

Peran Hutan Mangrove dalam Menanggulangi Dampak Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir Indonesia

Christian Soleman Imburi¹, Rusdi Angrianto², Evelin Anggelina Tanur³, Imam Widodo⁴, Gabriel Amadeus Sitompul⁵

^{1,2,3}Fakultas Kahutanan Universitas Papua Manokwari Papua Barat

⁴Fakultas Pertanian Universitas Papua

⁵Universitas Sumatera Utara

Article Info

Article history:

Received Oktober, 2024

Revised Oktober, 2024

Accepted Oktober, 2024

Kata Kunci:

Konservasi mangrove, mitigasi perubahan iklim, penyerapan karbon, perlindungan pesisir, Indonesia

Keywords:

Mangrove conservation, climate change mitigation, carbon sequestration, coastal protection, Indonesia

ABSTRAK

Hutan mangrove merupakan ekosistem penting yang secara signifikan berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim, perlindungan pesisir, dan konservasi keanekaragaman hayati. Kajian literatur ini menganalisis peran hutan mangrove di Indonesia, dengan fokus pada kemampuan penyerapan karbon, jasa ekosistem, dan ancaman dari aktivitas manusia. Temuan menunjukkan bahwa mangrove menyerap karbon hingga lima kali lebih banyak dibandingkan hutan terestrial, dan berperan sebagai penyerap karbon yang sangat penting. Selain itu, mangrove juga berfungsi sebagai pelindung pantai dengan menstabilkan garis pantai, mengurangi erosi, dan melindungi masyarakat dari badai. Terlepas dari manfaat tersebut, hutan bakau di Indonesia mengalami degradasi yang signifikan akibat budidaya perikanan, pembangunan perkotaan, dan pembalakan liar. Upaya konservasi, termasuk kebijakan nasional dan inisiatif berbasis masyarakat, menunjukkan hasil yang menjanjikan tetapi membutuhkan penegakan hukum yang lebih kuat, pendanaan yang konsisten, dan keterlibatan masyarakat secara aktif. Studi ini menggarisbawahi perlunya pendekatan terpadu dari berbagai pemangku kepentingan untuk melestarikan hutan bakau sebagai aset penting dalam strategi ketahanan iklim Indonesia.

ABSTRACT

Mangrove forests are important ecosystems that significantly contribute to climate change mitigation, coastal protection, and biodiversity conservation. This literature review analyzes the role of mangrove forests in Indonesia, focusing on carbon sequestration, ecosystem services, and threats from human activities. The findings show that mangroves sequester up to five times more carbon than terrestrial forests, and act as a very important carbon sink. In addition, mangroves also function as coastal protectors by stabilizing coastlines, reducing erosion, and protecting communities from storms. Despite these benefits, mangrove forests in Indonesia are experiencing significant degradation due to aquaculture, urban development, and illegal logging. Conservation efforts, including national policies and community-based initiatives, show promising results but require stronger law enforcement, consistent funding, and active community engagement. This study underscores the need for an integrated approach from various stakeholders to conserve mangroves as an important asset in Indonesia's climate resilience strategy.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Name: Christian Soleman Imburi

Institution: Fakultas Kahutanan Universitas Papua Manokwari Papua Barat

Email: Christiansoleman001@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir Indonesia, khususnya ekosistem mangrove yang luas, memiliki peran penting dalam mitigasi dampak perubahan iklim, menyediakan perlindungan alami terhadap kenaikan permukaan laut dan cuaca ekstrem yang diperparah oleh perubahan iklim. Mangrove juga berkontribusi pada penyerapan karbon, menjadikannya elemen vital dalam strategi mitigasi perubahan iklim Indonesia. Namun, efektivitas ekosistem ini terancam oleh tantangan sosial-ekonomi dan hukum. Mangrove di Indonesia, yang meliputi sekitar 3,31 juta hektar, esensial untuk perlindungan pesisir dan penyerapan karbon (Amir et al., 2024). Kerangka hukum, seperti UU No. 32 Tahun 2009, mendukung konservasi mangrove, menekankan perannya dalam mitigasi perubahan iklim (Amir et al., 2024). Pemerintah Indonesia telah memulai program rehabilitasi, khususnya di Sulawesi Selatan, untuk memulihkan ekosistem mangrove dan meningkatkan fungsi protektifnya (Amir et al., 2024). Masyarakat pesisir, terutama perempuan, menghadapi kerentanan yang meningkat akibat norma sosio-kultural dan akses terbatas ke sumber daya (Rosalinda et al., 2024). Dampak perubahan iklim, seperti kenaikan permukaan laut dan cuaca ekstrem, memperburuk ketidakamanan ekonomi dan risiko kesehatan bagi komunitas ini (Rosalinda et al., 2024). Strategi adaptasi, termasuk rehabilitasi mangrove dan pendidikan komunitas, sangat penting namun memerlukan pendekatan holistik dan partisipatif agar sukses (Camare & Lane, 2015). Penerapan pajak karbon di Indonesia dapat memberikan insentif finansial untuk transisi rendah karbon, mendukung upaya mitigasi iklim (Adyana, 2024). Tantangan politik, seperti resistensi dari sektor industri, perlu diatasi untuk memastikan kebijakan iklim yang efektif (Adyana, 2024).

