

---

## **KARBON BIRU PADA EKOSISTEM MANGROVE : DINAMIKA, KAPASITAS PENYIMPANAN, DAN IMPLIKASINYA TERHADAP MITIGASI PERUBAHAN IKLIM**

**Pahmi Husain<sup>1\*</sup>, Muhammad Shohibul Ihsan<sup>2</sup>, Raden Didi Kuswara<sup>3</sup>,  
Khaerul Ihwan<sup>4</sup>, Dwi Kartika Risfianty<sup>5</sup>, Irna Il Sanuriza<sup>6</sup>, Ishmah  
Humaidatul Aminah Zaim Alyaminy<sup>7</sup>, & Baiq Naili Dewi Atika<sup>8</sup>**

<sup>1,2,4,5,6,7,&8</sup>Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Nahdlatul Wathan Mataram, Jalan Kaktus Nomor 1-3, Mataram,  
Nusa Tenggara Barat 83125, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas  
Nahdlatul Wathan Mataram, Jalan Kaktus Nomor 1-3, Mataram, Nusa Tenggara Barat  
83125, Indonesia

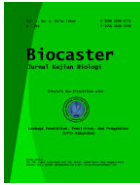
\*Email: [pahmihusain@unwmataram.ac.id](mailto:pahmihusain@unwmataram.ac.id)

Submit: 20-10-2025; Revised: 27-10-2025; Accepted: 30-10-2025; Published: 31-10-2025

**ABSTRAK:** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji secara komprehensif peran karbon biru pada ekosistem mangrove, dengan menitikberatkan pada kapasitas dan dinamika penyimpanan karbon. Penelitian ini merupakan penelitian kepustakaan (*library research*) dengan pendekatan PRISMA. Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis melalui beberapa basis data ilmiah utama, yaitu *Google Scholar*, *ScienceDirect*, dan *SpringerLink*. Proses seleksi literatur dilakukan dengan mengacu pada prinsip *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Tahapan seleksi meliputi identifikasi artikel melalui basis data, penyaringan awal dengan menghapus artikel duplikat, penilaian relevansi berdasarkan judul dan abstrak, serta evaluasi kelayakan melalui penelaahan teks lengkap. Analisis data dilakukan secara deskriptif-kuantitatif melalui metode sintesis naratif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekosistem mangrove merupakan salah satu komponen utama karbon biru dengan kapasitas penyimpanan karbon yang sangat tinggi, terutama pada kompartemen sedimen yang bersifat stabil dalam jangka panjang. Dinamika karbon biru mangrove dipengaruhi oleh interaksi antara proses biologis, fisik, dan kimia, seperti produktivitas vegetasi, akumulasi serasah, serta pengebakan sedimen oleh sistem perakaran mangrove. Kapasitas penyimpanan karbon ekosistem mangrove bervariasi antar wilayah dan dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik, termasuk komposisi spesies, umur dan kerapatan tegakan, kondisi hidrologi, serta tipe substrat. Selain berfungsi sebagai penyerap dan penyimpan karbon, ekosistem mangrove memiliki implikasi strategis dalam mitigasi perubahan iklim sebagai solusi berbasis alam. Namun, degradasi dan konversi lahan mangrove berpotensi melepaskan karbon tersimpan ke atmosfer dan mengurangi kapasitas mitigasi di masa depan. Sehingga, konservasi dan pengelolaan mangrove secara berkelanjutan menjadi langkah penting dalam menjaga fungsi karbon biru, serta mendukung upaya mitigasi perubahan iklim.

**Kata Kunci:** Karbon Biru, Mangrove, Perubahan Iklim, Sedimen.

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to comprehensively examine the role of blue carbon in mangrove ecosystems, with an emphasis on the capacity and dynamics of carbon storage. This research is library research, with the PRISMA approach. Literature search is carried out systematically through several major scientific databases, namely *Google Scholar*, *ScienceDirect*, and *SpringerLink*. The literature selection process was carried out by referring to the principle of *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). The selection stage includes article identification through the database, initial screening by removing duplicate articles, relevance assessment based on titles and abstracts, and feasibility evaluation through full text review. Data analysis was carried out descriptive-quantitative through the narrative synthesis method. The results of the study show that the mangrove ecosystem is one of the main components of blue carbon with a very high carbon storage capacity, especially in sediment compartments that are stable in the long term. The dynamics of mangrove blue carbon are influenced by the interaction



between biological, physical, and chemical processes, such as vegetation productivity, litter accumulation, and sediment trapping by mangrove root systems. The carbon storage capacity of mangrove ecosystems varies between regions and is influenced by biotic and abiotic factors, including species composition, age and stand density, hydrological conditions, and substrate type. In addition to serving as carbon sinks and stores, mangrove ecosystems have strategic implications in climate change mitigation as nature-based solutions. However, the degradation and conversion of mangrove land have the potential to release stored carbon into the atmosphere and reduce mitigation capacity in the future. So that the conservation and sustainable management of mangroves is an important step in maintaining the function of blue carbon and supporting climate change mitigation efforts.

**Keywords:** Blue Carbon, Mangroves, Climate Change, Sediments.

**How to Cite:** Husain, P., Ihsan, M. S., Kuswara, R. D., Ihwan, K., Risfianty, D. K., Sanuriza, I. I., Alyaminy, I. H. A. Z., & Atika, B. N. D. (2025). Karbon Biru pada Ekosistem Mangrove : Dinamika, Kapasitas Penyimpanan, dan Implikasinya terhadap Mitigasi Perubahan Iklim. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 5(4), 1112-1127. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i4.877>

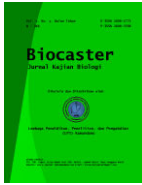


**Biocaster : Jurnal Kajian Biologi** is Licensed Under a CC BY-SA [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

## PENDAHULUAN

Perubahan iklim global merupakan tantangan lingkungan utama yang ditandai oleh peningkatan suhu rata-rata bumi, perubahan pola curah hujan, kenaikan muka air laut, serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Fenomena ini terutama dipicu oleh peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK), khususnya karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), akibat aktivitas antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan perubahan penggunaan lahan (Arief *et al.*, 2020). Kondisi tersebut menuntut strategi mitigasi perubahan iklim yang tidak hanya berfokus pada penurunan emisi, tetapi juga berlandaskan keberlanjutan ekologi dan sosial. Dalam konteks tersebut, solusi berbasis alam (*Nature-based Solutions/NbS*) berkembang sebagai pendekatan yang mampu mengintegrasikan perlindungan ekosistem dengan upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. NbS menekankan pemanfaatan fungsi alami ekosistem dalam menyerap karbon sekaligus menyediakan jasa lingkungan dan manfaat sosial-ekonomi (Jompa & Murdiyarso, 2023). Salah satu komponen penting dalam kerangka NbS adalah karbon biru (*blue carbon*), yaitu karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem pesisir dan laut, seperti mangrove, padang lamun, dan rawa asin (Listantia & Al Idrus, 2024).

