



# EKOSISTEM MANGROVE DELTA MAHAKAM

(EKOLOGI, KEANEKARAGAMAN, FUNGSI DAN STRATEGI  
PENGELOLAAN BERKELANJUTAN)



MUHAMMAD RAFII NUR FAUZAN, ANDI NUGROHO, OSHLIFIN RUCMANA  
SAUD, ACHMAD SYARIFUDIN, WIDIA SRI UTAMI, MUHAMMAD ROSYID  
RIDHO, EDY BUDIARSO, TYA RAHMASARI SULISTIANTO, FENNY PUTRI  
MARIANI SOFYAN, MUHAMMAD ALRIEFQI PALGUNADI, ABDUL RAHMAN  
SIDIQ, IKHSAN FIQRA NAUFALIANTO



# **EKOSISTEM MANGROVE DELTA MAHAKAM**

(Ekologi, Keanekaragaman, Fungsi,  
dan Strategi Pengelolaan Berkelanjutan)

## **Penulis:**

Muhammad Rafii Nur Fauzan

Andi Nugroho

Oshlifin Rucmana Saud

Achmad Syarifudin

Widia Sri Utami

Muhammad Rosyid Ridho

Edy Budiarmo

Tya Rahmasari Sulistianto

Fenny Putri Mariani Sofyan

Muhammad Alriefqi Palgunadi

Abdul Rahman Sidiq

Ikhsan Figra Naufalianto



# **EKOSISTEM MANGROVE DELTA MAHAKAM:**

Ekologi, Keanekaragaman, Fungsi, dan Strategi Pengelolaan Berkelanjutan

## **Penulis :**

Muhammad Rafii Nur Fauzan, Andi Nugroho, Oshlifin Rucmana Saud, Achmad Syarifudin, Widia Sri Utami, Muhammad Rosyid Ridho, Edy Budiarmo, Tya Rahmasari Sulistianto, Fenny Putri Mariani Sofyan, Muhammad Alriefqi Palgunadi, Abdul Rahman Sidiq, Ikhsan Fiqra Naufalianto

## **Editor :**

Andra Juansa

## **Cover :**

Deka Sugama

Penerbit : PT. Star Digital Publishing, Yogyakarta-Indonesia

Email : [ptstardigitalpublishing@gmail.com](mailto:ptstardigitalpublishing@gmail.com)

Website : [www.stardigitalpublishing.com](http://www.stardigitalpublishing.com)

Anggota IKAPI : No. 202/DIY/2024

**ISBN : 978-634-7400-61-1**

Copyright © 2025 PT. Star Digital Publishing

Cetakan Pertama, November 2025

Dilarang memperbanyak, mencetak ataupun menerbitkan sebagian maupun seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 49 Ayat (1) dan Ayat (2) di pidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (Satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dengan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (Lima miliar rupiah).



## **Kata Pengantar**

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku “***Ekosistem Mangrove Delta Mahakam (Ekologi, Keanekaragaman, Fungsi, dan Strategi Pengelolaan Berkelanjutan)***” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai upaya untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pentingnya ekosistem mangrove di Delta Mahakam, Kalimantan Timur yang merupakan salah satu kawasan pesisir dengan peran ekologis dan sosial-ekonomi yang sangat vital di Indonesia. Penyusunan buku ini dilandasi oleh kebutuhan untuk menghadirkan referensi ilmiah yang tidak hanya menjelaskan karakteristik ekologi dan keanekaragaman hayati mangrove, tetapi juga menguraikan kontribusinya terhadap mitigasi perubahan iklim dan ketahanan lingkungan pesisir.

Ekosistem mangrove Delta Mahakam memiliki fungsi ekologis yang luar biasa, mulai dari perlindungan pantai terhadap abrasi dan badai, penyediaan habitat bagi biota akuatik bernilai ekonomi, hingga perannya sebagai penyerap karbon dalam sistem *blue carbon*. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, kawasan ini menghadapi tekanan yang serius akibat konversi lahan, degradasi lingkungan, serta dinamika sosial-ekonomi masyarakat pesisir. Kondisi ini menegaskan pentingnya strategi pengelolaan berbasis ekosistem yang tidak hanya menekankan aspek konservasi, tetapi juga mempertimbangkan kesejahteraan masyarakat dan keberlanjutan fungsi ekologisnya.

Buku ini terdiri atas sejumlah 10 bab yang membahas berbagai aspek ekosistem mangrove Delta Mahakam, mulai dari ekologi dan kondisi tapak, keanekaragaman hayati, peran mangrove dalam siklus karbon, hingga strategi pengelolaan berkelanjutan. Setiap bab ditulis oleh penulis dengan kompetensi di bidangnya masing-masing, sehingga diharapkan dapat memberikan manfaat bagi akademisi, mahasiswa, peneliti, pengambil kebijakan, dan masyarakat umum yang peduli terhadap kelestarian lingkungan



pesisir. Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan, sehingga saran dan masukan konstruktif sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan upaya konservasi ekosistem mangrove di Indonesia.

**Samarinda, November 2025**

**Tim Penulis**

## Daftar Isi

<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>ii</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>iv</b>
<b>Daftar Tabel</b> .....	<b>vii</b>
<b>Daftar Gambar</b> .....	<b>viii</b>
<b>BAB 1 Gambaran Umum Delta Mahakam</b> .....	<b>1</b>
Pendahuluan .....	1
Letak Geografis dan Karakteristik Wilayah .....	2
Kondisi Iklim, Hidrologi, Dan Pasang Surut.....	3
Tipe Ekosistem Mangrove di Delta Mahakam .....	5
<b>BAB 2 Ekologi dan Kondisi Tapak Mangrove Delta Mahakam</b> .....	<b>7</b>
Pendahuluan .....	7
Ekologi Vegetasi Mangrove.....	8
Interaksi Ekologis Flora, Fauna, dan Mikroorganisme .....	9
Faktor Abiotik Tapak Mangrove .....	11
Variasi Tapak dan Implikasinya terhadap Pengelolaan .....	12
<b>BAB 3 Keanekaragaman Hayati Delta Mahakam</b> .....	<b>14</b>
Pendahuluan .....	14
Flora Ekosistem Mangrove Delta Mahakam.....	15
Fauna Ekosistem Mangrove Delta Mahakam.....	18
<b>BAB 4 Fisiologi Tanaman Mangrove</b> .....	<b>24</b>
Pendahuluan .....	24
Adaptasi Morfo-Fisiologis terhadap Salinitas .....	26
Adaptasi terhadap Kondisi Anaerobik (Tanah Tergenang)..	27
Fisiologi Fotosintesis pada Mangrove.....	28
Adaptasi terhadap Stres Lingkungan Lain .....	29
Implikasi Fisiologi terhadap Ekologi dan Rehabilitasi.....	30