Hutan bakau adalah ekosistem penting dengan efisiensi tinggi dalam penyerapan karbon, mampu menyimpan hingga lima kali lebih banyak karbon per hektar dibandingkan hutan terestrial, menjadikannya komponen vital dalam mitigasi perubahan iklim dengan menurunkan gas rumah kaca di atmosfer. Selain kemampuan menyerap karbon, mangrove juga menyediakan jasa ekosistem penting seperti stabilisasi garis pantai, perlindungan dari badai, dan habitat bagi beragam spesies. Sebagai ekosistem karbon biru, mangrove dapat menyimpan karbon jangka panjang di sedimen pesisir, membantu mengurangi emisi gas rumah kaca (Choudhary et al., 2024), di mana sistem akar lebatnya menjebak partikel kaya karbon dan mendukung akumulasi sedimen (Cuenca-Ocay, 2019). Mangrove menstabilkan garis pantai, melindungi dari gelombang pasang dan badai, dan mengurangi erosi (Cuenca-Ocay, 2019). Selain itu, mangrove menyediakan tempat pembibitan bagi spesies laut penting, mendukung produksi perikanan (Mhatre, 2024), dan menunjang keanekaragaman hayati serta kesejahteraan manusia melalui penyediaan sumber daya seperti makanan, obat-obatan, dan bahan bangunan (Mathew et al., 2010). Meskipun memiliki peran krusial, mangrove menghadapi ancaman dari urbanisasi, polusi, dan akuakultur, sehingga membutuhkan upaya konservasi yang segera (Choudhary et al., 2024), dengan keberhasilan restorasi yang memerlukan pemahaman mendalam tentang proses ekologi dan spesies untuk meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim dan tekanan manusia (Lovelock et al., 2024).

Ekosistem mangrove di Indonesia menghadapi ancaman signifikan akibat aktivitas manusia, seperti deforestasi, akuakultur, pembangunan perkotaan, dan pembalakan liar, yang menyebabkan hilangnya sekitar 52.000 hektar setiap tahun. Ekosistem ini sangat penting untuk perlindungan pantai, keanekaragaman hayati, dan mitigasi perubahan iklim. Untuk menghadapi tantangan ini, diperlukan strategi konservasi yang efektif, pengelolaan berkelanjutan, dan peningkatan kesadaran masyarakat tentang nilai ekologis mangrove. Di Sulawesi Selatan, kerangka hukum seperti UU No. 32 Tahun 2009 mendukung konservasi dengan pembatasan perizinan lahan dan penetapan kawasan konservasi (Amir et al., 2024). Inisiatif berbasis masyarakat, seperti di Desa Tanjung Luar, melibatkan reboisasi dan penataan ruang pesisir (Febriana & Utary, 2024). Di Sumatera Barat, teknologi ArcGIS dan analisis NDVI digunakan untuk pemantauan kerapatan mangrove yang mendukung strategi konservasi (Suryani, 2018), sementara di Selat Madura, teknik RAPMangroves menilai keberlanjutan dari perspektif ekologi, sosial, dan ekonomi, dengan rekomendasi untuk konservasi lahan (Hidayah et al., 2024). Kesadaran publik juga ditingkatkan melalui kampanye sosialisasi tentang pentingnya mangrove bagi ekosistem laut, yang melibatkan kolaborasi pemerintah, LSM, akademisi, dan masyarakat lokal, seperti yang terlihat di Pesisir Sulawesi (Tanur et al., 2024).

Makalah ini menyajikan analisis tinjauan literatur untuk mengeksplorasi peran hutan mangrove dalam mengurangi dampak perubahan iklim di wilayah pesisir Indonesia. Kajian ini mensintesis penelitian yang telah ada mengenai fungsi ekologis mangrove, kapasitas penyerapan karbon, dan perannya dalam meningkatkan ketahanan pesisir. Selain itu, kajian ini juga mengkaji kebijakan nasional, program konservasi berbasis masyarakat, dan proyek restorasi yang bertujuan untuk melestarikan ekosistem penting ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapasitas Penyerapan Karbon Hutan Mangrove

Hutan bakau merupakan penyerap karbon yang sangat efektif berkat karakteristik ekologisnya yang memungkinkan penyimpanan karbon dalam jumlah besar baik dalam biomassa maupun tanah, sehingga memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim dengan mencegah pelepasan karbon ke atmosfer. Kondisi anaerobik di tanah bakau memperlambat penguraian bahan organik, memungkinkan penyimpanan karbon jangka panjang, yang semakin diperkuat oleh sistem akar padat yang menjebak partikel kaya karbon dari air, berkontribusi pada penambahan sedimen dan penimbunan karbon. Mangrove menangkap dan menyimpan CO₂ dari atmosfer, mengubahnya menjadi karbon organik di dalam biomassa dan sedimen (Choudhary et al., 2024), sementara sistem akar lebatnya menjebak sedimen kaya karbon, mendorong akumulasi karbon jangka panjang (Cuenca-Ocay, 2019). Hutan bakau di Indonesia menyumbang sekitar 31% dari cadangan karbon bakau global, menunjukkan pentingnya peran hutan ini dalam mitigasi iklim global (Lovelock et al., 2024). Sebagai ekosistem karbon biru, mangrove sangat penting untuk mengendalikan emisi gas rumah kaca dan mengurangi kadar CO₂ di atmosfer (Choudhary et al., 2024). Namun, ekosistem ini menghadapi ancaman dari urbanisasi, polusi, dan akuakultur, yang menyebabkan degradasi dan pelepasan karbon (Choudhary et al., 2024). Oleh karena itu, upaya konservasi dan restorasi sangat penting untuk menjaga kapasitas penyerapan karbon serta melindungi jasa ekologis yang diberikannya (Rull, 2004). Oleh karena itu, konservasi mangrove tidak hanya melestarikan cadangan karbon yang ada, tetapi juga mencegah emisi gas rumah kaca lebih lanjut, sehingga perlindungan mangrove menjadi prioritas dalam strategi mitigasi perubahan iklim.

