

Pengaruh perubahan iklim terhadap potensi *blue carbon* pada *coral* di Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan

Andi Afra Nayla Ramadhani¹, Nur Faizah Almira¹, Ayatullah Ruhullah Bahdar¹,
Varly Adelio Sadly¹, Dedi Rimantho^{1*}

¹Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Makassar

Jl. Sultan Alauddin No.105, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. 90221

*E-mail: rimanthotoraja@gmail.com

Abstrak: Perubahan iklim global memberikan dampak yang signifikan terhadap ekosistem laut, termasuk terumbu karang yang memiliki peran penting sebagai penyimpan karbon biru. Terumbu karang tidak hanya berfungsi sebagai habitat bagi berbagai organisme laut, tetapi juga berkontribusi dalam siklus karbon global melalui penyimpanan karbon organik pada jaringan biotik maupun sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara curah hujan sebagai salah satu indikator perubahan iklim dengan potensi karbon biru pada ekosistem terumbu karang di Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan. Data curah hujan Kabupaten Sinjai dianalisis dalam rentang waktu 2021–2024, sedangkan potensi karbon biru ditentukan melalui pengukuran kandungan karbon organik dalam sedimen. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan signifikan pada curah hujan, dari 3.079 mm pada tahun 2021 menjadi 1.487 mm pada tahun 2025. Seiring dengan penurunan tersebut, cadangan karbon biru juga mengalami penurunan, yaitu dari 13,3 mg/ha pada tahun 2021 menjadi 11,55 mg/ha pada tahun 2025. Analisis korelasi menghasilkan nilai $r = 0,976$ dengan $r^2 = 0,953$ yang menunjukkan adanya hubungan positif yang sangat kuat antara curah hujan dan potensi karbon biru.

Kata Kunci: curah hujan, ekosistem laut, karbon organik, konservasi, sedimen

Abstract: Global climate change had significant impacts on marine ecosystems, including coral reefs that played an important role as blue carbon storage. Coral reefs not only functioned as habitats for various marine organisms but also contributed to the global carbon cycle through the storage of organic carbon in biotic tissues and sediments. This study aimed to analyze the relationship between rainfall, as one of the indicators of climate change, and the blue carbon potential in the coral reef ecosystem of Burungloe Island, Sinjai Regency, South Sulawesi. Rainfall data from Sinjai Regency were analyzed from 2021 to 2025, while blue carbon potential was determined by measuring the organic carbon content in sediments. The results showed a significant decrease in rainfall, from 3,079 mm in 2021 to 1,487 mm in 2025. Along with this decline, blue carbon reserves also decreased from 13.3 mg/ha in 2021 to 11.55 mg/ha in 2025. The correlation analysis produced an r value of 0.976 with $r^2 = 0.953$, which indicated a very strong positive relationship between rainfall and blue carbon potential. These findings confirmed that the reduction in rainfall directly affected the coral reef ecosystem's capacity to store blue carbon and highlighted the need for adaptive management strategies to sustain marine ecosystems under climate change conditions.

Keywords: conservation, marine ecosystem, organic carbon, rainfall, sedimen

PENDAHULUAN

Perubahan iklim menjadi salah satu tantangan lingkungan terbesar yang dihadapi dunia saat ini. Fenomena ini dapat memicu perubahan pada suhu rata-rata dan meningkatkan frekuensi kejadian cuaca ekstrem seperti badai, gelombang panas, dan angin kencang, yang memiliki dampak besar pada berbagai jenis ekosistem, termasuk terumbu karang (Hughes et al., 2017). Menurut data dari BPS Sulsel (2020), suhu rata-rata di Sulawesi Selatan menunjukkan variasi yang signifikan dalam dua dekade terakhir, dengan titik tertinggi pada tahun 2020 sebesar 28,47°C dan titik terendah pada tahun 2011

Cara Sitasi:

Ramadhani, A. A. N., Almira, N. F., Bahdar, A. R., Sadly, V. A., & Rimantho, D. (2026). Pengaruh perubahan iklim terhadap potensi *blue carbon* pada *coral* di Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan, 20(1), 85-93. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v20i1.62910>

