carbon*) pada ekosistem lamun di Pulau Poteran melalui analisis data lapangan dengan metode LOI.
3. Memetakan sebaran spasial dan mengestimasi stok karbon (AGC) ekosistem lamun di Pulau Poteran menggunakan data citra satelit Sentinel-2.
4. Menganalisis perbandingan dan mengevaluasi akurasi hasil estimasi stok karbon antara metode survei lapangan dan metode penginderaan jauh.

1.4 Manfaat

- 1) Manfaat Akademis:
 - a) Memberikan kontribusi data ilmiah dasar mengenai struktur komunitas dan total stok karbon ekosistem lamun di Pulau Poteran, yang datanya masih terbatas.
 - b) Menyediakan evaluasi metodologis mengenai efektivitas dan kelemahan perbandingan antara metode lapangan (LOI) dan penginderaan jauh (Sentinel-2) untuk estimasi karbon di perairan tropis.
 - c) Dapat dijadikan sebagai referensi bagi peneliti selanjutnya yang akan melakukan kajian serupa mengenai *blue carbon* atau pemetaan lamun.
- 2) Manfaat Praktis:
 - a) Menyediakan basis data ilmiah yang solid bagi pemangku kepentingan untuk mendukung upaya pengelolaan sumber daya pesisir yang berkelanjutan.

- b) Menjadi data masukan penting untuk mendukung kebijakan mitigasi perubahan iklim nasional, khususnya terkait inventarisasi karbon biru (*blue carbon*)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Lamun

Lamun (*seagrass*) adalah satu-satunya kelompok tumbuhan berbunga (*Angiospermae*) yang mampu hidup dan beradaptasi sepenuhnya di lingkungan perairan laut yang bersalinitas (Suryaningtias *et al.*, 2024). Ekosistem yang dibentuknya, dikenal sebagai padang lamun, memainkan peran global yang penting dalam mendukung keanekaragaman hayati dan stabilitas pesisir.

Padang lamun menyediakan jasa ekosistem yang krusial. Ekosistem ini berfungsi sebagai tempat mencari makan (*feeding ground*), tempat pembesaran (*nursery ground*), dan tempat berkembang biak (*breeding ground*) bagi berbagai biota laut (Kesaulya *et al.*, 2024). Padang lamun juga berkontribusi dalam menjaga kualitas air, menstabilkan sedimen, dan mencegah abrasi pantai. Kesehatan ekosistem lamun sering dijadikan bioindikator untuk kualitas lingkungan perairan pesisir akibat fungsinya yang kompleks ini (Wasniatun, 2024).

Ekosistem lamun merupakan komponen vital dari *blue carbon* (karbon biru). Kemampuannya menyerap karbon dioksida dari atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa serta sedimen dalam jangka waktu lama, menjadikan padang lamun salah satu penyerap karbon (*carbon sink*) yang potensial di wilayah pesisir (Ganefiani *et al.*, 2019).

2.2 Karakteristik Morfologi Spesies Lamun

2.2.1 *Enhalus acoroides*

Enhalus acoroides merupakan salah satu lamun tropis berukuran besar yang mendominasi kawasan perairan pesisir Indonesia. Spesies ini tergabung dalam famili *Hydrocharitaceae* dan menampilkan ciri fisik yang sangat mudah diidentifikasi secara visual. Helaian daunnya tumbuh memanjang menyerupai pita dengan ukuran panjang yang seringkali mencapai puluhan sentimeter. Ujung daun spesies ini memiliki bentuk membulat bergerigi dengan susunan tulang daun yang berjajar secara longitudinal (Togolo *et al.*, 2023).

Sistem perakaran lamun jenis ini sangat kuat menancap menembus dasar perairan. Akar-akarnya berukuran besar memanjang tanpa memiliki banyak cabang serabut yang rumit. Bagian rimpang atau rhizoma memiliki wujud tebal silindris menyerupai batang yang terbenam mendatar di dalam sedimen.

Permukaan rhizoma ini secara umum ditutupi oleh rambut-rambut kaku berwarna kehitaman yang tumbuh sangat rapat (Togolo *et al.*, 2023).