Mangrove memiliki peran yang sangat signifikan dalam mitigasi perubahan iklim di antara ekosistem karbon biru. Ekosistem ini dicirikan oleh produktivitas primer yang tinggi serta sistem perakaran yang kompleks, sehingga efektif menjebak sedimen dan bahan organik kaya karbon (Husain *et al.*, 2020). Karbon pada mangrove tersimpan dalam beberapa kompartemen utama, meliputi biomassa di atas permukaan tanah, biomassa bawah tanah, dan sedimen. Sejumlah studi menunjukkan bahwa stok karbon total mangrove per satuan luas dapat lebih tinggi dibandingkan hutan hujan tropis daratan, terutama karena besarnya simpanan karbon pada sedimen yang relatif stabil dan tahan terhadap dekomposisi (Hickmah



*et al.*, 2021). Namun demikian, kapasitas penyimpanan karbon biru mangrove bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan biotik. Komposisi spesies, struktur dan kerapatan tegakan, umur ekosistem, kondisi hidrologi, serta tipe substrat berperan penting dalam menentukan besarnya stok dan laju akumulasi karbon (Wulandari *et al.*, 2024). Tekanan antropogenik seperti alih fungsi lahan dan degradasi habitat juga dapat menurunkan kemampuan mangrove sebagai penyerap karbon, bahkan berpotensi mengubahnya menjadi sumber emisi melalui pelepasan karbon sedimen ke atmosfer.

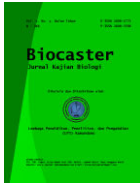
Ekosistem mangrove secara global mengalami tekanan yang semakin meningkat akibat konversi lahan menjadi tambak, pemukiman, dan infrastruktur pesisir (Melati, 2021). Kehilangan dan degradasi mangrove tidak hanya berdampak pada menurunnya keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem pesisir, tetapi juga berpotensi melepaskan simpanan karbon dalam jumlah besar, sehingga mempercepat laju perubahan iklim (Baiser *et al.*, 2019). Oleh karena itu, konservasi dan restorasi mangrove dipandang sebagai strategi penting dalam kebijakan mitigasi perubahan iklim pada berbagai skala, termasuk dalam kerangka pembangunan berkelanjutan dan komitmen penurunan emisi nasional. Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji stok dan dinamika karbon mangrove di berbagai wilayah dengan hasil yang bervariasi, tergantung pada kondisi ekologi, metode pengukuran, dan tingkat gangguan lingkungan. Meskipun demikian, kajian yang menyintesis secara komprehensif dinamika penyimpanan karbon mangrove serta implikasinya terhadap pengelolaan dan kebijakan berbasis ekosistem masih relatif terbatas, khususnya di wilayah tropis yang memiliki luasan mangrove besar dan tekanan antropogenik tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel *review* ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif peran karbon biru pada ekosistem mangrove dengan menitikberatkan pada kapasitas dan dinamika penyimpanan karbon serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Artikel ini juga membahas implikasi pengelolaan karbon biru mangrove dalam mendukung strategi mitigasi perubahan iklim dan perumusan kebijakan lingkungan berbasis ekosistem. Kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam penguatan peran mangrove sebagai solusi berbasis alam yang berkelanjutan dalam menghadapi perubahan iklim.

## **METODE**

### **Jenis dan Desain Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian kepustakaan (*library research*) dengan pendekatan artikel *review*. Pendekatan ini digunakan untuk menyintesis dan menginterpretasikan temuan-temuan ilmiah dari berbagai studi terdahulu yang relevan, tanpa melakukan analisis statistik kuantitatif sebagaimana pada *systematic review* atau *meta-analysis* (Widiana *et al.*, 2025). Fokus utama kajian diarahkan pada karbon biru pada ekosistem mangrove, khususnya terkait dinamika penyimpanan karbon, kapasitas stok karbon, serta implikasinya dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Pemilihan desain *review* naratif memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi konsep, pola temuan, dan implikasi kebijakan secara lebih kontekstual dan komprehensif. Pendekatan ini juga mengidentifikasi celah penelitian dan arah kajian selanjutnya terkait karbon biru mangrove.



## Teknik Penelusuran Literatur

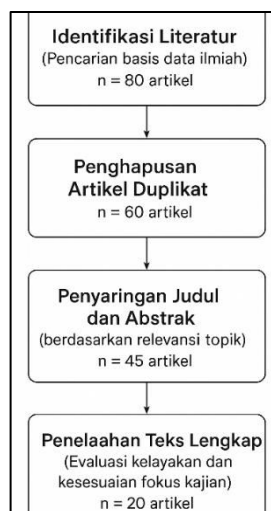
Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis melalui beberapa basis data ilmiah utama, yaitu *Google Scholar*, *ScienceDirect*, dan *SpringerLink*. Basis data tersebut dipilih karena memiliki cakupan luas terhadap publikasi ilmiah bereputasi di bidang ilmu lingkungan, ekologi pesisir, dan perubahan iklim. Kata kunci yang digunakan dalam proses penelusuran meliputi *blue carbon*, *mangrove carbon stock*, *carbon sequestration*, karbon biru, dan ekosistem mangrove. Untuk menjaga keterkinian dan relevansi informasi, penelusuran literatur dibatasi pada publikasi ilmiah yang diterbitkan dalam rentang waktu 2010-2024, baik yang ditulis dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris.

## Kriteria Pemilihan Literatur

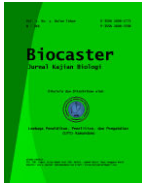
Artikel yang diperoleh dari hasil penelusuran selanjutnya diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi mencakup artikel jurnal nasional maupun internasional yang membahas karbon biru atau penyimpanan karbon pada ekosistem mangrove serta memiliki keterkaitan dengan isu mitigasi perubahan iklim. Kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak tersedia dalam bentuk teks lengkap, publikasi non-ilmiah atau yang tidak melalui proses *peer review*, serta artikel yang tidak memiliki hubungan langsung dengan topik karbon mangrove. Penerapan kriteria ini bertujuan untuk menjamin kualitas, relevansi, dan validitas sumber yang dianalisis (Kitchenham *et al.*, 2009).

