

Pengaruh Kenaikan Suhu Permukaan Laut terhadap Stok Karbon Biru Padang Lamun di Kepulauan Burungloe, Sulawesi Selatan

The Effect of Sea Surface Temperature Increase on Blue Carbon Stocks in Seagrass Beds in the Burungloe Islands, South Sulawesi

Adni Zhafira Irsyadi, Muhammad Abyan Dzaki Harun, Andi Dwi Andini,
Rifqa Rukhsana Rudy, Dedi Rimantho*

Madrasah Aliyah Negeri 2, Kota Makassar, Indonesia

Article history:

Received October 13, 2025

Accepted December 25, 2025

Keyword:

*Blue Carbon, Global Warming,
Indonesian Coastal Ecosystem
Seagrass Beds,*

***Corresponding author:**

rimanthoraja@gmail.com

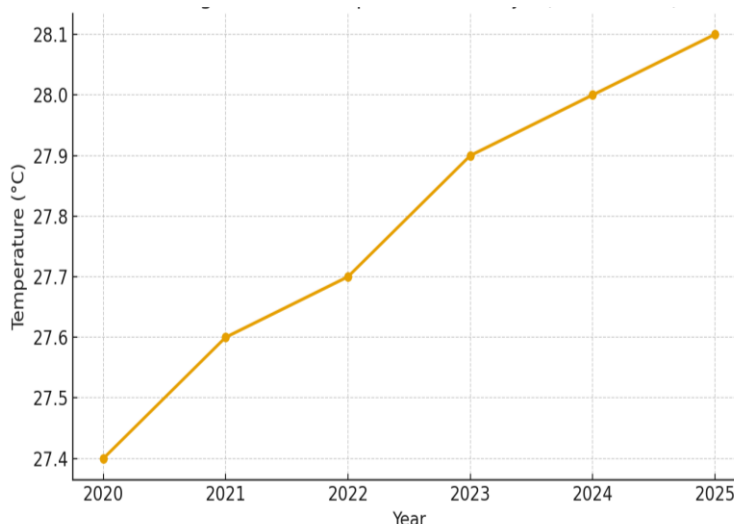
Abstrak: Pemanasan global adalah fenomena di mana suhu rata-rata bumi terus meningkat karena meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Kenaikan suhu ini berdampak serius pada berbagai ekosistem, terutama ekosistem laut dan pesisir yang berperan kunci dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Salah satunya adalah ekosistem lamun yang berfungsi sebagai penyerap dan penyimpanan karbon alami yang dikenal sebagai karbon biru. Namun, peningkatan suhu permukaan laut yang disebabkan oleh pemanasan global dapat mengurangi kemampuan lamun untuk menyerap dan menyimpan karbon secara efektif. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hubungan antara suhu permukaan laut dengan jumlah karbon biru yang tersimpan di padang lamun di Kepulauan Burungloe, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang melibatkan survei lapangan dan analisis laboratorium dengan metode Walkley-Black untuk mengukur kandungan karbon sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa padang lamun di Kepulauan Burungloe menyimpan rata-rata 30,06 Mg C/ha, dengan Stasiun 2 memiliki nilai tertinggi karena tutupan lamunnya yang padat. Analisis korelasi Pearson mengungkapkan hubungan negatif yang sangat kuat ($r = -0,93$, $R^2 = 0,85$) antara suhu dan tutupan lamun, yang berarti bahwa suhu yang lebih tinggi menyebabkan penurunan penyimpanan karbon biru. Temuan ini menyoroti pentingnya ekologis padang lamun dan perlunya konservasi dan pengelolaan berkelanjutan untuk mempertahankan perannya dalam mitigasi perubahan iklim.

Abstract: Global warming is a phenomenon where the Earth's average temperature continues to rise due to increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere. This temperature rise has significant impacts on various ecosystems, particularly marine and coastal ecosystems, which play a crucial role in maintaining the environmental balance. One of them is the seagrass ecosystem, which functions as a natural carbon absorber and storage area known as blue carbon. However, the increase in sea surface temperature caused by global warming can reduce the ability of seagrass to effectively absorb and store carbon. This study was conducted to analyze the relationship between sea surface temperature and the amount of blue carbon stored in seagrass beds in the Burungloe Islands, Sinjai Regency, South Sulawesi. This research employed a quantitative method, involving field surveys and laboratory analysis using the Walkley-Black method, to measure sediment carbon content. The results showed that seagrass beds in the Burungloe Islands store an average of 30.06 Mg C/ha, with Station 2 having the highest value due to its dense seagrass cover. Pearson's correlation analysis revealed a strong negative relationship ($r = -0.93$, $R^2 = 0.85$) between temperature and seagrass cover, indicating that higher temperatures lead to a decrease in blue carbon storage. These findings underscore the ecological significance of seagrass

PENDAHULUAN

Pemanasan global adalah fenomena yang meningkatkan suhu rata-rata bumi yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Bumi mengalami perbedaan suhu yang drastis, bahkan bencana alam sering terjadi. Meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer bumi menyebabkan pemanasan global saat ini. Suhu bumi meningkat secara signifikan karena selimut ini menjebak panas matahari di atmosfer. Akibatnya, kita mengalami berbagai konsekuensi negatif, seperti mencairnya es di kutub, naiknya permukaan laut, dan peningkatan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem, seperti badai, banjir, dan kekeringan.

Menurut Mardhiyah *et al.* (2024) pemanasan global akan meningkatkan suhu permukaan bumi, yang akan menyebabkan banyak dampak negatif terhadap lingkungan dan ekosistem lainnya melalui perubahan iklim. Pemanasan global dapat disebabkan akibat kegiatan pemetaan yang dilakukan oleh berbagai instansi. Dengan luas lapangan lamun saat ini, terdapat cadangan penyimpanan karbon biru sebesar 0,94 ton per ha. Lamun tumbuh luas di perairan intertidal, muara, lautan, dan dangkal di depan mangrove di seluruh dunia, dan juga banyak ditemukan di terumbu karang, di mana lamun sering tumbuh di habitat pasir, lumpur, dan karang.