<b>BAB 5 Peran Mangrove Dalam Siklus Karbon .....</b>	<b>31</b>
Pendahuluan .....	31
Konsep <i>Blue Carbon</i> (Karbon Biru) .....	32
Proses Fotosintesis Dan Fiksasi Karbon Di Mangrove .....	32
Peran Biomassa Mangrove Di Atas Dan Dibawah Permukaan .....	33
Siklus Karbon Di Delta Mahakam .....	34
Perbandingan Cadangan Karbon Mangrove Delta Mahakam Dan Ekosistem Lain .....	36
Potensi Emisi Karbon Akibat Degradasi Mangrove.....	37
<b>BAB 6 Manfaat dan Jasa Ekosistem Mangrove.....</b>	<b>39</b>
Pendahuluan .....	39
Mangrove Sebagai Bahan Baku Industri Pulp Dan Kertas ..	39
Kayu Mangrove Untuk Energi Dan Konstruksi.....	40
Pemanfaatan Mangrove Untuk Kesehatan Dan Industri.....	42
Peran Mangrove Dalam Mengurangi Pencemaran Logam Berat .....	42
<b>BAB 7 Aspek Sosial Ekonomi Masyarakat Pesisir .....</b>	<b>44</b>
Pendahuluan .....	44
Kehidupan Sosial Masyarakat Pesisir .....	44
Aktivitas Ekonomi Masyarakat Pesisir .....	46
Kerentanan Terhadap Perubahan Iklim Dan Bencana .....	47
<b>BAB 8 Ancaman terhadap Ekosistem Mangrove .....</b>	<b>49</b>
Pendahuluan .....	49
Konversi dan perubahan tutupan lahan .....	50
Pembangunan infrastruktur.....	51
Pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) yang tidak terintegrasi .....	52
Perubahan iklim dan kenaikan muka air laut.....	54
Dampak Sosial dan Ekologis .....	56
Upaya Mitigasi dan Restorasi.....	56

Rekomendasi Strategis.....	57
<b>BAB 9 Teknik Rehabilitasi Mangrove .....</b>	<b>58</b>
Pendahuluan .....	58
Prinsip Dasar Rehabilitasi Mangrove .....	59
Pemulihan Fungsi Ekosistem ( <i>Restoring Ecosystem Function</i> ) ..	59
Pentingnya Hidrologi Dan Parameter Fisik.....	60
Regenerasi Alami vs Intervensi.....	61
Kesesuaian Spesies Dan Zonasi Ekologis .....	61
Partisipasi Komunitas Dan Aspek Sosial-Ekonomi .....	62
Perencanaan Adaptif Dan Monitoring .....	62
Teknik Rehabilitasi Mangrove .....	63
Teknik Konvensional (Pola Tradisional).....	64
Teknik Berbasis Ekologi ( <i>Ecological Mangrove Rehabilitation</i> ) ..	64
Teknik Alternatif dan Inovatif.....	65
Studi Kasus: Delta Mahakam.....	67
Kerusakan Mangrove .....	67
Upaya Rehabilitasi.....	69
Tantangan dan Peluang Rehabilitasi Mangrove di Delta Mahakam .....	71
<b>BAB 10 Strategi Pengelolaan Berkelanjutan.....</b>	<b>73</b>
Pendahuluan .....	73
Pendekatan Ekologis.....	74
Pendekatan Sosial-ekonomi.....	75
Pendekatan Kebijakan .....	76
Konseptual Strategi Pengelolaan Berkelanjutan .....	77
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>79</b>
<b>Tentang Penulis.....</b>	<b>92</b>



**Daftar Tabel**

<b><u>No</u></b>	<b><u>Tubuh Utama</u></b>	<b><u>Hal</u></b>
1.1	Berikut menyajikan ringkasan parameter iklim Delta Mahakam	3
1.2	Tipe Ekosistem Mangrove di Delta Mahakam	5
5.1	Perbandingan cadangan karbon mangrove dan ekosistem lain di Delta Mahakam	37
9.1	Tantangan dan Peluang Rehabilitasi Mangrove di Delta Mahakam	72

## Daftar Gambar

<u>No</u>	<u>Tubuh Utama</u>	<u>Hal</u>
1.1	Peta Delta Mahakam	6
2.1	Ilustrasi ekosistem mangrove Delta Mahakam	11
2.2	Pembagian zonasi mangrove Delta Mahakam	13
3.1	Spesies kupu-kupu <i>Euploea cramerii</i> (kiri) dan capung <i>Macrodiplax cora</i> (kanan) yang dijumpai di Delta Mahakam	19
3.2	Spesies buaya jenis <i>Crocodylus porosus</i> yang dijumpai di Delta Mahakam	20
3.3	Spesies burung pecuk ular (kiri) dan elang kelabu (kanan) yang dijumpai di Delta Mahakam	21
3.4	Pejumpaan mamalia kunci jenis <i>Nasalis larvatus</i> (bekantan) Di delta Mahakan (Endangered (IUCN))	21
3.5	Pejumpaan biota air : a. Baramundi ( <i>Lates calcarifer</i> ), b. Udang Windu ( <i>Panaeus monodon</i> ), c. Kepiting Bakau ( <i>Scylla serrate</i> )	23
4.1	a. <i>Rizophora mucronata</i> (dokumentasi pribadi) dan b. Ekosistem Mangrove	24
4.2	a <i>Rizophora</i> sp. (dokumentasi pribadi) dan b. Fisiologi Mangrove	25
4.3	<i>Avicennia</i> sp saat diberi perlakuan (dalam tahap publikasi)	26
4.4	a <i>Xylocarpus</i> sp saat diberi perlakuan genangan (dalam tahap publikasi) dan b. Stress genangan pada mangrove	28
5.1	Biomassa di atas permukaan tanah	34
5.2	Biomassa di bawah permukaan tanah	34
5.3	Siklus fotosintesis mangrove	35
5.4	Mangrove penyimpan karbon berkelanjutan	36
6.1	Serat kayu jenis mangrove	40
8.1	Peta tutupan lahan Delta Mahakam	51
8.2	Bentuk-bentuk aktivitas yang berdampak pada kerusakan ekosistem di Delta Mahakam	52
8.3	Pola sebaran sedimen ketika Purnama ( <i>Neap</i> ) dan	54



	Purnama ( <i>Spring</i> ) disetiap waktu	
8.4	Ilustrasi perubahan iklim dan meningkatnya muka air laut	55
9.1	Ilustrasi sederhana beberapa teknik rehabilitasi mangrove ( <i>OpenAI, 2025</i> ). Pola tanam intensif (kiri atas), pengkayaan (kiri bawah), silvofishery (kanan atas), dan rumpun berjarak (kanan bawah)	66
9.2	Pola tanam Associated Mangrove Aquaculture	67
9.3	Upaya kegiatan penanaman mangrove di Delta Mahakam	70
10.1	Konseptual Strategi Pengelolaan Mangrove Delta Mahakam	78



# BAB 1

## Gambaran Umum Delta Mahakam

### Pendahuluan

**D**elta Mahakam merupakan salah satu kawasan delta tropis terbesar dan paling produktif di Indonesia, yang memiliki fungsi ekologis dan ekonomi penting bagi wilayah pesisir Kalimantan Timur. Kawasan ini terbentuk dari hasil sedimentasi Sungai Mahakam yang membawa material dari daerah hulu di Pegunungan Müller menuju muara di Selat Makassar (Rizal et al., 2020). Secara ekologis, Delta Mahakam menjadi penopang utama keberlanjutan sistem mangrove, perikanan, dan estuaria yang kompleks. Struktur geomorfologinya yang dinamis serta keterkaitannya dengan sistem hidrologi daratan menjadikan delta ini sebagai laboratorium alami untuk mempelajari interaksi antara faktor geomorfologi, hidrologi, dan ekologi (Syakti et al., 2018; Yulianto et al., 2020). Selain berperan penting dalam siklus karbon biru dan penyimpanan sedimen, Delta Mahakam juga menjadi habitat penting bagi berbagai jenis biota akuatik dan burung migran (Alongi, 2020; Basyuni et al., 2022).