## Prosedur Seleksi Literatur (PRISMA)

Proses seleksi literatur dilakukan dengan mengacu pada prinsip *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) dalam bentuk yang disederhanakan. Tahapan seleksi meliputi identifikasi artikel melalui basis data, penyaringan awal dengan menghapus artikel duplikat, penilaian relevansi berdasarkan judul dan abstrak, serta evaluasi kelayakan melalui penelaahan teks lengkap. Dari total 80 artikel yang teridentifikasi pada tahap awal, sebanyak 60 artikel tersisa setelah penghapusan duplikasi. Penyaringan judul dan abstrak menghasilkan 45 artikel yang ditelaah secara penuh, kemudian diseleksi kembali hingga diperoleh 20 artikel yang dinilai paling relevan dan sesuai dengan fokus kajian. Langkah-langkah seleksi literatur ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Langkah-langkah Seleksi Literatur.**



---

## **Teknik Pengumpulan Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari artikel ilmiah terpilih. Informasi yang dikumpulkan meliputi besaran stok karbon mangrove, distribusi karbon pada biomassa di atas dan di bawah permukaan tanah, karbon sedimen, serta peran ekosistem mangrove dalam mitigasi perubahan iklim. Pendekatan ini sejalan dengan metode pengumpulan data pada kajian karbon biru global yang menekankan pada sintesis data empiris lintas lokasi dan skala (Howard *et al.*, 2014). Data dicatat secara sistematis dan dirangkum dalam bentuk tabel sintesis untuk memudahkan perbandingan antarstudi serta mengidentifikasi pola umum dan perbedaan temuan.

## **Teknik Analisis Data**

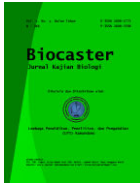
Analisis data dilakukan secara deskriptif-kuantitatif melalui metode sintesis naratif. Setiap artikel dianalisis untuk mengidentifikasi kecenderungan hasil penelitian, variasi estimasi stok karbon, serta faktor-faktor ekologis dan antropogenik yang memengaruhi penyimpanan karbon pada ekosistem mangrove (Yanuar *et al.*, 2023). Hasil sintesis kemudian diinterpretasikan secara kritis untuk menjelaskan kontribusi mangrove sebagai penyerap karbon (*carbon sink*), potensi risikonya sebagai sumber emisi (*carbon source*) akibat degradasi, serta urgensi konservasi dan restorasi mangrove dalam konteks mitigasi perubahan iklim dan kebijakan lingkungan berbasis ekosistem (Howard *et al.*, 2014).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Dinamika Karbon Biru pada Ekosistem Mangrove**

Hasil telaah literatur menunjukkan bahwa karbon biru pada ekosistem mangrove tersimpan dalam tiga kompartemen utama, yaitu biomassa di atas permukaan tanah (*aboveground biomass/AGB*), biomassa di bawah tanah (*belowground biomass/BGB*), dan sedimen. Di antara ketiga kompartemen tersebut, sedimen merupakan penyimpan karbon terbesar dengan proporsi mencapai 50-90% dari total stok karbon ekosistem mangrove (Sondak, 2015). Secara kuantitatif, berbagai penelitian melaporkan bahwa karbon sedimen mangrove dapat terakumulasi hingga kedalaman >1 m dan tersimpan dalam kondisi anaerob, sehingga laju dekomposisinya sangat rendah. Kondisi ini memungkinkan karbon tersimpan dalam jangka waktu ratusan hingga ribuan tahun, menjadikan mangrove sebagai *long-term carbon sink* (Maulana & Arifin, 2023). Dinamika ini berbeda dengan hutan daratan, dimana sebagian besar karbon tersimpan pada biomassa hidup yang relatif lebih rentan terhadap gangguan.

Proses fotosintesis vegetasi mangrove menghasilkan biomassa yang selanjutnya berkontribusi pada akumulasi karbon melalui serasah daun, ranting, dan akar. Sistem perakaran mangrove yang kompleks dan rapat berperan penting dalam memperlambat aliran air, menjebak sedimen, serta meningkatkan deposisi bahan organik. Mekanisme ini memperkuat kemampuan mangrove dalam menyerap dan menyimpan karbon secara berkelanjutan. Namun demikian, dinamika karbon biru mangrove bersifat sensitif terhadap gangguan. Konversi lahan, perubahan hidrologi, dan degradasi ekosistem dapat memicu oksidasi sedimen kaya karbon dan menyebabkan pelepasan karbon ke atmosfer. Latumahina *et al.* (2025) melaporkan bahwa degradasi mangrove dapat mengubah ekosistem ini dari *carbon*



*sink* menjadi *carbon source* yang berdampak negatif terhadap upaya mitigasi perubahan iklim.

### **Kapasitas Penyimpanan Karbon Ekosistem Mangrove Berdasarkan Studi Empiris**

Hasil sintesis dari penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan karbon ekosistem mangrove tergolong sangat tinggi, bahkan melebihi sebagian besar ekosistem daratan tropis. Untuk memperjelas variasi stok karbon mangrove, ringkasan hasil penelitian disajikan pada Tabel 1.

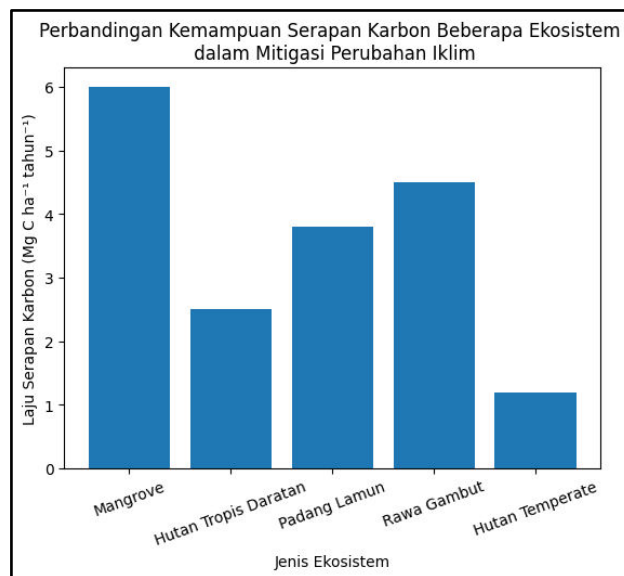
**Tabel 1. Stok Karbon Ekosistem Mangrove.**

No.	Peneliti	Lokasi	Stok Karbon Total (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Kompartemen Dominan
1	Donato <i>et al.</i> (2011)	Asia Tenggara & Pasifik.	990-1200	Sedimen
2	Kauffman & Donato (2012)	Indo-Pasifik	800-1050	Sedimen
3	Alongi (2014)	Global Tropis	750-1000	Sedimen
4	Murdiyarto <i>et al.</i> (2015)	Indonesia	950-1100	Sedimen
5	Suryono <i>et al.</i> (2018)	Bali, Indonesia	86.11-359.24	Sedimen
6	Tsani & Muhsoni (2022)	Banten, Indonesia	59.3-162.5	Sedimen
7	Easteria <i>et al.</i> (2022)	Kepulauan Seribu, Jakarta, Indonesia.	70.54-634.54	Sedimen
8	Marbun <i>et al.</i> (2020)	Bolaang, Mongondow, Indonesia.	10.57-398.82	Sedimen
9	ZA <i>et al.</i> (2024)	Gili Petagan, Lombok, Indonesia.	74.76-178.29	Sedimen
10	Haykal <i>et al.</i> (2025)	Paremas, Lombok, Indonesia.	56.05-104.96	Sedimen