Tumbuhan air ini sangat menyenangkan habitat perairan dangkal yang bertipe semi tertutup. Substrat yang paling ideal bagi fase pertumbuhannya adalah campuran pasir berlumpur hingga hamparan pecahan karang mati. Kemampuan adaptasinya sangat tinggi dalam menghadapi dinamika perairan yang tenang maupun perairan yang sedikit berarus. Kehadiran populasinya yang padat di suatu perairan sanggup menjadi peredam energi gelombang laut sekaligus penjebak partikel sedimen yang efektif (Togolo *et al.*, 2023).

2.2.2 *Thalassia hemprichii*

Thalassia hemprichii adalah spesies lamun yang bentangan persebarannya paling luas di seluruh wilayah perairan Indo-Pasifik. Tumbuhan ini masuk ke dalam famili *Hydrocharitaceae* dengan bentuk morfologi daun khas menyerupai selendang atau pita yang melengkung. Helai daunnya tumbuh tegak lurus ke atas dari pangkal pelepah yang menutupi bagian dasar batang. Ukuran panjang daun bervariasi antara sepuluh hingga empat puluh sentimeter bergantung mutlak pada kondisi lingkungan sekitarnya (Sugianto *et al.*, 2023).

Ketahanan hidup spesies ini sangat ditunjang oleh struktur bawah substratnya yang berkarakter kokoh. Jaringan rhizoma tumbuh menjalar secara horizontal membelah bawah permukaan dasar laut dengan ukuran antar ruas yang bervariasi. Akar-akar tegak bermunculan dari setiap ruas rhizoma untuk memberikan sistem jangkar yang stabil bagi individu tumbuhan. Anatomi rimpang yang padat ini memungkinkan tumbuhan bertahan kuat dari sapuan arus bawah dan hempasan gelombang permukaan (Sugianto *et al.*, 2023).

Karakteristik habitat yang disukai spesies ini meliputi daerah rata-rata terumbu karang dan paparan pasir di zona intertidal hingga subtidal dangkal. Spesies ini memiliki keahlian beradaptasi yang istimewa pada berbagai variasi tipe substrat mulai dari lumpur halus hingga patahan karang kasar. Toleransinya terhadap fluktuasi drastis salinitas dan paparan udara bebas saat surut menjadikannya tumbuhan pionir yang tangguh. Padang lamun jenis ini memegang peran sentral sebagai penyedia stok nutrisi utama dalam rantai makanan ekosistem perairan pesisir (Sugianto *et al.*, 2023).

2.2.3 *Halophila minor*

Halophila minor diidentifikasi sebagai spesies lamun berukuran mini yang pola pertumbuhannya sangat rapat menutupi hamparan dasar perairan. Morfologi daunnya berwujud bulat oval hingga memanjang dengan ukuran fisik yang sangat mungil dibandingkan mayoritas jenis lamun lainnya. Tepi helaian daun terlihat mulus tanpa tekstur gerigi dengan kelengkapan struktur yang tipis dan cenderung transparan. Sepasang helai daun biasanya muncul menempel langsung dari tangkai kecil yang terhubung dengan percabangan batang utama di bawah pasir (Gafar *et al.*, 2024).

Anatomi bawah permukaan spesies ini didesain alam untuk mendukung proses penyebaran vegetatif yang sangat masif. Rimpangnya berwujud sangat kecil serta mudah rapuh apabila terkena kontak fisik atau tarikan yang kuat. Akar serabut yang halus muncul dari setiap titik nodus untuk membantu menyerap nutrisi langsung dari lapisan sedimen teratas. Jaringan perakaran yang dangkal ini membuat seluruh tubuh tumbuhan sangat rentan tercabut oleh hempasan arus air yang bergejolak (Gafar *et al.*, 2024).

Perairan dangkal dengan komposisi dasar berlumpur halus merupakan habitat yang paling optimal bagi pertumbuhan koloninya. Tumbuhan ini sering merangkap peran sebagai spesies pionir yang pertama kali mengkolonisasi area perairan terbuka atau lahan pesisir yang baru terganggu. Eksistensinya sangat sensitif terhadap perubahan mendadak tingkat kekeruhan air karena habitusnya membutuhkan intensitas cahaya matahari yang maksimal untuk berfotosintesis. Hamparan populasinya di dasar laut menyumbang fungsi penting untuk menstabilkan sedimen lumpur agar tidak mudah tersuspensi kembali mengotori kolom air (Gafar *et al.*, 2024).

