

Apakah Upaya FOLU Net Sink Dapat Meningkatkan Valuasi Potensi Stok Karbon Ekosistem Mangrove?

Nanda Karmila, Aji Ali Akbar*, Jumiati

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak, Kalimantan Barat 78124 Indonesia
Email: aji.ali.akbar.2011@gmail.com

Abstrak

Ekosistem mangrove memiliki peranan vital sebagai penyerap karbon alami terbesar di kawasan pesisir yang mendukung target mitigasi perubahan iklim global. Pengelolaan mangrove yang terintegrasi dalam kebijakan *Forestry and Other Land Use* (FOLU) Net Sink 2030, khususnya Rencana Operasional 12 (RO-12) mengenai rehabilitasi pesisir. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan luasan ekosistem mangrove secara spasial periode 2006 dan 2023, mengestimasi potensi simpanan stok karbon berdasarkan jenis mangrove, serta melakukan valuasi ekonomi karbon yang tersimpan. Penelitian menggunakan analisis data spasial untuk memetakan dinamika tutupan lahan periode 2006–2023. Perhitungan biomassa karbon menerapkan pendekatan rumus allometrik. Valuasi ekonomi dihitung menggunakan basis harga *Social Cost of Carbon* menurut *Environmental Defense Fund* sebesar 50 USD per ton karbon. Luas ekosistem mangrove mengalami kenaikan sebesar 11.064,84 hektar, meningkat dari 139.998,87 ha (2006) menjadi 151.063,71 ha (2023). Peningkatan luasan mangrove turut berdampak positif bagi lonjakan simpanan stok karbon dari 60.670 ton menjadi 70.302 ton, dengan wilayah Kubu Raya dan Ketapang sebagai kontributor utama. Valuasi ekonomi total dari jasa karbon ini berpotensi mencapai Rp 58 miliar pada tahun 2023. Hasil ini juga mengungkapkan bahwa program restorasi dan konservasi mangrove berkontribusi nyata dalam pencapaian target RO-12 FOLU NetSink 2030 serta memberikan nilai ekonomi operasional.

Kata kunci: Mangrove, Stok Karbon, Valuasi Ekonomi, FOLU Net Sink 2030

Abstract

Does FOLU Net Sink Efforts Increase the Estimated Carbon Stock Potential of Mangrove Ecosystems?

Mangrove ecosystems play a vital role as the largest natural carbon sink in coastal areas, supporting global climate change mitigation targets. Integrated mangrove management is part of the Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 policy, specifically Operational Plan 12 (OP-12) on coastal rehabilitation. This study aims to analyze spatial changes in mangrove ecosystem area between 2006 and 2023, estimate potential carbon stock based on dominant mangrove species, and conduct an economic valuation of the stored carbon. The study uses spatial data analysis to map land cover dynamics for the 2006–2023 period. Carbon biomass calculations applied an allometric formula approach. The economic valuation was calculated using the Environmental Defense Fund's Social Cost of Carbon rate of 50 USD per metric ton of carbon. The area of mangrove ecosystems increased by 11,064.84 hectares, rising from 139,998.87 ha (2006) to 151,063.71 ha (2023). The increase in mangrove area has also had a positive impact on carbon stock storage, which rose from 60,670 metric tons to 70,302 metric tons, with the Kubu Raya and Ketapang regions as the main contributors. The total economic value of these carbon services is projected to reach Rp 58 billion in 2023. These results also reveal that mangrove restoration and conservation programs make a tangible contribution to achieving the RO-12 FOLU Net Sink 2030 target and provide operational economic value.

Keywords: Mangroves, Carbon Stock, Economic Valuation, FOLU Net Sink 2030

*Corresponding author

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 29-07-2025

DOI:10.14710/buloma.v15i3.76611

Disetujui/Accepted : 13-07-2026

PENDAHULUAN

Provinsi Kalimantan Barat secara geografis terletak pada posisi 2° 05' LU – 3° 05' LS dan 108° 30' – 114° 10' BT. Secara dimensi kewilayahan, Kalimantan Barat dapat dibagi menjadi 3 (tiga) dimensi wilayah, yakni wilayah pesisir dan kepulauan, wilayah pedalaman dan wilayah perbatasan antar negara. Untuk wilayah pesisir dan kepulauan terdiri atas Kabupaten dan Kota yang berada di wilayah pesisir yakni Kota Pontianak, Kota Singkawang, Kabupaten Sambas, Kabupaten Mempawah, Kabupaten Bengkayang, Kabupaten Kubu Raya, Kabupaten Ketapang, dan Kabupaten Kayong Utara. Total garis pantai sepanjang 1.398 km. Luas wilayah laut Provinsi Kalimantan Barat sebesar 30.364,59 km² (Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Barat, 2023). Ekosistem mangrove merupakan salah satu komponen utama dari ekosistem *blue carbon* yang memiliki peran signifikan dalam mitigasi perubahan iklim. Mangrove menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa serta sedimen (Chowdhury *et al.*, 2018), menjadikannya sebagai penyerap karbon alami (*carbon sink*) yang sangat efektif di wilayah pesisir (Putri *et al.*, 2023).

Ekosistem mangrove juga memiliki manfaat serta jasa lingkungan yang luas bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Selain manfaat ekologis juga memiliki berbagai manfaat ekonomi bagi masyarakat. Penentuan nilai penting terhadap ekosistem tidak hanya dilakukan melalui pendekatan ekologi saja tetapi juga melalui valuasi ekonomi. Perhitungan nilai ekonomi dilakukan dengan menggunakan pendekatan langsung dan tidak langsung. Nilai simpanan karbon pada tegakan dan substrat (sebagai salah satu jasa ekosistem dari mangrove) diperhitungkan dengan skema pembayaran jasa ekosistem (*payment for ecosystem services*) sebagai karbon kredit. Di Indonesia sendiri belum banyak dilakukan penilaian estimasi nilai ekonomi terhadap ekosistem mangrove (Kepel *et al.*, 2017). Harga Karbon yang digunakan dalam menentukan nilai ekonomi mangrove mengacu pada *Social cost of carbon* menurut Environmental Defense Fund (Environmental Defense Fund, 2017). Harga yang ditetapkan yaitu sebesar 50 US\$ per ton karbon, jika dikonversikan 1 US\$ adalah sebesar Rp15.680,00. Disamping itu, estimasi harga karbon juga mengacu pada harga pasar sukarela dan pasar wajib *Clean Development Mechanism*

(CDM) masing-masing sebesar Rp. 84.000,00/tCO₂e dan Rp. 219.520,00/tCO₂e. Harga karbon per ton diambil dari data global market tahun 2010 (Farahisah *et al.*, 2021). Namun demikian, degradasi ekosistem pesisir Kalimantan Barat, khususnya di ekosistem mangrove, akibat antropogenik seperti pembuatan tambak, alih fungsi lahan menjadi perkebunan kelapa, dan kayu bakar telah menyebabkan abrasi (Akbar *et al.*, 2008) dengan laju 23 – 40 hektar pertahun (Akbar *et al.*, 2017).

Degradasi mangrove di Kalimantan Barat tentunya akan menurunkan peran dan manfaat ekologis dan ekonomis ekosistem mangrove. Seiring dengan upaya global untuk menurunkan emisi gas rumah kaca, Pemerintah Indonesia telah menetapkan target yang tertuang dalam dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) untuk mendukung pencapaian target tersebut, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) merancang kerangka kebijakan *Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030*, yang bertujuan untuk menjadikan sektor kehutanan dan penggunaan lahan sebagai penyerap karbon bersih paling lambat pada tahun 2030 (KLHK, 2022). Strategi ini kemudian dijabarkan ke dalam Rencana Operasional (RO), yakni dokumen teknis yang memuat langkah-langkah strategis, target luasan, serta indikator capaian yang dirancang secara spasial dan temporal. Salah satu RO yang berkaitan langsung dengan ekosistem pesisir adalah RO-12, yaitu Peningkatan Rehabilitasi dan Konservasi Ekosistem Pesisir, yang mencakup rehabilitasi dan konservasi hutan mangrove serta gambut pesisir. Meskipun kebijakan FOLU Net Sink 2030 telah menetapkan target rehabilitasi melalui Rencana Operasional 12 (RO-12), namun implementasinya di tingkat regional masih menghadapi kendala besar berupa minimnya data empiris yang mengintegrasikan dinamika spasial dengan nilai finansial nyata. Selama ini, perencanaan restorasi sering kali hanya berfokus pada luasan fisik tanpa mempertimbangkan variasi kapasitas serapan karbon dari setiap jenis spesies mangrove dominan yang ada di lapangan. Akibatnya, pembuat kebijakan tidak memiliki basis data kuantitatif untuk mengukur efektivitas ekonomi dari anggaran yang dikucurkan untuk konservasi. Tanpa adanya valuasi ekonomi karbon yang akurat dan berbasis spasial, potensi *blue carbon* di wilayah pesisir ini berisiko dikesampingkan dalam skema insentif internasional maupun kebijakan perdagangan

karbon nasional seperti Perpres No. 98 Tahun 2021. Oleh karena itu, masalah utama yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini adalah menjembatani kekosongan data tersebut dengan merumuskan model integratif antara perubahan tutupan lahan, estimasi stok karbon berbasis spesies, dan nilai ekonominya dalam mendukung target RO-12 secara faktual.