Tabel 1 menunjukkan bahwa stok karbon mangrove secara konsisten berada pada kisaran tinggi, dengan nilai rata-rata mendekati atau melebihi 1.000 Mg C ha<sup>-1</sup>, terutama pada ekosistem mangrove tropis. Sedimen menjadi kompartemen penyumbang terbesar terhadap total stok karbon yang membedakan mangrove dari hutan daratan yang lebih didominasi karbon biomassa. Variasi nilai stok karbon antar lokasi dipengaruhi oleh faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik meliputi komposisi spesies, kepadatan, dan umur tegakan, sedangkan faktor abiotik mencakup tipe substrat, pasang surut, serta kondisi hidrologi. Mangrove dengan substrat berlumpur, kondisi pasang surut stabil, dan tegakan dewasa menunjukkan kapasitas penyimpanan karbon yang lebih tinggi dibandingkan mangrove muda atau yang tumbuh pada substrat berpasir (Hapsari *et al.*, 2022). Perbedaan iklim regional turut memengaruhi produktivitas dan akumulasi karbon. Mangrove di wilayah tropis lembap umumnya memiliki laju fotosintesis dan produksi biomassa yang lebih tinggi dibandingkan wilayah subtropis, sehingga mendukung penyimpanan karbon yang lebih besar. Hal ini menegaskan bahwa estimasi karbon mangrove perlu mempertimbangkan karakteristik lokal ekosistem untuk menghasilkan nilai yang lebih akurat. Tekanan antropogenik seperti alih fungsi lahan, penebangan, dan gangguan hidrologi dapat menurunkan stok karbon mangrove secara signifikan.

## Faktor yang Memengaruhi Variabilitas Karbon Biru Mangrove

Hasil *review* menunjukkan bahwa variabilitas karbon biru mangrove sangat dipengaruhi oleh tekanan antropogenik. Konversi mangrove menjadi tambak, permukiman, dan infrastruktur pesisir menjadi penyebab utama penurunan stok karbon mangrove secara global. Aktivitas tersebut tidak hanya menghilangkan biomassa vegetasi, tetapi juga mempercepat oksidasi sedimen kaya karbon yang sebelumnya stabil, sehingga meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer (Friess *et al.*, 2019). Sebaliknya, upaya konservasi dan restorasi mangrove terbukti mampu memulihkan fungsi mangrove sebagai penyerap karbon. Studi restorasi menunjukkan bahwa stok karbon meningkat seiring bertambahnya umur tegakan, meskipun membutuhkan waktu puluhan tahun untuk mendekati kondisi mangrove alami. Oleh karena itu, perlindungan mangrove eksisting dipandang lebih efektif sebagai strategi mitigasi perubahan iklim dibandingkan restorasi semata. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa keberadaan mangrove yang terjaga memiliki peran strategis dalam menjaga keseimbangan karbon global. Pengelolaan mangrove yang tidak berkelanjutan berpotensi menghilangkan manfaat karbon biru yang signifikan, sementara konservasi yang tepat dapat memperkuat kontribusi mangrove dalam mitigasi perubahan iklim.

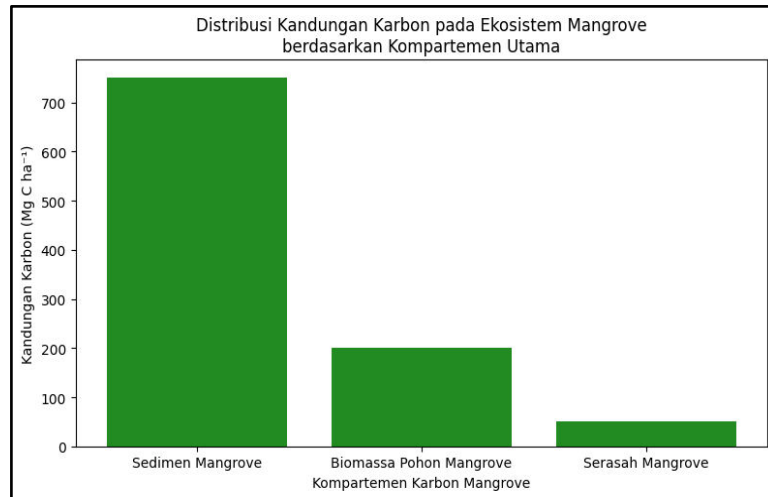


**Gambar 2. Perbandingan Kemampuan Menyerap Karbon Beberapa Ekosistem.**

Gambar 2 menunjukkan bahwa ekosistem mangrove memiliki kemampuan serapan karbon paling tinggi dibandingkan dengan ekosistem lain yang berperan dalam mitigasi perubahan iklim. Mangrove mampu menyerap karbon sekitar  $\pm 6$  Mg C ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>, jauh melampaui hutan tropis daratan maupun hutan beriklim sedang. Tingginya laju serapan ini berkaitan dengan produktivitas biomassa yang besar serta kemampuan mangrove mengakumulasi karbon dalam sedimen anaerob untuk jangka waktu panjang yang didukung oleh laju dekomposisi bahan organik yang relatif lambat. Meskipun rawa gambut dan padang lamun juga berkontribusi signifikan sebagai penyerap karbon, kapasitasnya masih berada di bawah mangrove. Temuan ini menegaskan peran strategis mangrove sebagai komponen

utama karbon biru (*blue carbon*) dalam upaya menekan peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer.

### Perbandingan Kandungan Karbon pada Ekosistem Mangrove



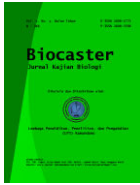
**Gambar 3.** Distribusi Kandungan Karbon pada Ekosistem Mangrove.

Gambar 3 menunjukkan hubungan komparatif antara stok karbon mangrove, laju emisi karbon akibat degradasi dan alih fungsi lahan, serta produksi karbon melalui pertumbuhan biomassa dalam konteks mitigasi perubahan iklim. Secara umum, grafik tersebut menegaskan posisi ekosistem mangrove sebagai salah satu penyerap karbon paling efektif, sekaligus menunjukkan potensi pelepasan emisi yang sangat besar ketika ekosistem ini mengalami gangguan.