Gambar 1. Grafik Temperatur Kab. Sinjai Kurun Waktu 2020-2025

Ekosistem lamun di Indonesia tidak dikenal luas bahkan hampir luput dari perhatian, namun ekosistem ini memiliki peran penting dalam keseimbangan ekosistem laut. Menurut data P2O-LIPI, luas lamun di Indonesia adalah 150.693,16 hektare, di mana diperkirakan 4.409,48 hektare berada di wilayah barat dan 146.283,68 hektare berada di wilayah timur. Perhitungan luas lamun dilakukan dengan dua cara. Pertama, melalui analisis citra satelit yang telah diverifikasi di lapangan (ground truth) di 22 lokasi pemantauan lamun di Indonesia. Kedua, pengumpulan data luas lamun hasil kegiatan pemetaan yang dilakukan oleh berbagai instansi seperti Badan Informasi Geospasial (Hernawan, *et al.*, 2017). Dengan luas lapangan lamun saat ini, terdapat cadangan penyimpanan karbon biru sebesar 0,94 ton per ha. Lamun tumbuh luas di perairan intertidal, muara, lautan, dan dangkal di depan mangrove di seluruh dunia, dan juga banyak ditemukan di terumbu karang, di mana lamun sering tumbuh di habitat pasir, lumpur, dan karang (Zurba, 2018).

Ekosistem lamun dengan kondisi sehat memiliki fungsi sebagai jasa ekosistem dengan memberikan nilai ekologis dan ekonomi yang lebih tinggi. Informasi tentang kesehatan lamun dapat menggambarkan

kekayaan keanekaragaman hayati dalam ekosistem (Dewi *et al.*, 2020). Dengan memantau kesehatan lamun secara berkala, kita dapat mengetahui kondisi ekosistem lamun tersebut. Jika kondisinya baik, upaya konservasi dapat dilakukan untuk menjaganya dan sebaliknya, jika kondisinya buruk, maka restorasi ekosistem perlu segera dilakukan untuk memastikan lamun tetap berfungsi sebagai bagian penting dari lingkungan.

Karbon biru adalah istilah untuk karbon yang diserap dan disimpan di ekosistem pesisir dan laut. Ekosistem regional memberikan dampak dan manfaat terhadap mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di sepanjang pantai secara global. Indonesia memiliki 25% ekosistem mangrove, *Padang Lamun* (lamun) dengan persentase ini, Indonesia akan memiliki signifikansi yang besar dalam memitigasi dan beradaptasi dengan perubahan iklim global (Rosyada *et al.*, 2021). *Karbon Biru* Ini mencakup ekosistem pesisir yang berperan penting dalam menyerap dan menyimpan karbon, seperti bakau, padang lamun, dan rawa pasang surut. Salah satu tanaman penting dalam ekosistem perairan adalah lamun yang memiliki peran besar dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Lamun adalah tanaman tingkat tinggi yang memiliki akar, batang, dan daun. Lamun termasuk dalam kelompok Angiospermae yang hidup terendam di lingkungan perairan (Rahman *et al.* 2024).

Kabupaten Sinjai merupakan salah satu daerah dengan potensi laut yang menarik untuk dijadikan objek penelitian. Di wilayah ini terdapat berbagai jenis lamun yang fungsinya belum sepenuhnya dipahami, dan beberapa ekosistem lamun telah rusak akibat aktivitas manusia. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengevaluasi dampak pemanasan global terhadap endapan Karbon Biru di padang lamun Kabupaten Sinjai. Penelitian ini juga sejalan dengan inisiatif United Nations Development Programme (UNDP) melalui ASEAN Blue Carbon and Finance Profiling (ABCF) Project, yang bertujuan untuk memperkuat kapasitas negara-negara ASEAN dan Timor-Leste dalam mengelola dan membiayai ekosistem karbon biru seperti lamun, mangrove, dan lahan gambut. Temuan penelitian ini dapat memberikan masukan ilmiah yang berharga untuk mendukung upaya internasional ini, terutama dalam mempromosikan konservasi dan pengelolaan ekosistem lamun yang berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanannya terhadap perubahan iklim.

Berdasarkan hal tersebut, para peneliti berhipotesis bahwa pemanasan global dapat berdampak signifikan pada ketersediaan Karbon Biru di padang lamun, seperti peningkatan suhu laut, kenaikan permukaan laut, dan perubahan ketersediaan nutrisi akibat perubahan suhu. Oleh karena itu, penelitian ini menjelaskan Pengaruh Pemanasan Global terhadap Karbon Biru pada Lamun di Kepulauan Burungloe, Kabupaten Sinjai, Provinsi Sulawesi Selatan.

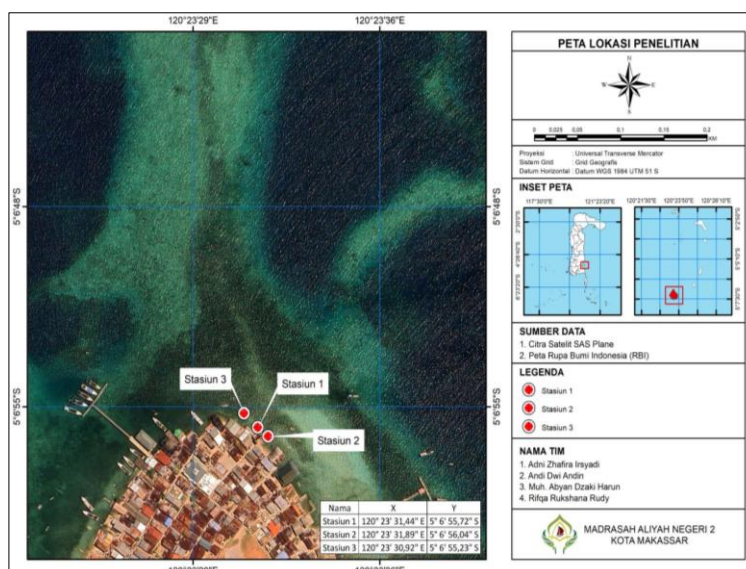
METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di ekosistem padang lamun pada bulan Juli 2025 yang terletak di Kepulauan Burungloe Kabupaten Sinjai, di bagian timur Provinsi Sulawesi Selatan Indonesia. Secara geografis, pulau ini terletak pada koordinat 5°7'17.000"S, 120°23'34.000"E 9 (Gambar 2). Lokasi ini dipilih berdasarkan keberadaan ekosistem padang lamun yang cukup luas, salah satu sumber daya pesisir yang paling penting. Prosedur penelitian melibatkan beberapa tahap, termasuk studi awal, pemilihan stasiun pengamatan, pengumpulan sampel dan data, pelaksanaan analisis laboratorium, pengolahan data, dan analisis data.