Dalam konteks sosial dan ekonomi, Delta Mahakam dihuni oleh masyarakat pesisir yang bergantung pada sumber daya alam setempat, seperti perikanan, budidaya tambak, dan hasil hutan mangrove. Namun, tekanan antropogenik berupa konversi mangrove menjadi tambak pada era 1980–1990, eksplorasi migas, dan perubahan tata guna lahan menyebabkan degradasi ekosistem yang cukup signifikan (Hidayat et al., 2021; Asaad et al., 2021). Kondisi ini menimbulkan tantangan besar dalam menjaga keseimbangan antara kepentingan ekonomi dan konservasi ekologi. Oleh karena itu, kajian mengenai gambaran umum Delta Mahakam, meliputi karakteristik geografis, iklim, hidrologi, serta tipe ekosistem mangrovenya, sangat penting untuk memahami dinamika

kawasan ini dan menjadi dasar bagi upaya pengelolaan yang berkelanjutan di masa mendatang (Fachrul et al., 2019; Persoon & Simarmata, 2014).

## **Letak Geografis dan Karakteristik Wilayah**

Delta Mahakam adalah delta sungai terbesar ketiga di Indonesia setelah Delta Cimanuk dan Delta Ciliwung, dan merupakan salah satu pusat ekosistem pesisir tropis yang sangat penting di Kalimantan Timur. Delta ini terbentuk di muara Sungai Mahakam yang bermata air di Pegunungan Müller, melintasi berbagai kabupaten, dan bermuara di Selat Makassar (Rizal et al., 2020). Secara administratif, Delta Mahakam mencakup wilayah Kabupaten Kutai Kartanegara, terutama Kecamatan Anggana, Muara Badak, dan sebagian Samboja. Koordinat geografisnya berada pada  $0^{\circ}12' - 1^{\circ}0' \text{ LS}$  dan  $116^{\circ}15' - 118^{\circ}0' \text{ BT}$  (Bengen, 2017).

Karakteristik fisik Delta Mahakam ditentukan oleh sistem aluvial yang terbentuk dari jutaan ton sedimen yang dibawa oleh Sungai Mahakam setiap tahun. Sedimentasi ini menghasilkan dataran luas dengan substrat liat dan lumpur halus, yang sangat sesuai untuk pertumbuhan hutan mangrove (Syakti et al., 2018). Delta ini memiliki bentuk geomorfologi yang khas, menyerupai kipas dengan banyak cabang sungai dan kanal alami yang menyebar ke berbagai arah. Pola tersebut menjadikan delta sebagai sistem ekologi yang sangat dinamis, dengan zonasi vegetasi mangrove yang jelas antara bagian tepi, sungai, dan cekungan (Yulianto et al., 2020).

Dari sisi sosial-ekonomi, Delta Mahakam dihuni oleh masyarakat nelayan dan petambak yang secara turun-temurun bergantung pada sumber daya pesisir. Aktivitas utama meliputi penangkapan ikan, kepiting bakau, dan udang, serta budidaya tambak udang windu (*Penaeus monodon*) dan bandeng (*Chanos chanos*). Transformasi ekosistem mangrove menjadi tambak secara besar-besaran pada era 1980–1990 telah mengubah lanskap delta dan meninggalkan jejak degradasi ekologi yang signifikan (Hidayat et al., 2021).



Selain itu, wilayah Delta Mahakam juga menjadi lokasi penting bagi industri migas, terutama di Kecamatan Muara Badak, yang menambah tekanan terhadap keberlanjutan lingkungan. Hal ini menciptakan paradoks: di satu sisi, delta adalah pusat keanekaragaman hayati dan karbon biru, namun di sisi lain menjadi arena eksploitasi ekonomi intensif (Basyuni et al., 2022).

## **Kondisi Iklim, Hidrologi, Dan Pasang Surut**

### **a) Iklim**

Delta Mahakam beriklim tropis basah dengan tipe iklim A menurut klasifikasi Schmidt-Ferguson, ditandai oleh curah hujan tinggi sepanjang tahun. Curah hujan tahunan rata-rata berkisar 2.000–3.000 mm dengan distribusi musiman yang relatif merata, meskipun terdapat puncak pada Desember–Mei (BMKG, 2021). Suhu rata-rata tahunan berkisar antara 26–28 °C dengan kelembaban udara 80–90%.

**Tabel 1.1** Berikut menyajikan ringkasan parameter iklim Delta Mahakam (BMKG, 2021).

<b>Parameter</b>	<b>Nilai Rata-rata</b>	<b>Keterangan</b>
Suhu udara	26–28 °C	Stabil sepanjang tahun
Kelembaban	80–90%	Tinggi, mendukung kelembaban tanah
Curah hujan	2.000–3.000 mm	Musim hujan puncak Des–Mei
Hari hujan/tahun	150–200 hari	Intensitas tinggi
Angin dominan	Timur–Tenggara	Dipengaruhi angin muson

Iklim ini berimplikasi langsung terhadap pertumbuhan mangrove, karena curah hujan dan kelembaban berpengaruh pada salinitas tanah dan air. Musim hujan yang panjang menurunkan salinitas

perairan, memungkinkan penyebaran vegetasi mangrove lebih ke pedalaman (Fachrul et al., 2019).

## **b) Hidrologi**

Sungai Mahakam sebagai sumber utama sistem hidrologi membawa debit air besar ke wilayah delta. Debit rata-rata di bagian hilir diperkirakan mencapai 2.500 m<sup>3</sup>/detik (Rizal et al., 2020). Sedimen halus yang terbawa arus inilah yang membentuk dataran delta.

Ekosistem mangrove sangat dipengaruhi oleh interaksi antara air tawar dari Sungai Mahakam dan intrusi air laut. Ketika debit sungai tinggi (musim hujan), intrusi air laut lebih terbatas, sehingga zona air payau lebih sempit. Sebaliknya, saat musim kemarau, air laut dapat masuk jauh ke dalam sungai, meningkatkan salinitas hingga 30 ppt (Asaad et al., 2021). Fluktuasi ini memengaruhi zonasi mangrove, ketersediaan habitat ikan, dan kesesuaian lahan tambak.

## **c) Pasang Surut**

Delta Mahakam dipengaruhi oleh pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed semidiurnal tide*) dengan amplitudo rata-rata 2,5–3 meter (Suryadiputra et al., 2018). Pola pasang surut ini penting karena menentukan siklus genangan pada hutan mangrove, yang pada gilirannya memengaruhi respirasi tanah, suplai nutrisi, dan distribusi vegetasi.

Selain itu, kombinasi pasang surut dan arus sungai menciptakan sistem transportasi sedimen yang dinamis. Proses ini mendukung regenerasi mangrove di beberapa lokasi, namun juga dapat menyebabkan erosi pesisir di bagian delta yang lebih terbuka (Syakti et al., 2018).



## Tipe Ekosistem Mangrove di Delta Mahakam

Delta Mahakam memiliki mosaik ekosistem mangrove yang luas, dengan komposisi spesies yang beragam. Beberapa tipe utama adalah:

### a) Mangrove tepi (*fringe mangrove*)

Terletak di garis pantai dan tepi sungai besar. Didominasi *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, dan *Sonneratia alba*. Tipe ini sangat penting untuk menahan abrasi dan menyediakan habitat biota laut (Alongi, 2020).