Berdasarkan permasalahan degradasi ekosistem mangrove, upaya rehabilitasi mangrove melalui kebijakan FOLU Netsink 2030 Kalimantan Barat, serta potensi ekonomi dari konsep karbon biru (*blue carbon*), maka kajian ini bertujuan untuk 1) menganalisis perubahan luasan ekosistem mangrove di wilayah pesisir Kalimantan Barat antara tahun 2006 dan 2023; 2) mengidentifikasi tipe ekosistem mangrove; 3) menghitung potensi stok karbon dan harga karbon yang dihasilkan dari wilayah pesisir di Kalimantan Barat yang mengacu pada *Social cost of carbon* menurut *Environmental Defense Fund*; 4) melakukan valuasi ekonomi atas potensi simpanan karbon berdasarkan harga karbon yang ditetapkan oleh *Environmental Defense Fund*; serta 5) mengestimasi pencapaian target FOLU Net Sink 2030, khususnya Rencana Operasional (RO) 12 terhadap kontribusi ekosistem mangrove pada valuasi ekonomi karbon biru.

MATERI DAN METODE

Lokasi penelitian ini berada di sepanjang pesisir Provinsi Kalimantan Barat. Wilayah pesisir terbagi menjadi beberapa kabupaten yakni Kota Pontianak, Kota Singkawang, Kabupaten Sambas, Kabupaten Mempawah, Kabupaten Bengkayang, Kabupaten Kubu Raya, Kabupaten Ketapang, dan Kabupaten Kayong Utara. Dimasing-masing Kabupaten tersebut terdiri dari Kecamatan yang memiliki Ekosistem Mangrove. Pada penelitian ini di fokuskan pada kecamatan yang berada di wilayah pesisir Kalimantan Barat. Penelitian ini dilakukan menggunakan data sekunder berupa peta tutupan lahan dan ekosistem mangrove tahun 2006 dan 2022 dari Bappeda Kalimantan Barat. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi perubahan ekosistem mangrove, identifikasi tipe ekosistem mangrove, estimasi biomassa dan simpanan karbon, serta valuasi ekonomi karbon.

Identifikasi Perubahan Ekosistem Mangrove

Identifikasi perubahan ekosistem mangrove dilakukan menggunakan data sekunder berupa peta

tutupan lahan tahun 2006 dan 2023 serta peta kawasan mangrove tahun 2006 dan 2023 yang diperoleh dari Bappeda Provinsi Kalimantan Barat. Seluruh data spasial terlebih dahulu diperiksa kesesuaian sistem koordinat dan proyeksinya untuk memastikan bahwa seluruh peta memiliki referensi geografis yang sama sehingga dapat dianalisis secara akurat. Selanjutnya, peta tutupan lahan tahun 2006 dan 2023 diinput ke dalam perangkat lunak ArcGIS 10.8 untuk diolah dan dianalisis secara spasial. Analisis perubahan ekosistem mangrove dilakukan melalui metode overlay antara peta tutupan lahan tahun 2006 dan 2023 untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan dan penutupan lahan selama periode pengamatan (Malik *et al.*, 2023). Hasil overlay tersebut kemudian ditumpang tindihkan dengan peta kawasan mangrove pada masing-masing tahun untuk memperoleh informasi mengenai distribusi dan luasan ekosistem mangrove. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dilakukan perhitungan luas mangrove pada tahun 2006 dan 2023 sehingga dapat diketahui besarnya perubahan yang terjadi, baik berupa peningkatan maupun penurunan, pada luas ekosistem mangrove selama periode penelitian. Hasil analisis perubahan ekosistem mangrove selanjutnya disajikan dalam bentuk peta tematik dan tabel sebagai dasar analisis pada tahap berikutnya.

Identifikasi Tipe Ekosistem Mangrove

Identifikasi tipe ekosistem mangrove dilakukan berdasarkan peta sebaran mangrove yang diperoleh dari hasil analisis overlay pada tahap sebelumnya. Klasifikasi tipe ekosistem mangrove mengacu pada pedoman yang diterbitkan oleh Food and Agriculture Organization (FAO) (2007) mengenai karakteristik, struktur, dan fungsi ekosistem mangrove. Proses identifikasi diawali dengan pengelompokan kawasan mangrove berdasarkan tipe ekosistem yang terdapat di wilayah pesisir Kalimantan Barat. Selanjutnya, jenis vegetasi mangrove dominan pada masing-masing tipe ekosistem ditentukan berdasarkan data dan informasi yang diperoleh dari penelitian terdahulu yang relevan. Penentuan spesies mangrove dominan dilakukan menggunakan nilai Indeks Nilai Penting (INP) tertinggi, karena nilai tersebut menunjukkan tingkat dominansi suatu spesies dalam komunitas mangrove (Da Costa *et al.*, 2023). Setelah spesies dominan pada setiap tipe ekosistem ditetapkan, dilakukan penyesuaian

menggunakan persamaan allometrik yang sesuai untuk mendukung perhitungan biomassa. Hasil identifikasi tipe ekosistem mangrove dan spesies dominan yang diperoleh pada tahap ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk estimasi biomassa dan perhitungan simpanan karbon pada masing-masing kawasan mangrove di wilayah pesisir Provinsi Kalimantan Barat.

Estimasi Biomassa dan Simpanan Karbon

Estimasi biomassa dan simpanan karbon dilakukan berdasarkan tipe ekosistem mangrove dan spesies dominan yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Perhitungan biomassa mengacu pada persamaan allometrik yang sesuai dengan karakteristik spesies mangrove dominan di masing-masing kawasan mangrove. Nilai biomassa per hektar diperoleh dari berbagai literatur dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan kondisi ekosistem mangrove di wilayah penelitian. Tahap awal perhitungan dilakukan dengan menentukan jenis mangrove dominan di setiap kawasan mangrove berdasarkan hasil identifikasi tipe ekosistem. Selanjutnya, dipilih persamaan allometrik yang sesuai untuk masing-masing spesies dominan sebagai dasar estimasi biomassa. Biomassa total kemudian dihitung dengan mengalikan nilai biomassa per hektar dengan luas mangrove yang diperoleh dari analisis spasial. Setelah nilai biomassa total diperoleh, dilakukan estimasi simpanan karbon menggunakan faktor konversi karbon sebesar 0,47 sesuai pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2006) dan SNI 7725:2019. Faktor konversi tersebut digunakan untuk mengubah nilai biomassa menjadi jumlah karbon tersimpan, sehingga diperoleh estimasi simpanan karbon pada masing-masing kawasan mangrove maupun total simpanan karbon di wilayah pesisir Provinsi Kalimantan Barat.

$$c = B \times 0,47$$

Keterangan: c = Jumlah stok karbon (ton); B = Biomassa jenis mangrove

Estimasi simpanan karbon umumnya dinyatakan dalam Mg C/ha atau ton C/ha dan rumus konversinya dapat digunakan persamaan sebagai berikut (SNI 7724, 2011) :

$$C_n = \frac{10.000}{L \text{ Area Mangrove}} \times \frac{C_B}{1000}$$

Keterangan : C_n = Simpanan Karbon; C_B = Karbon Biomassa; L area mangrove = Luas area jenis mangrove (Badan Standardisasi Nasional, 2011)