Bahan

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu pendekatan yang mengumpulkan dan menganalisis data numerik. Metode penelitian ini berfokus pada pengukuran karakteristik ekosistem, dampak lingkungan, dan hubungan antara variabel dalam ekosistem secara terukur dan objektif. Dengan pendekatan ini, peneliti dapat mengumpulkan informasi tentang berbagai aspek ekosistem padang lamun, seperti penyimpanan karbon, sedimen, dan kualitas air, dalam bentuk angka yang jelas.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian di Pulau Burungloe

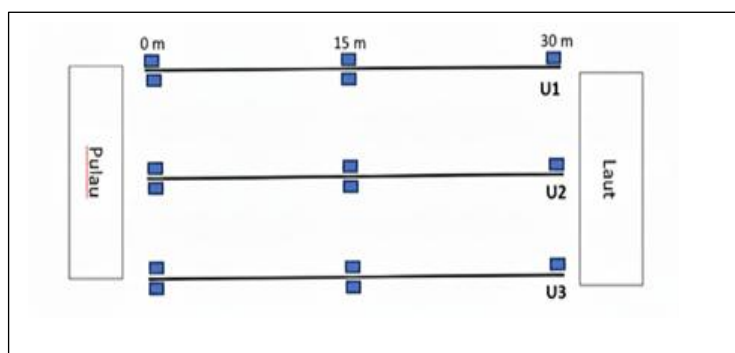
Pengambilan Data Temperatur

Data suhu diperoleh dari dua sumber utama, yaitu Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan Berkeley Earth Climate Datasets. Data BMKG berasal dari stasiun pengamatan di Kabupaten Sinjai, mencakup periode dari 2020 hingga Juli 2025, karena 2025 belum berakhir saat penelitian dilakukan. Data tersebut disajikan dalam bentuk rata-rata bulanan untuk setiap tahun pengamatan. Penggunaan BMKG sebagai sumber data memastikan akurasi, konsistensi, dan standarisasi informasi iklim yang digunakan dalam studi ini. Data dari Berkeley Earth digunakan sebagai pembandingan untuk memvalidasi tren perubahan suhu jangka panjang di wilayah studi. Seluruh data diperoleh melalui portal iklim resmi BMKG dan laporan iklim tahunan Provinsi Sulawesi Selatan. Dataset terintegrasi ini digunakan sebagai parameter iklim utama dalam analisis hubungan antara suhu di Sinjai dan tutupan lamun di Kepulauan Burungloe, Kabupaten Sinjai.

Analisis Karbon Sedimen

Prosedur Pengambilan Sampel Sedimen

Pengumpulan data lamun dilakukan menggunakan metode transek kuadrat sepanjang garis transek 30 meter yang dipasang tegak lurus terhadap garis pantai menuju laut, pada kedalaman 0,5 hingga ± 2 meter (Gambar 3). Untuk memperoleh data yang representatif, tiga stasiun pengamatan didirikan (Tabel 1). Garis transek diposisikan sejajar satu sama lain dengan jarak sekitar 50 meter antar stasiun.

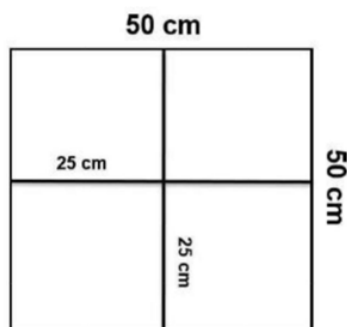


Gambar 3. Sketsa pengumpulan data sedimen

Tabel 1. Letak dan karakteristik stasiun pengamatan

No	Stasiun	Koordinat	Karakteristik
1	Stasiun 1	5°6'55,72"S, 120° 23'31,44"T	Terletak di dekat kawasan pemukiman, stasiun ini mewakili padang lamun yang terkena dampak langsung dari aktivitas masyarakat sekitar. Lokasi ini penting untuk mengamati dampak tekanan antropogenik terhadap kondisi lamun.
2	Stasiun 2	5°6'56.04"S, 120°23'31.89"T	Terletak sekitar 50 meter di sebelah kanan Stasiun 1 dengan tutupan lamun yang lebih padat. Hal ini untuk mendapatkan data yang lebih akurat tentang jenis dan variasi kondisi lamun.
3	Stasiun 3	5°6'55,23"S 120° 23'30,92"T	Terletak kurang lebih 50 meter di sebelah kiri Stasiun 1 dengan sebaran lamun yang luas dan dekat dengan perahu warga.

Sepanjang setiap garis transek, kuadrat berukuran 50 × 50 cm dipasang pada interval setiap 5 meter, sehingga menghasilkan tujuh titik pengamatan per transek (Gambar 3).

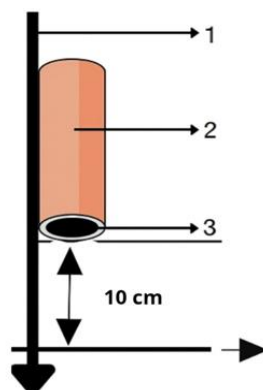


Gambar 3. Sketsa pengumpulan data tutupan lamun

Persentase tutupan lamun di setiap kotak plot ditentukan dengan memperkirakan berapa luas di alun-alun yang ditutupi oleh daun lamun dibandingkan dengan total luas kotak. Pengamatan dapat dilakukan secara visual dengan membandingkan bagian yang tertutup lamun dan bagian kosong. Sampel dari setiap kuadran digunakan untuk mengumpulkan data primer tentang tutupan lamun dan karakteristik sedimen melalui pengamatan lapangan langsung. Data sekunder diperoleh dari citra satelit yang diolah dengan GIS dan catatan suhu dari BMKG untuk menilai efek pemanasan global terhadap karbon biru di ekosistem lamun Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai. Pendekatan pengambilan sampel ini dirancang untuk mewakili variabilitas horizontal padang lamun di area penelitian.