### b) Mangrove sungai (*riverine mangrove*)

Berkembang di sepanjang sungai dan anak sungai. Didominasi *Nypa fruticans*, *Avicennia alba*, dan *Bruguiera gymnorhiza*. Substratnya kaya nutrisi dan banyak dimanfaatkan untuk tambak tradisional (Hidayat et al., 2021).

### c) Mangrove cekungan (*basin mangrove*)

Berada di daerah cekungan dengan genangan lama, substrat anaerob, dan kandungan organik tinggi. Vegetasi meliputi *Xylocarpus granatum*, *Heritiera littoralis*, dan *Bruguiera sexangula* (Basyuni et al., 2022).

### d) Mangrove campuran (*mixed mangrove*)

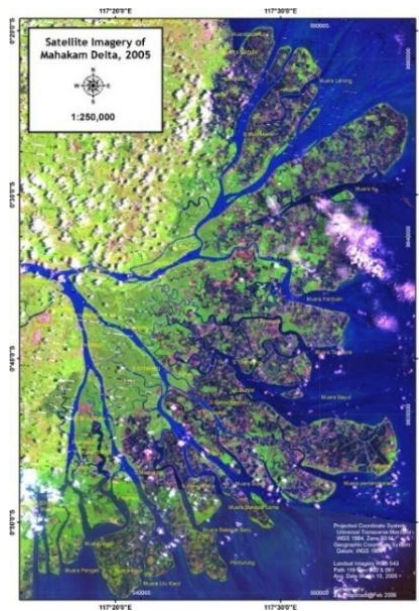
Mosaik vegetasi yang terbentuk akibat kombinasi faktor sungai, pasang surut, dan sedimentasi. Kawasan ini memiliki keanekaragaman tertinggi, penting bagi konservasi (Yulianto et al., 2020).

Tabel 1.2. Tipe Ekosistem Mangrove di Delta Mahakam

Tipe Ekosistem	Lokasi Dominan	Spesies Utama	Fungsi Ekologi
Fringe	Pesisir & muara	<i>Rhizophora apiculata</i> ,	Penahan abrasi & habitat ikan

Tipe Ekosistem	Lokasi Dominan	Spesies Utama	Fungsi Ekologi
	sungai	<i>Sonneratia alba</i>	
Riverine	Tepi sungai & kanal	<i>Nypa fruticans</i> , <i>Avicennia alba</i>	Produktivitas perikanan
Basin	Cekungan pedalaman	<i>Xylocarpus granatum</i> , <i>Heritiera littoralis</i>	Penyimpan karbon & nutrien
Mixed	Mosaik campuran	Beragam spesies	Keanekaragaman tinggi

Keberadaan keempat tipe ekosistem ini menjadikan Delta Mahakam unik, karena mampu merepresentasikan hampir seluruh bentuk ekosistem mangrove tropis dalam satu kawasan.



**Gambar 1.1.** Peta Delta Mahakam (Persoon and Simarmata, 2014)



## BAB 2

### Ekologi dan Kondisi Tapak Mangrove Delta Mahakam

#### Pendahuluan

Ekosistem mangrove Delta Mahakam merupakan sistem pesisir tropis yang kompleks dan produktif, terbentuk dari interaksi dinamis antara faktor abiotik seperti pasang surut, salinitas, dan sedimentasi sungai dengan faktor biotik berupa adaptasi fisiologis vegetasi serta interaksi antarorganisme. Vegetasi utama seperti *Rhizophora*, *Avicennia*, *Sonneratia*, *Bruguiera*, dan *Nypa* menunjukkan berbagai adaptasi morfologi dan fisiologi, termasuk akar tunjang, pneumatofor, dan mekanisme vivipari yang memungkinkan mereka bertahan pada kondisi anaerob dan salinitas tinggi (Tomlinson, 2016; Kathiresan & Bingham, 2001). Variasi kondisi tapak di Delta Mahakam menghasilkan zonasi vegetasi khas dari tepi laut hingga ke bagian daratan yang lebih dipengaruhi air tawar (Wibawa et al., 2025). Selain itu, keberadaan fauna seperti kepiting bakau (*Scylla spp.*) dan ikan estuari (*Lates calcarifer*) berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem melalui aktivitas bioturbasi dan fungsi nursery ground (Kristensen, 2008; Nagelkerken et al., 2015). Pada tingkat mikro, komunitas bakteri seperti *Proteobacteria* dan *Planctomyces* turut berperan dalam siklus nitrogen dan sulfur yang mendukung produktivitas sistem (Putra et al., 2021). Kombinasi faktor tersebut menjadikan Delta Mahakam berperan penting dalam penyimpanan karbon biru, mitigasi perubahan iklim, serta penyediaan jasa ekosistem pesisir yang vital bagi keberlanjutan lingkungan dan ekonomi lokal (Murdiyarso et al., 2015; Basyuni et al., 2022).

## Ekologi Vegetasi Mangrove

Vegetasi mangrove memiliki karakteristik ekologi yang unik, terbentuk dari interaksi kompleks antara faktor lingkungan ekstrem dan adaptasi biologis khas. Di Indonesia, ekosistem ini umumnya didominasi oleh marga *Rhizophora*, *Avicennia*, *Sonneratia*, *Bruguiera*, *Xylocarpus*, dan *Nypa* (Tomlinson, 2016). Genera tersebut menjadi penyusun utama hutan mangrove alami dari pesisir Sumatra hingga Papua, dengan variasi dominansi bergantung pada kondisi tapak setempat. Variasi dominansi spesies sangat dipengaruhi oleh kondisi tapak. Misalnya, di Bali, *Avicennia marina* lebih mendominasi zona depan dengan substrat berpasir, sementara *Rhizophora apiculata* berkembang pada substrat lumpur di zona tengah (Wibawa et al., 2025).

Keberhasilan mangrove bertahan di habitat marginal ditentukan oleh adaptasi morfo-fisiologisnya. *Rhizophora* memiliki akar tunjang untuk menopang batang pada substrat lunak, sedangkan *Avicennia* spp. dan *Sonneratia* spp. mengembangkan pneumatofor untuk pertukaran gas di tanah anaerob. Mekanisme vivipari pada *Rhizophora* spp. dan *Bruguiera* spp. memungkinkan propagul berkecambah sebelum jatuh ke substrat (Kathiresan & Bingham, 2001). Adaptasi fisiologis seperti kelenjar garam pada *Avicennia* spp. menjadikannya lebih toleran terhadap salinitas tinggi, sesuai dengan kondisi Delta Mahakam yang terpapar intrusi air laut.

Pola zonasi vegetasi merupakan ciri menonjol ekosistem mangrove. Zona depan umumnya ditempati *Avicennia* spp. dan *Sonneratia* spp. zona tengah oleh *Rhizophora* spp. dan *Bruguiera* spp., dan zona belakang yang lebih dipengaruhi air tawar dihuni *Xylocarpus* spp. dan *Nypa* sp. (Tomlinson, 2016). Namun, tekanan antropogenik seperti reklamasi dan polusi dapat mengubah pola zonasi alami (Efriyeldi et al., 2023). Bukti dari Jawa Tengah menunjukkan bahwa pemulihan zonasi melalui penanaman sesuai habitat asli meningkatkan tingkat kelulushidupan propagul (Damastuti et al., 2023).