2.2. Mangrove dan Perlindungan Pesisir

Bakau memainkan peran penting dalam perlindungan pesisir sebagai penyangga alami terhadap gelombang badai, gelombang pasang, dan erosi pantai, dengan sistem akarnya yang lebat meredam energi gelombang, yang sangat penting untuk melindungi masyarakat pesisir dari peristiwa cuaca ekstrem. Ketahanan ini diperkuat oleh kemampuan bakau memerangkap sedimen,

yang membantu menstabilkan garis pantai dan melawan kenaikan permukaan laut. Penelitian menunjukkan bahwa bakau dapat mengurangi tinggi gelombang hingga 66% dalam jarak pendek, dengan efektivitas peredaman yang dipengaruhi oleh lebar hutan, diameter pohon, dan kerapatan hutan (Weaver & Stehno, 2024). Studi khusus pada mangrove *Avicennia marina* menunjukkan redaman gelombang hingga 92,3% pada jarak tertentu, menyoroti potensinya sebagai pemecah gelombang ramah lingkungan (Bowles, 1997). Akar bakau yang memerangkap sedimen mendukung pengembangan lahan vertikal dan membantu wilayah pesisir beradaptasi dengan kenaikan permukaan laut (Cuenca-Ocay, 2019), yang sangat penting dalam stabilisasi garis pantai dan pencegahan erosi (Bowles, 1997; Lovelock et al., 2024). Selain itu, bakau berfungsi sebagai penyerap karbon, menyimpan partikel kaya karbon di sedimen untuk mitigasi perubahan iklim (Cuenca-Ocay, 2019), serta menyediakan jasa ekosistem tambahan seperti penyaringan udara dan air, habitat, dan perlindungan dari gelombang air dan angin (Weaver & Stehno, 2024).

2.3 Keanekaragaman Hayati dan Jasa Ekosistem

Hutan bakau adalah ekosistem penting yang menyediakan berbagai jasa dan mendukung keanekaragaman hayati laut dan darat. Mangrove berfungsi sebagai habitat pembibitan ikan, krustasea, dan moluska yang bernilai ekonomi, penting bagi mata pencaharian masyarakat pesisir di Indonesia. Degradasi habitat ini menimbulkan ancaman bagi keanekaragaman hayati, ketahanan pangan, dan ekonomi lokal, sehingga integrasi konservasi dengan program mata pencaharian berkelanjutan menjadi krusial. Sebagai ekosistem produktif, mangrove menyediakan tempat pembibitan bagi berbagai spesies laut penting untuk perikanan lokal (Mathew et al., 2010; Mhatre, 2024) dan berperan dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon (Cuenca-Ocay, 2019). Selain itu, mangrove melindungi wilayah pesisir dari gelombang pasang dan badai, yang meningkatkan ketahanan pesisir (Cuenca-Ocay, 2019). Perikanan terkait mangrove memiliki nilai ekonomi tinggi, terutama bagi masyarakat pesisir tradisional (Mhatre, 2024). Namun, mangrove menghadapi ancaman dari pembukaan lahan, akuakultur, dan industri yang menyebabkan degradasi ekosistem (Lugo & Snedaker, 1974; Mhatre, 2024). Strategi konservasi perlu difokuskan pada pelestarian dan pemulihan habitat, dengan melibatkan masyarakat dan kebijakan untuk memastikan pengelolaan berkelanjutan (Lovelock et al., 2024; Lugo & Snedaker, 1974; Mathew et al., 2010).

2.4 Ancaman terhadap Ekosistem Mangrove di Indonesia

Hutan mangrove di Indonesia terancam oleh aktivitas manusia, terutama perluasan akuakultur, pembangunan perkotaan, dan pembalakan liar, yang menyebabkan deforestasi signifikan dengan konversi sekitar 20-30% hutan menjadi tambak. Hal ini mengurangi kapasitas penyimpanan karbon dan menyebabkan degradasi habitat, yang berdampak pada lingkungan, keanekaragaman hayati, perlindungan pesisir, dan meningkatkan kerentanan terhadap bencana alam. Konversi menjadi tambak udang, misalnya, memicu degradasi lingkungan, terutama di wilayah Tanah Sulfat Masam (Ilman et al., 2024). Di Desa Tanjung Luar, konversi untuk tambak udang dan garam merusak ekosistem laut dan memengaruhi nelayan local (Febriana & Utary, 2024). Ketergantungan masyarakat pada sumber daya mangrove menguntungkan ekonomi lokal tetapi mengancam kelestarian lingkungan (Itfan & Soetjipto, 2024). Meskipun upaya restorasi bermanfaat, dampaknya pada kesejahteraan sosial-ekonomi di Desa Batu Panjang masih terbatas (Berutu et al., 2023). Sistem mangrove-budidaya terpadu dan proyek pengelolaan berbasis masyarakat terus dieksplorasi untuk menyeimbangkan ekonomi dan konservasi (Ilman et al., 2024; Tanur et al., 2024). Partisipasi masyarakat dalam restorasi, reboisasi, tata ruang, dan mata pencaharian alternatif penting untuk mengurangi ketergantungan pada mangrove (Febriana & Utary, 2024; Itfan & Soetjipto, 2024).

2.5 Upaya Konservasi dan Kerangka Kebijakan

Upaya Indonesia untuk melestarikan dan memulihkan ekosistem mangrove mencakup strategi nasional, keterlibatan masyarakat, dan kerangka hukum. Strategi Pengelolaan Mangrove Nasional, yang ditetapkan pada tahun 2012, menekankan pengelolaan berkelanjutan, keterlibatan

masyarakat, dan restorasi habitat, yang secara kolektif membantu mengurangi laju deforestasi dan meningkatkan hasil konservasi di berbagai wilayah. Meski demikian, tantangan seperti keterbatasan pendanaan, penegakan hukum yang lemah, dan konflik antara konservasi dan kepentingan ekonomi masih ada. Inisiatif masyarakat di Sumatera Utara dan Jawa menunjukkan hasil positif, dengan keterlibatan masyarakat yang berhasil menggabungkan konservasi mangrove dan mata pencaharian berkelanjutan melalui ekowisata (Arfan et al., 2024). Persepsi positif masyarakat terhadap mangrove di Provinsi Lampung mendukung pengelolaan mangrove, walaupun tingkat partisipasi masih rendah (Qurniati et al., 2024). Perlindungan hukum, seperti di Sulawesi Selatan, memberikan dasar yang kuat bagi konservasi, sementara penilaian RAPMangrove di Selat Madura menunjukkan status “cukup lestari,” yang menyoroti perlunya peningkatan strategi konservasi dan kesadaran masyarakat (Amir et al., 2024; Hidayah et al., 2024). Aktivitas manusia, termasuk akuakultur dan pembangunan pesisir, tetap mengancam ekosistem ini, seperti yang terlihat di Pesisir Sulawesi, sehingga upaya kolaboratif antara pemerintah, LSM, dan masyarakat lokal sangat penting untuk mengatasi tantangan dan mempromosikan praktik konservasi yang berkelanjutan (Hidayah et al., 2024).