Sampel sedimen diperoleh menggunakan pipa PVC dengan diameter 5 cm, yang dimasukkan secara vertikal ke dalam substrat hingga kedalaman 20 cm untuk menangkap lapisan yang mewakili kondisi situs alami. Pipa PVC lebih disukai karena ringan, tahan lama, dan meminimalkan kontaminasi selama pengambilan sampel (Gambar 4).

Perangkap sedimen terdiri dari tiga komponen utama: (1.) tiang penyangga, (2.) pipa PVC berukuran panjang 10 cm dan diameter 5 cm, dan (3.) penutup bawah. Tiang penyangga memastikan bahwa pipa tetap tegak dan stabil di tempat pengambilan sampel. Pipa PVC berfungsi sebagai wadah untuk sedimen, sedangkan penutup bawah mencegah sedimen yang terkumpul keluar, memastikan bahwa sampel secara akurat mewakili kondisi alam di lapangan. Variasi jenis substrat, kedalaman air, dan distribusi lamun dipertimbangkan untuk memastikan bahwa data mewakili ekosistem secara komprehensif.



Gambar 4. Pipa PVC

Analisis Laboratorium Metode Walkley-Black

Analisis karbon organik (C-Organik) dilakukan menggunakan metode Walkley dan Black (Kusuma, et al., 2021). Metode ini menggunakan kelebihan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), yang akan tereduksi ketika bereaksi dengan bahan organik tanah. Dalam prosedurnya, sebanyak 0,5 g tanah dicampur dengan 10 ml $K_2Cr_2O_7$ di dalam labu Erlenmeyer berkapasitas 500 ml, lalu ditambahkan 20 ml H_2SO_4 pekat. Campuran tersebut dikocok selama 1 menit dan didinginkan selama 30 menit, kemudian ditambahkan 200 ml air suling. Setelah itu, empat tetes indikator ferroin ditambahkan, dan larutan dititrasi dengan $FeSO_4$ 0,5 N hingga mencapai titik akhir. Titik akhir tercapai ketika warna larutan berubah dari biru menjadi merah anggur. Uji blanko dilakukan dengan prosedur yang sama tetapi tanpa sampel. Penentuan diulang dengan sampel yang lebih kecil jika lebih dari 75% $K_2Cr_2O_7$ tereduksi (Fabianus, 2015).

Metode Walkley-Black bekerja melalui proses oksidasi bahan organik menggunakan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dengan kehadiran asam sulfat pekat (H_2SO_4). Panas yang dihasilkan dari reaksi tersebut membantu proses konversi karbon organik menjadi karbondioksida (CO_2). Kelebihan dikromat yang tidak digunakan dalam reaksi oksidasi kemudian dititrasi dengan ferum sulfat ($FeSO_4$). Perbedaan volume titran antara larutan blanko dan larutan sampel digunakan untuk menghitung kadar karbon organik dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% C Organic = \frac{(Vb - Vs) \times N \times 0,003 \times 100}{Sample Weight (g)}$$

Vb adalah volume titran kosong (ml), Vs adalah volume titran sampel (ml), N normalitas larutan $K_2Cr_2O_7$, 0,003 adalah ekuivalen gram karbon, nilai tersebut dikalikan 100 untuk mengubah hasil menjadi persen (%) dan berat sampel (g) menunjukkan massa tanah atau sedimen yang digunakan dalam analisis.

Konversi Kerapatan Massa dan Penyimpanan Karbon

Kerapatan massa (*Bulk Density*/BD) merupakan parameter penting untuk mengestimasi jumlah karbon yang tersimpan dalam sedimen lamun. Nilai BD diperoleh dengan membagi berat sedimen kering oven dengan volume inti sampel yang diambil.

$$BD = \frac{Dry Weight (g)}{Core Volume (cm^3)}$$

Nilai kerapatan massa (BD), yang dinyatakan dalam satuan $g \cdot cm^{-3}$, mencerminkan tingkat kerapatan atau pemadatan sedimen. Nilai BD yang lebih tinggi umumnya menunjukkan sedimen yang didominasi oleh komponen mineral, sedangkan nilai yang lebih rendah berkaitan dengan kandungan bahan organik yang lebih tinggi. Setelah nilai BD ditentukan, nilai tersebut diintegrasikan dengan persentase karbon

organik (%C) yang diperoleh melalui analisis Walkley-Black serta kedalaman lapisan sedimen (d) untuk menghitung cadangan karbon menggunakan rumus berikut:

$$C_{stock} = BD \times \% C \times d$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan ton karbon per hektar ($t\ C\ ha^{-1}$), sehingga memungkinkan perbandingan yang standar antar berbagai studi karbon biru. Pendekatan yang terstandarisasi ini secara luas digunakan untuk menilai kontribusi ekosistem lamun dalam penyimpanan karbon serta perannya dalam mitigasi perubahan iklim.

Analisis Data

Analisis Data Suhu

Data suhu permukaan laut yang diperoleh dari BMKG dianalisis secara teliti sebelum tahap pengolahan lebih lanjut. Langkah awal dilakukan dengan memvalidasi data, mencakup pengecekan kontinuitas dan akurasi, untuk memastikan tidak terdapat nilai yang hilang maupun tidak wajar. Jika ditemukan kekosongan data, diterapkan teknik interpolasi, sementara nilai ekstrem dikonfirmasi kembali melalui laporan resmi BMKG. Setelah verifikasi selesai, data bulanan dari tahun 2020 hingga 2025 dikompilasi menjadi rata-rata tahunan guna menyoroti tren jangka panjang serta mereduksi fluktuasi musiman. Selanjutnya, nilai anomali dihitung dengan membandingkan suhu rata-rata tahunan dengan rerata keseluruhan selama periode studi. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi sinyal pemanasan serta variabilitas antar tahun yang dapat mempengaruhi kondisi ekosistem lamun. Melalui proses ini, data suhu berhasil diolah menjadi dataset yang andal dan siap digunakan untuk menilai hubungan antara perubahan iklim dengan penyimpanan karbon biru di Kepulauan Burungloe.