Selain itu, vegetasi mangrove berfungsi sebagai penyerap karbon biru, pelindung pantai dari abrasi, dan penyedia detritus yang menjadi sumber energi utama rantai makanan estuari (Alongi, 2014). Regenerasi alami melalui propagul memainkan peran penting dalam kelangsungan ekosistem. *Rhizophora* dengan propagul silindris dapat menyebar jauh, sementara *Avicennia* lebih terbatas jarak sebarannya. Studi di Flores menunjukkan bahwa regenerasi alami pionir mendahului spesies klimaks, membentuk suksesi khas dalam kurun waktu sepuluh tahun (Wirabuana et al., 2025).

### **Interaksi Ekologis Flora, Fauna, dan Mikroorganisme**

Ekosistem mangrove tidak hanya terdiri dari pohon mangrove, tetapi juga flora asosiasi, fauna, dan mikroorganisme yang berinteraksi secara erat. Flora asosiasi mencakup lamun (*Enhalus acoroides*, *Halodule pinifolia*), alga (*Gracilaria sp.*), dan cyanobacteria yang tumbuh di pneumatofor. Kehadiran mereka memperluas sumber energi primer dan menyediakan habitat transisi bagi ikan juvenil (Unsworth et al., 2019; Wibawa et al., 2025).

Fauna khas mencakup krustasea, ikan estuari, burung air, reptil, hingga mamalia kecil. Kepiting bakau (*Scylla spp.*) berperan sebagai *ecosystem engineer* melalui aktivitas bioturbasi yang meningkatkan aerasi tanah (Kristensen, 2008). Studi di Delta Mahakam menunjukkan bahwa aktivitas kepiting berkorelasi positif dengan pertumbuhan semai *Rhizophora* (Sidik et al., 2016). Ikan estuari seperti *Lates calcarifer* memanfaatkan akar mangrove sebagai *nursery ground* (Nagelkerken et al., 2015), sedangkan burung air seperti kuntul (*Egretta spp.*) menjadi predator puncak ekosistem (Yuliana et al., 2020).

Fauna khas ekosistem mangrove Delta Mahakam mencakup krustasea, ikan estuari, burung air, reptil, hingga mamalia kecil yang saling berinteraksi menjaga keseimbangan ekosistem. Kepiting bakau (*Scylla spp.*) berperan sebagai *ecosystem engineer* melalui aktivitas bioturbasi yang meningkatkan aerasi tanah, sehingga mendukung pertumbuhan semai *Rhizophora spp.* (Kristensen, 2008; Sidik et al.,

2016). Ikan estuari seperti *Lates calcarifer* memanfaatkan akar mangrove sebagai *nursery ground* (Nagelkerken et al., 2015), sementara burung air seperti kuntul (*Egretta* spp.) menempati posisi predator puncak ekosistem (Yuliana et al., 2020). Pada tingkat mikro, bakteri heterotrof mempercepat dekomposisi daun *Avicennia* spp dan meningkatkan ketersediaan nitrogen (Pribadi et al., 2018), sedangkan analisis metagenomik di Kalimantan Timur menunjukkan dominasi Planctomycetes dan Proteobacteria yang berperan penting dalam siklus nitrogen dan sulfur (Putra et al., 2021). Interaksi ekologis melalui mekanisme mutualisme, predasi, dan detritivori seperti penyerbukan *Sonneratia* spp. oleh kelelawar nektar atau percepatan dekomposisi daun oleh kepiting sesamid (Aslan et al., 2019) menjadi fondasi produktivitas dan resiliensi ekosistem mangrove.



**Gambar 2.1.** Ilustrasi ekosistem mangrove Delta Mahakam

### Faktor Abiotik Tapak Mangrove

Kondisi fisik-kimia tapak sangat menentukan keberadaan dan struktur ekosistem mangrove di Delta Mahakam.

- a) **Tanah dan Substrat** : Substrat lumpur dengan bahan organik tinggi mendukung pertumbuhan *Rhizophora*, sedangkan substrat berpasir lebih sesuai untuk *Avicennia* (Pribadi et al., 2018). Delta Mahakam dikenal sebagai salah satu penyimpan karbon tanah terbesar di Indonesia (Arifanti et al., 2024).
- a) **Salinitas** : Gradien salinitas membentuk distribusi spesies. *Avicennia marina* dan *Sonneratia alba* tumbuh baik di salinitas

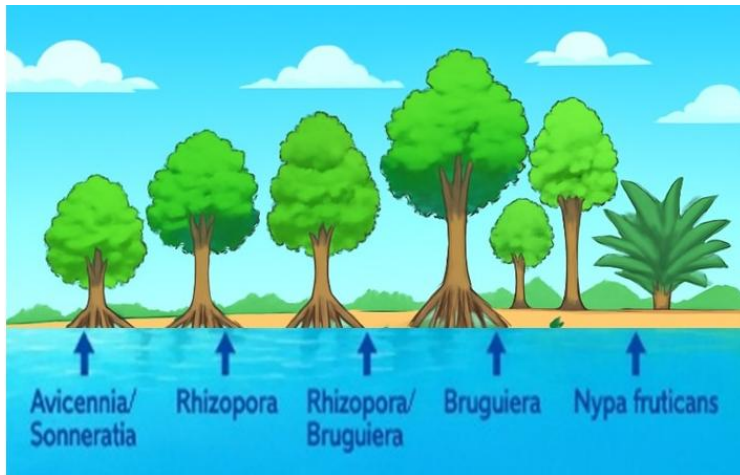
tinggi, sedangkan *Rhizophora* lebih optimal pada salinitas menengah (Murdiyarso et al., 2015; Wirabuana et al., 2025).

- b) **Hidrologi dan Pasang Surut** : Frekuensi dan durasi genangan menentukan zonasi vegetasi. Perubahan hidrologi akibat sedimentasi dapat menggeser dominasi vegetasi dari *Rhizophora* ke *Avicennia* (Pribadi et al., 2018).
- c) **Iklm dan Curah Hujan** : Curah hujan tinggi meningkatkan suplai air tawar, memperluas habitat bagi spesies kurang toleran garam. Sebaliknya, kemarau panjang meningkatkan salinitas dan membatasi regenerasi alami (Analuddin et al., 2024).
- d) **Sedimentasi dan Geomorfologi** : Tingginya suplai sedimen di Delta Mahakam menciptakan mosaik habitat baru yang segera dikolonisasi spesies pionir. Variasi geomorfologi (delta, estuari, laguna, pantai terbuka) berpengaruh pada komposisi spesies (Arifanti et al., 2024; Wibawa et al., 2025).

### **Variasi Tapak dan Implikasinya terhadap Pengelolaan**

Perbedaan kondisi geomorfologi, hidrologi, dan salinitas menghasilkan variasi tapak yang memengaruhi distribusi spesies dan fungsi ekosistem.

- a) **Zona depan:** *Avicennia marina* dan *Sonneratia alba* toleran genangan dan salinitas tinggi.
- b) **Zona tengah:** *Rhizophora* spp. dan *Bruguiera* spp. tumbuh di substrat lumpur dalam dengan pasang surut stabil.
- c) **Zona darat:** *Xylocarpus granatum* dan *Nypa fruticans* berkembang di habitat dengan masukan air tawar lebih tinggi (Tomlinson, 2016).