Diajukan 23 November 2025; Ditinjau 29 November 2025; Diterima 19 Februari 2026; Diterbitkan 30 April 2026
Copyright © 2026. The authors. This is an open access article under the CC BY-SA license

sebesar 26,2°C. Fluktuasi suhu yang cukup besar ini memberikan gambaran nyata bagaimana perubahan iklim telah mempengaruhi kondisi perairan di wilayah tersebut. Salah satu contoh adalah meningkatnya suhu laut yang menyebabkan pemutihan karang (*coral bleaching*), yang berpotensi merusak habitatnya. Kondisi iklim yang tidak stabil ini mengancam keberlanjutan ekosistem terumbu karang, yang memainkan peran penting dalam keanekaragaman hayati laut. Dampak perubahan iklim terhadap ekosistem laut saling terkait dengan tekanan antropogenik seperti pencemaran, penangkapan ikan berlebihan, dan pembangunan pesisir yang tidak terkendali. Kombinasi tekanan-tekanan ini menciptakan efek sinergis yang mempercepat laju degradasi terumbu karang di berbagai belahan dunia.

Coral diklasifikasikan sebagai ekosistem yang sangat rentan terhadap perubahan iklim. Sebagai organisme pembentuk habitat laut, struktur karang tersusun melalui proses kalsifikasi, yaitu pengendapan kalsium karbonat hasil reaksi ion kalsium dan karbonat di perairan laut (Oppen MJH & Bay, 2019). Proses ini memiliki signifikansi ekologis ganda, yakni dalam pembentukan struktur habitat terumbu dan dalam siklus biogeokimia karbon laut (Eyre, 2018). Struktur tiga dimensi yang terbentuk dari proses kalsifikasi ini menyediakan relung ekologi bagi ribuan spesies ikan dan invertebrata laut, menjadikan terumbu karang sebagai salah satu ekosistem dengan tingkat biodiversitas tertinggi di planet ini. Dijelaskan bahwa terumbu karang hidup berdampingan dengan alga *Zooxanthellae* dalam hubungan mutualisme (Hughes et al., 2017). *Zooxanthellae* memasok karbohidrat hasil fotosintesis yang vital untuk pertumbuhan karang, sedangkan karang menyediakan perlindungan fisik dan komponen metabolik bagi alga. Hubungan simbiosis yang telah berlangsung selama jutaan tahun ini sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan, terutama kenaikan suhu. Ketika suhu air laut meningkat melampaui ambang batas toleransi, karang akan mengeluarkan *zooxanthellae* dari jaringannya sebagai respons stres, yang kemudian menyebabkan fenomena pemutihan karang dan menurunkan resiliensi ekosistem terumbu karang (Baker et al., 2018).

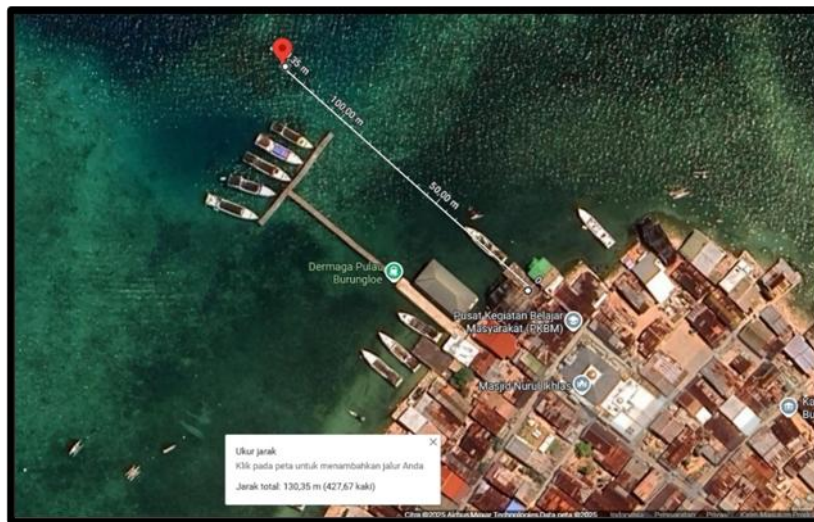
Pemutihan karang intensif diproyeksikan akan terjadi setiap tahun pada sebagian besar terumbu karang pada pertengahan abad ke-21 jika tren iklim saat ini berlanjut, dengan konsekuensi ekologi, ekonomi, dan sosial yang signifikan (UNEP, 2020). Proyeksi ini menjadi peringatan serius bagi negara-negara yang memiliki terumbu karang luas seperti Indonesia. Indonesia memiliki sekitar 24.000 km² terumbu karang, atau 18% dari total terumbu karang dunia (Spalding et al., 2017). Posisi Indonesia dalam segitiga karang (*coral triangle*) menjadikan negara ini sebagai pusat keanekaragaman hayati laut global, sekaligus menanggung tanggung jawab besar dalam upaya pelestarian ekosistem ini. Peran terumbu karang tidak terbatas pada penyediaan habitat laut, tetapi juga erat kaitannya dengan konsep *blue carbon*. *Blue carbon* merujuk pada karbon yang tersimpan di ekosistem pesisir dan laut, termasuk terumbu karang, hutan mangrove, dan rumput laut. Pada terumbu karang, penyimpanan karbon terjadi melalui proses kalsifikasi dan akumulasi biomassa, menjadikannya komponen penting dalam perhitungan karbon global (Fourqurean et al., 2012). Oleh karena itu, terumbu karang tidak hanya berfungsi untuk mendukung keanekaragaman hayati laut, tetapi juga mendukung upaya pengurangan konsentrasi karbon di atmosfer (McLeod et al., 2011).