Karbon Sedimen

Hasil laboratorium mengenai kandungan karbon pada sedimen dianalisis menggunakan Analisis Variansi satu arah (One-way ANOVA). Pendekatan statistik ini diterapkan untuk membandingkan rata-rata kandungan karbon antar stasiun pengambilan sampel yang berbeda. Dengan metode ini, dapat ditentukan apakah variasi yang diamati benar-benar mencerminkan perbedaan signifikan atau hanya fluktuasi alami dalam ekosistem lamun. Untuk analisis, data yang diperoleh dari masing-masing stasiun diolah secara kuantitatif dan kemudian dibandingkan antar lokasi. Prosedur ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana lokasi pengambilan sampel memengaruhi kandungan karbon sedimen di Kepulauan Burungloe. Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan, hal ini mengindikasikan bahwa distribusi karbon sedimen tidak merata dan kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan setempat. Sebaliknya, jika tidak terdapat perbedaan signifikan, maka tingkat karbon di seluruh area studi cenderung relatif seragam. Penerapan ANOVA dalam penelitian ini memberikan dasar statistik yang lebih objektif untuk memahami variabilitas spasial penyimpanan karbon biru dalam ekosistem lamun. Selain hasil statistiknya, temuan tersebut juga menjadi landasan bagi interpretasi ekologis terkait distribusi cadangan karbon dan kaitannya dengan faktor lingkungan di Kepulauan Burungloe (Zar,2010)

Analisis Korelasi Variabel

Analisis korelasi ini dilakukan untuk menentukan hubungan antara tutupan lamun dan suhu air di Kepulauan Burungloe, Kabupaten Sinjai. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi apakah perubahan suhu laut memengaruhi luas tutupan lamun di area studi. Data tutupan lamun diperoleh melalui pengamatan lapangan menggunakan metode transek dan kuadrat, sedangkan data suhu diukur langsung di setiap titik sampling menggunakan alat pengukur suhu air. Sebelum analisis, seluruh data diuji normalitasnya untuk menentukan jenis uji korelasi yang tepat. Korelasi Pearson digunakan untuk data yang terdistribusi normal, sementara korelasi Spearman diterapkan pada data yang tidak berdistribusi normal.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2 y^2)}}$$

Keterangan:

r_{xy} = korelasi antara variabel x dan y

x = $(X_i - \bar{X})$

y = $(Y_i - \bar{Y})$

Rumus ini mengukur tingkat hubungan antara suhu (x) dan tutupan lamun (y). Koefisien korelasi (r) yang diperoleh dari analisis ini menunjukkan arah dan kekuatan hubungan antara kedua variabel tersebut. Nilai positif mengindikasikan bahwa peningkatan suhu berkorelasi dengan peningkatan tutupan lamun, sedangkan nilai negatif menunjukkan bahwa kenaikan suhu menyebabkan stres termal dan penurunan tutupan lamun. Semakin mendekati nilai korelasi ke angka satu, semakin kuat hubungan antara keduanya, sedangkan nilai yang mendekati nol menunjukkan korelasi yang lemah atau tidak signifikan.

Analisis Spasial Tutupan Lamun Menggunakan Metode GIS

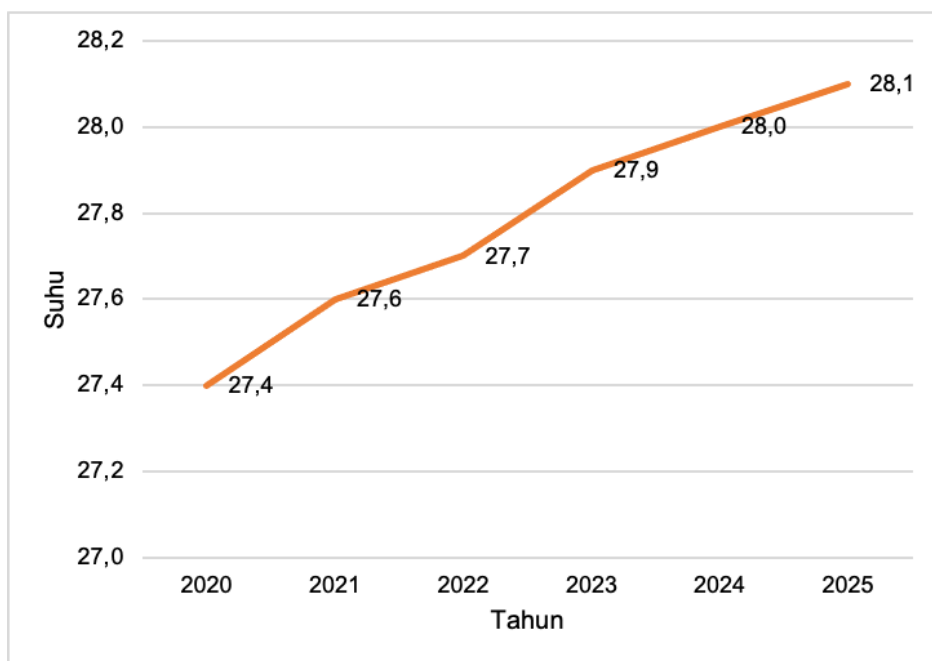
Penelitian ini menerapkan metode Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menganalisis perubahan tutupan lamun di Kepulauan Burungloe, Kabupaten Sinjai. Pendekatan SIG digunakan sebagai alat utama dalam pemetaan distribusi lamun serta analisis perubahan luas dan pola sebarannya selama beberapa tahun terakhir. Data spasial diperoleh dari citra satelit Landsat dan Sentinel yang dilengkapi dengan data sekunder dari Badan Pengelolaan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah VII Sulawesi Selatan. Seluruh data diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.x untuk menghasilkan peta distribusi lamun yang akurat, informatif, dan mudah diinterpretasikan.