2.3 Struktur Komunitas Lamun

Analisis struktur komunitas merupakan langkah fundamental untuk memahami kondisi ekologis ekosistem padang lamun (Saputra *et al.*, 2024). Struktur komunitas ini mencakup komposisi spesies, kelimpahan, dan pola distribusi vegetasi di suatu area (Pryadi, 2023). Parameter kunci yang sering diukur untuk mendeskripsikan struktur ini adalah kerapatan individu dan persentase tutupan substrat (Hisamuddin *et al.*, 2021). Pengukuran parameter tersebut secara kuantitatif memberikan data dasar untuk menilai kesehatan dan

stabilitas ekosistem (Arifin *et al.*, 2025). Data ini juga menjadi fondasi untuk menghitung berbagai indeks ekologi yang lebih kompleks (Sari *et al.*, 2024).

Metode transek kuadrat garis (*line transect quadrat*) adalah pendekatan yang umum digunakan dan terstandarisasi dalam penelitian vegetasi lamun (Sirait *et al.*, 2022). Metode ini memungkinkan pengumpulan data kerapatan dan tutupan secara sistematis di sepanjang gradien lingkungan, seperti dari perairan dangkal ke dalam (Pryadi, 2023). Penggunaan kuadrat dengan ukuran spesifik, seperti 50x50 cm, memastikan konsistensi dan komparabilitas data antar titik pengambilan sampel (Sari *et al.*, 2024). Desain sampling yang mencakup beberapa stasiun dan transek replikasi sangat penting untuk menangkap variabilitas spasial komunitas lamun (Hisamuddin *et al.*, 2021). Akurasi data yang dihasilkan dari metode ini sangat krusial untuk validitas analisis struktur komunitas selanjutnya (Saputra *et al.*, 2024).

Data mentah berupa jumlah individu dan persentase tutupan kemudian diolah untuk menghasilkan indeks-indeks ekologi yang memberikan gambaran holistik tentang komunitas. Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H') digunakan untuk mengukur kekayaan spesies sekaligus pemerataan distribusinya (Diniariwisan dan Rahmadani, 2023). Indeks Kemerataan (E') secara spesifik mengkuantifikasi seberapa merata individu tersebar di antara spesies yang ada, yang mengindikasikan stabilitas komunitas (Sari *et al.*, 2024). Nilai-nilai indeks ini berfungsi sebagai bioindikator kondisi perairan, di mana nilai keanekaragaman yang tinggi seringkali berkorelasi dengan ekosistem yang sehat (Arifin *et al.*, 2025). Analisis kuantitatif ini memungkinkan perbandingan objektif kondisi ekosistem antar lokasi atau dari waktu ke waktu (Pryadi, 2023).

2.4 Stok Karbon pada Ekosistem Lamun

Ekosistem padang lamun merupakan salah satu penyimpan karbon biru (*blue carbon*) yang paling signifikan di planet ini (Saputra *et al.*, 2024). Kemampuannya menyerap dan mengunci karbon atmosfer menjadikannya komponen vital dalam mitigasi perubahan iklim global (Maulidiyah, 2019). Karbon di dalam ekosistem ini tersimpan dalam dua kompartemen utama, yaitu biomassa vegetasi lamun itu sendiri dan sedimen di bawahnya (Wahyudi *et al.*, 2018). Biomassa lamun terbagi menjadi bagian atas substrat (*Above-ground*) yang terdiri dari daun dan seludang, serta bagian bawah substrat (*Below-ground*) yang mencakup akar dan rimpang (Sirait *et al.*, 2022). Kuantifikasi total stok karbon pada

ekosistem ini memerlukan pengukuran pada kedua kompartemen tersebut secara akurat (Maulidiyah, 2019).