Stok karbon, mangrove diketahui memiliki cadangan karbon yang sangat tinggi, yakni dapat mencapai lebih dari 1.000 Mg C ha<sup>-1</sup>. Nilai ini jauh melampaui besaran karbon yang dilepaskan melalui emisi tahunan pada kondisi terdegradasi, sehingga menegaskan fungsi mangrove sebagai *carbon sink* jangka panjang. Studi menunjukkan bahwa sekitar 70-90% karbon mangrove tersimpan di sedimen yang bersifat relatif stabil selama kondisi anaerob dan integritas ekosistem tetap terjaga (Tahir *et al.*, 2023). Dominasi simpanan karbon sedimen inilah yang menjadikan mangrove memiliki keunggulan dibandingkan ekosistem daratan dalam konteks penyimpanan karbon jangka panjang. Namun, Gambar 2 juga menunjukkan bahwa mangrove yang mengalami degradasi dapat berubah fungsi menjadi sumber emisi karbon. Pada kondisi terdegradasi, mangrove dilaporkan melepaskan karbon hingga sekitar ± 45 Mg CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>. Emisi ini terutama disebabkan oleh oksidasi bahan organik sedimen akibat perubahan hidrologi, peningkatan aerasi tanah, dan hilangnya tutupan vegetasi (Rifandi, 2021). Temuan ini sejalan Ibrahim & Muhsoni (2020) yang menyatakan bahwa gangguan terhadap struktur dan fungsi mangrove dapat memicu pelepasan karbon yang sebelumnya tersimpan selama puluhan hingga ratusan tahun.

Dampak emisi karbon menjadi lebih besar pada konversi mangrove menjadi tambak, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai emisi yang mencapai ± 80 Mg CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>. Tingginya emisi ini berkaitan dengan proses pengeringan sedimen, peningkatan aktivitas mikroba aerobik, serta pelepasan karbon tua yang





sebelumnya terperangkap dalam kondisi anaerob (Murdiyarso & Ambo-Rappe, 2023). Kondisi ini menegaskan bahwa alih fungsi lahan mangrove tidak hanya menghilangkan kapasitas serapan karbon, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca, sehingga berdampak negatif terhadap upaya mitigasi perubahan iklim.

Sementara itu, dari aspek produksi biomassa karbon, mangrove menunjukkan laju penyerapan karbon yang relatif tinggi melalui pertumbuhan biomassa, yaitu sekitar  $\pm 6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ . Meskipun nilainya lebih kecil dibandingkan total stok karbon yang tersimpan dalam sedimen, laju produksi ini mencerminkan kemampuan mangrove dalam menyerap karbon atmosfer secara kontinu setiap tahun (Prakoso *et al.*, 2018). Proses ini memperkuat peran mangrove tidak hanya sebagai penyimpan karbon pasif, tetapi juga sebagai ekosistem aktif dalam regulasi siklus karbon global. Grafik tersebut mengindikasikan bahwa perlindungan mangrove eksisting jauh lebih efektif dalam mitigasi perubahan iklim dibandingkan hanya mengandalkan restorasi setelah degradasi terjadi. Kehilangan mangrove tidak hanya mengurangi kapasitas serapan karbon, tetapi juga memicu emisi karbon dalam jumlah besar yang berpotensi sulit dipulihkan dalam jangka pendek.

#### **Tren Pemanasan Gas Karbon di Kawasan Pesisir 10 Tahun Terakhir**

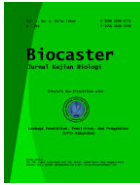
Pemanasan global yang ditandai oleh meningkatnya konsentrasi gas karbon di atmosfer menjadi isu lingkungan global yang berdampak signifikan terhadap ekosistem pesisir. Kawasan pesisir berperan penting sebagai wilayah penyangga iklim, karena keberadaan ekosistem seperti mangrove, lamun, dan rawa pantai yang memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan karbon. Namun, dalam satu dekade terakhir, tekanan antropogenik dan perubahan iklim diduga telah memengaruhi keseimbangan karbon di wilayah pesisir. Tren pemanasan gas karbon di kawasan pesisir 10 tahun ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Data Tren Pemanasan Gas Karbon di Kawasan Pesisir 10 Tahun.**

Tahun	Konsentrasi CO <sub>2</sub> Pesisir (ppm)*	Potensi Serapan Karbon Mangrove (Mg C ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup> )	Tren Perubahan
2015	398	5.2	Awal peningkatan signifikan
2016	400	5.3	Dampak <i>El Niño</i> global
2017	402	5.4	Emisi pesisir meningkat
2018	405	5.5	Kenaikan berkelanjutan
2019	408	5.6	Tekanan industri & urban
2020	412	5.7	Fluktuasi pandemi
2021	415	5.8	<i>Rebound</i> aktivitas ekonomi
2022	418	5.9	Pemanasan pesisir meningkat
2023	420	6.0	Rekor emisi regional
2024	423	6.1	Level tertinggi dekade ini

\*Konsentrasi CO<sub>2</sub> pesisir cenderung sedikit lebih tinggi dibanding rata-rata global akibat aktivitas antropogenik lokal (pelabuhan, industri, dan permukiman pesisir).

Tabel 2 menunjukkan adanya tren peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> atmosfer di kawasan pesisir yang konsisten selama periode 2015–2024, disertai dengan kenaikan potensi serapan karbon oleh ekosistem mangrove. Konsentrasi CO<sub>2</sub> pesisir meningkat dari 398 ppm pada tahun 2015, menjadi 423 ppm pada tahun 2024 yang



mencerminkan laju peningkatan sekitar 2-3 ppm per tahun. Nilai ini relatif lebih tinggi dibandingkan rata-rata global, mengindikasikan bahwa kawasan pesisir berperan sebagai wilayah dengan tekanan antropogenik tinggi akibat aktivitas industri, pelabuhan, transportasi laut, dan perkembangan permukiman pesisir.

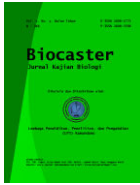
Kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada periode awal (2015-2016) berkaitan dengan dampak peristiwa *El Niño* global yang memicu peningkatan emisi dan penurunan kapasitas serapan karbon alami. Selanjutnya, pada periode 2017-2019, peningkatan CO<sub>2</sub> yang berkelanjutan menunjukkan intensifikasi emisi pesisir seiring dengan pertumbuhan aktivitas industri dan urbanisasi. Meskipun terjadi fluktuasi aktivitas ekonomi selama pandemi COVID-19 pada tahun 2020, konsentrasi CO<sub>2</sub> pesisir tetap menunjukkan tren naik, menandakan bahwa tekanan emisi di kawasan pesisir bersifat struktural dan tidak sepenuhnya tereduksi oleh perlambatan ekonomi jangka pendek. Di sisi lain, Tabel 2 juga memperlihatkan kenaikan bertahap potensi serapan karbon mangrove, dari 5,2 Mg C ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup> pada tahun 2015, menjadi 6,1 Mg C ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup> pada tahun 2024. Peningkatan ini mencerminkan peran mangrove sebagai penyerap karbon yang responsif terhadap peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> atmosfer, sejalan dengan tingginya produktivitas primer dan kapasitas akumulasi karbon sedimen. Namun demikian, laju peningkatan serapan karbon mangrove relatif lebih lambat dibandingkan kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub>, sehingga belum mampu sepenuhnya mengimbangi pertumbuhan emisi karbon di kawasan pesisir.