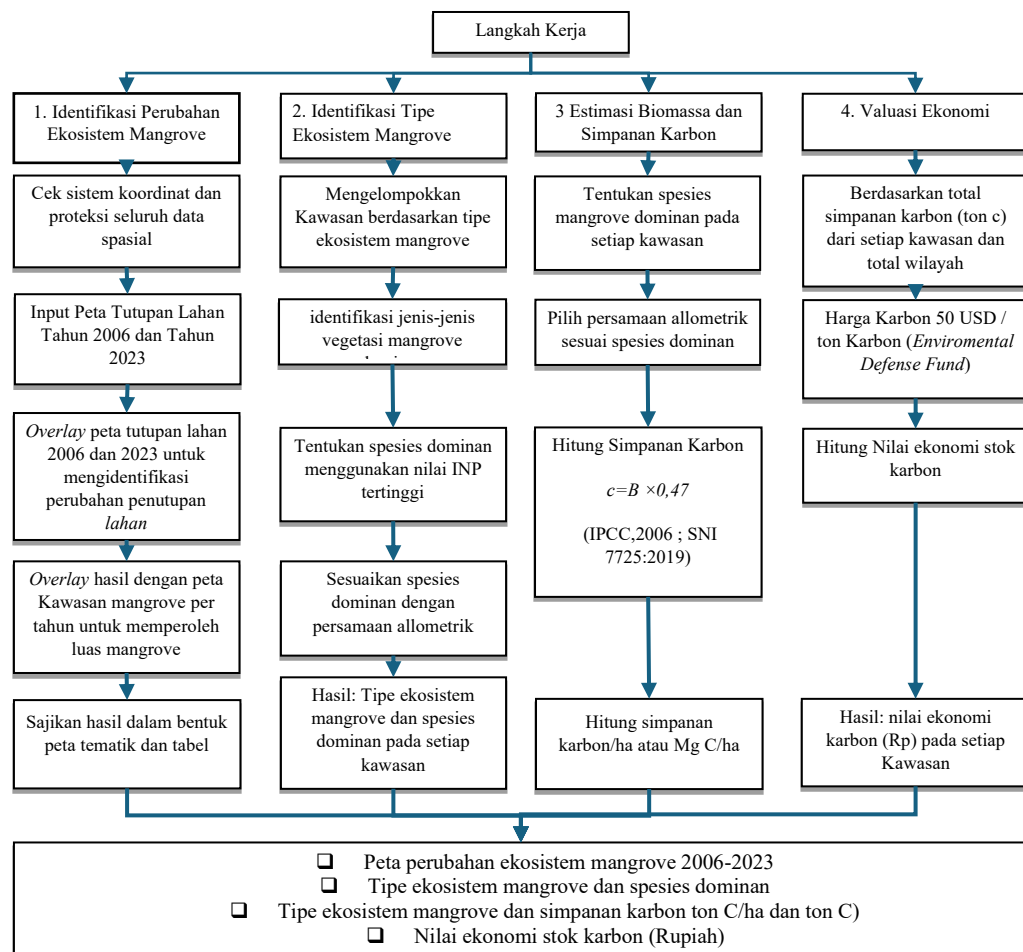
Setelah mendapatkan nilai Potensi stok karbon, selanjutnya mengestimasi harga ekonomi stok karbon dengan mengalikan harga karbon, menurut *Environmental Defense Fund*, yaitu sebesar 50 USD per ton karbon. Harga konversi 1\$ adalah Rp 16.500,000. Secara sederhana, langkah kerja kajian ini dijelaskan pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa luas ekosistem mangrove di Kalimantan Barat mengalami peningkatan sebesar 11.064,84 hektar dalam kurun waktu 2006 hingga 2023, dari 139.998,87 ha menjadi 151.063,71 ha (Tabel 1). Peningkatan ini terjadi di beberapa kabupaten seperti Sambas (Gambar 2), Mempawah (Gambar 3), dan Ketapang (Gambar 4), yang dipengaruhi oleh keberhasilan program rehabilitasi, dukungan kebijakan pemerintah, serta kondisi geografis yang mendukung akumulasi sedimen (Safitri *et al.*, 2024). Selain itu, adanya akresi alami dan sedimentasi dari aliran sungai besar di kawasan pesisir turut berkontribusi terhadap perluasan habitat mangrove (Paputungan *et al.*, 2016). Beberapa faktor tambahan yang turut mendorong peningkatan luasan mangrove termasuk regenerasi alami pada lahan bekas tambak yang terbengkalai, serta dukungan dari proyek-proyek restorasi berbasis masyarakat yang dilaksanakan di wilayah pesisir dengan tingkat keberhasilan tinggi (Marini *et al.*, 2018). Di sisi lain, penurunan luasan juga terjadi di sejumlah wilayah, terutama di Kabupaten Kayong Utara dan sebagian Kecamatan Simpang Hilir. Faktor penyebab utamanya meliputi alih fungsi lahan menjadi tambak dan perkebunan, pemanfaatan kayu mangrove secara ilegal, serta pembangunan infrastruktur pesisir tanpa mempertimbangkan aspek keberlanjutan ekosistem (Suryono *et al.*, 2018). Selain itu, tekanan alami seperti abrasi dan kenaikan muka air laut semakin memperparah kondisi tersebut, terutama di wilayah pesisir yang memiliki dataran rendah dan minim pasokan sedimen (Hariphin *et al.*, 2016). Oleh karena itu, keberhasilan peningkatan tutupan mangrove sangat bergantung pada kombinasi upaya restorasi, pengelolaan berbasis ekosistem, dan pengawasan terhadap aktivitas antropogenik di wilayah pesisir.

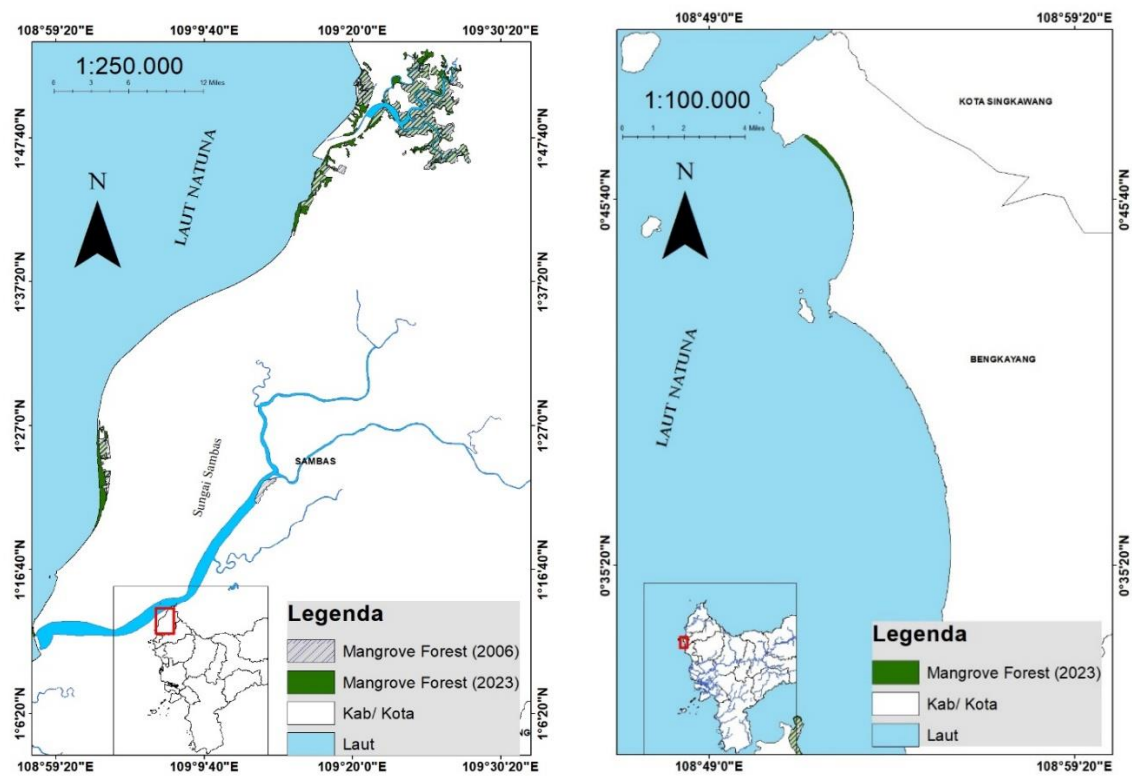
Tabel 1. Luasan Ekosistem Mangrove di Kalimantan Barat tahun 2006 dan 2023

Kabupaten	Total Luas 2006 (Ha)	Total Luas 2023 (Ha)
Sambas	10.022,02	11.945,80
Bengkayang	0,00	67,73
Mempawah	6.344,59	9.614,40
Kubu Raya	96.750,19	97.507,60
Ketapang	2.170,22	8.164,83
Kayong Utara	24.711,85	23.763,34
Total	139.998,87	151.063,70

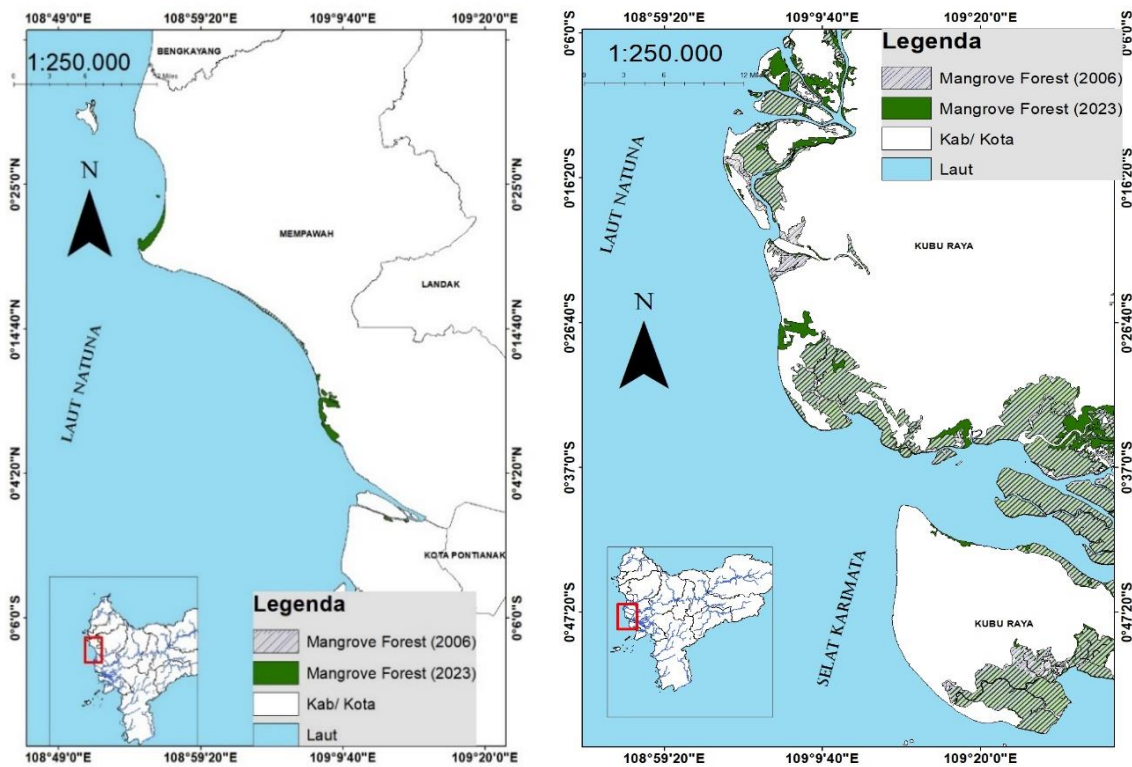
**Gambar 1.** Langkah kerja penilaian ekonomi stok karbon pada ekosistem mangrove