Sedimen menjadi kompartemen penyimpanan karbon terbesar dan paling stabil dalam jangka panjang di ekosistem padang lamun (Wahyudi *et al.*, 2018). Sistem perakaran dan rimpang lamun yang padat berfungsi sebagai perangkap yang efektif untuk partikel organik, baik yang berasal dari dekomposisi lamun maupun dari kolom air (Hertyastuti *et al.*, 2020). Kondisi anoksik atau rendah oksigen di dalam sedimen secara signifikan memperlambat laju dekomposisi materi organik oleh mikroba (Wahyudi *et al.*, 2018). Proses ini memungkinkan karbon terakumulasi dan tersimpan dengan aman selama ratusan hingga ribuan tahun di bawah padang lamun. Faktor-faktor seperti kerapatan lamun, jenis spesies, dan kondisi hidrodinamika perairan sangat memengaruhi kapasitas sedimen dalam menyimpan karbon (Hertyastuti *et al.*, 2020).

Pengukuran stok karbon secara akurat sangat krusial untuk pelaporan inventarisasi gas rumah kaca nasional dan perancangan strategi konservasi (Wahyudi *et al.*, 2018). Metode laboratorium yang umum digunakan untuk kuantifikasi karbon adalah teknik berbasis pembakaran untuk mengukur kandungan bahan organik (Chaeran *et al.*, 2020). Metode *Loss on Ignition* (LOI) merupakan salah satu pendekatan yang paling sering diterapkan karena efektivitas biaya dan prosedurnya yang relatif sederhana (Saputra *et al.*, 2024). Prinsip dasar metode ini adalah menghilangkan seluruh komponen organik dari sampel melalui pembakaran pada suhu tinggi di dalam tanur (Sirait *et al.*, 2022). Selisih berat sampel sebelum dan sesudah pembakaran kemudian digunakan untuk menghitung total bahan organik yang selanjutnya dikonversi menjadi kandungan karbon organik (Hidayatullah *et al.*, 2022).

2.5 Pemetaan Sebaran, Kerapatan, dan Stok Karbon Lamun menggunakan Citra Satelit

Teknologi penginderaan jauh telah menjadi alat yang sangat efektif untuk pemantauan ekosistem pesisir dalam skala spasial yang luas (Rais *et al.*, 2023). Pemanfaatan citra satelit memungkinkan pemetaan sebaran habitat benthik, termasuk padang lamun, secara efisien dan berulang dari waktu ke waktu (Putra *et al.*, 2023). Kombinasi data citra dengan data lapangan (*in-situ*) akan menghasilkan informasi yang lebih komprehensif mengenai kondisi ekosistem, seperti persentase tutupan dan kerapatan (Hartono *et al.*, 2022). Pendekatan

terintegrasi ini sangat penting untuk memahami dinamika perubahan luasan dan kesehatan padang lamun (Yopha Putra, 2023). Informasi spasial yang dihasilkan menjadi dasar yang krusial untuk perencanaan pengelolaan dan konservasi wilayah pesisir (Arifin *et al.*, 2025).

Citra satelit Sentinel-2 menawarkan keunggulan signifikan untuk pemetaan padang lamun dibandingkan dengan sensor multispektral lainnya seperti Landsat (Rafsenja *et al.*, 2020). Sentinel-2 memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi, yaitu 10 meter, yang mampu menangkap detail habitat perairan dangkal dengan lebih baik daripada Landsat yang memiliki resolusi 30 meter (Mastu *et al.*, 2018). Keunggulan ini terbukti menghasilkan tingkat akurasi klasifikasi yang lebih tinggi, di mana studi perbandingan menunjukkan Sentinel-2 mencapai akurasi keseluruhan 80% sementara Landsat 8 hanya 68,29% pada area yang sama (Tridawati *et al.*, 2021). Resolusi temporalnya yang cepat (5 hari) juga meningkatkan peluang untuk mendapatkan citra bebas awan, yang merupakan tantangan utama di wilayah tropis (Arifin *et al.*, 2025). Berbagai penelitian di Indonesia telah berhasil memanfaatkan citra Sentinel-2 untuk pemetaan lamun dengan tingkat akurasi yang baik, seringkali mencapai 80-90% (Hartono *et al.*, 2022; Huda *et al.*, 2024).