Interpretasi tabel ini menegaskan adanya kesenjangan antara peningkatan emisi karbon pesisir dan kapasitas mitigasi alami mangrove. Meskipun mangrove menunjukkan potensi serapan karbon yang meningkat dari tahun ke tahun, tekanan emisi yang terus bertambah menyebabkan kawasan pesisir tetap berada dalam kondisi emisi bersih positif. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya perlindungan mangrove eksisting dan perluasan upaya restorasi dalam skala bentang alam, agar fungsi mangrove sebagai penyangga karbon biru dapat dioptimalkan dalam menahan laju peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> atmosfer di wilayah pesisir.

**Tabel 3. Potensi Serapan Karbon Biru Mangrove terhadap Emisi CO<sub>2</sub>.**

Parameter	Nilai Rata-rata	Sumber Literatur
Laju Serapan Karbon Mangrove	5-7 Mg C ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup>	Alongi (2014); McLeod <i>et al.</i> (2011).
Setara Mitigasi CO <sub>2</sub>	± 18-25 Mg CO <sub>2</sub> e ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup>	Donato <i>et al.</i> (2011)
Stok Karbon Total Mangrove	800-1.200 Mg C ha <sup>-1</sup>	Murdiyarto <i>et al.</i> (2015)
Kompartemen Dominan	Sedimen (70-90%)	Kauffman & Donato (2012)
Parameter	Nilai Rata-rata	Sumber Literatur

Tabel 3 menunjukkan potensi signifikan ekosistem mangrove dalam menyerap dan menyimpan karbon biru, sehingga berkontribusi langsung terhadap mitigasi emisi CO<sub>2</sub> di kawasan pesisir. Berdasarkan sintesis berbagai penelitian, laju serapan karbon mangrove berkisar antara 5-7 Mg C ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup> (Sartono *et al.*, 2025). Nilai ini menempatkan mangrove sebagai salah satu ekosistem dengan kemampuan serapan karbon tertinggi per satuan luas dibandingkan ekosistem pesisir dan daratan lainnya, seperti padang lamun maupun hutan tropis daratan. Perlindungan mangrove memiliki implikasi penting dalam kebijakan iklim.

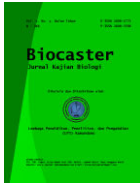


Kemampuan tersebut setara dengan potensi mitigasi sekitar  $\pm 18-25 \text{ Mg CO}_2\text{e ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$  yang mencerminkan efektivitas mangrove dalam menekan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (Rahman *et al.*, 2020). Besarnya nilai mitigasi ini menegaskan bahwa konservasi mangrove tidak hanya berfungsi untuk mempertahankan stok karbon yang ada, tetapi juga memberikan manfaat iklim yang terus berlanjut melalui proses penyerapan karbon tahunan. Selain serapan tahunan, Tabel 3 juga memperlihatkan bahwa stok karbon total mangrove sangat besar, yakni berkisar antara  $800-1.200 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Murdiyarsa *et al.*, 2015). Dibandingkan dengan banyak ekosistem daratan, besarnya stok karbon ini menunjukkan peran mangrove sebagai penyimpan karbon jangka panjang yang krusial dalam sistem iklim global. Tingginya stok karbon mangrove terutama didominasi oleh kompartemen sedimen yang menyumbang sekitar 70-90% dari total simpanan karbon (Kauffman & Donato, 2012). Karbon sedimen ini relatif stabil karena berada dalam kondisi anaerob, sehingga memiliki laju dekomposisi yang rendah.

Selama satu dekade terakhir, kawasan pesisir menunjukkan tren peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang relatif konsisten, sejalan dengan intensifikasi aktivitas manusia seperti industrialisasi, urbanisasi pesisir, transportasi laut, serta konversi ekosistem alami menjadi kawasan terbangun. Beberapa studi mengindikasikan bahwa wilayah pesisir kerap memiliki konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata global, karena berperan sebagai titik temu antara emisi daratan dan aktivitas maritim (Hickmah *et al.*, 2021). Kondisi ini menjadikan kawasan pesisir sebagai *carbon emission hotspot*, dimana tekanan antropogenik yang tinggi mempercepat akumulasi gas rumah kaca dan berkontribusi terhadap pemanasan regional.

Di tengah meningkatnya emisi karbon tersebut, ekosistem mangrove memainkan peran strategis sebagai penyangga alami (*buffer*) karbon biru. Mangrove mampu menyerap karbon dengan laju relatif tinggi, yaitu sekitar  $\pm 6-7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$  yang sebagian besar disimpan dalam biomassa dan sedimen jangka panjang (Arief *et al.*, 2020). Dibandingkan ekosistem pesisir lainnya seperti padang lamun atau rawa asin, mangrove menunjukkan efisiensi penyerapan dan penyimpanan karbon yang lebih besar per satuan luas. Studi Murdiyarsa & Ambo-Rappe (2023) menegaskan bahwa, jika dikelola dalam skala bentang alam, mangrove berpotensi mengimbangi sebagian emisi  $\text{CO}_2$  pesisir secara lokal dan berkontribusi signifikan terhadap strategi mitigasi perubahan iklim berbasis alam.

Namun demikian, terdapat kesenjangan yang semakin nyata antara peningkatan emisi karbon pesisir dan kapasitas mitigasi alami mangrove, terutama akibat degradasi dan kehilangan tutupan mangrove yang terus berlangsung. Berkurangnya luas mangrove tidak hanya menyebabkan hilangnya kemampuan penyerapan karbon tahunan, tetapi juga memicu pelepasan karbon sedimen yang telah tersimpan selama ratusan hingga ribuan tahun. Dibandingkan kawasan mangrove yang masih utuh, wilayah pesisir dengan mangrove terdegradasi atau terkonversi seperti tambak, menunjukkan emisi karbon bersih yang jauh lebih tinggi (Baiser *et al.*, 2019). Hal ini mengindikasikan bahwa kelanjutan degradasi mangrove berpotensi mengubah kawasan pesisir dari penyangga iklim menjadi sumber emisi karbon, sehingga memperlebar kesenjangan antara tekanan emisi dan kemampuan mitigasi alami.