Kabupaten Sinjai yang terletak di pesisir timur Sulawesi Selatan memiliki ekosistem terumbu karang yang mendukung aktivitas perikanan dan keseimbangan ekologi pesisir. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa wilayah Sinjai mengalami variasi curah hujan tahunan yang cukup fluktuatif (BPS Kabupaten Sinjai, 2023), kondisi yang memengaruhi dinamika perairan dan kesehatan terumbu karang,

termasuk kapasitasnya dalam menyimpan *blue carbon*. Penelitian yang dilakukan oleh (Al Faidi et al., 2025) bertujuan untuk menganalisis degradasi *blue carbon* pada terumbu karang di Pulau Samalona Kota Makassar, serta dampak perubahan iklim terhadap kemampuan karang menyimpan karbon. Penelitian ini menggunakan data tutupan karang hidup dan mati melalui metode transek kuadrat, serta analisis regresi sederhana untuk mengevaluasi hubungan antara *blue carbon* dengan suhu dan curah hujan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi *blue carbon* mengalami penurunan dari 1,272 kg pada tahun 2020 menjadi 1,185 kg pada tahun 2024, mencerminkan degradasi terumbu karang yang dipengaruhi oleh peningkatan suhu laut. Penelitian ini menegaskan bahwa perubahan iklim secara signifikan mengurangi kemampuan terumbu karang dalam menyimpan karbon, sehingga konservasi terumbu karang menjadi sangat penting untuk mitigasi perubahan iklim. Berdasarkan uraian latar belakang maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan iklim khususnya curah hujan terhadap potensi *blue carbon* yang dapat diserap oleh terumbu karang. Ketahanan dan kemampuan penyimpanan karbon pada terumbu karang dapat mendukung stabilitas ekosistem laut dalam upaya konservasi dan penguatan strategi mitigasi perubahan iklim serta pengelolaan lingkungan pesisir secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2025 di Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan (Gambar 1). Data primer berupa potensi *blue carbon* diperoleh melalui pengambilan sampel sedimen terumbu karang di lapangan, kemudian dianalisis di Laboratorium Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Data sekunder berupa curah hujan di Kabupaten Sinjai selama 4 tahun terakhir (2021 sampai dengan 2024) yang diperoleh dari hasil penelitian (Hamsinar, 2024).



Gambar 1. Pulau Burungloe, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan

Penelitian ini menggunakan berbagai alat dan bahan untuk pengumpulan dan analisis data *blue carbon*. Sedimen trap berbentuk tabung dengan diameter 5 cm dan panjang 10 cm digunakan untuk menampung sedimen di setiap stasiun pengamatan. Selama pengambilan sampel, sedimen ditempatkan dalam plastik sampel dan disimpan di *cold box* atau *cooler box* agar tetap stabil selama transportasi ke laboratorium. Untuk pengamatan di bawah permukaan air, digunakan perlengkapan renang termasuk masker, snorkel, dan fin, sehingga peneliti dapat melakukan pengukuran tutupan karang

menggunakan metode *Rapid Reef Assessment* (RRA) secara akurat. Di laboratorium, timbangan digital digunakan untuk menimbang sedimen kering (*dry weight*), sementara perangkat komputer dengan perangkat lunak pengolahan data dimanfaatkan untuk menghitung *bulk density* dan estimasi potensi *blue carbon*.