Estimasi parameter biofisik lamun seperti kerapatan, biomassa, dan stok karbon dapat diturunkan dari data spektral citra satelit melalui pemodelan empiris (Rais *et al.*, 2023). Pendekatan ini didasarkan pada hubungan statistik antara nilai pantulan spektral piksel dengan data kuantitatif yang diukur di lapangan (Mashoreng, 2019). Model regresi sering dikembangkan untuk menghubungkan nilai indeks vegetasi atau nilai pantulan kanal tertentu dengan kerapatan atau persentase tutupan lamun (Rais *et al.*, 2023). Karena adanya korelasi yang kuat antara tutupan lamun dengan jumlah karbon yang tersimpan, model serupa juga dapat dibangun untuk memetakan distribusi stok karbon secara spasial (Mashoreng, 2019). Validasi model menggunakan data lapangan independen sangat penting untuk memastikan keandalan peta estimasi yang dihasilkan (Rais *et al.*, 2023).

2.6 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya terdapat pada **Tabel 2. 1** berikut ini :

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

No.	Judul	Penulis	Sumber	Hasil
1	Simpanan Karbon pada Padang Lamun di Perairan Pulau Poteran Madura Jawa Timur	(Sirait <i>et al.</i> , 2022)	Journal of Tropical Marine Science	Menemukan 7 spesies lamun di Pulau Poteran. Ditemukan bahwa nilai simpanan karbon <i>Below-ground</i> (1,52 – 141,09 gC/m ²) lebih besar daripada <i>Above-ground</i> (0,71 – 5,83 gC/m ²).
2	<i>Seagrass Aboveground Carbon Stock Mapping using PlanetScope SuperDove Imagery in Nemberala, Rote Island, East Nusa Tenggara</i>	(Salsabila <i>et al.</i> , 2024)	IOP Conference Series	Berhasil mengembangkan model regresi umum untuk memetakan stok karbon <i>Above-ground</i> (AGC) lamun dari data persentase tutupan, dengan rumus: $\text{SeagrassAGC} = (0.051 * \% \text{Tutupan}) - 0.635$.
3	Estimasi Stok Karbon Padang Lamun menggunakan Citra Spot-7 di Perairan Pulau Kodingaren glompo, Sangkarrang, Kota Makassar	(Rais <i>et al.</i> , 2023)	Jurnal Kelautan Tropis	Penelitian ini berhasil mengestimasi stok karbon lamun menggunakan citra Spot-7 dan menemukan nilai total 1,10 ton C/hektar, dengan model regresi yang memiliki akurasi (R^2) 0,9567.
4	Hubungan Kondisi Rajungan (<i>Portunus pelagicus</i>) dan Ekosistem Padang Lamun di Perairan	(Hisamuddin <i>et al.</i> , 2021)	Rekayasa	Menganalisis kondisi padang lamun di Pulau Poteran. Penelitian ini tidak secara langsung menghitung karbon, tetapi menganalisis parameter ekosistem lamun sebagai habitat rajungan.

No.	Judul	Penulis	Sumber	Hasil
5	Pulau Poteran Madura Perbandingan Kinerja Citra Satelit Sentinel-2A dan Landsat 8 untuk Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal di Kawasan Tanjung Benoa Bali	(Tridawati <i>et al.</i> , 2021)	Jurnal Chart Datum	Menemukan bahwa Sentinel-2 (resolusi 10m) memiliki kontras yang lebih baik dan klasifikasi lebih mudah (akurasi 80%) dibandingkan Landsat 8 (resolusi 30m, akurasi 68,29%) untuk pemetaan habitat dasar.
6	Estimasi Kandungan Stok Karbon pada Ekosistem Padang Lamun di Perairan Dompok dan Berakit, Kepulauan Riau	(Hertyastuti <i>et al.</i> , 2020)	Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis	Melakukan kuantifikasi stok karbon. Penelitian lain mencatat bahwa Hertyastuti <i>et al.</i> (2020) menghitung stok karbon hingga kedalaman sedimen 50 cm.
7	Pemanfaatan Citra Sentinel-2 Untuk Pemetaan Sebaran Padang Lamun Di Perairan Pulau Panjang, Jepara	(Huda <i>et al.</i> , 2024)	Journal of Marine Research	Berhasil memetakan sebaran lamun (seluas 70,24 ha) menggunakan citra Sentinel-2. Juga menemukan 7 jenis lamun dengan tutupan rata-rata 9,84% (kategori miskin/rusak).
8	Pemetaan Lamun Menggunakan Algoritme	(Arifin <i>et al.</i> , 2025)	Jurnal Kelautan	Mengkaji dan membandingkan metode <i>machine learning</i> (MLH dan RF) untuk memetakan