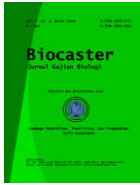
Implikasi temuan tersebut menuntut adanya respons kebijakan yang lebih terintegrasi dan berbasis bukti ilmiah. Pertama, diperlukan penguatan zonasi konservasi mangrove, terutama pada kawasan dengan stok karbon tinggi, guna mencegah alih fungsi lahan yang berisiko meningkatkan emisi karbon pesisir. Kedua, pengembangan sistem monitoring karbon biru berbasis penginderaan jauh (*remote sensing*) menjadi krusial untuk memantau dinamika tutupan mangrove, perubahan cadangan karbon, serta efektivitas kebijakan pengelolaan secara spasial dan temporal. Ketiga, prioritas perlindungan mangrove dewasa perlu ditegaskan dalam kebijakan pengelolaan pesisir, mengingat tegakan mangrove yang telah matang memiliki kapasitas penyimpanan karbon jauh lebih besar dibandingkan mangrove muda atau hasil rehabilitasi awal. Dengan demikian, kebijakan konservasi yang menitikberatkan pada perlindungan, pemantauan, dan pengelolaan mangrove secara berkelanjutan menjadi prasyarat penting dalam menjaga keseimbangan karbon pesisir dan menekan laju pemanasan gas karbon di wilayah tersebut.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil telaah literatur, dapat disimpulkan bahwa ekosistem mangrove merupakan salah satu komponen utama karbon biru dengan kapasitas penyimpanan karbon yang sangat tinggi, khususnya pada kompartemen sedimen yang relatif stabil dalam jangka panjang. Studi ini memberikan peta sintesis dinamika karbon mangrove yang menegaskan bahwa akumulasi dan stabilitas karbon dikendalikan oleh interaksi kompleks antara proses biologis, fisik, dan kimia, termasuk produktivitas vegetasi, produksi dan dekomposisi serasah, serta efisiensi penjembaran sedimen oleh sistem perakaran mangrove. Telaah ini juga menyoroti faktor-faktor dominan penentu stok karbon mangrove yang mencakup komposisi spesies, umur dan kerapatan tegakan, kondisi hidrologi, serta karakteristik substrat. Mangrove dengan kondisi ekosistem yang masih relatif alami dan tidak terdegradasi secara konsisten menunjukkan stok karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan mangrove yang mengalami tekanan antropogenik, sehingga menegaskan pentingnya integritas ekosistem dalam mempertahankan fungsi karbon biru. Temuan dalam studi ini menegaskan bahwa konservasi dan pengelolaan mangrove secara berkelanjutan merupakan prasyarat penting untuk menjaga fungsi karbon biru pesisir. Integrasi perlindungan mangrove dalam kebijakan iklim dan pengelolaan pesisir terpadu menjadi langkah strategis untuk mempertahankan dan meningkatkan kontribusi mangrove dalam pengendalian perubahan iklim global.

## SARAN

Diperlukan upaya lanjutan yang terintegrasi untuk memperkuat peran ekosistem mangrove sebagai penyerap dan penyimpan karbon biru. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengukuran stok karbon mangrove secara empiris dan berkelanjutan pada berbagai kondisi ekosistem dan wilayah pesisir, khususnya dengan memperhatikan variasi komposisi spesies, umur tegakan, serta karakteristik sedimen guna memperoleh estimasi karbon yang lebih akurat dan komprehensif. Diperlukan juga penguatan kebijakan konservasi dan pengelolaan mangrove berbasis ekosistem. Integrasi konsep karbon biru mangrove ke dalam



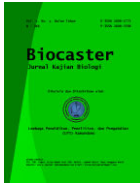
perencanaan tata ruang wilayah pesisir dan kebijakan mitigasi perubahan iklim nasional maupun daerah perlu terus ditingkatkan agar manfaat ekologis dan iklimnya dapat dioptimalkan. Lebih lanjut, keterlibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan mangrove secara partisipatif perlu didorong melalui pendekatan edukatif dan ekonomi berkelanjutan, sehingga upaya konservasi dapat berjalan seiring dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat pesisir.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

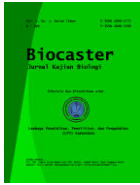
Terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini, mulai dari tahap perencanaan, pengumpulan dan analisis data, hingga proses penulisan dan publikasi artikel. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada institusi dan pihak-pihak terkait yang telah memberikan dukungan akademik, teknis, dan administratif, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

#### DAFTAR RUJUKAN

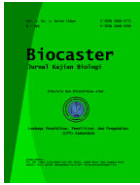
- Alongi, D. M. (2014). Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, 6(1), 195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Arief, S. M., Siburian, R. H., Murdjoko, A., & Wurarah, R. N. (2020). *Karbon Biru dan Ekosistem Mangrove: Fondasi untuk Keberlanjutan Lingkungan Pesisir*. Indramayu: Adab.
- Baiser, B., Gravel, D., Cirtwill, A. R., Dunne, J. A., Fahimipour, A. K., Gilarranz, L. J., & Yeakel, J. D. (2019). Ecogeographical Rules and the Macroecology of Food Webs. *Global Ecology and Biogeography*, 28(9), 1204-1218. <https://doi.org/10.1111/geb.12925>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves Among the Most Carbon-Rich Forests in the Tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Easteria, G., Imran, Z., & Yulianto, G. (2022). Estimasi Stok Karbon Mangrove Rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(2), 191-204. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v14i2.39861>
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., Lucas, R., Primavera, J., Rajkaran, A., & Shi, S. (2019). The State of the World's Mangrove Forests: Past, Present, and Future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 1-27. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>
- Hapsari, F. N., Maslukah, L., Dharmawan, I. W. E., & Wulandari, S. Y. (2022). Simpanan Karbon Organik dalam Sedimen Mangrove terhadap Pasang Surut di Pulau Bintan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 86-98. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.39107>
- Haykal, M., Harman, C. A., ZA, S. A., Buhari, N., Lestariningsih, W. A., Damayanti, A. A., & Rahman, I. (2025). Estimasi Cadangan Karbon Komunitas Mangrove Dusun Keranji, Desa Paremas, Lombok Timur.



