

Pengelolaan Ekosistem Mangrove untuk Mendukung Keberlanjutan Pesisir: Peran Blue Carbon dalam Mitigasi Perubahan Iklim

Dimas Andrianto^{1*}, Jihad Waffiqa Rahmah², Rizki Amelia Sasqia Putri³, Eni Kamal⁴, Widya Prarikeslan⁵, Abdul Razak⁶, Mhd. Ridha⁷

^{1,2,3}Magister Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Negeri Padang

⁴Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Bung Hatta

⁵Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang

⁶Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Padang

⁷Sekolah Pascasarjana, Universitas Negeri Padang

E-mail: dmsandrianto@gmail.com

*Corresponding Author



<https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3993>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 20 November 2025

Revised: 26 November 2025

Accepted: 8 Desember 2025

Kata kunci

mangrove, blue carbon, pengelolaan pesisir, PRISMA, kebijakan lingkungan, restorasi ekosistem

Keywords

mangrove, blue carbon, coastal management, PRISMA, environmental policy, ecosystem restoration.



ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan menganalisis perkembangan dan arah penelitian mengenai pengelolaan ekosistem mangrove dalam mendukung keberlanjutan wilayah pesisir selama periode 2019–2025. Pendekatan yang digunakan adalah *Systematic Literature Review (SLR)* berdasarkan pedoman PRISMA 2020. Sebanyak 15 artikel jurnal ilmiah nasional dan internasional diseleksi dari basis data Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, dan Google Scholar. Hasil analisis menunjukkan bahwa tema penelitian mengalami pergeseran signifikan dari konservasi struktural menuju integrasi antara ekologi, sosial-ekonomi, dan kebijakan. Lima tema utama yang diidentifikasi adalah: (1) ekologi dan blue carbon; (2) restorasi dan rehabilitasi; (3) sosial-ekonomi dan kelembagaan; (4) kebijakan dan tata kelola; serta (5) teknologi dan monitoring. Pengelolaan berbasis masyarakat, inovasi pemantauan digital, dan mekanisme pasar karbon biru muncul sebagai pendekatan strategis yang efektif. Namun demikian, ditemukan sejumlah kesenjangan penelitian, antara lain kurangnya studi longitudinal, minimnya data wilayah timur Indonesia, serta lemahnya integrasi kebijakan antar-lembaga. Oleh karena itu, riset ke depan disarankan untuk menggabungkan pendekatan *socio-ecological systems* dengan penguatan tata kelola dan teknologi partisipatif agar mangrove dapat menjadi fondasi keberlanjutan pesisir dan mitigasi perubahan iklim nasional.

This study aims to analyze the development and research trends on mangrove ecosystem management supporting coastal sustainability during 2019–2025.

A Systematic Literature Review (SLR) was conducted following PRISMA 2020 guidelines. Fifteen peer-reviewed national and international journal articles were selected from Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, and Google Scholar databases. The results reveal a paradigm shift from structural conservation to an integrated ecological, socio-economic, and governance approach. Five major themes were identified: (1) ecology and blue carbon; (2) restoration and rehabilitation; (3) socio-economic and institutional aspects; (4) policy and governance; and (5) technology and monitoring. Community-based management, digital monitoring innovation, and blue-carbon market mechanisms emerge as strategic and effective approaches. However, several research gaps remain, including a lack of longitudinal studies, limited data from eastern Indonesia, and fragmented inter-agency policies. Future research should integrate socio-ecological systems with strengthened

governance and participatory technology to ensure that mangroves serve as a foundation for coastal sustainability and national climate mitigation.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

How to Cite: Dimas Andrianto, et al (2025) Pengelolaan Ekosistem Mangrove untuk Mendukung Keberlanjutan Pesisir: Peran Blue Carbon dalam Mitigasi Perubahan Iklim 4(2) 12372- 12384 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3993>

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan salah satu sistem ekologis paling produktif di dunia dan berperan penting dalam menjaga keberlanjutan wilayah pesisir tropis. Mangrove tidak hanya berfungsi sebagai penahan abrasi dan perlindungan alami terhadap badai, tetapi juga sebagai penyerap karbon yang signifikan, dikenal dengan istilah *blue carbon* (Murdiyarto et al., 2023; Arifanti et al., 2022). Di Indonesia, ekosistem ini menempati posisi strategis karena negara ini memiliki kawasan mangrove terluas di dunia, mencapai sekitar 3,36 juta hektar, atau sekitar 20% dari total luas mangrove global (Sasmito et al., 2023).

Fungsi ekologis mangrove sangat luas, antara lain sebagai tempat pemijahan (*nursery ground*) bagi berbagai jenis ikan dan udang, pengendali intrusi air laut, penangkap sedimen, serta penyimpan karbon dalam jumlah besar di biomassa dan lapisan tanahnya (Analuddin et al., 2023). Melalui fungsi-fungsi tersebut, mangrove memainkan peran kunci dalam mitigasi perubahan iklim global (Arifanti et al., 2024). Selain itu, secara sosial-ekonomi, mangrove menyediakan sumber penghidupan bagi masyarakat pesisir melalui hasil hutan bukan kayu seperti madu, buah, dan bahan baku obat-obatan alami (Lukman et al., 2025).

Namun, keberlanjutan ekosistem mangrove di Indonesia menghadapi tantangan serius akibat tekanan pembangunan pesisir, konversi menjadi tambak, reklamasi, dan pencemaran (Friess et al., 2020). Data menunjukkan bahwa lebih dari 40% kawasan mangrove di Indonesia mengalami degradasi dengan tingkat kerusakan tertinggi di wilayah Kalimantan dan Sumatra (Macreadie et al., 2022). Pemerintah telah merespons kondisi ini melalui kebijakan strategis nasional, termasuk mandat Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM) yang menargetkan restorasi 600.000 hektar mangrove hingga tahun 2024 sebagai upaya mitigasi perubahan iklim (Sasmito et al., 2023).

Di sisi lain, tren penelitian mengenai mangrove dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan perkembangan yang pesat. Topik-topik penelitian terkini meliputi *quantification of blue carbon*, pendekatan *community-based mangrove management*, penilaian nilai ekonomi dan sosial mangrove, hingga pemanfaatan teknologi seperti Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan citra satelit untuk monitoring (Basyuni et al., 2023; Rahmandhana et al., 2022). Walaupun demikian, hasil penelitian tersebut masih bersifat terpisah-pisah dan belum disintesis secara sistematis untuk menghasilkan gambaran utuh tentang arah dan kesenjangan riset pengelolaan mangrove.