Tahapan pengolahan data meliputi proses georeferensi untuk menyesuaikan posisi citra dengan koordinat geografis yang sebenarnya, diikuti dengan digitalisasi onscreen guna menggambarkan batas area tutupan lamun berdasarkan karakteristik warna pada citra. Selanjutnya, dilakukan klasifikasi citra untuk membedakan kawasan lamun dari elemen lain seperti terumbu karang, pasir, dan perairan terbuka. Hasil klasifikasi kemudian divalidasi melalui data observasi lapangan guna memastikan tingkat akurasi dan kesesuaian antara hasil interpretasi citra dengan kondisi aktual di lokasi penelitian. Analisis perubahan tutupan lamun dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi dari beberapa tahun pengamatan untuk mengidentifikasi tren peningkatan atau penurunan luasan lamun. Informasi spasial yang dihasilkan selanjutnya diintegrasikan dengan parameter lingkungan, seperti suhu permukaan laut dan kecerahan perairan, untuk menilai pengaruh dinamika lingkungan terhadap kemampuan ekosistem lamun dalam menyimpan karbon biru serta perannya dalam mitigasi perubahan iklim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi suhu di Sinjai selama 5 tahun terakhir

Berdasarkan data suhu yang dikumpulkan dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) dan dataset iklim Berkeley Earth, kondisi suhu di Sinjai menunjukkan tren kenaikan yang konsisten. Data menunjukkan bahwa suhu tahunan rata-rata telah meningkat secara bertahap selama 5 tahun terakhir. Perlu dicatat bahwa data 2025 hanya mencakup pengamatan hingga Juli, karena penelitian ini dilakukan selama periode tersebut dan data suhu setahun penuh belum tersedia.

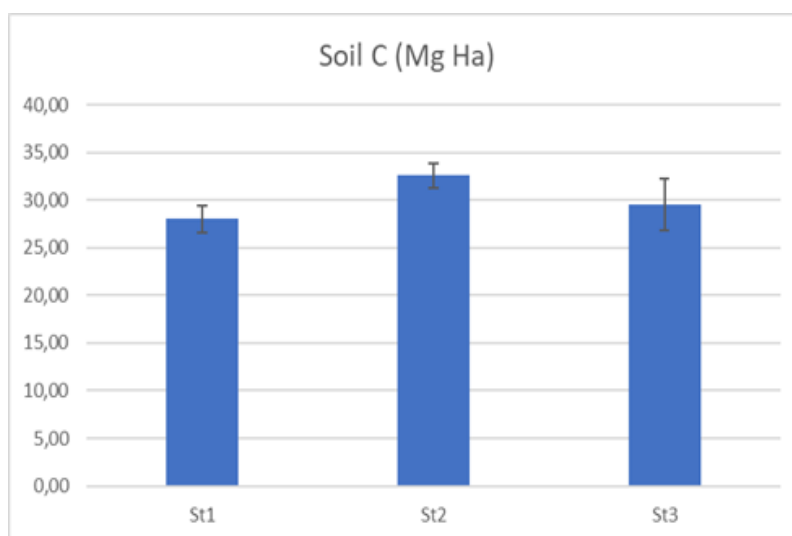


Gambar 5. Suhu Tahunan Rata-Rata di Sinjai, Sulawesi Selatan (Tahun 2020-2025)

Gambar 5 memperlihatkan suhu tahunan rata-rata berkisar antara 27,4°C hingga 28,1°C. Telah terjadi peningkatan suhu rata-rata 0,7°C selama periode lima tahun. Peningkatan paling tajam terjadi antara tahun 2022 (27,7°C) dan 2023 (27,9°C). Peningkatan suhu ini berdampak signifikan pada ekosistem pesisir, khususnya padang lamun. Suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan tekanan termal pada lamun dan mempengaruhi kapasitas fotosintesisnya.

Potensi Karbon Biru di Hamparan Lamun di Kepulauan Burungloe

Berdasarkan perhitungan sedimen dan kandungan karbon organik dalam sedimen, perkiraan stok karbon biru per hektar adalah:



Gambar 6. Diagram stok karbon padang lamun

Analisis kandungan karbon organik di padang lamun menunjukkan potensi karbon biru yang bervariasi di tiga stasiun penelitian. Berdasarkan perhitungan kepadatan volume dan kandungan karbon organik sedimen, perkiraan cadangan karbon biru per hektar adalah sebagai berikut:

- a. Stasiun 1: Stok karbon dalam sedimen padang lamun berkisar antara 25,16 hingga 29,97 Mg C/Ha dengan rata-rata $28,01 \pm 1,46$ Mg C/Ha (SE = 1,46).
- b. Stasiun 2: Stasiun ini menunjukkan stok karbon tertinggi dengan kisaran 31,12 hingga 35,23 Mg C/Ha dan rata-rata $32,57 \pm 1,33$ Mg C/Ha (SE = 1,33).
- c. Stasiun 3: Stok karbon di stasiun ini berkisar antara 25,32 hingga 34,65 Mg C/Ha dengan rata-rata $29,59 \pm 2,72$ Mg C/Ha (SE = 2,72).

Secara keseluruhan, ekosistem lamun di Kepulauan Burungloe memiliki potensi penyimpanan karbon biru yang signifikan dengan total rata-rata 30,06 Mg C/Ha, menjadikannya ekosistem penting dalam konteks mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon.

Korelasi antara Suhu dan Karbon Biru

Bagian ini membahas analisis hubungan antara suhu dan persentase cakupan padang lamun di Sinjai selama periode 2020–2025. Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui bagaimana perubahan suhu mempengaruhi cakupan rumput laut sebagai indikator kesehatan ekosistem pesisir. Tabel 2 menampilkan data suhu (X) dan tutupan rumput laut (Y) untuk setiap tahun pengamatan.