**Gambar 2.2.** Pembagian zonasi mangrove Delta Mahakam

Implikasi konservasi menuntut pemilihan spesies sesuai kondisi tapak. Kegagalan rehabilitasi sering terjadi karena spesies ditanam tidak sesuai habitat (Damastuti et al., 2023). Oleh karena itu, pengelolaan mangrove di Delta Mahakam perlu berbasis ekosistem (*ecosystem-based management*) dengan memperhatikan kesesuaian spesies, mitigasi polusi, serta dinamika perubahan iklim. Potensi *blue carbon* juga harus menjadi bagian dari strategi pengelolaan (Murdiyarto et al., 2015; Sasmito et al., 2020).

## BAB 3

# Keanekaragaman Hayati Delta Mahakam

### Pendahuluan

**D**elta Mahakam merupakan salah satu kawasan pesisir dengan ekosistem mangrove terluas dan paling kompleks di Indonesia, yang menjadi pusat keanekaragaman hayati tingkat tinggi di Pulau Kalimantan. Kompleksitas ekosistemnya dibentuk oleh dinamika pasang surut, salinitas, dan komposisi substrat yang menciptakan zonasi vegetasi khas, mulai dari *Avicennia marina* dan *Sonneratia alba* di zona depan hingga *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera gymnorhiza*, dan *Xylocarpus granatum* di bagian lebih dalam. Keanekaragaman flora tersebut mendukung berbagai fauna seperti serangga, burung air, reptil, mamalia, hingga biota akuatik bernilai ekonomi, termasuk ikan bandeng (*Chanos chanos*), udang windu (*Penaeus monodon*), dan kepiting bakau (*Scylla serrata*). Kondisi ini menjadikan Delta Mahakam sebagai ekosistem penyangga kehidupan yang tidak hanya berperan dalam menjaga keseimbangan ekologis dan siklus karbon, tetapi juga menopang ketahanan pangan serta ekonomi masyarakat pesisir. Namun demikian, tekanan akibat konversi lahan menjadi tambak dan aktivitas pembangunan pesisir telah mengancam kelestarian keanekaragaman hayati di kawasan ini. Oleh karena itu, upaya konservasi, rehabilitasi, dan pengelolaan berbasis ekosistem menjadi krusial untuk memastikan keberlanjutan fungsi ekologis dan sosial ekonomi Delta Mahakam sebagai benteng alami keanekaragaman hayati tropis (Arifanti et al., 2019; Sasmito et al., 2022; Priyono et al., 2022; Humber et al., 2024).



## **Flora Ekosistem Mangrove Delta Mahakam**

Flora mangrove di Delta Mahakam memperlihatkan keragaman serta pola zonasi yang khas, ditentukan oleh salinitas, pasang surut, dan kondisi substrat. Jenis dominan adalah *Rhizophora* (*R. apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa*) yang membentuk tegakan rapat di zona tengah dengan akar tunjang kokoh menahan sedimen (Tomlinson, 2016). Di bagian luar yang berbatasan dengan laut, *Avicennia marina* dan *Sonneratia alba* lebih toleran terhadap salinitas tinggi dan substrat berpasir (Wibawa et al., 2025), sedangkan *Bruguiera gymnorrhiza* serta *Xylocarpus granatum* berkembang di zona lebih dalam dengan tanah liat berlumpur (Alongi, 2009). Spesies khas lainnya, *Nypa fruticans*, tumbuh di estuari dan aliran sungai, membentuk komunitas nipah bernilai ekonomi bagi masyarakat pesisir (Hamilton & Friess, 2018). Vegetasi asosiasi seperti *Aegiceras corniculatum*, *Excoecaria agallocha*, dan *Lumnitzera racemosa* melengkapi struktur ekosistem ini (Kathiresan & Bingham, 2001). Adaptasi akar napas *Avicennia* spp., pneumatofor *Sonneratia* spp., dan akar lutut *Bruguiera* spp. tidak hanya menegaskan kompleksitas ekologis, tetapi juga menciptakan zonasi habitat, menghasilkan serasah organik untuk rantai makanan detritus, serta mendukung siklus karbon global (Alongi, 2014; Donato et al., 2011).

### **a. Mangrove Sejati (*True Mangroves*)**

Mangrove sejati adalah spesies yang hanya dapat tumbuh di habitat mangrove, memiliki adaptasi morfo-fisiologis khusus terhadap kondisi pasang surut, salinitas, dan tanah anaerob (Tomlinson, 2016). Di Delta Mahakam, flora mangrove utama tersusun atas beberapa marga dominan:

### 1. *Rhizophora* spp.

- ❖ **Jenis** : *R. apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa*
- ❖ **Keterangan** : Tumbuh subur pada substrat lumpur dengan pasang surut stabil. Akar tunjangnya kuat, membentuk tegakan rapat yang mendominasi zona tengah delta.



### 2. *Avicennia* spp.

- ❖ **Jenis** : *Avicennia* spp. (*A. marina*, *A. alba*, *A. officinalis*)
- ❖ **Keterangan** : Merupakan pionir pada zona depan, tumbuh di substrat berpasir-lumpur. Pneumatofornya memungkinkan pertukaran gas di tanah anaerob. Daunnya memiliki kelenjar garam untuk ekskresi salinitas berlebih.



### 3. *Sonneratia* spp

- ❖ **Jenis** : *Sonneratia* spp. (*S. alba*, *S. caseolaris*)
- ❖ **Keterangan** : Tumbuh di zona depan hingga muara sungai. Pneumatofor berbentuk kerucut berfungsi untuk respirasi. *S. caseolaris* umumnya berada lebih dekat ke aliran air tawar. aliran air tawar.





#### 4. *Bruguiera* spp.

- ❖ **Jenis** : *B. gymnorhiza*, *B. sexangula*
- ❖ **Keterangan** : Sering menempati zona tengah bersama *Rhizophora*, dengan akar lutut (knee roots) sebagai adaptasi pada substrat lumpur dalam.



#### 5. *Xylocarpus* spp.

- ❖ **Jenis** : *X. granatum*, *X. moluccensis*)
- ❖ **Keterangan** : Lebih sering dijumpai di zona belakang yang relatif terpengaruh air tawar. Buahnya berukuran besar (granat) menjadi ciri khas.



#### 6. *Ceriops* spp.

- ❖ **Jenis** : *Ceriops tagal*, *Ceriops decandra*.
- ❖ **Keterangan** : Tersebar di daerah tepian sungai kecil dan kanal yang lebih dalam ke arah daratan, di mana kondisi lumpurnya lebih padat. Kadang menjadi bagian dari mosaik vegetasi bersama *Bruguiera* spp. *Xylocarpus* spp



## 6. *Nypa fruticans*

- ❖ **Jenis :** *Nypa fruticans*
- ❖ **Keterangan :** Umum dijumpai di muara sungai, kanal, atau saluran pasang surut dengan substrat lumpur dalam. Lebih toleran terhadap air tawar–payau dibanding mangrove kayu seperti *Rhizophora* spp.