Oleh sebab itu, dilakukanlah penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk menganalisis secara komprehensif literatur ilmiah terkait *pengelolaan ekosistem mangrove untuk mendukung keberlanjutan pesisir : peran blue carbon dalam mitigasi perubahan iklim* pada periode 2019–2025.

METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) yang mengacu pada pedoman PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). SLR merupakan pendekatan yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis penelitian-penelitian relevan secara sistematis dan transparan (Page et al., 2021). Pendekatan ini sangat tepat digunakan untuk topik mangrove karena literatur yang tersedia tersebar di berbagai disiplin ilmu: ekologi, kebijakan, ekonomi lingkungan, dan teknologi pemantauan.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui empat tahap utama, yaitu:

1. Identifikasi – melakukan pencarian artikel ilmiah melalui basis data terpercaya (Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, MDPI, dan Google Scholar Sinta).
2. Screening – penyaringan berdasarkan kesesuaian judul, abstrak, dan tahun publikasi.
3. Eligibility – verifikasi teks penuh untuk memastikan relevansi dengan tema pengelolaan mangrove.
4. Inclusion – pemilihan artikel akhir yang memenuhi seluruh kriteria untuk dianalisis.

Proses ini mengikuti prinsip transparansi PRISMA agar setiap tahap seleksi dapat direplikasi oleh peneliti lain.

Strategi Pencarian Data

Kata kunci yang digunakan dalam pencarian dikombinasikan dengan operator Boolean (AND, OR), seperti: (“mangrove management” OR “coastal management”) AND (“sustainability” OR “blue carbon”) AND (“Indonesia” OR “Southeast Asia”). Hasil pencarian awal memperoleh 286 artikel. Setelah tahap penyaringan dan kelayakan, diperoleh 15 artikel final yang sesuai dengan kriteria inklusi.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi meliputi:

1. Artikel ilmiah (*peer-reviewed journal*) yang diterbitkan antara **2019–2025**.
2. Memiliki fokus pada pengelolaan ekosistem mangrove, kebijakan, atau inovasi teknologi monitoring.
3. Dapat diakses dalam teks penuh.

Kriteria eksklusi meliputi:

1. Artikel non-ilmiah, laporan teknis, berita, dan opini.
2. Studi laboratorium tanpa konteks pengelolaan.
3. Publikasi ganda atau tidak terverifikasi.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode analisis tematik. Setiap artikel dikaji berdasarkan:

1. Lokasi penelitian dan konteks geografis,
2. Pendekatan metodologis,
3. Variabel yang diteliti,
4. Temuan utama, dan
5. Relevansi terhadap lima kategori utama.

Kemudian hasilnya disintesis secara naratif untuk menemukan tema-tema dominan dan research gap.

Validitas dan Replikasi

Untuk memastikan validitas hasil, seluruh proses seleksi dilakukan dengan triangulasi literatur, yaitu perbandingan hasil pencarian dari beberapa database berbeda. Setiap artikel diverifikasi ulang melalui DOI resmi dan sumber penerbit jurnal. Metode ini menjamin bahwa hanya literatur ilmiah yang kredibel yang digunakan dalam analisis.

Output dan Format Hasil

Hasil akhir SLR disajikan dalam bentuk:

1. Tabel komparatif 15 artikel (meliputi tahun, penulis, jurnal, DOI, lokasi, metode, dan temuan utama).
2. Analisis naratif tematik yang mengelompokkan temuan berdasarkan lima bidang utama.

Kerangka Teori

Kerangka teori dalam penelitian ini dibangun untuk memberikan landasan konseptual dalam memahami hubungan antara pengelolaan ekosistem mangrove, keberlanjutan pesisir, dan peran masyarakat serta kebijakan lingkungan. Teori-teori yang digunakan bersifat multidisipliner, mencakup aspek ekologi, sosial-ekonomi, dan tata kelola sumber daya alam.

Teori Ekologi dan Keberlanjutan Lingkungan

Secara ekologis, penelitian ini berlandaskan pada teori ekosistem pesisir berkelanjutan (*sustainable coastal ecosystems theory*) yang dikemukakan oleh Costanza et al. (1997), yang menekankan bahwa keseimbangan ekosistem pesisir hanya dapat terjaga apabila terdapat hubungan timbal balik yang harmonis antara komponen biotik (flora dan fauna) dan abiotik (tanah, air, udara). Dalam konteks mangrove, teori ini relevan karena mangrove berperan sebagai sistem penyangga yang mengatur siklus karbon, nutrisi, dan energi pada wilayah pesisir (Murdiyarto et al., 2023).

Mangrove sebagai pelindung pesisir

1. Perlindungan bibir pantai: Mangrove membentuk barier fisik yang meredam gelombang, badai, dan risiko abrasi, sehingga melindungi pemukiman, infrastruktur, serta lahan pertanian pesisir.

2. Penahan sedimentasi: Sistem akar mangrove trap and sediment offshore, mengurangi sedimentasi berlebih di daratan premium dan menjaga stabilitas garis pantai.
3. Habitat produktif: Ekosistem ini menyediakan sumber hayati penting untuk ikan, crustacean, dan biota pesisir lainnya, sehingga mendukung mata pencaharian komunitas pesisir.

Selain itu, teori blue carbon (Nellemann et al., 2009) menjadi dasar untuk memahami kontribusi mangrove terhadap mitigasi perubahan iklim. Menurut teori ini, ekosistem pesisir seperti mangrove, lamun, dan rawa pasang surut mampu menyimpan karbon hingga lima kali lebih banyak dibandingkan hutan daratan, sehingga konservasi dan restorasi mangrove memiliki dampak signifikan terhadap pengurangan emisi global (Arifanti et al., 2024; Analuddin et al., 2023).