Berdasarkan Tabel.1, penurunan luasan mangrove khususnya di Kabupaten Kayong Utara yang menghadapi tekanan akibat kenaikan muka air laut dan abrasi pesisir yang tidak seimbang dengan akresi. IPCC (2019) menegaskan bahwa wilayah pesisir dataran rendah sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim, terutama jika ekosistem mangrove tidak mampu bermigrasi ke

daratan. Selain itu, konversi lahan untuk tambak dan permukiman menjadi penyebab utama degradasi mangrove, yang juga berdampak pada hilangnya fungsi ekologis dan ekonomi (Akbar *et al.*, 2008; Akbar *et al.*, 2017; Suryono *et al.*, 2018). Wilayah seperti Bengkayang memiliki tutupan mangrove terbatas karena kondisi geomorfologis yang tidak mendukung, seperti pantai berbatu dan



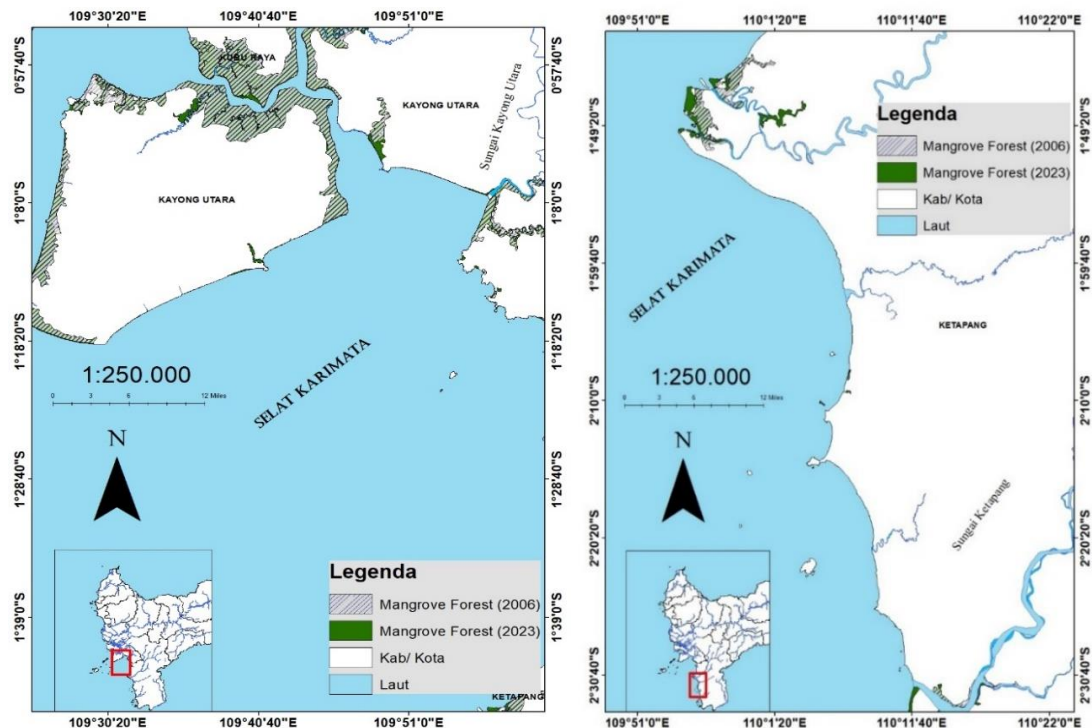
Gambar 2. Peta Sebaran Mangrove Kabupaten Sambas dan Kabupaten Bengkayang



Gambar 3. Peta Sebaran Mangrove Kabupaten Mempawah dan Kabupaten Kubu Raya

Tabel 2. Prediksi Target Pencapaian RO-12 sampai Tahun 2030

Kabupaten	Total Luas RO 2030 (ha)	Eksisting Mangrove (ha)	Rencana Perbaikan Mangrove (ha)	Prediksi Target Pencapaian sampai Tahun 2030 menurut tingkat keberhasilan tumbuh (ha)			
				20%	50%	80%	100%
Kubu Raya	10.867,58	5.390,18	5.477,40	1.095,48	2.738,70	4.381,92	5.477,40
Sambas	336,79	35,18	301,61	60,32	150,81	241,29	301,61
Ketapang	2.847,96	221,72	2.626,24	525,25	1.313,12	2.100,99	2.626,24
Kayong Utara	7.941,07	53,34	7.887,73	1.577,55	3.943,87	6.310,18	7.887,73
Mempawah	811,94	721,04	90,9	18,18	45,45	72,72	90,9
	22.805,34	6.421,46	16.383,88	3.276,78	8.191,95	13.107,10	16.383,88

**Gambar 4.** Peta Sebaran Mangrove Kabupaten Kayong Utara dan Kabupaten Ketapang

topografi yang tinggi (Hariphin *et al.*, 2016). Perencanaan restorasi ekosistem mangrove dalam kerangka FOLU Net Sink 2030 di Kalimantan Barat melibatkan target capaian perbaikan hutan mangrove yang terukur secara spasial. Tingkat kebutuhan restorasi ekosistem mangrove di wilayah pesisir Kalimantan Barat, khususnya di lima kabupaten, menunjukkan variasi yang signifikan dan mencerminkan kompleksitas perencanaan FOLU Net Sink 2030 secara spasial.

Berdasarkan Tabel 2, luasan ekosistem mangrove yang akan direhabilitasi tersebar hanya di lima kabupaten, dengan luasan RO-12 sekitar 22.805 ha. Dari luasan keseluruhan yang

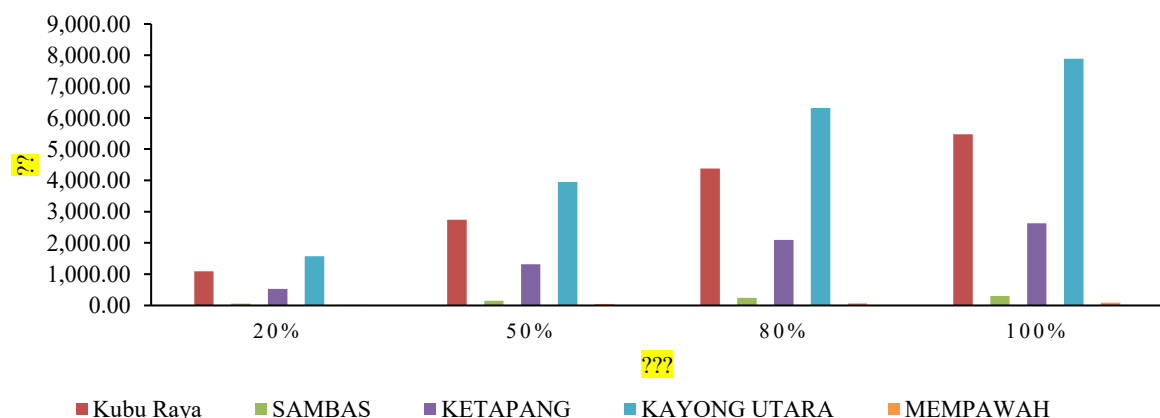
direncanakan, terdapat 16.383 ha harus direhabilitasi mangrovenya. Kabupaten Kubu Raya memiliki luasan perbaikan sebesar 5.477,40 ha, menjadikannya salah satu kawasan prioritas dalam pengelolaan karbon biru. Hal ini tidak terlepas dari karakteristik geomorfologi wilayahnya yang terdiri dari estuari dan muara sungai, yang mendukung propagul mangrove untuk berakar dan berkembang (Alongi, 2014). Sebaliknya, Kabupaten Kayong Utara menampilkan anomali dengan luasan eksisting mangrove hanya 53,34 ha namun kebutuhan perbaikannya mencapai 7.887,73 ha, yang menunjukkan adanya tekanan antropogenik tinggi

serta degradasi historis yang masif, sehingga menuntut pendekatan restorasi yang berbasis lanskap dan partisipatif (Santini *et al.*, 2019). Kabupaten Ketapang dan Sambas memperlihatkan kebutuhan restorasi masing-masing sebesar 2.626,24 ha dan 301,61 ha. Kedua wilayah ini masih memiliki cadangan vegetasi alami yang cukup baik, sehingga program rehabilitasi diperkirakan akan memiliki tingkat keberhasilan lebih tinggi. Sementara itu, Kabupaten Mempawah mencerminkan kondisi mangrove yang relatif stabil dengan kebutuhan perbaikan hanya 90,90 ha dari total luasan RO sebesar 811,94 ha, sehingga strategi pengelolaan lebih difokuskan pada perlindungan dan peningkatan kapasitas masyarakat dalam pengawasan ekosistem (Bunting *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pendekatan restorasi mangrove yang berbasis data spasial dan kondisi ekologis spesifik wilayah menjadi kunci untuk mendukung pencapaian target FOLU Net Sink 2030 secara efektif dan berkelanjutan.