2.6 Kesenjangan Pengetahuan dan Arah Penelitian di Masa Depan

Meskipun literatur yang ada memberikan wawasan yang substansial mengenai fungsi ekologi dan sosial ekonomi mangrove, masih terdapat kesenjangan pengetahuan yang memerlukan penelitian lebih lanjut. Sebagai contoh, terdapat data yang terbatas mengenai potensi penyerapan karbon jangka panjang dari kawasan mangrove yang telah direstorasi, terutama di daerah yang terdegradasi. Selain itu, penelitian juga diperlukan untuk menilai kelayakan ekonomi dari berbagai model restorasi mangrove dan dampaknya terhadap kesejahteraan masyarakat. Penelitian yang mengeksplorasi integrasi konservasi mangrove dengan pembangunan infrastruktur pesisir juga sangat penting, karena pendekatan ini dapat memberikan manfaat ganda bagi perlindungan lingkungan dan pertumbuhan ekonomi.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Research Design

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif deskriptif untuk menganalisis literatur terkait hutan mangrove di Indonesia, mengeksplorasi aspek ekologi, lingkungan, dan sosial ekonomi yang kompleks seperti layanan ekosistem dan dampak kebijakan. Dengan tinjauan literatur yang sistematis, penelitian ini menyusun dan mensintesis temuan dari berbagai studi untuk memahami fungsi, tantangan, dan konservasi ekosistem mangrove di Indonesia. Data sekunder diperoleh dari artikel jurnal, buku, laporan pemerintah, dan basis data tepercaya, termasuk ScienceDirect, SpringerLink, dan Google Scholar, serta laporan dari organisasi lingkungan terkemuka seperti WWF dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Kriteria	Deskripsi
Kriteria Inklusi	
- Tahun Publikasi	Studi yang diterbitkan dalam 20 tahun terakhir (2003–2023) untuk memastikan data dan tren terbaru.
- Fokus Penelitian	Penelitian yang berfokus pada peran ekologis, kemampuan sekuestrasi karbon, keanekaragaman hayati, dan fungsi perlindungan pesisir hutan mangrove.
- Kebijakan	Artikel dan laporan yang membahas kebijakan konservasi mangrove, inisiatif berbasis komunitas, dan praktik pengelolaan berkelanjutan di Indonesia.
- Ancaman Ekosistem	Studi yang menyediakan data mengenai ancaman terhadap ekosistem mangrove di Indonesia, termasuk deforestasi, akuakultur, dan dampak perkembangan kota.
Kriteria Eksklusi	

- Fokus Non-Indonesia	Artikel yang hanya membahas ekosistem mangrove non-Indonesia, kecuali jika memberikan wawasan komparatif yang relevan bagi konteks Indonesia.
- Tidak Relevan	Studi yang tidak berkaitan dengan mitigasi perubahan iklim, layanan ekosistem, atau perlindungan pesisir.
- Sumber Tidak Valid	Sumber yang tidak ditinjau sejawat, opini, dan publikasi yang tidak memiliki bukti empiris.

3.2 Proses Pengumpulan Data

Pencarian literatur sistematis dilakukan dengan menggunakan kata kunci seperti 'hutan bakau', 'mitigasi perubahan iklim', 'penyerapan karbon', 'perlindungan pantai', dan 'konservasi bakau di Indonesia'. Operator Boolean (AND, OR) digunakan untuk menyaring hasil pencarian, untuk memastikan bahwa hanya artikel yang relevan yang disertakan. Sebagai contoh, pencarian seperti 'mangrove AND Indonesia AND perubahan iklim' membantu mendapatkan studi yang berfokus pada konteks spesifik Indonesia. Setelah sekumpulan studi awal diidentifikasi, catatan duplikat dihapus, dan abstrak ditinjau untuk menilai relevansi dengan topik penelitian.

3.3 Kerangka Analisis Data

Analisis data untuk tinjauan literatur ini mengikuti pendekatan tematik, di mana informasi disusun ke dalam tema-tema utama yang mencerminkan berbagai peran dan tantangan yang dihadapi hutan bakau. Tema-tema utama tersebut meliputi: Penyerapan Karbon dan Mitigasi Perubahan Iklim, dengan mengidentifikasi penelitian yang mengukur kapasitas penyimpanan karbon mangrove, perannya dalam mengurangi karbon dioksida di atmosfer, dan dampak degradasi mangrove terhadap emisi karbon; Perlindungan Pesisir dan Jasa Ekosistem, yang mencakup penelitian tentang peran mangrove dalam pertahanan pesisir alami, stabilitas garis pantai, dan dukungannya terhadap keanekaragaman hayati dan perikanan; Ancaman terhadap Ekosistem Mangrove, yang mengulas tekanan antropogenik utama seperti ekspansi akuakultur, pembangunan perkotaan, dan pembalakan liar; dan Upaya Konservasi dan Kerangka Kerja Kebijakan, yang mencakup kebijakan, inisiatif konservasi berbasis masyarakat, dan kolaborasi internasional untuk perlindungan dan restorasi mangrove di Indonesia. Setiap tema ditelaah untuk mencari pola, tren, dan wawasan yang kemudian disintesis menjadi pemahaman yang komprehensif, dengan validasi silang antar studi untuk memastikan konsistensi dan keandalan dalam proses sintesis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasannya dibagi ke dalam empat tema utama: (1) Penyerapan Karbon dan Mitigasi Perubahan Iklim, (2) Perlindungan Pesisir dan Jasa Lingkungan, (3) Ancaman terhadap Ekosistem Mangrove, dan (4) Upaya Konservasi dan Kerangka Kerja Kebijakan. Setiap tema mencakup analisis temuan, yang menyoroti signifikansi ekologis mangrove dan tantangan serta peluang yang terlibat dalam konservasi dan restorasi mangrove.