### b. Asosiasi Mangrove

Selain mangrove sejati yang mendominasi tegakan di Delta Mahakam, terdapat pula jenis-jenis asosiasi mangrove yang tumbuh di area transisi antara hutan mangrove dengan daratan. Jenis asosiasi ini tidak sepenuhnya bergantung pada pasang surut air laut, namun tetap berperan penting dalam menjaga stabilitas ekosistem. Beberapa jenis yang umum dijumpai antara lain *Acanthus ilicifolius* (jeruju), *Clerodendrum inerme*, *Derris trifoliata*, *Hibiscus tiliaceus*, serta *Cerbera manghas* (bintaro).

### Fauna Ekosistem Mangrove Delta Mahakam

Delta Mahakam dengan luas sekitar  $\pm 150.000$  hektare merupakan salah satu ekosistem mangrove terbesar di Indonesia dan menjadi habitat krusial bagi berbagai jenis fauna darat maupun perairan. Inventarisasi fauna yang dilakukan Harmonis dkk. (2023) mencatat, keberadaan serangga yang terdiri dari 8 spesies kupu-kupu (39 individu) dan 9 spesies capung (156 individu); herpetofauna berupa 1 jenis amfibi (*Fejervarya cancrivora*) serta 6 jenis reptil termasuk buaya muara (*Crocodylus porosus*); avifauna lebih dari 60 spesies burung yang mencakup burung air, burung migran, hingga spesies dengan status konservasi rentan; dan mamalia yang diwakili antara lain oleh bekantan (*Nasalis larvatus*) serta lutung kelabu (*Trachypithecus cristatus*). Selain itu, kelompok biota akuatik meliputi



plankton, bentos, serta ikan bernilai ekonomis seperti bandeng (*Chanos chanos*) dan belanak (*Mugilidae*). Sayangnya, alih fungsi mangrove menjadi tambak dan tekanan pembangunan lain telah mempercepat degradasi habitat serta mengancam keberadaan satwa liar di kawasan ini.

#### a. Serangga

Inventarisasi mencatat 8 spesies kupu-kupu (39 individu) dari 4 famili, serta 9 spesies capung (156 individu) yang didominasi oleh famili Libellulidae. Keberadaan kupu-kupu dan capung berfungsi sebagai bioindikator perubahan habitat. Studi di Delta Kayan–Sembakung, Kalimantan Utara, menunjukkan keragaman kupu-kupu dapat mencapai lebih dari 30 spesies setelah tahap suksesi vegetasi berlangsung lebih lama (Harmonis et al., 2022). Hal ini memperkuat temuan bahwa keragaman serangga di Delta Mahakam berpotensi meningkat sejalan dengan pemulihan ekosistem.



**Gambar 3.1.** Spesies kupu-kupu *Euploea cramerii* (kiri) dan capung *Macrodiplox cora* (kanan) yang dijumpai di Delta Mahakam.

#### b. Herpetofauna

Ditemukan 6 jenis reptil dan 1 jenis amfibi. Amfibi yang tercatat adalah *Fejervarya cancrivora* (kodok sawah payau), sedangkan reptil meliputi *Crocodylus porosus* (buaya muara, dilindungi), *Varanus salvator*, *Homalopsis buccata*, *Gekko smithii*, *Emoia atrocostata*, dan *Eutropis multijasciata*. Studi Hopkins & Brodie (2015) menegaskan bahwa hanya  $\pm 2\%$  amfibi dunia yang mampu hidup di lingkungan

dengan salinitas tinggi, sehingga rendahnya diversitas amfibi di Delta Mahakam merupakan kondisi yang wajar bagi ekosistem mangrove.



**Gambar 3.2.** Spesies buaya jenis *Crocodylus porosus* yang dijumpai di Delta Mahakam.

### c. Avifauna

Pengamatan mencatat lebih dari 60 spesies burung, termasuk burung air, burung hutan, spesies migran, serta burung dengan status konservasi Near Threatened (*Anhinga melanogaster*) dan Vulnerable. Keberadaan burung air seperti kuntul (*Ardea alba*, *A. intermedia*) meningkat terutama di tambak yang dikuras karena ketersediaan pakan. Penelitian Gunawan et al. (2017) di Jawa menunjukkan bahwa rehabilitasi mangrove mampu meningkatkan kelimpahan burung hingga 1,5 kali lipat dibandingkan lahan tambak non-rehabilitasi, mendukung hasil di Delta Mahakam



**Gambar 3.3.** Spesies burung pecuk ular (kiri) dan elang kelabu (kanan) yang dijumpai di Delta Mahakam.

#### **d. Mamalia**

Kelompok mamalia kunci adalah bekantan (*Nasalis larvatus*), primata endemik Kalimantan berstatus Endangered (IUCN), serta lutung kelabu (*Trachypithecus cristatus*). Selain itu terdapat mamalia kecil dan kelelawar. Bekantan memainkan peran penting sebagai spesies payung (*umbrella species*) karena keberadaannya dapat merepresentasikan kualitas habitat mangrove. Studi Meijaard & Nijman (2000) menegaskan bahwa populasi bekantan sangat bergantung pada integritas mangrove, sehingga keberadaannya di Delta Mahakam menjadi indikator vital keberhasilan restorasi



**Gambar 3.4.** Pejumpaan mamalia kunci jenis *Nasalis larvatus* (bekantan) Di delta Mahakan (Endangered (IUCN)).

#### **e. Biota Air**

Komponen biota air di ekosistem mangrove Delta Mahakam meliputi plankton, bentos, dan nekton yang membentuk rantai makanan akuatik. Plankton yang ditemukan terdiri dari fitoplankton (seperti *Diatomae* spp. dan *Dinoflagellata* spp.) serta zooplankton (misalnya *Copepoda*), berperan sebagai produsen primer sekaligus sumber pakan bagi organisme tingkat trofik lebih tinggi. Bentos, yang hidup di dasar perairan, mencakup moluska dan krustasea kecil, berfungsi penting dalam daur ulang bahan organik dan sebagai indikator kualitas substrat. Sementara itu, nekton meliputi ikan ekonomis seperti bandeng (*Chanos chanos*), belanak (*Mugilidae*), kakap putih (*Lates calcarifer*), baramundi, serta berbagai jenis udang dan kepiting (*Brachyura*), yang memiliki nilai ekologis sekaligus menjadi sumber mata pencaharian utama masyarakat pesisir. Kehadiran ikan-ikan tersebut menegaskan peran ekosistem mangrove sebagai *nursery ground* dan habitat penting bagi biota perairan yang menopang ketahanan pangan dan ekonomi lokal.



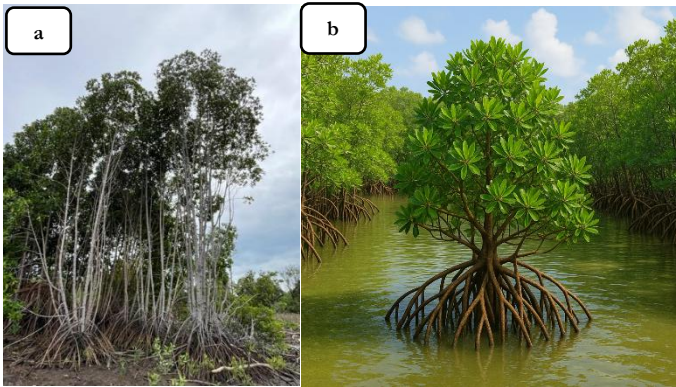
**Gambar 3.5.** Pejumpaan biota air : a. Baramundi (*Lates calcarifer*), b. Udang Windu (*Panaeus monodon*), c. Kepiting Bakau (*Scylla serrate*)

## BAB 4

# Fisiologi Tanaman Mangrove

### Pendahuluan

**M**angrove adalah kelompok tumbuhan khas ekosistem pesisir tropis dan subtropis yang tumbuh pada zona intertidal dengan kondisi lingkungan yang sangat menantang. Lingkungan ini ditandai dengan fluktuasi salinitas yang ekstrem, siklus pasang surut yang menyebabkan akar terendam dan menghadapi kondisi anaerobik, suhu permukaan yang tinggi, serta ketersediaan hara yang terbatas. Kombinasi faktor-faktor tersebut menjadikan ekosistem mangrove sebagai laboratorium alami untuk memahami bagaimana tumbuhan beradaptasi terhadap tekanan lingkungan (Suhardi et al., 2024).