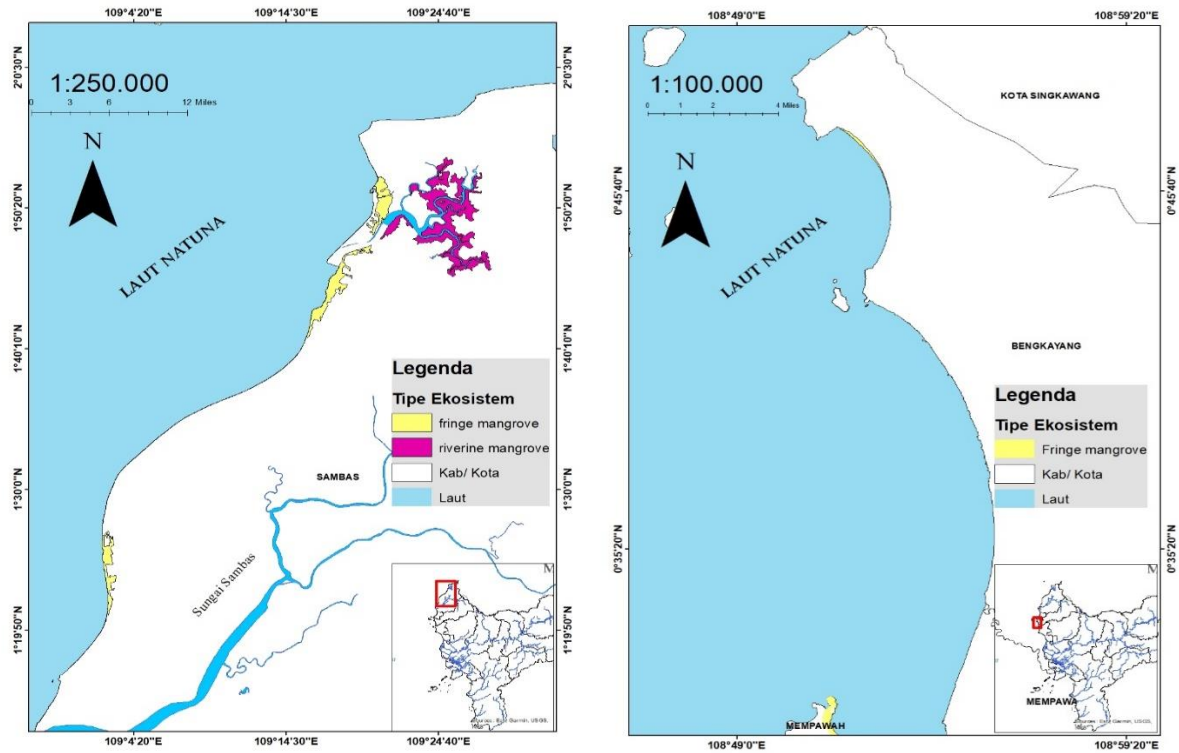
Grafik pencapaian target RO-12 menunjukkan proyeksi luasan rehabilitasi ekosistem mangrove di lima kabupaten pesisir Kalimantan Barat berdasarkan tingkat capaian keberhasilan sebesar 20%, 50%, 80%, dan 100%. Kabupaten Kayong Utara menempati posisi tertinggi dalam seluruh kategori capaian, dengan total target rehabilitasi seluas 7.887,73 hektar. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah ini mengalami degradasi mangrove yang signifikan, dan karenanya menjadi prioritas dalam upaya pemulihan ekosistem. Kondisi ini sejalan dengan temuan Alongi (2012), yang menyatakan bahwa daerah pesisir yang mengalami konversi lahan besar-besaran untuk aktivitas budidaya perikanan

dan permukiman cenderung memiliki kerentanan tinggi terhadap kehilangan tutupan mangrove. Selain itu, letak geografis Kayong Utara yang berada di dataran rendah dengan tekanan abrasi dan kenaikan muka air laut turut memperparah kerusakan yang terjadi (Lovelock *et al.*, 2015). Sementara itu, Kabupaten Mempawah menunjukkan kebutuhan rehabilitasi yang paling rendah dengan target hanya 90,90 hektar pada capaian penuh. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi mangrove di Mempawah relatif stabil, kemungkinan besar disebabkan oleh keberhasilan konservasi lokal dan upaya rehabilitasi yang konsisten sejak awal. Kabupaten Kubu Raya berada pada posisi kedua tertinggi setelah Kayong Utara, yang juga memiliki luas mangrove terbesar di Kalimantan Barat. Kebutuhan perbaikannya mencapai 5.477,40 hektar, yang mencerminkan pentingnya wilayah ini dalam kontribusi terhadap target nasional FOLU Net Sink 2030 (KLHK, 2022).

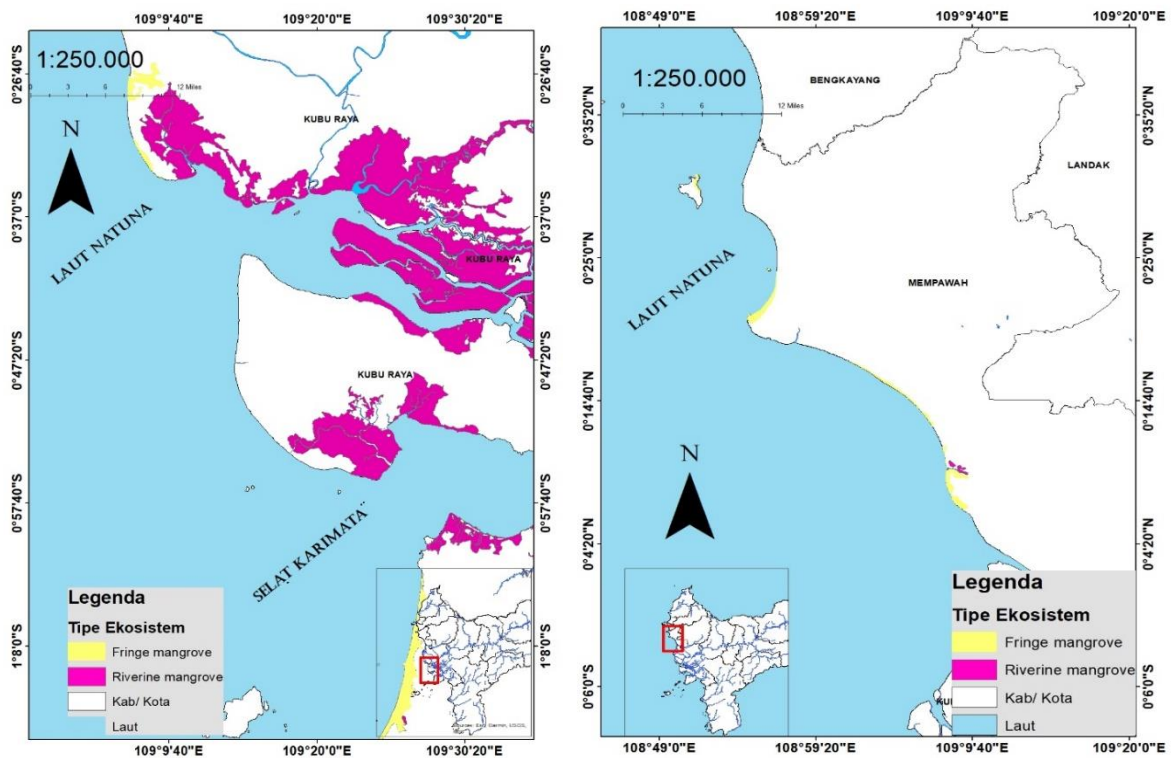
Kabupaten Sambas dan Ketapang menunjukkan kebutuhan sedang dalam hal perbaikan mangrove. Peningkatan target capaian dari 20% ke 100% memperlihatkan peningkatan progresif dalam luasan rehabilitasi, yang menjadi dasar penting untuk pengalokasian anggaran dan sumber daya restorasi secara efektif. Sejalan dengan itu, Giri *et al.*, (2011) menekankan bahwa perencanaan spasial berbasis data spasial berkala sangat penting untuk menetapkan wilayah prioritas rehabilitasi yang berkelanjutan di kawasan tropis. Ekosistem mangrove memiliki karakteristik ekologis dan fungsi ekosistem yang berbeda, yang sangat memengaruhi strategi konservasi, potensi penyimpanan karbon, serta adaptasi terhadap