1. Pengumpulan data observasi lapangan

Metode yang dikembangkan oleh (Figuerola-Ferrando et al., 2024) merupakan bentuk penerapan pendekatan penilaian cepat (*rapid assessment*) yang dirancang untuk menilai kondisi kesehatan organisme pembentuk habitat di ekosistem bentuk pesisir. Pendekatan ini relevan untuk survei terumbu karang karena menekankan prosedur yang sederhana dan dapat dilakukan langsung di lapangan, penggunaan parameter yang terukur secara visual dan pengumpulan data kuantitatif untuk menilai tutupan, serta hasil yang dapat diperoleh dalam waktu relatif singkat sehingga mendukung kebutuhan pemantauan dan pengelolaan ekosistem secara efektif. Pengamatan lapangan dilakukan pada Juli 2025 di Pulau Burungloe meliputi 3 stasiun (Tabel 1). Tutupan karang diukur di tiga stasiun berbeda menggunakan metode *Rapid Reef Assessment* (RRA) untuk menentukan persentase karang hidup, karang mati, alga, dan biota lainnya. Pengambilan sampel sedimen dilakukan di ketiga stasiun yang sama menggunakan sediment trap berbentuk tabung dengan diameter 5 cm dan panjang 10 cm. Sedimen yang terkumpul dibawa ke Laboratorium Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, untuk dianalisis menggunakan metode *Walkley and Black* untuk mengetahui kandungan karbon organik.

Tabel 1. Stasiun sampling di Pulau Burungloe

No	Stasiun	Koordinat	Lokasi
1	Stasiun 1	-5.114947,120.390537	Terletak sekitar 103 m dekat pemukiman, lokasi terumbu karang ini secara langsung dipengaruhi oleh masyarakat lokal yang juga berperan penting dalam melestarikan terumbu karang di sekitar Pulau Burungloe.
2	Stasiun 2	-5.114876,120.390414	Terletak sekitar 118 m dari pemukiman, di sebelah kiri stasiun 1, memiliki tekstur sedimen yang lebih keras dan cukup padat dibandingkan stasiun 1 dan stasiun 3.
3	Stasiun 3	-5.114809,120.390317	Terletak sekitar 130 m dari pemukiman, di sebelah kiri stasiun 2, banyak mengandung karang mati yang tersebar di bawah laut.

2. Analisis data

Data potensi *blue carbon* diperoleh melalui pengamatan lapangan dan analisis laboratorium serta data curah hujan selama 4 tahun terakhir di Kabupaten Sinjai diperoleh dari hasil penelitian (Hamsinar, 2024). Selanjutnya data dianalisis menggunakan metode kuantitatif dengan *scatter plot* untuk melihat korelasi antara keduanya. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perubahan curah hujan mempengaruhi kemampuan terumbu karang dalam menyerap dan menyimpan *blue carbon*. Pengukuran akumulasi karbon pada lahan basah pesisir umumnya dilakukan dengan mengekstraksi *core* sedimen dan mengestimasi kandungan karbon serta *bulk density*-nya (Sternberg-Rodríguez et al., 2022).

Sampel sedimen yang diperoleh dari tiga stasiun berbeda dikeringkan terlebih dahulu di tempat terbuka tanpa terkena sinar matahari secara langsung, untuk mencegah perubahan sifat fisik dan kimia sedimen akibat paparan panas dan sinar UV. Sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk diukur berat sedimen kering (*dry weight*).

Selanjutnya, *bulk density* (BD) sedimen dihitung dengan membagi berat kering sedimen dengan volume tabung sedimen trap sebesar 196,25 cm³, sehingga diperoleh nilai BD dalam satuan g/cm³. Stok karbon tanah kemudian dihitung dengan mengalikan *bulk density* dengan konsentrasi karbon organik dan volume sampel pada setiap kedalaman, lalu dijumlahkan untuk mendapatkan total stok karbon (Hoyos-Santillan et al., 2025; Maxwell et al., 2023). Berdasarkan *bulk density*, kandungan *blue carbon* (C) dihitung dan dikonversi menjadi satuan mg/ha untuk memperoleh estimasi potensi *blue carbon* di tiap stasiun. Setelah diperoleh nilai *blue carbon* dari ketiga stasiun, data tersebut dirata-rata untuk mendapatkan estimasi potensi *blue carbon* keseluruhan di Pulau Burungloe. Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut.