Tabel 2. Korelasi Koefisien antara Temperatur dan tutupan lamun

Tahun	X (°C)	Y (%)	x = (Xi- \bar{X})	y = (Yi- \bar{Y})	xy	x ²	y ²
2020	27.4	31	-0.45	3	-1.35	0.2025	9
2021	27.6	30	-0.25	2	-0.5	0.0625	4
2022	27.7	30	-0.15	2	-0.3	0.0225	4
2023	27.9	29	0.05	1	0.05	0.0025	1
2024	28.0	26	0.15	-2	-0.3	0.0225	4
2025	28.1	26	0.25	-2	-0.5	0.0625	4

Suhu diukur berdasarkan suhu permukaan laut rata-rata, sedangkan tutupan padang lamun dihitung sebagai persentase yang menutupi dasar laut. Baris Σ (sigma) menunjukkan total untuk setiap kolom, yang digunakan untuk menghitung koefisien korelasi Pearson. Berdasarkan hasil analisis korelasi Pearson antara suhu (X) dan tutupan lamun (Y), diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{-2,90}{\sqrt{(0,375)(26)}} = \frac{-2,90}{3,12} = -0,93$$

Nilai koefisien korelasi ($r = -0,93$) menunjukkan hubungan negatif yang sangat kuat antara suhu (X) dan tutupan lamun (Y). Artinya, peningkatan suhu air cenderung diikuti dengan penurunan tutupan lamun. Koefisien penentuan dihitung menggunakan rumus:

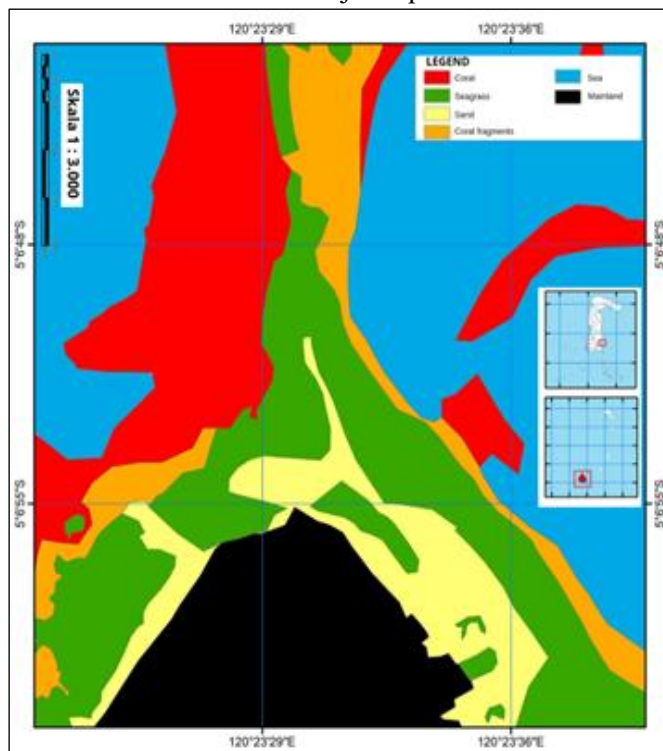
$$R^2 = (-0,93)^2 = 0,85$$

Nilai R^2 0,85, atau 85%, menunjukkan bahwa sebagian besar perubahan cakupan lamun disebabkan oleh perubahan suhu air. Sementara itu, 15% sisanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan lain seperti intensitas sinar matahari, tingkat salinitas, dan kandungan nutrisi dalam air, yang juga berperan dalam pertumbuhan lamun laut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu air merupakan faktor penting yang mempengaruhi perubahan tutupan lamun di perairan Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan. Kenaikan suhu yang berlebihan dapat menyebabkan tekanan panas pada ekosistem laut, termasuk padang lamun, sehingga mengurangi kemampuan lamun untuk tumbuh, mengembangkan, dan menyimpan karbon biru. Oleh karena

itu, menjaga stabilitas suhu air sangat penting dalam rangka memaksimalkan produktivitas dan kemampuan ekosistem lamun dalam menyerap karbon biru.

Analisis Distribusi Cakupan Rumput Laut Menggunakan SIG

Pemetaan sebaran lamun dilakukan untuk mengetahui luas dan pola sebaran ekosistem lamun di wilayah pesisir Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai. Data spasial yang digunakan bersumber dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah VII Sulawesi Selatan, yang kemudian diolah menggunakan ArcGIS 10.x. Tahapan pemetaan termasuk georeferensi, digitalisasi di layar, dan tata letak peta distribusi lamun laut. Peta hasil pemetaan distribusi lamun disajikan pada Gambar 7.

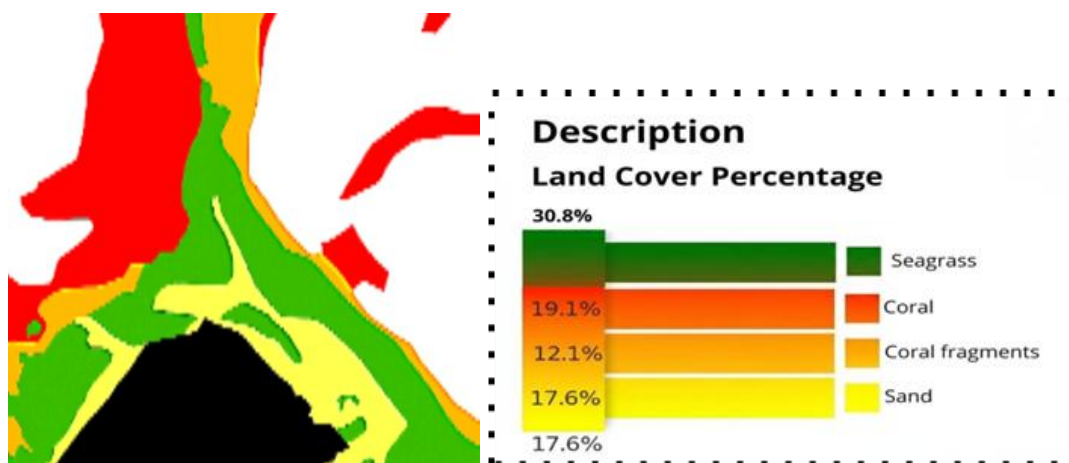


Gambar 7. Peta sebaran lamun di Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai

Berdasarkan hasil interpretasi spasial, ekosistem lamun (warna hijau) tersebar di bagian barat dan selatan Pulau Burungloe. Sebaran lamun ini menempati perairan dangkal dengan kedalaman kurang dari 5 meter dan substrat pasir halus dan fragmen karang. Daerah tersebut terlindungi dari arus laut langsung sehingga mendukung pertumbuhan lamun yang lebih padat dan stabil. Klasifikasi habitat dasar perairan dangkal di Pulau Burungloe menghasilkan lima kelas tutupan lahan, yaitu lamun, karang, fragmen karang, pasir dan lahan. Area dan persentase setiap kelas disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. Luas daratan dan persentase tutupan lahan di Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai

Kelas Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
Daratan (hitam)	7,85	23,5
Lamun (hijau)	10,32	30,8
Karang (merah)	6,41	19,1
Pecahan karang (oranye)	4,05	12,1
Pasir (kuning)	5,91	17,6
Seluruh	34,54	100



Gambar 8. Peta persentase tutupan lamun di Pulau Burungloe pada tahun 2024

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem lamun memiliki proporsi terbesar sekitar 30,8 persen dari total area penelitian dengan luas sekitar 10,32 hektar. Hal ini menandakan bahwa wilayah pesisir Pulau Burungloe memiliki padang lamun yang luas dan potensi penyimpanan karbon biru yang tinggi. Secara keseluruhan, hasil pemetaan SIG memperkuat analisis karbon biru dalam penelitian ini dengan menunjukkan bahwa kawasan lamun di Pulau Burungloe merupakan salah satu area penyimpanan karbon penting di wilayah pesisir Sinjai.

KESIMPULAN

Penelitian menunjukkan bahwa pemanasan global yang ditandai dengan peningkatan suhu permukaan laut memberikan dampak signifikan terhadap penurunan tutupan lamun di wilayah pesisir Kepulauan Burungloe. Hasil analisis menunjukkan adanya korelasi negatif yang sangat kuat antara suhu permukaan laut dan tutupan lamun ($r = -0,93$, $R^2 = 0,85$), yang berarti sekitar 85% penurunan tutupan lamun dipengaruhi oleh kenaikan suhu. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu laut dapat mengurangi kemampuan padang lamun dalam menyerap dan menyimpan karbon biru, sehingga menurunkan fungsi ekologisnya sebagai penyerap karbon alami. Apabila kondisi ini terus berlanjut, padang lamun berpotensi menjadi sumber emisi karbon yang mempercepat proses perubahan iklim global. Selain itu, penurunan tutupan lamun juga berdampak terhadap keseimbangan ekosistem laut, mengganggu habitat biota perairan, dan menurunkan kualitas lingkungan pesisir yang menjadi sumber penghidupan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan pentingnya pengelolaan dan konservasi padang lamun secara berkelanjutan sebagai bagian dari strategi mitigasi perubahan iklim. Pelestarian ekosistem lamun tidak hanya menjaga keberlanjutan fungsi ekologisnya, tetapi juga memperkuat kontribusi Indonesia dalam menjaga cadangan karbon biru dan mendukung upaya global untuk menanggulangi perubahan iklim.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BMKG Kabupaten Sinjai yang telah menyediakan data temperatur yang akurat dan relevan untuk mendukung analisis penelitian ini. Terima kasih juga kepada Badan Pengelolaan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah VII Sulawesi Selatan atas pemberian data spasial yang sangat membantu dalam proses pemetaan wilayah penelitian. Terima kasih kepada Laboratorium Universitas Hasanuddin atas hasil analisis laboratorium sedimen yang telah mendukung kelengkapan data penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kepada Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Makassar atas dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini, serta kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya.

REFERENSI

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2025). Data Iklim Wilayah Sulawesi Selatan. BMKG, Makassar.
- BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). (2025). Data Iklim Rata-Rata Provinsi Sulawesi Selatan (Stasiun Meteorologi Sinjai).
- Berkeley Earth. (2025). Global Surface Temperature Data for Southeast Asia.
- Dewi Citra Satrya Utama, Iranawati, F., & Defri, Y. (2020). Analisis Kesehatan Ekosistem Lamun di Pantai Menjangan, Buleleng, Bali.
- Fabianus. (2015). Kualitas Limbah Sludge Industri Kecap dan Serasah Daun Lamtoro (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) dengan Variasi Cacing Tanah *Lumbricus rubellus* Hoffmeister dan *Eisenia foetida* Savigny.
- Hernawan, U. E., Sjafrie, N. D., Supriyadi, I. H., Suyarso, S., Iswari, M. Y., Anggarini, K., & Rahmat. (2017). Status Lamun Padang Rumput Indonesia 2017. Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 24.
- Kusuma, Y. R., & Yanti, I. (2021). Pengaruh Kadar Air dalam Tanah Terhadap Kadar C-Organik dan Keasaman pH Tanah. *IJCR - Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 92–97.
- Mardhiyah, H. K., Fauziah, H. H., Lulu, D., & Adawiyah, R. (2024). Konversi Lamun pada Penyimpanan Karbon Biru di Ekosistem Pesisir, 2(1), 466–474.
- Rahman, M. T., Riniatsih, I., & Setyati, W. A. (2024). Hubungan Kondisi Padang Lamun dan Persentase Tutupan Mikroalga Epifit di Ekosistem Lamun Prawean Bandari dan Pantai Semat, Jepara. *Jurnal Penelitian Kelautan*, 13(2), 292–300.
- Rosyada, K., Trismadi, & Ras, A. R. (2021). Potensi Karbon Biru dalam Penanganan Perubahan Iklim untuk Mendukung Keamanan Maritim Indonesia. *Jurnal Maritim Indonesia*, 9(3), 299–311.
- Wirawan, I. M. (2016). Pendekatan Komputasi Numerik Metode Regresi pada Penelitian yang Mengamati Suatu Kecenderungan/Tren terhadap Peningkatan Prestasi/Hasil Belajar. *Tekno*, 25(1), 1–14.
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis* (5th ed.). Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Zurba, N. (2018). Pengantar Padang Lamun: Ekosistem yang Terlupakan. *Pers Unimal*, 1–114.