4.1 Penyerapan Karbon dan Mitigasi Perubahan Iklim

Hutan bakau adalah sistem alami yang sangat efektif dalam penyerapan karbon dan berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim. Mangrove menyimpan karbon dalam biomassa dan tanah, dengan mangrove Indonesia memainkan peran penting secara global. Kapasitas penyimpanan karbon mangrove jauh lebih tinggi dibandingkan hutan tropis terestrial, yang membuatnya sangat berperan dalam mengurangi kadar CO₂ di atmosfer. Kapasitas ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan aktivitas manusia. Mangrove menyerap karbon melalui sistem perakaran yang lebat, yang menjebak partikel karbon dan mendorong akumulasi sedimen (Cuenca-Ocay, 2019), sementara enzim di tanah mangrove merah dapat meningkatkan penyimpanan karbon dengan mengurangi aktivitas penguraian bahan organik (Dasat & Sam, 2022). Mangrove

menghadapi ancaman urbanisasi, polusi, akuakultur, dan pariwisata, yang dapat menurunkan kemampuan penyerapan karbonnya (Choudhary et al., 2024), sementara degradasi akibat akuakultur dan aktivitas antropogenik lainnya dapat melepaskan karbon tersimpan ke atmosfer (Cuenca-Ocay, 2019). Konservasi dan restorasi sangat penting untuk mempertahankan potensi penyerapan karbon, dengan strategi seperti melindungi kawasan yang ada, merehabilitasi area terdegradasi, dan mengubah dataran lumpur menjadi hutan bakau (Choudhary et al., 2024; DHARMAYASA et al., 2024). Insentif ekonomi dan peningkatan kesadaran akan manfaat ekologi dan ekonomi mangrove juga mendukung upaya konservasi (Choudhary et al., 2024).

Temuan ini semakin menegaskan potensi kerugian dalam penyimpanan karbon akibat deforestasi hutan bakau. Hutan bakau berperan penting dalam penyerapan karbon, berfungsi sebagai penyerap karbon yang membantu mitigasi perubahan iklim. Namun, perusakan mangrove untuk akuakultur, pertanian, dan pembangunan mengurangi kapasitas penyerapan karbon dan melepaskan karbon yang tersimpan ke atmosfer, yang berkontribusi pada emisi gas rumah kaca, sehingga diperlukan konservasi mendesak, terutama di Indonesia, untuk mempertahankan cadangan karbon dan mencegah emisi tambahan. Mangrove dikenal sebagai ekosistem karbon biru karena kemampuannya menyimpan karbon dalam jumlah besar, mengurangi kadar CO₂ di atmosfer, dan menyediakan penyimpanan karbon jangka panjang melalui sistem akar yang menjebak partikel kaya karbon dan mendorong akumulasi sedimen (Choudhary et al., 2024; Cuenca-Ocay, 2019; Ferreira et al., 2024). Sayangnya, mangrove terancam oleh akuakultur, urbanisasi, dan pariwisata, dengan perubahan iklim memperburuk kondisi ini dengan mengganggu proses ekologi dan mengurangi ketahanan mangrove (Choudhary et al., 2024; Lugo & Snedaker, 1974). Di India, misalnya, eksploitasi lahan basah untuk budidaya perikanan menyebabkan penurunan jumlah mangrove secara signifikan (Lugo & Snedaker, 1974). Konservasi efektif harus memprioritaskan perlindungan dan rehabilitasi habitat, terutama yang telah dikonversi untuk akuakultur (Cuenca-Ocay, 2019). Kebijakan juga harus memperhitungkan tekanan regional akibat perubahan iklim, seperti di Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan, di mana skenario kebijakan dirancang untuk mempertahankan kawasan mangrove dan mencapai emisi nol bersih melalui pengelolaan lahan terpadu (Ferreira et al., 2024).

4.2 Perlindungan Pesisir dan Jasa Ekosistem

Hutan bakau berperan penting dalam melindungi pesisir Indonesia dengan menstabilkan sedimen dan meredam energi gelombang, sehingga mengurangi dampak bencana alam. Ekosistem ini melindungi daerah dataran rendah dari kenaikan permukaan laut dan badai akibat perubahan iklim. Namun, konversi mangrove untuk akuakultur dan pemukiman meningkatkan erosi dan degradasi lingkungan, menyoroti perlunya pengelolaan dan restorasi berkelanjutan. Mangrove menjebak sedimen, mengurangi energi gelombang, dan berfungsi sebagai penyerap karbon, mendukung mitigasi iklim (Cuenca-Ocay, 2019; Weaver & Stehno, 2024). Ekosistem ini juga menyediakan habitat bagi spesies laut, mendukung keanekaragaman hayati dan perikanan local (Sitio et al., 2023). Konversi mangrove meningkatkan erosi dan mengurangi ketahanan pesisir, berdampak negatif bagi masyarakat yang bergantung pada perikanan (Febriana & Utary, 2024). Reboisasi dan perencanaan tata ruang pesisir penting untuk merestorasi mangrove dan melindungi ekosistem laut, dengan keterlibatan masyarakat dan program penyadaran untuk mendukung pengelolaan berkelanjutan (Prayitno et al., 2023).

Selain itu, mangrove mendukung keanekaragaman hayati yang kaya, bertindak sebagai tempat pembibitan ikan, krustasea, dan organisme laut lainnya, yang banyak di antaranya memiliki nilai komersial. Perikanan yang terkait dengan mangrove sangat penting bagi ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat pesisir. Hilangnya mangrove secara langsung berdampak pada ekosistem ini dan mata pencaharian masyarakat yang bergantung pada perikanan, sehingga menggarisbawahi nilai sosial-ekonomi dari pelestarian habitat mangrove.

4.3 Ancaman terhadap Ekosistem Mangrove

Meskipun penting, ekosistem mangrove di Indonesia menghadapi ancaman besar dari aktivitas manusia, terutama dari kegiatan budidaya, urbanisasi, dan ekspansi pertanian.