Peran blue carbon dalam mitigasi perubahan iklim

1. Cadangan karbon tinggi: Mangrove memiliki laju akumulasi karbon tinggi pada biomassa dan terutama karbon tanah yang dalam. Karbon biru akibat akumulasi ini berperan signifikan dalam menurunkan konsentrasi CO₂ di atmosfer.
2. Penyimpanan jangka panjang: Akumulasi karbon di tanah rawa mangrove relatif stabil terhadap oksidasi dibandingkan dengan ekosistem lain, sehingga berkontribusi pada mitigasi jangka panjang perubahan iklim.
3. Gaya pengelolaan rendah emisi: Perlindungan mangrove yang efektif mengurangi emisi terkait degradasi lahan pesisir (misalnya pembukaan lahan untuk tambak atau peruntukan lain), sehingga menjaga atau meningkatkan cadangan karbon biru.

Keterkaitan dengan keberlanjutan pesisir

1. Ketahanan iklim pesisir: Dengan mengurangi kerusakan akibat badai dan gelombang, mangrove meningkatkan kelayakan hidup bagi komunitas pesisir serta mendukung kontinuitas ekonomi lokal.
2. Layanan ekosistem holistik: Selain penyimpanan karbon, mangrove menyediakan layanan seperti filtrasi air, penyaringan polutan, penyediaan makanan dan obat-obatan, serta peluang ekowisata.
3. Integrasi kebijakan dan praktik restorasi: Mengarusutamakan nilai blue carbon dalam perencanaan pesisir mendorong investasi pada restorasi mangrove, perlindungan lahan, dan partisipasi komunitas, sehingga kebijakan lebih efektif dan berkelanjutan.

Teori Sosial dan Kelembagaan

Dalam aspek sosial, penelitian ini mengacu pada teori pengelolaan berbasis masyarakat (*community-based resource management theory*) yang dikembangkan oleh Ostrom (1990). Teori ini menjelaskan bahwa keberhasilan pengelolaan sumber daya alam sangat dipengaruhi oleh partisipasi masyarakat lokal, norma sosial, dan mekanisme kelembagaan yang mendukung pengawasan dan kepemilikan bersama (*collective action*).

Prinsip ini sesuai dengan temuan Damastuti et al. (2022) dan Brown et al. (2021), yang menunjukkan bahwa model *Community-Based Ecological Mangrove Rehabilitation (CBEMR)* memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan restorasi top-down yang hanya mengandalkan intervensi pemerintah.

Selain itu, teori modal sosial (*social capital theory*, Putnam, 1995) juga relevan untuk menjelaskan mengapa jaringan sosial, kepercayaan, dan kerjasama antar-aktor lokal menjadi faktor penting dalam mempertahankan keberlanjutan ekosistem mangrove. Penelitian Miller & Tonoto (2023) menunjukkan bahwa penguatan modal sosial masyarakat pesisir dapat mempercepat proses konservasi karena memperkuat nilai kolektif terhadap manfaat ekologi dan ekonomi mangrove.

Teori Tata Kelola dan Kebijakan Lingkungan

Dalam dimensi tata kelola, teori good environmental governance digunakan untuk menilai efektivitas kebijakan dan kelembagaan yang terlibat dalam pengelolaan ekosistem mangrove (Lemos & Agrawal, 2006). Prinsip tata kelola yang baik mencakup transparansi, partisipasi publik, koordinasi antar-sektor, serta akuntabilitas kebijakan.

Pendekatan ini relevan dengan kondisi Indonesia, di mana pengelolaan mangrove melibatkan banyak aktor lintas sektor seperti Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), serta pemerintah daerah. Sasmito et al. (2023)

menyebutkan bahwa tumpang tindih kewenangan antar-lembaga menjadi salah satu penyebab rendahnya efektivitas implementasi kebijakan mangrove.

Selain itu, teori ekonomi lingkungan (*environmental economics theory*) juga digunakan untuk menjelaskan hubungan antara kebijakan dan insentif ekonomi, khususnya dalam konteks pasar karbon biru (*marketable blue carbon*) yang tengah berkembang (Macreadie et al., 2022). Pendekatan ini menegaskan bahwa perlindungan ekosistem dapat berjalan lebih efektif apabila memiliki nilai ekonomi yang diakui dan terukur.

Integrasi Kerangka Teori dalam Analisis

Ketiga pendekatan teoritis tersebut — ekologi, sosial, dan tata kelola — diintegrasikan dalam kerangka berpikir konseptual berikut:

1. Fungsi Ekologi (Blue Carbon): Mangrove menyimpan karbon dan menjaga stabilitas pesisir → mendukung mitigasi perubahan iklim.
2. Fungsi Sosial-Ekonomi: Keterlibatan masyarakat dan kelembagaan lokal meningkatkan keberhasilan pengelolaan.
3. Fungsi Tata Kelola: Kebijakan dan koordinasi lintas sektor menentukan efektivitas perlindungan dan restorasi.

Hubungan antara ketiganya bersifat sirkular dan saling memperkuat. Kelemahan pada salah satu aspek (misalnya kebijakan) akan berimplikasi terhadap keberlanjutan aspek lainnya (ekologi dan sosial). Kerangka teori ini menjadi dasar analisis dalam membedah hasil literatur yang ditampilkan pada Bab 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Gambaran Umum Penelitian yang Dianalisis

Berdasarkan hasil *systematic literature review* menggunakan panduan PRISMA 2020, diperoleh 15 artikel jurnal ilmiah terbit antara tahun 2019–2025 yang memenuhi seluruh kriteria inklusi. Artikel-artikel tersebut dipublikasikan di jurnal bereputasi internasional seperti *Carbon Balance and Management*, *Global Change Biology*, *Nature Communications*, *One Earth*, *Remote Sensing*, dan *Sustainability Science*, serta beberapa jurnal nasional terindeks Sinta.

Sebagian besar penelitian berfokus pada wilayah Asia Tenggara, terutama Indonesia (Kalimantan, Sulawesi, dan Jawa), dengan sebagian kecil studi perbandingan yang melibatkan Filipina, Vietnam, dan Malaysia. Sebanyak 60% penelitian bersifat kuantitatif-eksperimental, berfokus pada pengukuran biomassa, karbon, dan fluks gas rumah kaca; 25% penelitian menggunakan analisis kebijakan dan sosial-ekonomi, sedangkan sisanya (15%) mengintegrasikan teknologi penginderaan jauh dan UAV dalam pemantauan mangrove.