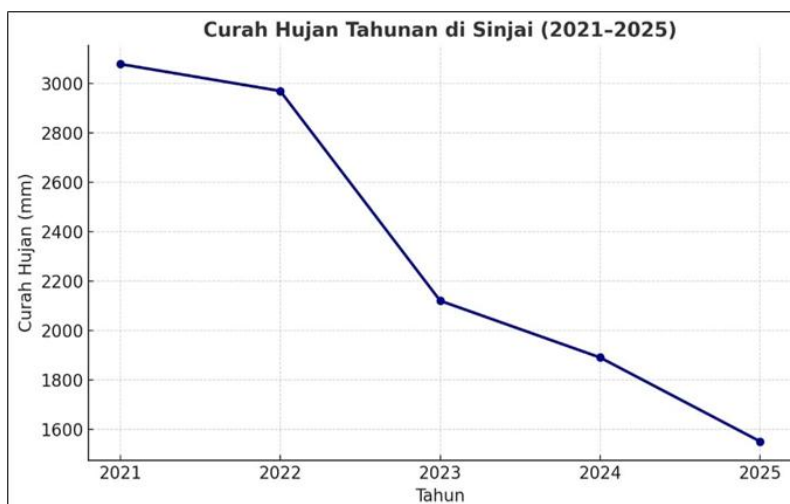
$$BC = BD \times C \times V$$

Keterangan: BC = Potensi *Blue Carbon* (mg/ha); BD = *Bulk density* sedimen (g/cm³); C = Kandungan karbon dalam sedimen; V = Volume tabung sedimen trap (cm³)

Data hasil pengolahan ini digunakan untuk mengetahui estimasi rata-rata potensi *blue carbon* di Pulau Burungloe, yang kemudian dianalisis hubungannya dengan variasi curah hujan menggunakan analisis regresi linear sederhana. Regresi linear dipilih karena kedua variabel merupakan data numerik kontinu dan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh curah hujan (X) terhadap potensi *blue carbon* (Y), serta mengukur besarnya kontribusi pengaruh tersebut melalui nilai koefisien determinasi (R²).

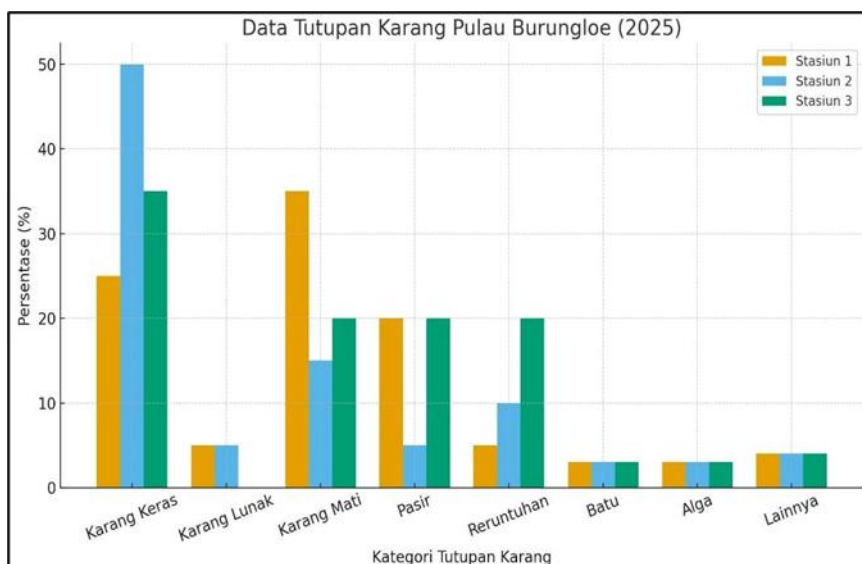
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data sekunder yang dihimpun, data curah hujan tahunan di Kabupaten Sinjai pada periode 2021-2025 menunjukkan adanya kecenderungan penurunan (Gambar 2). Pada tahun 2021, curah hujan tercatat sebesar 3.079 mm, kemudian sedikit menurun pada tahun 2022 menjadi 2.970 mm. Penurunan tajam terjadi pada tahun 2023, di mana curah hujan turun drastis hingga 2.120 mm. Tren penurunan ini berlanjut pada tahun 2024 dengan nilai curah hujan sebesar 1.890 mm, dan mencapai titik terendah pada tahun 2025 dengan hanya 1.487 mm. Penurunan curah hujan secara konsisten ini mengindikasikan adanya perubahan pola iklim di wilayah Sinjai yang berpotensi memengaruhi ekosistem pesisir dan laut.