Akuakultur, terutama budidaya udang, bertanggung jawab atas konversi sekitar 30% hutan mangrove di Indonesia, yang menyebabkan degradasi habitat dan hilangnya keanekaragaman hayati secara signifikan (Vo et al., 2024). Konversi lahan ini tidak hanya mengganggu jasa ekosistem yang disediakan oleh hutan bakau, tetapi juga mengurangi kapasitas penyerapan karbon dan memperparah dampak perubahan iklim (Cuenca-Ocay, 2019).

Penebangan liar untuk kayu dan kayu bakar merupakan ancaman penting lainnya, karena menguras sumber daya mangrove dan mengubah keseimbangan ekologisnya. Selain itu, urbanisasi yang cepat di daerah pesisir telah menyebabkan proyek-proyek reklamasi lahan yang semakin merambah habitat mangrove. Pembangunan ini sering kali mengabaikan manfaat lingkungan dan sosial dari mangrove, yang menyebabkan peningkatan paparan risiko iklim bagi masyarakat setempat. Literatur menunjukkan bahwa meskipun ada peraturan pemerintah untuk mengkekang praktik-praktik ini, penegakan hukumnya seringkali lemah, dan insentif ekonomi terus mendorong perusakan mangrove (Anh et al., 2024; Ilman et al., 2024).

Degradasi mangrove memiliki konsekuensi jangka panjang bagi ketahanan pesisir. Literatur menggarisbawahi bahwa kawasan mangrove yang terdegradasi secara signifikan lebih rentan terhadap kerusakan akibat badai dan erosi pantai, sehingga menimbulkan risiko serius bagi keanekaragaman hayati dan pemukiman manusia. Kebutuhan akan kebijakan yang efektif dan keterlibatan masyarakat dalam memerangi ancaman-ancaman ini jelas terlihat, karena kehilangan mangrove yang terus berlanjut dapat merusak upaya adaptasi dan ketahanan iklim Indonesia (Augusthy et al., 2024; Carpio-Domínguez, 2024; Enoh et al., 2024; Ferreira et al., 2024).

4.4 Upaya Konservasi dan Kerangka Kebijakan

Strategi Pengelolaan Mangrove Nasional Indonesia, yang dimulai pada tahun 2012, menekankan pentingnya pengelolaan mangrove berkelanjutan, restorasi ekosistem, dan pelibatan masyarakat sebagai bagian dari adaptasi perubahan iklim. Kebijakan ini berperan penting dalam mengurangi laju deforestasi dan mendorong restorasi di wilayah-wilayah kritis, dengan teknologi dan keterlibatan masyarakat sebagai pendorong utama keberhasilannya. Penggunaan teknologi seperti citra satelit Landsat 8 dan analisis NDVI memungkinkan pemantauan kerapatan mangrove secara akurat, seperti di Taman Hutan Mangrove Apar, Sumatera Barat, yang menjadi dasar pengelolaan dan konservasi yang efektif (NOVARINO et al., 2023). Keterlibatan masyarakat juga sangat penting, seperti di Bangka Barat, di mana strategi pembangunan rendah karbon fokus pada konservasi mangrove, perikanan, dan akuakultur, menghasilkan manfaat ekonomi Rp105.723.552.069 per tahun (Porfiriev et al., 2020). Meski demikian, tantangan seperti kegiatan ekonomi yang mengancam mangrove masih ada, sehingga direkomendasikan peningkatan kolaborasi pemangku kepentingan, penegakan hukum, dan partisipasi masyarakat untuk keberlanjutan konservasi (Camare & Lane, 2015).

Inisiatif konservasi berbasis masyarakat telah terbukti efektif melestarikan hutan bakau, khususnya di wilayah-wilayah di mana masyarakat bergantung pada ekosistem ini sebagai mata pencaharian. Contoh keberhasilan di Sumatera Utara dan Jawa menunjukkan bahwa mengintegrasikan konservasi dengan program mata pencaharian berkelanjutan, seperti ekowisata dan perikanan berkelanjutan, dapat mengurangi tekanan pada sumber daya bakau sekaligus menumbuhkan kesadaran lingkungan dan keterlibatan masyarakat. Model ini tidak hanya melindungi mangrove tetapi juga meningkatkan kesejahteraan sosial-ekonomi masyarakat lokal, menciptakan model konservasi yang berkelanjutan. Di Sundarbans India, Pariwisata Berbasis Masyarakat (CBT) telah berhasil melestarikan warisan budaya dan alam sambil mendukung pembangunan sosial-ekonomi dengan memberdayakan masyarakat dan mendiversifikasi ekonomi melalui pariwisata (Gantait et al., 2024). Di Karangsong, Indonesia, integrasi indeks CBT dengan penilaian biofisik mendukung ekowisata berkelanjutan, yang memperkuat pengelolaan ekosistem mangrove (Prihadi et al., 2024). Di Pemba, Tanzania, persepsi masyarakat menjadi kunci dalam perilaku konservasi, dengan individu lebih cenderung mengadopsi praktik konservasi jika mereka yakin manfaatnya tidak akan dirusak oleh ancaman eksternal seperti pencurian (M. Clark et al., 2024;

M. C. Clark, 2023). Di Banten, Indonesia, inisiatif CBT telah meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap ekosistem mangrove dan menghasilkan manfaat ekonomi melalui produk turunan mangrove (Nuraeni & Kusum, 2023).