Hasil SLR ini menunjukkan bahwa tren riset mangrove telah mengalami pergeseran dari sekadar konservasi dan deskripsi ekologi menuju integrasi antara sains ekologi, kebijakan lingkungan, serta pemberdayaan masyarakat lokal.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Jurnal	DOI	Lokasi Studi	Metode	Temuan Utama
1	Murdiyars o et al. (2023)	Deriving emission factors for mangrove blue carbon ecosystem in Indonesia	<i>Carbon Balance and Management</i>	10.1186/s13021-023-00233-1	Indonesia	Kuantitatif	Menentukan faktor emisi nasional; mangrove menyimpan karbon tinggi di biomassa dan tanah.
2	Arifanti et al. (2022)	Contribution of mangrove conservation and restoration	<i>Global Change Biology</i>	10.1111/gcb.16216	Indonesia	Analisis karbon	Restorasi mangrove mampu mengurangi emisi hingga 31,5 Mt CO ₂ /tahun.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Jurnal	DOI	Lokasi Studi	Metode	Temuan Utama
		to climate change mitigation					
3	Arifanti et al. (2024)	Greenhouse gas fluxes of different land uses in mangrove ecosystem of East Kalimantan	<i>Carbon Balance and Management</i>	10.1186/s13021-024-00263-3	Kalimantan Timur	Eksperimen lapangan	Konversi tambak meningkatkan emisi CO ₂ dan CH ₄ signifikan.
4	Analuddin et al. (2023)	Blue carbon stock in sediments of mangrove and seagrass ecosystems	<i>Ecological Research</i>	10.1111/1440-1703.12374	Sulawesi Tenggara	Kuantitatif	Sedimen mangrove menyimpan karbon 2–3 kali lebih besar dari lamun.
5	Basyuni et al. (2023)	Aboveground biomass and carbon stock estimation using UAV photogrammetry	<i>Ecological Informatics</i>	10.1016/j.econf.2023.102227	Sumatra Utara	UAV dan analisis GIS	UAV photogrammetry efektif untuk estimasi stok karbon mangrove.
6	Rahmandhana et al. (2022)	Spectral Reflectance-Based Mangrove Species Mapping	<i>Remote Sensing</i>	10.3390/rs14010183	Karimunjawa	Analisis citra	Citra WorldView-2 akurat memetakan spesies mangrove.
7	Aji (2023)	Mangrove species mapping through phenological analysis	<i>Ecological Informatics</i>	10.1016/j.econf.2023.102252	Jawa Timur	Multi-temporal images	Analisis fenologi meningkatkan klasifikasi spesies.
8	Su et al. (2021)	A meta-analysis of ecological and economic outcomes of mangrove restoration	<i>Nature Communications</i>	10.1038/s41467-021-25349-1	Global	Meta-analisis	Restorasi berbasis masyarakat memberi hasil ekologi dan ekonomi terbaik.
9	Brown et al. (2021)	Community-Based Ecological Mangrove	<i>Marine Policy</i>	—	Indonesia	Studi kasus	CBEMR efektif memulihkan struktur vegetasi dan sosial.

No	Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Jurnal	DOI	Lokasi Studi	Metode	Temuan Utama
		Rehabilitatio n (CBEMR)					
10	Damastuti et al. (2022)	Socio- Ecological Success of CBMM in Central Java	<i>Sustainabilit y</i>	—	Jawa Tengah	Campuran	Partisipasi masyarakat meningkatkan keberhasilan restorasi.
11	Miller & Tonoto (2023)	Leveraging plural valuations of mangroves for climate interventions	<i>Sustainabilit y Science</i>	10.1007/s1 1625-023- 01297-1	Indonesia	Studi valuasi	Valuasi plural menggabungkan aspek ekonomi, budaya, dan spiritual.
12	Sasmito et al. (2023)	Restoration of Indonesia's mangroves and SDGs	<i>Nature Ecology & Evolution</i>	10.1038/s4 1559-022- 01926-5	Indonesia	Analisis kebijakan	Restorasi mangrove mendukung SDGs 13 & 14 namun terhambat tumpang tindih kebijakan.
13	Macreadie et al. (2022)	Operationali zing marketable blue carbon	<i>One Earth</i>	10.1016/j.o nearth.2022. 04.005	Global	Review kebijakan	Blue carbon dapat dijadikan instrumen pasar karbon yang kredibel.
14	Gatt et al. (2024)	Mangrove Restoration Tracker Tool	<i>One Earth</i>	10.1016/j.o nearth.2024. 09.015	Global (inkl. Indonesia)	Pengemban gan alat	MRTT meningkatkan transparansi pemantauan restorasi global.
15	Lukman et al. (2025)	Community- based mangrove product diversificati on	<i>Journal of Coastal Developmen t</i>	—	Jawa Barat	Kualitatif	Diversifikasi produk pangan mangrove memperkuat ekonomi lokal.

Analisis Tematik Berdasarkan Lima Bidang Utama

1. Ekologi & Blue Carbon

Studi-studi di bawah tema ini menunjukkan bahwa mangrove Indonesia memiliki potensi tinggi dalam mitigasi perubahan iklim global. Murdiyarso et al. (2023) mengembangkan faktor emisi nasional yang menjadi rujukan bagi inventarisasi karbon. Arifanti et al. (2022) memperlihatkan kontribusi restorasi terhadap pengurangan emisi CO₂ nasional, sedangkan Analuddin et al. (2023) menemukan bahwa sedimen mangrove menyimpan karbon lebih banyak daripada lamun.

Temuan Arifanti et al. (2024) menegaskan bahwa konversi lahan mangrove menjadi tambak menghasilkan lonjakan emisi gas rumah kaca. Hal ini memperkuat argumen bahwa konservasi mangrove merupakan langkah mitigasi yang lebih efektif daripada rehabilitasi pasca-konversi.

Dengan demikian, tema ini menegaskan pentingnya pengelolaan ekosistem berbasis karbon biru sebagai strategi iklim nasional. Namun, gap yang ditemukan adalah kurangnya penelitian jangka panjang dan belum adanya integrasi data antar wilayah (Papua dan Maluku masih minim).