No.	Judul	Penulis	Sumber	Hasil
	<i>Machine Learning</i> dengan Citra Sentinel-2A di Perairan Pulau Sebesi			sebaran lamun menggunakan citra Sentinel-2A dan membaginya menjadi 3 kelas (lamun, perairan, daratan).
9	Karbon pada Padang Lamun di Perairan Pulau Manado Tua	(Chaera n <i>et al.</i> , 2020)	Jurnal Pesisir dan Laut Tropis	Menganalisis kandungan karbon di tiga lokasi di Pulau Manado Tua menggunakan metode line transect, kuadran, dan metode laboratorium <i>Loss on Ignition</i> (LOI).
10	Pemetaan Ekosistem Lamun Dengan dan Tanpa Koreksi Kolom Air di Perairan Pulau Pajenekan g, Sulawesi Selatan	(Ilyas <i>et al.</i> , 2020)	Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis	Menemukan bahwa algoritma Bayes tanpa koreksi kolom air justru memberikan akurasi tertinggi (70,36%) dibandingkan dengan yang menggunakan koreksi kolom air pada citra SPOT-7.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada kawasan perairan Pulau Poteran, Kabupaten Sumenep, melalui penentuan lokasi secara sengaja (*purposive sampling*) berdasarkan tingkat keterlindungan dan variasi tipe habitat. Pemilihan area pesisir Utara dan Selatan didasarkan pada keberadaan ekosistem lamun yang representatif, di mana sisi Utara memiliki substrat berlumpur yang relatif terlindungi, sedangkan sisi Selatan didominasi substrat berpasir. Kawasan pesisir Barat pulau tidak dijadikan lokasi pengambilan sampel karena merupakan area rawan pelayaran pelabuhan yang rentan mengalami kerusakan tutupan vegetasi dasar. Perairan sisi Timur juga dihindari akibat karakteristik topografi dasar laut yang curam serta paparan ombak besar yang sangat membatasi pertumbuhan lamun. Kegiatan pengumpulan data lapangan di kedua lokasi yang ideal tersebut telah dilaksanakan mulai dari bulan Oktober hingga September tahun 2025, sementara analisis sampel dilakukan di Laboratorium Oseanografi, Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunodjoyo Madura. ini dilaksanakan di kawasan perairan Pulau Poteran, Kabupaten Sumenep. Penentuan lokasi penelitian dilakukan secara sengaja (*purposive sampling*) dengan pertimbangan bahwa Pulau Poteran memiliki ekosistem padang lamun yang signifikan dan representatif untuk tujuan penelitian, yakni menganalisis sebaran stok karbon. Kegiatan pengumpulan data lapangan berlangsung dari bulan Agustus hingga Oktober tahun 2025, sementara analisis sampel dilakukan di Laboratorium Oseanografi, Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunodjoyo Madura.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada dua area utama di perairan Pulau Poteran, seperti yang ditandai pada Peta Lokasi (Gambar 3.1). Pemilihan kedua lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa area-area tersebut diketahui memiliki tutupan lamun yang signifikan serta keanekaragaman spesies yang tinggi. Kondisi ini menjadikan kedua lokasi tersebut ideal dan representatif untuk mewakili ekosistem lamun di Pulau Poteran dalam rangka perhitungan estimasi stok karbon.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Peralatan lapangan

Peralatan lapangan yang digunakan untuk pengambilan data ekosistem lamun di Pulau Poteran dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Peralatan Lapangan

Alat	Fungsi
GPS (<i>Global Positioning System</i>)	Digunakan untuk mencatat titik koordinat lokasi stasiun dan plot pengambilan sampel secara presisi.
Meteran gulung (<i>Roll meter</i>)	Digunakan untuk menggelar garis transek (<i>line transect</i>) di lokasi penelitian.
Kuadrat transek (50×50 cm)	Digunakan sebagai plot pengamatan untuk