Dukungan internasional dari organisasi seperti Bank Dunia dan UNDP telah memberikan kontribusi besar pada upaya konservasi mangrove di Indonesia melalui pendanaan, bantuan teknis, dan peluang berbagi pengetahuan, yang memperkuat efektivitas program konservasi lokal dan nasional. Meski demikian, tantangan masih ada, terutama dalam memastikan pendanaan berkelanjutan, mengintegrasikan konservasi dengan tujuan pembangunan pesisir, dan mengatasi konflik antara konservasi dan kepentingan ekonomi. Pendanaan yang konsisten tetap menjadi kendala, dengan kebutuhan akan kolaborasi berkelanjutan antar pemangku kepentingan di Sumatera Utara (Aulia, 2024). Kurangnya transparansi dan manajemen yang buruk dalam restorasi menggarisbawahi pentingnya pengelolaan lahan yang bertanggung jawab (De Vries, 2024). Menyeimbangkan konservasi dan pembangunan ekonomi menjadi tantangan besar, seperti di Pesisir Sulawesi, di mana ekspansi akuakultur mengancam kelestarian mangrove (Tanur et al., 2024). Kerangka hukum di Sulawesi Selatan berperan penting dalam mengintegrasikan konservasi mangrove dengan strategi mitigasi iklim, meski kendala ekonomi dan rendahnya kesadaran masyarakat tetap menjadi hambatan (Amir et al., 2024). Konflik antara tujuan konservasi dan kepentingan ekonomi juga kerap terjadi, di mana masyarakat lokal sering memprioritaskan mata pencaharian daripada konservasi (Tanur et al., 2024). Penilaian keberlanjutan di Selat Madura menunjukkan bahwa peningkatan kesadaran masyarakat dan integrasi konservasi dengan rehabilitasi lahan sangat penting untuk keberlanjutan (Hidayah et al., 2024).

5. KESIMPULAN

Hutan mangrove di Indonesia memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim, meningkatkan ketahanan pesisir, dan mendukung keanekaragaman hayati. Tinjauan literatur ini menyoroti kemampuan penyerapan karbon yang unik dari hutan bakau, efektivitasnya dalam perlindungan pesisir, dan manfaat sosial ekonomi yang diberikannya kepada masyarakat lokal. Namun, aktivitas manusia seperti ekspansi akuakultur, deforestasi, dan urbanisasi menimbulkan ancaman besar bagi ekosistem ini, yang menyebabkan hilangnya habitat dan meningkatnya kerentanan terhadap dampak iklim.

Kajian ini menekankan bahwa meskipun Indonesia telah membuat langkah maju melalui kebijakan nasional dan inisiatif yang dipimpin oleh masyarakat, upaya lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengamankan konservasi jangka panjang. Pengelolaan mangrove yang efektif membutuhkan penegakan kebijakan yang lebih kuat, pendanaan yang memadai, dan keterlibatan aktif masyarakat lokal. Pendekatan terpadu yang menyelaraskan tujuan konservasi dengan mata pencaharian yang berkelanjutan dapat mendorong pengelolaan lingkungan dan menciptakan masyarakat pesisir yang tangguh. Dengan mengatasi tantangan-tantangan ini, Indonesia dapat memanfaatkan potensi mangrove secara maksimal sebagai komponen kunci dalam strategi adaptasi iklim dan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyana, N. (2024). Penerapan pajak karbon di Indonesia: kajian ekonomi, politik, dan sosial. *OPTIMAL Jurnal Ekonomi Dan Manajemen*, 4(1), 11–21.
- Amir, I., Hamzah, H., & Hasanuddin, S. (2024). the Legal Construction of Mangrove Protection in Climate Change Mitigation: Legal Study on the South Sulawesi Scale. *Pena Justisia: Media Komunikasi Dan Kajian Hukum*, 23(1), 621–638.
- Anh, H. H., Van Trai, N., Da Hanh, T. M., & Van Cuong, N. (2024). Balancing Economy and Ecology: A System Dynamics Analysis of Shrimp Aquaculture and Mangrove Forest Policy. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water & Environment Systems (JSDEWES)*, 12(3).

- Arfan, A., Sanusi, W., Rakib, M., Juanda, M. F., & Sukri, I. (2024). Mangrove Ecosystem Management Strategy to Support Sustainable Development Goal 14. *Environmental Research, Engineering and Management*, 80(1), 64–76.
- Augusthy, S., Nizam, A., & Kumar, A. (2024). The diversity, drivers, consequences and management of plant invasions in the mangrove ecosystems. *Science of The Total Environment*, 173851.
- Aulia, F. (2024). Local Institutional Collaboration Models for Coastal Communities in North Sumatra. *International Journal of Religion*, 5(6), 388–393.
- Berutu, N., Sidauruk, T., Damanik, M. R. S., Yuniastuti, E., & Matondang, M. F. G. (2023). The Impact of Mangrove Restoration on the Social Economy of the Community of Batu Panjang Village, Rupal Island, Riau Province. *Randwick International of Social Science Journal*, 4(4), 851–866.
- Bowles, F. A. (1997). Observations on attenuation and shear-wave velocity in fine-grained, marine sediments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 101(6), 3385–3397.
- Camare, H. M., & Lane, D. E. (2015). Adaptation analysis for environmental change in coastal communities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 51, 34–45.
- Carpio-Domínguez, J. L. (2024). The harms and crimes of logging and deforestation. In *Oxford Research Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice*.
- Choudhary, B., Dhar, V., & Pawase, A. S. (2024). Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives. *Journal of Sea Research*, 199, 102504.
- Clark, M. C. (2023). *Emergence, Evolution, and Outcomes of Community-Based Conservation Behaviors in Coastal Systems*. Boise State University.
- Clark, M., Hamad, H. M., Andrews, J., Hillis, V., & Mulder, M. B. (2024). Effects of perceptions of forest change and intergroup competition on community-based conservation behaviors. *Conservation Biology*, e14259.
- Cuenca-Ocay, G. (2019). Mangrove ecosystems' role in climate change mitigation. *Davao Research Journal*, 12(2), 72–75.
- Dasat, G. S., & Sam, C. E. (2022). Carbon sequestration and the enzymic latch mechanism in red, black and white mangrove soils of Florida USA. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 13(3), 421–430.
- De Vries, W. T. (2024). Evaluating mangrove conservation with the land management intervention equation based on selected cases from Indonesia. *Glob J Ecol*, 9(1), 20–29.
- DHARMAYASA, I. G. N. P., SUGIANA, I. P., PUTRI, P. Y. A., & BOONYASANA, K. (2024). Assessment of soil fraction, carbon storage capacity, and rate of carbon uptake from three coastal ecosystems: Mangroves, seagrass, and mudflats in Bena Bay, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(6).
- Enoh, C. A. N., Sunjo, T. E., & Ambo, F. B. (2024). Economic and Environmental Implications of Wood Exploitation in the Mangrove Ecosystem in Tiko, South West Region of Cameroon. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 28(1), 1–10.
- Febriana, A., & Utary, B. I. W. (2024). The Impact of Mangrove Forest Land Conversion on the Sustainability of Biological Resources and the Environment of Tanjung Luar Village. *Justitia Jurnal Hukum*, 8(1).
- Ferreira, A. C., Ashton, E. C., Ward, R. D., Hendy, I., & Lacerda, L. D. (2024). Mangrove biodiversity and conservation: setting key functional groups and risks of climate-induced functional disruption. *Diversity*, 16(7), 423.
- Gantait, A., Mathew, R., Chatterjee, P., & Singh, K. (2024). Community-Based Tourism as a Sustainable Direction for the Tourism Industry: Evidence From the Indian Sundarbans. In *Interlinking SDGs and the Bottom-of-the-Pyramid Through Tourism* (pp. 197–217). IGI Global.
- Hidayah, Z., As-syakur, A. R., & Rachman, H. A. (2024). Sustainability assessment of mangrove management in Madura Strait, Indonesia: A combined use of the rapid appraisal for mangroves (RAPMangroves) and the remote sensing approach. *Marine Policy*, 163, 106128.
- Ilman, M., Sammut, J., Paena, M., Taukhid, I., Asaf, R., Athirah, A., & Syaichudin, M. (2024). Impact of soil and water quality on the sustainable management of mangrove-compatible brackishwater aquaculture practices in Indonesia. *Environmental Research Communications*, 6(8), 85013.
- Itfan, I., & Soetjipto, W. (2024). DAMPAK KETERGANTUNGAN SOSIAL EKONOMI DESA TERHADAP LUASAN HUTAN MANGROVE DI INDONESIA. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Publik*, 14(1), 61–75.
- Lovelock, C. E., Bennion, V., de Oliveira, M., Hagger, V., Hill, J. W., Kwan, V., Pearse, A. L., Rossini, R. A., & Twomey, A. J. (2024). Mangrove ecology guiding the use of mangroves as nature-based solutions. *Journal of Ecology*.