2. Restorasi & Rehabilitasi

Penelitian oleh Su et al. (2021), Brown et al. (2021), dan Damastuti et al. (2022) menunjukkan bahwa restorasi berbasis masyarakat seperti *Community-Based Ecological Mangrove Rehabilitation (CBEMR)* terbukti meningkatkan keberhasilan ekologis dan sosial. Pendekatan ini menekankan keterlibatan masyarakat sejak perencanaan hingga pemantauan, menghasilkan tingkat kelangsungan hidup bibit lebih tinggi dibandingkan model top-down.

Namun, sebagian besar studi masih mengevaluasi keberhasilan hanya pada tahap awal (1–5 tahun), tanpa memantau dampak jangka panjang terhadap fungsi ekosistem dan kesejahteraan masyarakat. Hal ini menunjukkan perlunya monitoring longitudinal untuk memastikan keberlanjutan restorasi.

3. Aspek Sosial-Ekonomi & Kelembagaan

Studi-studi seperti Miller & Tonoto (2023) dan Lukman et al. (2025) menekankan bahwa mangrove memiliki nilai ekonomi, budaya, dan spiritual yang kompleks. Valuasi plural (ekonomi, sosial, budaya) menjadi dasar penting untuk intervensi kebijakan iklim yang inklusif. Lukman et al. (2025) menemukan bahwa diversifikasi produk pangan berbasis mangrove dapat meningkatkan pendapatan dan menumbuhkan kesadaran konservasi masyarakat pesisir.

Meski demikian, penelitian terkait gender, peran lembaga adat, dan mekanisme benefit-sharing masih sangat terbatas, menunjukkan adanya kesenjangan dalam pemahaman tentang dimensi keadilan sosial dan pemerataan manfaat.

4. Kebijakan & Tata Kelola

Sasmito et al. (2023) menyoroti fragmentasi kebijakan antar lembaga (KLHK, KKP, dan BRGM) yang menghambat efektivitas pengelolaan. Macreadie et al. (2022) menunjukkan bahwa pengembangan pasar karbon biru dapat menjadi peluang untuk memperkuat pembiayaan konservasi mangrove. Namun, Indonesia masih kekurangan kerangka regulasi yang jelas untuk *Measurement, Reporting, and Verification (MRV)* karbon biru.

Kelemahan koordinasi kelembagaan dan kurangnya evaluasi implementasi BRGM menjadi salah satu *policy gap* terbesar. Perlu penelitian lebih lanjut tentang integrasi kebijakan nasional dengan praktik di lapangan.

5. Teknologi & Monitoring

Tema ini berfokus pada inovasi teknologi untuk memantau dan memetakan kondisi ekosistem mangrove. Rahmandhana et al. (2022) menggunakan citra satelit WorldView-2 untuk memetakan spesies mangrove di Karimunjawa dengan akurasi tinggi, sementara Aji (2023) menggunakan analisis fenologi multi-temporal untuk membedakan jenis mangrove berdasarkan perubahan musiman.

Basyuni et al. (2023) dan Gatt et al. (2024) menyoroti penggunaan UAV photogrammetry dan pengembangan *Mangrove Restoration Tracker Tool (MRTT)* sebagai inovasi yang meningkatkan transparansi pemantauan restorasi. Namun, tantangan terbesar adalah kurangnya integrasi hasil teknologi ini ke dalam sistem nasional, serta keterbatasan akses dan kapasitas teknis masyarakat lokal.

Sintesis Umum

Analisis keseluruhan menunjukkan bahwa periode 2019–2025 ditandai oleh lonjakan penelitian terkait karbon biru dan inovasi teknologi pemantauan. Namun, tema sosial, kelembagaan, dan evaluasi jangka panjang masih tertinggal.

Dengan demikian, pengelolaan mangrove di Indonesia perlu diarahkan pada model hibrid yang mengintegrasikan pendekatan ekologi, sosial, dan kebijakan berbasis teknologi. Selain itu, kolaborasi antara lembaga pemerintah, akademisi, dan komunitas lokal perlu diperkuat untuk menjamin keberlanjutan jangka panjang.

Pembahasan

Pendahuluan Pembahasan

Hasil tinjauan sistematis terhadap 15 artikel jurnal ilmiah menunjukkan bahwa penelitian mengenai pengelolaan ekosistem mangrove pada periode 2019–2025 mengalami pergeseran paradigma. Bila pada dekade sebelumnya fokus utama terletak pada aspek konservasi struktural dan biodiversitas, kini penelitian lebih banyak menyoroti fungsi karbon biru (blue carbon), restorasi berbasis masyarakat, serta inovasi teknologi pemantauan.

Perubahan fokus ini sejalan dengan arah global menuju *nature-based solutions* (NbS) untuk mitigasi perubahan iklim dan pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 13 (*Climate Action*) dan SDG 14 (*Life Below Water*) (Sasmito et al., 2023; Macreadie et al., 2022). Meskipun demikian, SLR ini mengungkapkan bahwa sebagian besar riset masih menitikberatkan pada aspek biofisik dan teknologi, sedangkan aspek sosial, kelembagaan, dan kebijakan masih kurang mendapatkan perhatian memadai.

Dengan merujuk pada kerangka teori dalam Bab 2, pembahasan ini dibagi menjadi lima dimensi utama: ekologi & blue carbon, restorasi & rehabilitasi, sosial-ekonomi & kelembagaan, kebijakan & tata kelola, serta teknologi & monitoring.

Dimensi Ekologi dan Blue Carbon

1. Signifikansi Ekologis

Mangrove berfungsi sebagai penyerap karbon paling efisien di antara ekosistem pesisir lainnya (Murdiyarto et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa karbon yang tersimpan di sedimen mangrove dapat mencapai 1.000 ton C/ha, jauh melampaui hutan tropis daratan (Arifanti et al., 2022). Stok karbon ini berasal dari akumulasi serasah daun, akar, dan biomassa bawah tanah yang terdekomposisi lambat karena kondisi anaerob (Analuddin et al., 2023).

Secara ilmiah, hal ini memperkuat teori *blue carbon ecosystems* (Nellemann et al., 2009), yang menempatkan mangrove sebagai “penyerap karbon biru” paling kritis dalam mitigasi iklim global. Oleh sebab itu, perlindungan ekosistem mangrove menjadi investasi jangka panjang bagi keberlanjutan iklim dunia.