- Jurnal Ilmu Kelautan Lesser Sunda*, 5(1), 11-19.  
<https://doi.org/10.29303/jikls.v5i1.123>
- Hickmah, N., Maslukah, L., Wulandari, S. Y., Sugianto, D. N., & Wirasatriya, A. (2021). Kajian Stok Karbon Organik dalam Sedimen di Area Vegetasi Mangrove Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4), 419-426. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.12494>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). *Coastal Blue Carbon : Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses*. Arlington: UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Husain, P., Al Idrus, A., & Ihsan, M. S. (2020). The Ecosystem Services of Mangroves for Sustainable Coastal Area and Marine Fauna in Lombok, Indonesia: A Review. *Jurnal Inovasi Pendidikan dan Sains*, 1(1), 1-7.
- Ibrahim, A., & Muhsoni, F. F. (2020). Estimasi Stok Karbon pada Ekosistem Hutan Mangrove di Desa Lembung Paseser, Kecamatan Sepuluh, Kabupaten Bangkalan. *Juvenil : Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(4), 498-507. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i4.8947>
- Jompa, J., & Murdiyarso, D. (2023). *Rehabilitasi Kawasan Pesisir untuk Adaptasi Perubahan Iklim: Peran Kunci Mangrove dalam Nationally Determined Contributions*. Bogor: CIFOR.
- Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). *Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests. Working Paper 86*. Bogor: CIFOR.
- Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Breerton, O. P., Turner, M., Niazi, M., & Linkman, S. (2009). Systematic Literature Reviews in Software Engineering - A Systematic Literature Review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>
- Latumahina, F. S., Syahadat, R. M., Adriani, H., Bato, M., Botha, P. M., Wattimena, C. M., & Pelupessy, W. V. (2025). *Perlindungan Hutan Mangrove dalam Menghadapi Dampak Perubahan Iklim*. Bandung: Widina.
- Listantia, N., & Al Idrus, A. (2024). Pengembangan Ekowisata Mangrove Gili Sulat sebagai Upaya Keberlanjutan Ekosistem Pesisir dan Karbon Biru (*Blue Carbon*) untuk Bahan Ajar Pembelajaran IPA. *Nusra : Jurnal Penelitian dan Ilmu Pendidikan*, 5(1), 190-198. <https://doi.org/10.55681/nusra.v5i1.1948>
- Marbun, A., Rumengan, A. P., Schadow, J. N., Paruntu, C. P., Angmalisang, P. A., & Manopo, V. E. (2020). Analisis Stok Karbon pada Sedimen Mangrove di Desa Baturapa Kecamatan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 8(1), 20-30. <https://doi.org/10.35800/jplt.8.1.2020.27395>
- Maulana, P., & Arifin, W. A. (2023). Estimasi Stok Karbon Tersimpan pada Hutan Mangrove di Paluh Kurau, Deli Serdang. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 770-779. <https://doi.org/10.56670/jsrd.v5i2.254>
- 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 CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560. <https://doi.org/10.1890/110004>
- Melati, D. N. (2021). Mangrove Ecosystem and Climate Change Mitigation: A Literature Review. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 16(1), 1-8. <https://doi.org/10.29122/jstmb.v16i1.4979>
- Murdiyarso, D., & Ambo-Rappe, R. (2023). *Rehabilitasi Kawasan Pesisir untuk Mitigasi Perubahan Iklim: Peranan Mangrove dan Penurunan Emisi Tingkat Sub-Nasional*. Bogor: CIFOR.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The Potential of Indonesian Mangrove Forests for Global Climate Change Mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12), 1089-1092. <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>
- Prakoso, T. B., Afiati, N., & Suprpto, D. (2018). Biomassa Kandungan Karbon dan Serapan CO<sub>2</sub> pada Tegakan Mangrove di Kawasan Konservasi Mangrove Bedono, Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 6(2), 156-163. <https://doi.org/10.14710/marj.v6i2.19824>
- Rahman, R., Effendi, H., Rusmana, I., Yulianda, F., & Wardiatno, Y. (2020). Pengelolaan Ekosistem Mangrove untuk Ruang Terbuka Hijau sebagai Mitigasi Gas Rumah Kaca di Kawasan Sungai Tallo Kota Makassar. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(2), 320-328. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.320-328>
- Rifandi, R. A. (2021). Pendugaan Stok Karbon dan Serapan Karbon pada Tegakan Mangrove di Kawasan Ekowisata Mangrove Desa Mojo Kabupaten Pemasang. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 19(1), 93-103. <https://doi.org/10.36762/jurnaljateng.v19i1.871>
- Sartono, M. N. T., Nabillah, Q., Wirasena, A., Primasari, D., Kusuma, N. D., Hidayat, M. S., & Lestari, D. A. (2025). Estimasi Serapan Karbon Biru pada Ekosistem Mangrove *Rhizophora mucronata* di Pulau Tidung Kecil: Kuantifikasi Potensi Penyimpanan Karbon Biru oleh Mangrove *Rhizophora mucronata* di Pulau Tidung Kecil. *Jurnal Sains Geografi*, 3(1), 48-62. <https://doi.org/10.21009/jsg.v3i1.51758>
- Sondak, C. F. (2015). Estimasi Potensi Penyerapan Karbon Biru (*Blue Carbon*) oleh Hutan Mangrove Sulawesi Utara. *Journal of Asean Studies on Maritime Issues*, 1(1), 24-29.
- Suryono, S., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., & Rozy, E. F. (2018). Estimasi Kandungan Biomassa dan Karbon di Hutan Mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i1.19036>
- Tahir, I., Mantiri, D. M. H., Rumengan, A. P., Muhammad, A., Ismail, F., Paembonan, R. E., Najamuddin, N., Akbar, N., Inayah, I., Wibowo, E. S., Siolimbona, A. A., & Harahap, Z. A. (2023). Simpanan Karbon Sedimen di Bawah Tegakan Spesies Mangrove Alami dan Mangrove Rehabilitasi. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 6(1), 803-814. <https://doi.org/10.33387/jikk.v6i1.6517>



- Tsani, A. A. R., & Muhsoni, F. F. (2022). Estimasi Stok Karbon Mangrove di Desa Taddan Kecamatan Camplong Kabupaten Sampang. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(1), 475-485.
- Widiana, I. G. R., Mahadita, G. W., Samsu, N., & Muzasti, R. A. (2025). *Systematic Review dan Meta Analysis*. Malang: MNC Publishing.
- Wulandari, N. K. P., Ernawati, N. M., & Saraswati, N. L. G. R. A. (2024). Estimasi Total Simpanan Karbon Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk, Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3), 424-436  
<https://doi.org/10.14710/buloma.v13i3.63104>
- Yanuar, F., Samadi, S., & Muzani, M. (2023). Penyerapan *Blue Carbon* di Ekosistem Mangrove Kepulauan Seribu, DKI Jakarta Berbasis *Environment Equity*. *JIIIP : Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(12), 10430-10437.  
<https://doi.org/10.54371/jiip.v6i12.2884>
- ZA, S. A., Puna, S. H., Lestariningsih, W. A., & Rahman, I. (2024). Perbandingan Jumlah Cadangan Karbon Mangrove *Aboveground* dan *Belowground* di Gili Petagan, Sambia, Lombok Timur. *Journal of Marine Research*, 13(2), 301-310. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i2.43504>