- Lugo, A. E., & Snedaker, S. C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 39–64.
- Mathew, G., Jeyabaskaran, R., & Prema, D. (2010). *Mangrove ecosystems in India and their conservation*.
- Mhatre, M. A. (2024). Role of Mangroves as Fishery Resource: A Systematic Review. *UTTAR PRADESH JOURNAL OF ZOOLOGY*, 45(16), 35–41.
- NOVARINO, W., MUKHTAR, E., PUTRI, A. Y. U. S., & ANGGRAINI, P. L. (2023). Bird diversity and mangrove forest as potential ecotourism destinations in Kapo-kapo Bay, Cubadak Island, West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(6).
- Nuraeni, E., & Kusum, Y. W. C. (2023). The role of community-based tourism for mangroves conservation in Banten, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 13(4), 606–612.
- Porfiriev, B. N., Shirov, A., & Kolpakov, A. Y. (2020). Low-carbon development strategy: prospects for the Russian economy. *Mirovaia Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniia*, 64(9), 15–25.
- Prayitno, H., Rumani, D. D., Setiawan, A., Wibowo, U. L. N., Mubarok, A., Ardian, D., & Qiram, I. (2023). Sosialisasi Dampak dan Manfaat Tanaman Mangrove Bagi Ekosistem Lingkungan di Teluk Pangpang. *TEKIBA: Jurnal Teknologi Dan Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 18–21.
- Prihadi, D. J., Zhang, G., Lahbar, G. M., & Pasaribu, B. (2024). Integration of Community-Based Tourism (CBT) Index and Biophysical Assessment for Sustainable Ecotourism Mangrove: A Case Study of Karangsong, Indonesia. *Sustainability*, 16(7), 2806.
- Qurniati, R., Duryat, D., Darmawan, A., & Inoue, M. (2024). Ecological Perspective, Perception, and Attitude of Local Communities Toward Managing and Utilizing the Mangrove Ecosystem in Lampung Province, Indonesia. *Small-Scale Forestry*, 23(3), 471–491.
- Rosalinda, H., Hadi, R., & Andini, A. N. (2024). The Ecofeminist Perspective on The Impact of Climate Change on Women's Health: Study Case of Coastal Women in Sendang Biru Hamlet, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Hubungan Internasional*, 1(1), 32–46.
- Rull, V. (2004). Biogeography of the 'Lost World': a palaeoecological perspective. *Earth-Science Reviews*, 67(1–2), 125–137.
- Sitio, L. C. W., Barat, W. O. B., & Retno, R. (2023). Mangrove Plant Community Structure, Sungai Apung Village, Tanjung Balai Sub-District, Asahan District, North Sumatra Province. *Journal of Applied Geospatial Information*, 7(2), 1032–1038.
- Suryani, N. (2018). Kajian ekosistem hutan mangrove di Muara Sungai Batang Manggung Kecamatan Pariaman Utara Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Geografi*, 10(2), 144–156.
- Tanur, E. A., Al Imran, H., Angrianto, R., May, N. L., & Anwar, A. (2024). Impact Analysis of Human Activities on Mangrove Conservation in Coastal Sulawesi. *West Science Nature and Technology*, 2(01), 1–8.
- Vo, T., Le, H., Phan, D., Tran, A., Nguyen, Y., Nguyen, H., & Pham, T. (2024). Towards sustainable mangrove-shrimp aquaculture through capacity building and partnership in the Mekong River Delta. *APN Science Bulletin*, 14(1), 28–37.
- Weaver, R. J., & Stehno, A. L. (2024). Mangroves as Coastal Protection for Restoring Low-Energy Waterfront Property. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(3), 470.