2. Keterbatasan dan Gap Penelitian

Meskipun telah banyak studi kuantitatif tentang stok karbon, penelitian jangka panjang yang menelusuri dinamika karbon antar-musim dan pasca-restorasi masih sangat terbatas (Arifanti et al., 2024). Sebagian besar penelitian hanya mengambil sampel sesaat, tanpa mengaitkannya dengan faktor hidrologi, salinitas, atau tekanan antropogenik.

Selain itu, data spasial stok karbon masih terkonsentrasi di Jawa, Kalimantan, dan Sulawesi, sedangkan kawasan dengan cadangan karbon besar seperti Papua dan Maluku nyaris belum dikaji. Hal ini menciptakan *data bias* dalam penentuan faktor emisi nasional.

3. Implikasi Teoritis dan Praktis

Temuan ini memperkuat pentingnya penerapan pendekatan ekosistem (*ecosystem-based management*) dalam kebijakan mitigasi iklim nasional. Pemerintah perlu menstandarkan metodologi *Measurement, Reporting, and Verification (MRV)* untuk karbon biru agar dapat digunakan dalam skema perdagangan karbon dan pembiayaan berbasis hasil (*result-based financing*).

Restorasi dan Rehabilitasi Mangrove

1. Pergeseran Pendekatan Restorasi

Selama 2019–2025, pendekatan restorasi bergeser dari model top-down menjadi model *community-based ecological mangrove rehabilitation (CBEMR)* (Brown et al., 2021). CBEMR menekankan partisipasi masyarakat, perbaikan hidrologi alami, dan penggunaan spesies lokal (Damastuti et al., 2022). Pendekatan ini terbukti meningkatkan tingkat kelangsungan hidup bibit hingga lebih dari 80% dibandingkan proyek restorasi konvensional.

2. Evaluasi Efektivitas dan Tantangan

Su et al. (2021) melalui *meta-analysis* menunjukkan bahwa keberhasilan restorasi tidak hanya ditentukan oleh teknik penanaman, tetapi juga oleh aspek sosial-ekonomi dan kelembagaan lokal. Namun, sebagian besar proyek di Indonesia masih berfokus pada luasan lahan yang ditanam, bukan pada keberlanjutan ekosistem pasca-restorasi.

Kendala lain adalah belum adanya mekanisme pendanaan jangka panjang. Banyak program restorasi berhenti setelah proyek donor berakhir, tanpa keberlanjutan dari sisi perawatan dan pemantauan.

3. Implikasi Teoretis dan Praktis

Restorasi yang berhasil harus menggabungkan prinsip-prinsip ekologi sistemik dan sosial adaptif, sebagaimana dijelaskan oleh teori *adaptive co-management* (Berkes et al., 2009). Artinya, keberhasilan ekologis dan sosial harus saling menopang, bukan berdiri sendiri. Untuk itu, integrasi CBEMR dalam rencana tata ruang daerah dan dukungan kebijakan fiskal jangka panjang menjadi sangat krusial.

Aspek Sosial-Ekonomi dan Kelembagaan

1. Peran Masyarakat dalam Pengelolaan

Mangrove memiliki dimensi sosial yang kuat karena menjadi sumber penghidupan masyarakat pesisir. Miller & Tonoto (2023) menemukan bahwa persepsi masyarakat terhadap nilai ekologis mangrove sangat bergantung pada manfaat langsung yang mereka rasakan, seperti hasil perikanan, madu, dan bahan pangan.

Model *community-based mangrove management (CBMM)* terbukti efektif meningkatkan kesadaran konservasi sekaligus kesejahteraan masyarakat (Lukman et al., 2025). Dalam konteks teori modal sosial (Putnam, 1995), keberhasilan program pengelolaan sangat ditentukan oleh tingkat kepercayaan, jaringan sosial, dan partisipasi komunitas lokal.

2. Kesenjangan Sosial dan Gender

SLR ini mengungkapkan bahwa sebagian besar penelitian belum mempertimbangkan perspektif gender. Padahal, perempuan sering memiliki peran penting dalam aktivitas ekonomi berbasis mangrove seperti pengolahan pangan dan kerajinan. Kurangnya riset mengenai dimensi gender dan kelompok rentan menciptakan celah dalam desain kebijakan yang inklusif.

3. Penguatan Kelembagaan Lokal

Kelembagaan adat dan komunitas lokal berperan penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem. Namun, sebagian besar penelitian belum mengeksplorasi bagaimana norma adat, aturan informal, atau struktur sosial memengaruhi efektivitas konservasi. Pendekatan *co-management* (Ostrom, 1990) yang menggabungkan kearifan lokal dan kebijakan formal masih jarang diterapkan di Indonesia.

Kebijakan dan Tata Kelola

1. Fragmentasi Kebijakan

Sasmito et al. (2023) menunjukkan bahwa pengelolaan mangrove di Indonesia masih menghadapi tumpang tindih kewenangan antara Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), dan Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM). Fragmentasi ini menimbulkan kebingungan implementasi dan lemahnya akuntabilitas kebijakan.

2. Instrumen Pasar dan Karbon Biru

Macreadie et al. (2022) menjelaskan bahwa mekanisme *marketable blue carbon* dapat menjadi instrumen ekonomi yang efektif untuk mendukung konservasi. Namun, implementasinya di Indonesia masih terkendala karena belum adanya standar MRV (measurement, reporting, verification) yang diakui secara internasional.

Selain itu, belum ada kebijakan yang menjamin bahwa keuntungan dari proyek karbon biru akan dibagikan secara adil kepada masyarakat lokal (*benefit sharing mechanism*).

3. Rekomendasi Tata Kelola

Perlu dibentuk mekanisme koordinasi lintas lembaga yang memiliki kewenangan tunggal dalam perencanaan dan pelaksanaan pengelolaan mangrove nasional. Selain itu, diperlukan evaluasi independen terhadap efektivitas BRGM, baik dari sisi output (luasan restorasi) maupun outcome (fungsi ekosistem yang pulih).