Gambar 2. Rata-rata curah hujan di Sinjai tahun 2021-2024 (Hamsinar, 2024)

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan dengan metode *Rapid Reef Assessment* (RRA) pada tiga stasiun, diperoleh data tutupan karang yang bervariasi (Gambar 2). Kategori utama yang diamati meliputi Karang Keras (*Hard Coral*), Karang Lunak (*Soft Coral*), Karang Mati (*Dead Coral*), Pasir (*Sand*), Reruntuhan (*Rubble*), Batu (*Rock*), Alga (*Algae*), dan Biota Lain (*Others*).



Gambar 3. Data tutupan terumbu karang pada tiga stasiun pengamatan di Pulau Burungloe tahun 2025

Selain pengamatan tutupan karang, penelitian ini juga menggunakan sedimen *trap* untuk mengambil sampel sedimen di setiap stasiun. Sampel sedimen kemudian dianalisis di laboratorium menggunakan metode *Walkley and Black* untuk mengetahui kandungan karbon organik. Hasil analisis menunjukkan nilai kandungan karbon organik sebesar 0,90% pada transek 1, 0,78% pada transek 2, dan 1,06% pada transek 3 (Tabel 2). Nilai tersebut kemudian dihitung menggunakan pendekatan *bulk density* sehingga menghasilkan estimasi simpanan karbon biru (*blue carbon*) dalam satuan mg/ha (Tabel 3). Nilai kandungan karbon organik pada penelitian ini sejalan dengan data penelitian oleh (Maharani, 2022) yang menunjukkan terumbu karang memiliki kandungan karbon organik yang relatif rendah dibandingkan ekosistem pesisir lain.

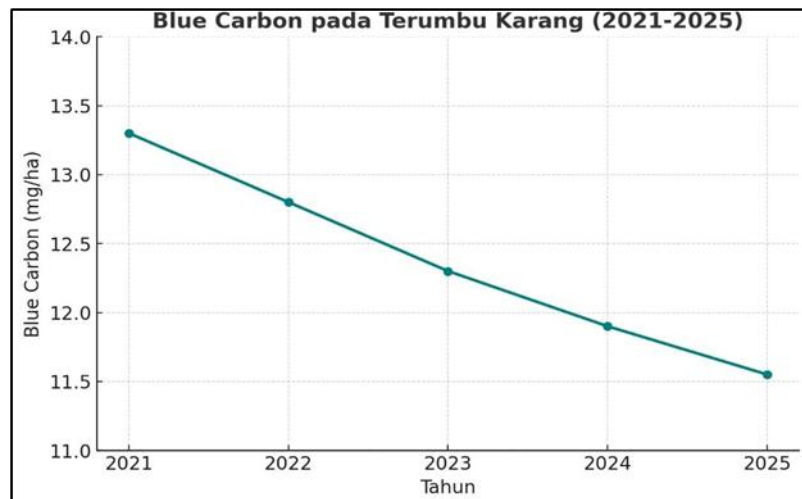
Tabel 2. Hasil analisis karbon organik melalui metode Walkley & Black

Sampel	Analisis Bahan organik terhadap Contoh Kering 105°C
	Walkley & Black (C) %
Sampel Tutupan 1	0,90
Sampel Tutupan 2	0,78
Sampel Tutupan 3	1,06

Tabel 3. Hasil perhitungan *bulk density* dan *soil C density* (g C/cm²) yang dikonversikan ke dalam skala Soil C (Mg/ha)

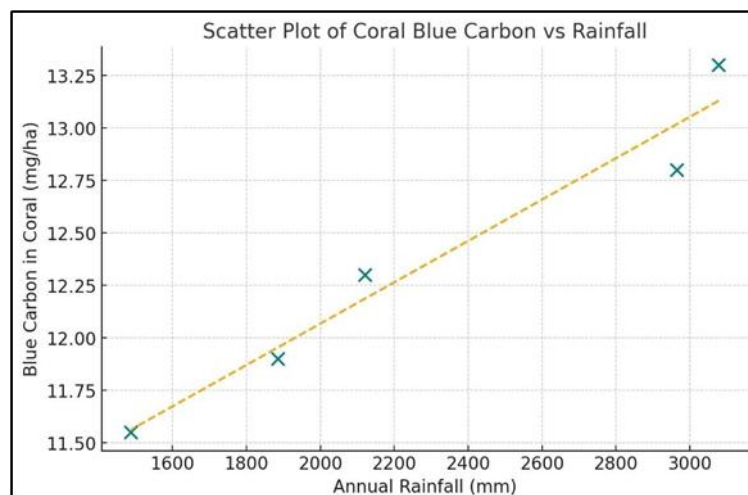
Sampel	Berat kering (g)	Volume Tabung	Bulk Density Carbon (gr/cm ³)	Soil Carbon Density (%)	Soil Carbon Density (g C cm ²)	Soil Carbon Density (Mg/ha)
Sampel Tutupan 1	274,33	196,25	1,26	0,9	0,1134	11,34
Sampel Tutupan 2	253,98	196,25	1,29	0,78	0,10062	10,062
Sampel Tutupan 3	246,02	196,25	1,25	1,06	0,1325	13,25