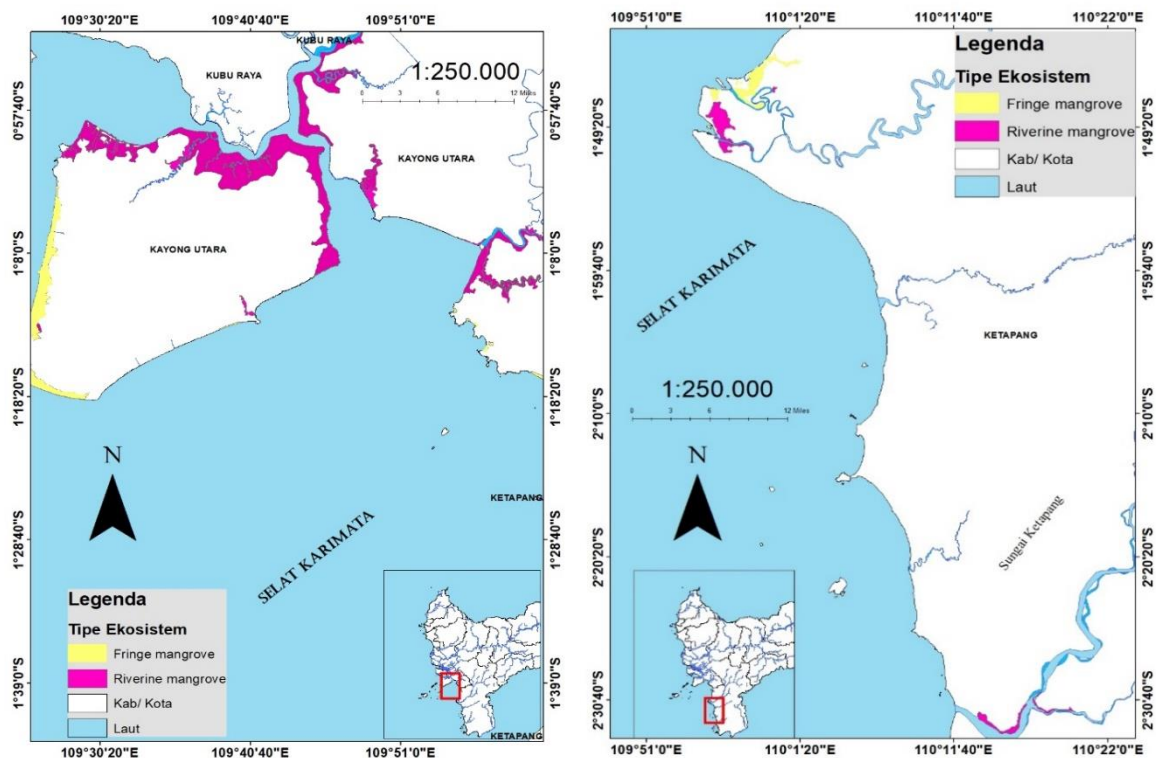
Gambar 5. Grafik Pencapaian Target RO 12 di Kalimantan Barat



Gambar 6. Peta Sebaran Tipe Ekosistem Mangrove Kabupaten Sambas dan Kabupaten Bengkayang



Gambar 7. Peta Sebaran Tipe Ekosistem Mangrove Kabupaten Mempawah dan Kabupaten Kubu Raya



Gambar 8. Peta Sebaran Tipe Ekosistem Mangrove Kabupaten Kayong Utara dan Kabupaten Ketapang

perubahan lingkungan (Liu *et.al.* 2024). Oleh karena itu, identifikasi tipe ekosistem mangrove menjadi landasan penting dalam merumuskan kebijakan rehabilitasi dan pengelolaan yang berbasis ekoregion.

Berdasarkan hasil citra mangrove Kalimantan Barat yang sudah disesuaikan dengan tipe ekosistem mangrove klasifikasi ini mengacu pada pedoman yang dikeluarkan oleh Food and Agriculture Organization (FAO, 2007) dalam dokumen "*The World Atlas of Mangroves*" serta panduan teknis mengenai struktur dan fungsi ekosistem mangrove. Tipe ekosistem mangrove di Kalimantan Barat terbagi menjadi tipe *riverine mangrove forest* dan *fringe mangrove forest*. Berdasarkan klasifikasi dari FAO (2007), mangrove di Kalimantan Barat (Gambar 6 – 8) terbagi menjadi dua tipe utama, yaitu *fringe mangrove forest* dan *riverine mangrove forest*. *Fringe mangrove* berkembang di sepanjang garis pantai yang langsung terkena pasang surut, dengan substrat dominan pasir atau lempung (Zakia *et al.*, 2022). *Riverine mangrove* tumbuh di wilayah muara dan sepanjang aliran sungai dengan pasokan nutrisi tinggi dan substrat berlumpur. Mangrove tipe *riverine* memiliki kapasitas penyimpanan

karbon yang tinggi karena menerima pasokan sedimen dan bahan organik dari daerah aliran sungai, yang meningkatkan produktivitas vegetasi, akumulasi biomassa, serta penyimpanan karbon pada sedimen dan biomassa (Zhang *et al.*, 2024). Kedua tipe ekosistem ini memiliki distribusi spasial yang saling melengkapi dan mencerminkan adaptasi terhadap kondisi geomorfologi dan hidrologi setempat (Purnobasuki, 2005). Jenis mangrove dominan sangat memengaruhi kapasitas penyimpanan karbon *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Avicennia marina* merupakan spesies dominan yang memiliki struktur biomassa besar dan umur panjang, sehingga menyumbang simpanan karbon tinggi (Donato *et al.*, 2011). *Rhizophora* spp. memiliki struktur batang besar dan akar penyangga yang luas (Muarif, 2017), sementara *A. marina* memiliki persebaran luas meski dengan stok karbon lebih rendah (Marini *et al.*, 2018).

Berdasarkan data yang dianalisis pada Tabel 3, simpanan karbon mangrove Kalimantan Barat meningkat dari 60.670,23 ton pada tahun 2006 menjadi 70.302,14 ton pada tahun 2023. Penelitian ini menunjukkan sinergis dengan peningkatan luas ekosistem mangrove sebesar 11.064,84 hektar.

Tren positif pertumbuhan luasan dan kapasitas penyerapan karbon ini sejalan dengan pola pemulihan vegetasi pesisir (Wulandari dan Achsam, 2026). Keberhasilan pengelolaan ekosistem pesisir secara berkelanjutan akan berbanding lurus dengan peningkatan akumulasi biomassa tegakan dan serapan karbon. Peningkatan ini sejalan dengan perluasan luasan mangrove dan dominasi spesies berbiomassa tinggi seperti *Rhizophora apiculata* dan *S. alba* (Ramadhanti *et al.*, 2022). Namun, jika dibandingkan dengan rata-rata nasional, kerapatan stok karbon per hektar dalam penelitian ini cenderung bervariasi bergantung pada jenis spesies dominannya. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran diameter batang (DBH) dan struktur jenis spesies (seperti genus *Rhizophora* spp.) memiliki peranan penting sebagai penentu utama besaran cadangan karbon alami (biomassa) (Lomba *et al.*, 2026), bukan hanya bergantung pada aspek luas lanskap semata.

Kabupaten Ketapang menunjukkan peningkatan paling signifikan, dari 2.776,87 ton menjadi 10.447,14 ton, didorong oleh pertumbuhan vegetasi *Rhizophora* hasil program rehabilitasi (Fitriyaningsih *et al.*, 2022). Kondisi fisik dan kimia lingkungan pesisir Kalimantan Barat turut menentukan dominansi jenis mangrove, misalnya, *A. marina* yang toleran terhadap salinitas

tinggi dan sering ditemukan di fringe mangrove (Lumban *et al.*, 2022). Sementara itu, *R. mucronata* dan *B. gymnorrhiza* tumbuh optimal di zona *riverine* dengan substrat lumpur dan pasokan air tawar (Suryono *et al.*, 2018); suhu optimal 20–27°C serta kandungan bahan organik tinggi turut mendukung pertumbuhan vegetasi mangrove (Mughofara *et al.*, 2018). Analisis Indeks Nilai Penting (INP) menunjukkan bahwa spesies dominan memiliki pengaruh besar terhadap kestabilan ekosistem dan kapasitas simpanan karbon (Shah *et al.*, 2021). Kawasan seperti Kubu Raya menunjukkan keanekaragaman jenis tinggi, dengan lima jenis dominan, menandakan habitat kompleks dan perpaduan antara tipe *fringe* dan *riverine mangrove*. Kabupaten lain seperti Kayong Utara juga menunjukkan keunikan dengan hadirnya *A. lanata*, yang jarang ditemukan di wilayah lain. Keberagaman jenis mangrove di Kalimantan Barat tidak hanya penting dari aspek ekologis tetapi juga dalam konteks mitigasi perubahan iklim. Jenis-jenis dengan stok karbon tinggi perlu menjadi fokus dalam strategi rehabilitasi dan konservasi. Mengingat peran vital mangrove sebagai penyerap karbon, pelindung pantai, dan habitat biota pesisir, maka pengelolaan berbasis spesies dan kondisi lingkungan setempat sangat krusial untuk menjamin efektivitas

Tabel 3. Simpanan Karbon Mangrove Kalimantan Barat

Kabupaten	Jenis Mangrove Dominan Berdasarkan INP	Luas (Ha) 2006	Luas (Ha) 2023	Stok Karbon (Biomassa/kg/ ha)	Simpanan Karbon Area (Ton)	
					2006	2023
Mempawah (Ramadhanti <i>et al.</i> , 2022)	<i>A. marina</i>	90,95	993,16	509,90	46,38	506,41
	<i>R. mucronata</i>	351,70	830,49	1.279,53	450,01	1.062,64
Sambas (Yunita <i>et al.</i> , 2024)	<i>A. marina</i>	9.749,68	10.119,17	509,90	4.971,36	5.159,76
	<i>B. gymnorrhiza</i>	272,34	1.826,63	42,83	11,66	78,23
Bengkayang (Hariphin <i>et al.</i> , 2016)	<i>A. marina</i>		67,73	509,90	0,00	34,54
	<i>R. apiculata</i>	31.647,57	38.106,84	288,67	9.135,70	11.000,30
Kubu Raya (Shah <i>et al.</i> , 2021)	<i>B. gymnorrhiza</i>	15.345,26	8.949,92	42,83	657,24	383,33
	<i>R. mucronata</i>	25.380,52	25.450,42	1.279,53	32.475,14	32.564,58
	<i>R. stylosa</i>	20.701,41	23.362,54	46,64	965,51	1.089,63
	<i>B. cylindrical</i>	9.577,37	9.428,64	64,35	616,30	606,73
Kayong Utara (Khairunnisa <i>et al.</i> , 2020)	<i>R. apiculata</i>	10.721,87	9.502,07	288,67	3.095,08	2.742,96
	<i>A. ianata</i>	3.497,77	5.560,09	34,02	118,99	189,15
	<i>A. marina</i>	10.492,21	8.701,19	509,90	5.349,98	4.436,74
Ketapang (Fitriyaningsih <i>et al.</i> , 2022)	<i>Rhizopora</i>	2.170,22	8.164,83	1.279,53	2.776,87	10.447,14
Total		139.998,87	151.063,72		60.670,23	70.302,14

pemulihan ekosistem secara berkelanjutan (Junaedi *et al.*, 2020). Valuasi ekonomi terhadap jasa simpanan karbon merupakan pendekatan penting dalam memahami nilai finansial dari fungsi ekosistem mangrove (Tahang *et al.*, 2018) sebagai penyerap karbon dioksida (CO₂). Pendekatan ini tidak hanya mencerminkan pentingnya aspek ekologis, tetapi juga memberikan dasar kuantitatif dalam merancang strategi konservasi dan pembangunan berkelanjutan berbasis lingkungan (Hasibuan *et al.*, 2021). Valuasi ini dilakukan dengan menghitung besarnya karbon yang disimpan oleh ekosistem mangrove dan mengalikan nilai tersebut dengan harga karbon pasar, baik dari mekanisme pasar sukarela maupun pasar wajib.