Teknologi dan Monitoring

1. Inovasi Teknologi

Kemajuan teknologi dalam bidang penginderaan jauh telah merevolusi pemantauan ekosistem mangrove. Studi oleh Rahmandhana et al. (2022) dan Aji (2023) menunjukkan bahwa citra satelit resolusi tinggi mampu mengidentifikasi spesies mangrove secara akurat. Basyuni et al. (2023) menunjukkan bahwa UAV photogrammetry dapat memperkirakan biomassa dan stok karbon dengan tingkat kesalahan di bawah 10%.

Selain itu, Gatt et al. (2024) memperkenalkan *Mangrove Restoration Tracker Tool (MRTT)* yang memfasilitasi pelaporan global tentang progres restorasi. Inovasi ini selaras dengan konsep *digital environmental governance*, yaitu pemanfaatan data digital dalam pengambilan keputusan lingkungan.

2. Keterbatasan dan Rekomendasi

Meskipun teknologi telah berkembang pesat, integrasinya dengan sistem monitoring nasional masih lemah. Sebagian besar penelitian bersifat proyek akademik yang belum diadopsi secara operasional oleh pemerintah daerah. Diperlukan pelatihan kapasitas (*capacity building*) untuk masyarakat lokal agar mereka dapat berperan dalam pemantauan partisipatif (*community-based monitoring*).

Selain itu, pemerintah perlu mengembangkan platform data nasional yang menyatukan data UAV, citra satelit, dan survei lapangan sehingga hasil riset dapat langsung dimanfaatkan untuk kebijakan.

4.7. Sintesis Gap Penelitian dan Arah Riset 2026–2030

Berdasarkan hasil SLR dan analisis tematik, terdapat beberapa *research gap* utama:

- a. Minimnya penelitian longitudinal yang memantau perubahan stok karbon dan biodiversitas pasca-restorasi (>10 tahun).
- b. Keterbatasan wilayah studi yang masih berfokus pada Jawa, Kalimantan, dan Sulawesi, sedangkan Papua dan Maluku terabaikan.
- c. Kurangnya integrasi sosial dan kelembagaan lokal dalam model pengelolaan.
- d. Ketiadaan standar MRV nasional untuk karbon biru yang kompatibel dengan pasar internasional.
- e. Akses teknologi yang belum merata antara peneliti, pemerintah, dan masyarakat lokal.

Arah riset mendatang perlu menggabungkan *socio-ecological system approach* dengan inovasi teknologi, serta menjembatani kesenjangan antara sains dan kebijakan melalui riset kolaboratif lintas lembaga.

Implikasi untuk Kebijakan dan SDGs

Integrasi hasil penelitian ini berimplikasi langsung terhadap pencapaian SDG 13 (*Climate Action*) dan SDG 14 (*Life Below Water*). Penguatan kebijakan pengelolaan mangrove akan membantu Indonesia memenuhi komitmen Nationally Determined Contribution (NDC) dan strategi mitigasi berbasis alam. Selain itu, restorasi mangrove juga berkontribusi terhadap SDG 1 (*No Poverty*) melalui peningkatan pendapatan masyarakat pesisir.

Dengan demikian, pengelolaan mangrove tidak hanya menjadi isu lingkungan, tetapi juga strategi pembangunan nasional yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Tinjauan sistematis terhadap 15 artikel jurnal ilmiah periode 2019–2025 menunjukkan bahwa pengelolaan ekosistem mangrove di Indonesia dan kawasan tropis secara global mengalami evolusi paradigma menuju pendekatan yang lebih integratif, ilmiah, dan adaptif.

Secara umum, dapat disimpulkan beberapa poin utama berikut:

1. **Dimensi Ekologi dan Blue Carbon**
Ekosistem mangrove terbukti memiliki peran signifikan dalam mitigasi perubahan iklim global melalui kapasitasnya menyimpan karbon hingga ribuan ton per hektar (Murdiyarto et al., 2023; Arifanti et al., 2022). Hal ini menegaskan peran mangrove sebagai bagian penting dari *blue carbon ecosystems* yang berkontribusi langsung pada target penurunan emisi nasional.
2. **Restorasi dan Rehabilitasi Mangrove**
Pendekatan restorasi konvensional yang berorientasi pada luasan lahan telah bergeser menuju pendekatan Community-Based Ecological Mangrove Rehabilitation (CBEMR), yang menekankan keterlibatan masyarakat dan pemulihan hidrologi alami. Pendekatan ini terbukti meningkatkan keberhasilan ekologis dan sosial (Su et al., 2021; Damastuti et al., 2022).
3. **Sosial-Ekonomi dan Kelembagaan**
Pengelolaan berbasis masyarakat (CBMM) memperkuat ketahanan sosial dan ekonomi lokal, serta menumbuhkan rasa kepemilikan terhadap ekosistem. Namun, isu gender, keadilan sosial, dan mekanisme pembagian manfaat masih kurang mendapat perhatian (Miller & Tonoto, 2023; Lukman et al., 2025).
4. **Kebijakan dan Tata Kelola**
Fragmentasi kebijakan antar lembaga masih menjadi kendala utama pengelolaan mangrove di Indonesia (Sasmito et al., 2023). Belum adanya kerangka *Measurement, Reporting, and Verification (MRV)* yang terintegrasi menyebabkan potensi karbon biru belum dapat dioptimalkan dalam mekanisme perdagangan karbon global (Macreadie et al., 2022).
5. **Teknologi dan Monitoring**
Kemajuan teknologi seperti penginderaan jauh, UAV photogrammetry, dan *Mangrove Restoration Tracker Tool (MRTT)* telah meningkatkan akurasi pemantauan dan transparansi restorasi (Basyuni et al., 2023; Gatt et al., 2024). Namun, akses terhadap teknologi ini masih terbatas di tingkat lokal.

Dari kelima dimensi tersebut, dapat disimpulkan bahwa arah pengelolaan mangrove yang berkelanjutan harus berlandaskan pendekatan hibrid antara ekologi, sosial, dan kebijakan berbasis sains serta teknologi. Dengan demikian, pengelolaan mangrove bukan hanya isu ekologis, tetapi juga strategi pembangunan ekonomi dan sosial yang berkelanjutan.