Rata-rata hasil perhitungan menunjukkan kapasitas *blue carbon* tahun 2025 sebesar 11,55 mg/ha. Sementara itu, untuk memperoleh data tahun sebelumnya (2021–2024), digunakan analisis proyeksi degradasi dengan asumsi penurunan sebesar 2–4% per tahun. yang merupakan estimasi konservatif berdasarkan literatur global dan regional mengenai laju degradasi terumbu karang di kawasan *Coral Triangle* (GCRMN, 2021). Berdasarkan asumsi tersebut, diperoleh nilai estimasi *blue carbon* sebesar 13,3 mg/ha pada 2021, 12,8 mg/ha pada 2022, 12,3 mg/ha pada 2023, 11,9 mg/ha pada 2024, hingga mencapai 11,55 mg/ha pada 2025 (Gambar 4).



Gambar 4. Estimasi data karbon biru pada terumbu karang di Pulau Burungloe pada tahun 2021-2025 (GCRMN, 2021)

Analisis hubungan antara curah hujan dan kapasitas *blue carbon* selanjutnya dilakukan dengan membuat *scatter plot* (Gambar 5). Grafik ini menunjukkan bahwa penurunan curah hujan dari tahun ke tahun cenderung beriringan dengan menurunnya nilai *blue carbon* pada ekosistem terumbu karang.



Gambar 5. *Scatter plot* curah hujan dan potensi karbon biru di Pulau Burungloe pada tahun 2021-2025

Tabel 4 menunjukkan hasil regresi dengan koefisien determinasi sebesar 0,976 di mana variabel 'x' adalah curah hujan dan variabel 'y' adalah karbon biru. Berdasarkan Tabel 4, terdapat hubungan yang sangat kuat antara curah hujan dan potensi *blue carbon* pada ekosistem terumbu karang, sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan iklim yang direpresentasikan oleh variabel curah hujan berpengaruh signifikan terhadap potensi *blue carbon* pada ekosistem terumbu karang di Pulau Burungloe.

Tabel 4. Regresi linear curah hujan dengan *blue carbon*

Model	R	R ²
1	0,976	0,953

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa curah hujan sebagai representasi perubahan iklim berpengaruh signifikan terhadap potensi *blue carbon* pada ekosistem terumbu karang di Pulau Burungloe, dengan korelasi positif yang sangat kuat. Peningkatan curah hujan meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon, sedangkan penurunan curah hujan menurunkannya, sehingga dinamika iklim menjadi faktor kunci dalam fungsi ekosistem terumbu karang. Temuan ini memperkuat pemahaman ilmiah tentang hubungan variabilitas iklim dan karbon biru, sekaligus menyediakan data dasar bagi strategi konservasi adaptif di kawasan Segitiga Karang. Terumbu karang ditegaskan tidak hanya sebagai pusat keanekaragaman hayati, tetapi juga sebagai penyerap karbon alami penting bagi mitigasi perubahan iklim. Pemantauan berkelanjutan, restorasi dengan spesies karang tahan iklim, serta integrasi kebijakan karbon biru nasional menjadi langkah strategis untuk mendukung konservasi jangka panjang dan keberlanjutan ekosistem pesisir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada Madrasah Aliyah Negeri 2 Kota Makassar atas dukungan dan kesempatan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Laboratorium Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, atas penyediaan fasilitas, sarana, dan prasarana penelitian yang memungkinkan proses pengumpulan data serta analisis berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Faidi, A. S. N. A., Resky, D. A., Alivaiz, A. F., Nadjib, A. I. F., Devara, Z. A., & Rimantho, D. (2025). Blue carbon degradation on coral reefs as impact of climate change: Case study at Samalona Island, Makassar City, South Sulawesi. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(2), 277–283. <https://doi.org/10.14710/buloma.v14i2.70792>.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sinjai. (2023). *Kabupaten Sinjai Dalam Angka 2023*. <https://sinjaikab.bps.go.id>.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Selatan. (2020). *Provinsi Sulawesi Selatan Dalam Angka 2020*. <https://sulsel.bps.go.id>.
- Baker, D. M., Freeman, C. J., Wong, J. C. Y., Fogel, M. L., & Knowlton, N. (2018). Climate change promotes parasitism in a coral symbiosis. *ISME Journal*, 12(3), 921–930. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0046-8>.
- Eyre, B. D., Cyronak, T., Drupp, P., De Carlo, E. H., Sachs, J. P., & Andersson, A. J. (2018). Coral reefs will transition to net dissolving before end of century. *Science*, 359(6378), 908–911. <https://doi.org/10.1126/science.aao1118>.
- Figuerola-Ferrando, L., Garrabou, J., & Linares, C. (2024). A rapid assessment method to monitor the health status of habitat-forming species in coastal benthic ecosystems. *Aquatic Conservation*:

- Marine and Freshwater Ecosystems*, 34(3), 1-11. <https://doi.org/10.1002/aqc.4120>.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J., & Serrano, O. (2012). *Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. Nature Geoscience*, 5(7), 505–509. <https://doi.org/10.1038/ngeo1477>.
- GCRMN. (2021). *Status of Coral Reefs of the World: 2020*. <https://doi.org/10.59387/WOTJ9184>.
- Hamsinar, Halim, Z. A., & Idrus, I. (2024). Mitigasi bencana banjir pada daerah aliran sungai (DAS) Baringeng di Dusun Maccini Desa Panaikang Kabupaten Sinjai Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Mahakarya Konstruksi*, 1(1), 26–31.
- Hoyos-Santillan, J., Chavarria, J., Castillo-Bethancourt, L. M., Vargas, J. E., Sanjur, A., Morales, J., Leung, B., Candanedo, I., Ibáñez, A., Manzane-Pinzon, E., González-Mahecha, E., & Mola-Yudego, B. (2025). Soil carbon stock densities in mangrove and forested wetland ecosystems of Panama. *Scientific Data*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-05877-x>.
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Álvarez-Noriega, M., Álvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., Babcock, R. C., Beger, M., Bellwood, D. R., Berkelmans, R., Bridge, T. C., Butler, I. R., Byrne, M., Cantin, N. E., Comeau, S., Connolly, S. R., Cumming, G. S., Dalton, S. J., Diaz-Pulido, G., Wilson, S. K. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543(7645), 373–377. <https://doi.org/10.1038/nature21707>.
- Maharani, N. N. D. (2022). Chromophoric dissolved organic matter (CDOM) and organic carbon content of sediments in coral and artificial reef ecosystems on the east beach Bali Island. *Tesis*. Universitas Pendidikan Ganesha.
- Maxwell, T. L., Hengl, T., Parente, L. L., Minarik, R., Worthington, T. A., Bunting, P., Smart, L. S., Spalding, M. D., & Landis, E. (2023). Global mangrove soil organic carbon stocks dataset at 30 m resolution for the year 2020 based on spatiotemporal predictive machine learning. *Data in Brief*, 50(109621), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109621>.
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>.
- Oppen MJH, van, & Bay, L. (2019). *T3: Intervention Technical Summary A report provided to the Australian Government by the Reef Restoration and Adaptation Program This report should be cited as*. Australian Institute of Marine Science.
- Spalding, M., Burke, L., Wood, S. A., Ashpole, J., Hutchison, J., & zu Ermgassen, P. (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, 82, 104–113. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>.
- Sternberg-Rodríguez, P., Ezcurra, P., Costa, M. T., Aburto-Oropeza, O., & Ezcurra, E. (2022). Precision of mangrove sediment blue carbon estimates and the role of coring and data analysis methods. *Ecology and Evolution*, 12(12), 1-13. <https://doi.org/10.1002/ece3.9655>.
- UNEP. (2020). *Projections of Future Coral Bleaching Conditions Using IPCC CMIP6 Models*. <https://www.unep.org/resources/report/projections-future-coral-bleaching-conditions-using-ipcc-cmip6-models>.