Dalam konteks internasional, mekanisme seperti REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) telah mendorong negara-negara untuk melestarikan ekosistem hutan dan mangrove melalui insentif berbasis hasil guna menurunkan emisi gas rumah kaca (Djaenudin *et al.*, 2016). Sejalan dengan itu, Pemerintah Indonesia mengadopsi pendekatan nilai ekonomi karbon melalui kebijakan nasional, seperti Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon, yang menjadi pijakan hukum bagi pelaksanaan skema perdagangan karbon di Indonesia. Otoritas Jasa Keuangan (OJK) juga telah menetapkan Peraturan OJK No. 14 Tahun 2023 yang mendukung perdagangan karbon sebagai instrumen pasar untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK).

Berdasarkan Tabel 4, valuasi ekonomi karbon mangrove Kalimantan Barat memperlihatkan dinamika positif selama periode 2006–2023. Kabupaten Mempawah mengalami peningkatan nilai ekonomi dari Rp. 409.637.250 menjadi Rp. 1.294.466.250, sedangkan Ketapang mencatat lonjakan dari Rp. 2.290.917.750 menjadi Rp. 8.618.890.500. Tren peningkatan paling tinggi adalah Kubu Raya dari 6 milyar rupiah (2006) menjadi 37 milyar rupiah (2023), sehingga Kabupaten Kubu Raya menjadi penyumbang terbesar jasa simpanan karbon secara keseluruhan. Sebaliknya, Kabupaten Kayong Utara mengalami penurunan valuasi dari Rp. 7 milyar menjadi Rp. 6 milyar, yang mengindikasikan kemungkinan terjadinya degradasi ekosistem atau deforestasi mangrove (Farahisah *et al.*, 2021). Dengan diperolehnya nilai ekonomi total sebesar Rp 58 miliar (menggunakan basis *Social Cost of Carbon*),

membuktikan secara empiris bahwa program rehabilitasi pesisir memiliki nilai ekonomi operasional yang sangat tinggi. Pendekatan ini memperkuat argumen Ma'ruf *et al.*, (2025) bahwa valuasi ekonomi karbon merupakan instrumen strategis yang mendesak untuk mempercepat transisi menuju ekonomi hijau serta memvalidasi kelayakan komoditas *blue carbon* ke dalam bursa perdagangan karbon nasional berdasarkan Perpres No. 98 Tahun 2021. Secara hukum dan tata kelola, integrasi data spasial-ekonomi yang dihasilkan riset ini memberikan kontribusi baru bagi penguatan kebijakan restorasi nasional Satriawan dan Satriawan (2026), khususnya dalam menyediakan kontrol berbasis data guna mencegah konversi lahan pesisir secara berkelanjutan.

Secara keseluruhan, nilai simpanan karbon meningkat dari 60.670,38 ton menjadi 70.303,14 ton selama periode 17 tahun. Hal ini berbanding lurus dengan peningkatan nilai ekonomi simpanan karbon dari Rp. 20 miliar menjadi Rp 58 miliar. Adanya peningkatan ini menandakan keberhasilan sejumlah program konservasi dan rehabilitasi mangrove di sebagian besar wilayah Kalimantan Barat. Nilai valuasi mangrove di Kalimantan Barat akan semakin meningkat apabila upaya rehabilitasi ekosistem pesisir sebagaimana target RO – 12 dapat tercapai maksimal (100%) pada tahun 2030, sehingga akan ada potensi sebesar 3.277 ha - 16.384 ha (Tabel 2) tambahan luasan mangrove pada 2030. Sejalan dengan peningkatan luasan akibat upaya RO – 12 ini akan meningkatkan kemampuan serapan karbon sebesar 1.525 – 7.625 ton (terjadi peningkatan 2 – 11% simpanan karbon dari tahun 2023). Artinya peningkatan simpanan karbon juga akan meningkatkan valuasi nilai karbon mangrove (*blue carbon*) di Kalimantan Barat ini sekitar 59 – 64 milyar rupiah pada tahun 2030. Namun demikian, data valuasi juga menunjukkan adanya "selisih kehilangan" potensial yang dapat terjadi, apabila kondisi eksisting mangrove yang teridentifikasi tetap dipertahankan dan tidak terdegradasi akibat dinamika kejadian pesisir dan tekanan antropogenik. Penelitian ini masih sangat berpotensi untuk dikaji kembali dimasa yang akan datang, terutama mengenai evaluasi program RO-12 pada masa yang akan datang terhadap potensi yang telah di-indikasikan pada penelitian ini. Disamping itu, penelitian yang lebih terperinci tentang dinamika mangrove di pesisir Kalimantan Barat dari masa ke masa menjadi suatu trend pengelolaan pesisir yang terintegrasi (*Integrated*

Tabel 4. Valuasi ekonomi jasa simpanan karbon mangrove Kalimantan Barat

Kabupaten/ Kota	Harga Karbon (US\$/Ton)*	Simpanan Karbon (Ton)		Valuasi Ekonomi (Rp)	
		2006	2023	2006	2023
Mempawah	Rp16.500,00	496,53	1.569,05	409.637.250	1.294.466.250
Sambas		4.983,03	5.238,00	4.110.999.750	4.321.350.000
Bengkayang		0	35,54	0	29.320.500
Kubu Raya		43.849,90	45.644,56	6.176.167.500	37.656.762.000
Kayong Utara		8.564,05	7.368,85	7.065.341.250	6.079.301.250
Ketapang		2.776,87	10.447,14	2.290.917.750	8.618.890.500
Total		60.670,38	70.303,14	20.053.063.500	58.000.090.500

*Modifikasi dari Farahisah *et al.*, (2021).

Coastal Zone Management -ICZM) dengan ekosistem penghasil *blue carbon* lainnya seperti padang lamun dan terumbu karang (Putri *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Analisis spasial selama periode 2006–2023 menunjukkan keberhasilan pemulihan kawasan pesisir yang signifikan, khususnya ekosistem mangrove. Luasan ekosistem mangrove mengalami ekspansi sebesar 11.064,84 hektar, meningkat dari 139.998,87 ha pada tahun 2006 menjadi 151.063,71 ha pada tahun 2023. Sejalan dengan perluasan vegetasi, kapasitas penyerapan karbon mengalami peningkatan kuantitatif yang nyata. Penelitian ini menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di pesisir Kalimantan Barat mengalami peningkatan kapasitas ekologis sebagai penyerap karbon, dengan total simpanan karbon naik dari 60.670,38 ton pada tahun 2006 menjadi 70.303,14 ton pada tahun 2023. Ekosistem mangrove di Kubu Raya dan Ketapang memiliki kontributor cadangan terbesar. Berdasarkan pendekatan *Social Cost of Carbon* (SCC), nilai ekonomi total dari jasa penyerapan karbon mangrove ini bernilai sangat tinggi, yaitu mencapai Rp 58 miliar pada tahun 2023. Peningkatan ini memberikan kontribusi positif terhadap mitigasi perubahan iklim dan menghasilkan nilai ekonomi yang signifikan. Meskipun terdapat peningkatan, kerugian ekonomi akibat degradasi lokal, seperti di Kayong Utara, masih menunjukkan perlunya penguatan upaya konservasi. Hasil ini sejalan dengan target FOLU Net Sink 2030, khususnya Rencana Operasional (RO) 12, yang menekankan penguatan pengelolaan ekosistem karbon biru. Keberhasilan program ini memerlukan sinergi antara kebijakan pusat dan daerah serta pendekatan