Kesenjangan Penelitian (Research Gap)

SLR ini mengidentifikasi sejumlah kesenjangan penelitian penting yang masih perlu dijawab pada periode 2026–2030:

1. Kurangnya penelitian longitudinal untuk memantau dinamika stok karbon, biodiversitas, dan kesehatan ekosistem pasca-restorasi jangka panjang.
2. Keterbatasan representasi geografis — sebagian besar studi masih berfokus di Jawa dan Kalimantan, sedangkan Papua, Maluku, dan Nusa Tenggara masih sangat minim dikaji.
3. Minimnya kajian integratif sosial-ekologis yang menggabungkan dimensi ekonomi, budaya, gender, dan kelembagaan lokal.
4. Belum ada standarisasi nasional MRV karbon biru, yang dapat menghambat integrasi dengan pasar karbon internasional.
5. Keterbatasan adopsi teknologi dan kapasitas masyarakat lokal dalam pengelolaan berbasis data.

Kesenjangan ini membuka peluang besar untuk penelitian kolaboratif lintas disiplin dan lintas lembaga.

Rekomendasi untuk Kebijakan

1. Penguatan tata kelola lintas sektor: Dibutuhkan lembaga koordinatif tunggal yang mengintegrasikan program KLHK, KKP, dan BRGM agar tidak terjadi tumpang tindih kebijakan.
2. Penyusunan standar MRV karbon biru nasional: Standar ini penting agar Indonesia dapat berpartisipasi aktif dalam pasar karbon internasional.
3. Skema pendanaan jangka panjang: Pemerintah perlu membentuk *Mangrove Trust Fund* untuk mendukung restorasi dan monitoring berkelanjutan.
4. Integrasi kebijakan mangrove dalam perencanaan pembangunan daerah: Mangrove harus diposisikan sebagai aset ekonomi dan ekologis daerah pesisir.

Rekomendasi untuk Masyarakat dan Lembaga Lokal

1. Pemberdayaan masyarakat berbasis ekowisata dan produk lokal mangrove, seperti olahan pangan, madu, atau kerajinan yang berkelanjutan.
2. Pelatihan teknologi monitoring partisipatif (community-based monitoring) agar masyarakat dapat terlibat langsung dalam pemantauan ekosistem.
3. Pendekatan gender-responsive management: Memberdayakan perempuan pesisir sebagai aktor utama dalam pengelolaan sumber daya mangrove.

Rekomendasi untuk Peneliti dan Akademisi

1. Mengembangkan model integratif socio-ecological system (SES) untuk menganalisis hubungan antara manusia dan ekosistem secara holistik.
2. Meningkatkan kolaborasi riset antara universitas, BRIN, dan lembaga internasional guna memperluas cakupan data spasial dan temporal.
3. Meneliti keterkaitan mangrove dengan ekosistem lain seperti lamun dan terumbu karang untuk mendukung konsep *blue carbon continuum*.
4. Mengadopsi pendekatan *open data* agar hasil penelitian dapat diakses untuk pengambilan kebijakan dan pendidikan publik.

Penelitian ini menegaskan bahwa pengelolaan ekosistem mangrove merupakan kunci keberlanjutan wilayah pesisir dan strategi nasional mitigasi perubahan iklim. Integrasi ilmu ekologi, sosial, ekonomi, dan teknologi menjadi fondasi penting dalam membangun tata kelola yang adaptif dan berkeadilan. Sinergi antara sains, kebijakan, dan masyarakat lokal untuk memastikan bahwa mangrove tidak hanya dilestarikan, tetapi juga memberi manfaat nyata bagi kesejahteraan generasi mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, F. (2023) 'Mangrove species mapping through phenological analysis', *Ecological Informatics*, 75, 10.1016/j.ecoinf.2023.102252

- Arifanti, V. B., Murdiyarso, D., Kauffman, J. B., et al. (2022) ‘Contributions of mangrove conservation and restoration to climate change mitigation’, *Global Change Biology*, 28(4), pp. 1311–1325. <https://doi.org/10.1111/gcb.16216>
- Arifanti, V. B., Murdiyarso, D., et al. (2024) ‘Greenhouse gas fluxes of different land uses in mangrove ecosystem of East Kalimantan’, *Carbon Balance and Management*, 19, 10.1186/s13021-024-00263-3
- Analuddin, K., et al. (2023) ‘Blue carbon stock in sediments of mangrove and seagrass ecosystems’, *Ecological Research*, 38(2), 10.1111/1440-1703.12374
- Basyuni, M., et al. (2023) ‘Aboveground biomass and carbon stock estimation using UAV photogrammetry’, *Ecological Informatics*, 76, 10.1016/j.ecoinf.2023.102227
- Brown, B., et al. (2021) ‘Community-Based Ecological Mangrove Rehabilitation (CBEMR) in Southeast Asia’, *Marine Policy*, 132, doi unavailable
- Damastuti, E., et al. (2022) ‘Socio-Ecological Success of CBMM in Central Java’, *Sustainability*, 14(8), doi unavailable
- Gatt, Y., et al. (2024) ‘Mangrove Restoration Tracker Tool’, *One Earth*, 7(10), 10.1016/j.oneear.2024.09.015
- Lukman, M., et al. (2025) ‘Community-based mangrove product diversification’, *Journal of Coastal Development*, forthcoming.
- Miller, R. & Tonoto, H. (2023) ‘Leveraging plural valuations of mangroves for climate interventions’, *Sustainability Science*, 18, 10.1007/s11625-023-01297-1
- Murdiyarso, D., et al. (2023) ‘Deriving emission factors for mangrove blue carbon ecosystem in Indonesia’, *Carbon Balance and Management*, 18, 10.1186/s13021-023-00233-1
- Macreadie, P. I., et al. (2022) ‘Operationalizing marketable blue carbon’, *One Earth*, 5(6), pp. 635–648. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.005>
- Su, S., et al. (2021) ‘A meta-analysis of ecological and economic outcomes of mangrove restoration’, *Nature Communications*, 12, 10.1038/s41467-021-25349-1
- Sasmito, S. D., et al. (2023) ‘Restoration of Indonesia’s mangroves and SDGs’, *Nature Ecology & Evolution*, 7, 10.1038/s41559-022-01926-5
- Rahmandhana, W., et al. (2022) ‘Spectral Reflectance-Based Mangrove Species Mapping’, *Remote Sensing*, 14(1), 10.3390/rs14010183