berbasis komunitas dan keadilan ekosistem. Tingkat keberhasilan upaya FOLU Netsink di Kalimantan Barat, berpotensi meningkatkan kualitas simpanan karbon mangrove sekitar 2–11%.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A.A., Djohan, T.S., & Sartohadi, J. 2008. Ekosistem mangrove dan abrasi di pesisir Kalimantan Barat. *Forum Geografi*, 22(1):60–71.
- Akbar, A.A., Sartohadi, J., Djohan, T.S. & Ritohardoyo, S. 2017. The role of breakwaters on the rehabilitation of coastal and mangrove forests in West Kalimantan, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 138:50–59. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2017.01.004
- Alongi, D.M. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3):313–322.
- Alongi, D.M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6:195–219. doi: 10.1146/annurev-marine-010213-135020
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *SNI 7724:2011 Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon—Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 7725:2019 Penyusunan Persamaan Alometrik Biomassa Pohon untuk Penaksiran Cadangan Karbon Berbasis Lahan Berdasar Pengukuran Lapangan (Land Based Carbon Accounting)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Bunting, P., Rosenqvist, A., Lucas, R.M., Rebelo, L.-M., & Hilarides, L. 2018. The Global Mangrove Watch — a new 2010 global baseline of mangrove extent. *Remote Sensing*, 10(10):1669.
- Chowdhury, A., Naz, A., Bhattacharyya, S., & Sanyal, P. 2018. Cost–benefit analysis of 'blue carbon' sequestration by plantation of few key mangrove species at Sundarban Biosphere Reserve, India. *Carbon Management*, 9(6):575–586.
- Da Costa, C.B.D.C., Rumengan, A.P., Angmalisang, P.A., Manembu, I.S., Lumuindong, F., & Losung, F. 2023. Analisis biomassa mangrove dan indeks nilai penting di Desa Ratatotok Timur Kabupaten Minahasa Tenggara Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 11(1):50–62.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Barat. 2023. Rencana Strategis (Renstra) Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2018–2023. Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat.
- Djaenudin, D., Lugina, M., Ramawati, Kartikasari, G., Indartik, Pribadi, M.A., & Astana, S. 2016. Perkembangan implementasi pasar karbon hutan di Indonesia. *Jurnal Analisis Kebijakan*, 13(3):159–172.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5):293–297.
- Environmental Defense Fund. (2017, February 28). *The true cost of carbon pollution: How the social cost of carbon improves policies to address climate change*.
- Farahisah, H., Yulianda, F., & Effendi, H. 2021. Struktur komunitas, cadangan karbon, dan estimasi nilai ekonomi mangrove di muara Sungai Musi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2):228–234.
- FAO. 2007. The World's Mangroves 1980–2005. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fitriyaningsih, Pernando, T., & Sisilia, L. 2022. Morfologi vegetasi mangrove di Desa Kuala Satong Kecamatan Matan Hilir Utara Kabupaten Ketapang. *Jurnal Lingkungan Hutan Tropis*, 1(2):376–389.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1):154–159.
- Haripin, Linda, R., & Wardoyo, E.R.P. 2016. Analisis vegetasi hutan mangrove di kawasan muara Sungai Serukam Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Protobiont*, 5(3):66–72.
- Hasibuan, I.M., Amelia, R., Bimantara, Y., Susetya, I.E., Susilowati, A., & Basyuni, M. 2021. Vegetation and macrozoobenthos diversity in the Percut Sei Tuan mangrove forest, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 22(12):5600–5608.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (Eds). IPCC National Greenhouse Gas Inventory Programme, IGES.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Cambridge University Press.
- Junaedi, A., Hidayat, N., & Mediawati, Y. 2020. Biomass, carbon stock and oxygen produced by mangrove vegetation in tropical forest in Central Kalimantan, Indonesia. *Asian Journal of Crop Science*, 12(1):26–33.
- Kepel, T.L., Suryono, D.D., & Ati, R.N.A. 2017. Nilai penting dan estimasi nilai ekonomi simpanan karbon vegetasi mangrove di Kema, Sulawesi Utara. *Jurnal Kelautan Nasional*, 12(1):19–26.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). 2022. Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 untuk Pengendalian Perubahan Iklim. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, Jakarta.
- Khairunnisa, C., Thamrin, E., & Prayoga, H. 2020. Keanekaragaman jenis vegetasi mangrove di Desa Dusun Besar Kecamatan Pulau Maya Kabupaten Kayong Utara. *Jurnal Hutan Lestari*, 8(2):325–336.
- Liu, Y., Zhang, Y., Cheng, Q., & Chau, M.C. 2024. Mangrove monitoring and change analysis with Landsat images: a case study in Pearl River Estuary (China). *Ecological Indicators*, 160:111763.
- Lovelock, C.E., Cahoon, D.R., Friess, D.A., Guntenspergen, G.R., Krauss, K.W., Reef, R., Rogers, K., Saunders, M.L., Sidik, F., Swales,

- A., Saintilan, N., Thuyen, L.X., & Triet, T. 2015. The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*, 526(7574):559–563. doi: 10.1038/nature15538
- Lomba, A.S., Wantasen, A.S., Rambet, U.N.W.J., Kepel, R.C., Kondoy, K.F.I., & Mandagi, S.V. 2026. Variasi biomassa empat spesies mangrove berdasarkan struktur diameter batang di kawasan pesisir Wori, Sulawesi Utara. *Jurnal Analisis Data dan Manajemen Sumber Daya Perairan*. doi: 10.5281/zenodo.18335221
- Lumban Tobing, A.N., Darmanti, S., Hastuti, E.D., & Izzati, M. 2022. Anatomical adaptation of grey mangrove (*Avicennia marina*) leaf in pond and coastal habitats in Semarang, Indonesia. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 14(1). doi: 10.15294/biosaintifika.v14i1.29828
- Malik, M., Kuncahyo, B., & Puspaningsih, N. 2023. Dinamika perubahan tutupan hutan mangrove sebagai kawasan lindung menggunakan citra satelit di Pulau Peleng Sulawesi Tengah. *Journal of Tropical Silviculture*, 14(3):183–190.
- Ma'ruf, M., Astarini, I., & As-syakur, A. 2025. Total karbon berdasarkan tingkat kesehatan mangrove dan valuasi ekonomi karbon di kawasan Tahura Bali. *Ecotrophic: Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2):198–213. doi: 10.24843/EJES.2025.v19.i02.p08
- Marini, Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2018. Struktur komunitas hutan mangrove di Desa Sungai Bakau Kecil Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 1(3):73–80.
- Muarif, M. 2017. Karakteristik ekosistem mangrove di kawasan pesisir Kepulauan Natuna. *Jurnal Mina Sains*, 3(2):44–49.
- Mughofara, A., Masykuri, M., & Setyono, P. 2018. Zonasi dan komposisi vegetasi hutan mangrove Pantai Cengkong Desa Karanggandu Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8(1):77–85.
- Paputungan, M.S., Koropitan, A.F., Prartono, T., & Lubis, A.A. 2016. Profil akumulasi sedimen di area restorasi mangrove Teluk Lembar, Pulau Lombok. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1):301–313.
- Purnobasuki, H. 2005. Tinjauan Perspektif Hutan Mangrove. Airlangga University Press, Surabaya.
- Putri, A.A., Akbar, A.A., Romiyanto, R., Jati, D.R., & Saziati, O. 2023. Potensi karbon biru pesisir Kalimantan Barat. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3):313–324.
- Ramadhanti, A., Astiani, D., & Widhanarto, G.O. 2022. Estimasi karbon tersimpan pada tegakan mangrove di Desa Mendalok Kabupaten Mempawah. *Jurnal Hutan Lestari*, 10(2):361–369.
- Safitri, I., Ayzah, D.K.A., Nurdiansyah, S.I., & Nguyen, D.-H. 2024. Species composition and abundance of mangrove gastropods in Desa Sutera, Kayong Utara, West Kalimantan. *Jurnal Biolokus: Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi dan Biologi*, 7(2).
- Santini, L., Butchart, S.H.M., Rondinini, C., Benítez-López, A., Hilbers, J.P., Schipper, A.M., Cengic, M., Tobias, J.A., & Huijbregts, M.A.J. 2019. Applying habitat and population-density models to land-cover time series to inform IUCN Red List assessments. *Conservation Biology*, 33:1084–1093.
- Satriawan, N.P., & Satriawan, H.A. 2026. Potensi mangrove sebagai karbon biru dalam perspektif hukum maritim di Indonesia. *Jurnal Ilmu Sosial Priviet*, 6(6):259–267.
- Shah, M.D., Kushadiwijayanto, A.A., & Nurrahman, Y.A. 2021. Struktur pola vegetasi mangrove di Desa Sungai Kupah Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Lingkungan Kelautan*, 4:56–63.
- Suryono, Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., & Rozy, F.E. 2018. Estimasi kandungan biomassa dan karbon di hutan mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1):1–8.
- Tahang, H., Amir, F., & Firman. 2018. Valuasi ekonomi ekosistem mangrove Kabupaten Sinjai. *Torani*, 1(2):71–80.
- Wulandari, S., & Achsam, A. 2026. Biomassa dan serapan karbon pada tegakan, nekromassa, dan substrat mangrove. *Jurnal Riset Kelautan Tropis*, 8(1):26–39.
- Yunita, N.F., Usman, M., Merdekawati, D., Maryono, Januardy, U., & Kristiandi, K. 2024. Distribution and changes in mangrove area using satellite imagery of Landsat 8 OLI TIRS. *Jurnal Mina Sains*, 10(1):18–24.
- Zakia, R., & Lestari, F. 2022. Ecology characteristics of mangrove ecosystem in the Sei Carang estuary water of Tanjungpinang City, Kepulauan Riau. *Jurnal Akuatik Lestari*, 6(1):62–68.

Zhang, J., Gan, S., Yang, P., Zhou, J., Huang, X.,
Chen, H., He, H., Saintilan, N., Sanders, C.J.,
& Wang, F. 2024. A global assessment of

mangrove soil organic carbon sources and
implications for blue carbon credit. *Nature
Communications*, 15:8994.