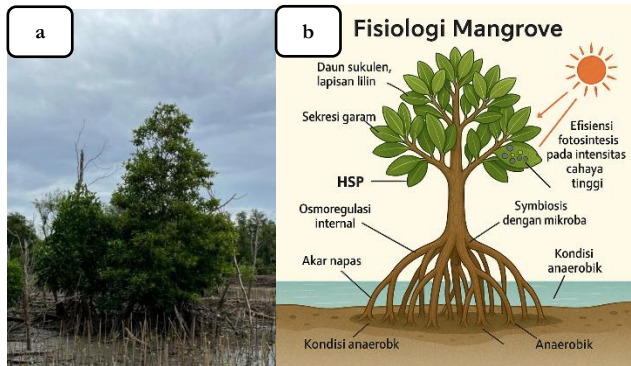


**Gambar 4.1.** a. *Rizophora mucronata* (dokumentasi pribadi) dan b. Ekosistem Mangrove

Fisiologi mangrove penting dipelajari karena mekanisme pada tingkat sel, jaringan, dan organ merupakan dasar dari kemampuan adaptasi ekologis spesies. Misalnya, toleransi terhadap salinitas tidak hanya ditentukan oleh kemampuan struktur akar dalam menolak



garam, tetapi juga oleh mekanisme biokimia seluler yang mengatur keseimbangan ion dan osmoregulasi. Demikian pula, kelangsungan hidup pada substrat anaerobik tidak dapat dipahami tanpa meninjau peran aerenkima, pneumatofor, dan fermentasi anaerob (Liu et al., 2023).



**Gambar 4.2.** a *Rizophora* sp. (dokumentasi pribadi) dan b. Fisiologi Mangrove

Kajian fisiologi ini memiliki implikasi langsung bagi keberhasilan konservasi dan rehabilitasi mangrove. Pemilihan spesies untuk program rehabilitasi, misalnya, sangat bergantung pada toleransi fisiologisnya terhadap salinitas, genangan, atau kekeringan. Lebih jauh, pemahaman mengenai fisiologi fotosintesis dan produktivitas primer memberikan dasar ilmiah untuk menghubungkan fungsi individu dengan peran ekosistem dalam penyediaan jasa lingkungan, termasuk penyimpanan karbon biru.

Dengan demikian, fisiologi mangrove bukan sekadar cabang ilmu yang menjelaskan mekanisme internal tumbuhan, melainkan juga sebuah jembatan yang menghubungkan adaptasi pada tingkat organisme dengan dinamika ekosistem dan keberlanjutan jasa lingkungan yang dihasilkan.

## Adaptasi Morfo-Fisiologis terhadap Salinitas

Salinitas merupakan faktor lingkungan paling khas dan menentukan dalam distribusi mangrove. Di Delta Mahakam, gradien salinitas dari muara hingga ke hulu sungai menghasilkan zonasi spesies yang jelas. Fisiologinya dapat dijelaskan melalui tiga strategi utama: eksklusi garam, sekresi garam, dan osmoregulasi internal. Eksklusi garam terutama terjadi pada akar *Rhizophora*. Struktur pita Kaspary dan lapisan suberin berfungsi sebagai penyaring, sehingga hanya sebagian kecil ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  yang masuk ke jaringan internal. Penelitian menunjukkan bahwa efisiensi eksklusi dapat mencapai lebih dari 90%, sehingga daun tetap mempertahankan keseimbangan ion meski tumbuh pada air dengan salinitas mendekati 30–40 ppt (Prihantono et al., 2022).



**Gambar 4.3.** *Avicennia* sp saat diberi perlakuan (dalam tahap publikasi)

Sekresi garam ditemukan pada *Avicennia marina* dan *Aegiceras corniculatum*. Daun memiliki kelenjar garam khusus yang aktif mengeluarkan ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  ke permukaan, yang tampak sebagai kristal putih pada daun. Mekanisme ini memungkinkan spesies tersebut bertahan di zona paling luar dengan salinitas tinggi. Osmoregulasi internal dilakukan dengan cara mengakumulasi osmolit organik seperti prolin, manitol, sorbitol, atau glisin-betain. Senyawa ini menurunkan potensial osmotik sel ( $\Psi_s$ ), sehingga sel



tetap dapat menyerap air meski lingkungannya hipertonic. Pada level fisiologis, strategi ini menjaga turgor dan mempertahankan fotosintesis.

Ketiga strategi ini mengurangi potensial air jaringan agar tetap lebih rendah daripada lingkungan asin, diringkas oleh:

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

(komponen gravitasi dan matriks diabaikan pada jaringan daun)

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

(komponen gravitasi dan matriks diabaikan pada jaringan daun)

di mana penurunan  $\Psi_s$  (lebih negatif) lewat osmolit memungkinkan turgor ( $\Psi_p$ ) dipertahankan.

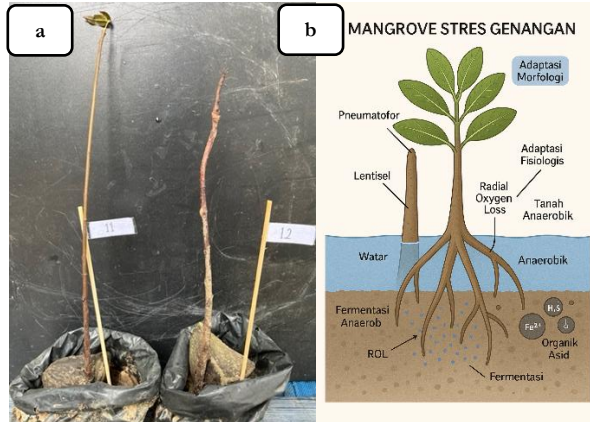
Secara keseluruhan, adaptasi terhadap salinitas memengaruhi laju fotosintesis, transpirasi, dan pertumbuhan. Pada salinitas tinggi, konduktansi stomata ( $g_s$ ) menurun, laju asimilasi karbon ( $A$ ) turun, dan pertumbuhan biomassa melambat. Namun, efisiensi penggunaan air (WUE) meningkat, yang tercermin dari pengayaan isotop  $\delta^{13}C$  pada jaringan daun.

### **Adaptasi terhadap Kondisi Anaerobik (Tanah Tergenang)**

Selain salinitas, mangrove juga menghadapi tantangan berupa genangan dan kondisi tanah anaerobik. Tanah jenuh air membatasi difusi oksigen, sehingga akar berisiko kekurangan  $O_2$  dan terpapar senyawa toksik seperti  $H_2S$  dan  $Fe^{2+}$ . Mangrove mengembangkan struktur pneumatofor dan akar tunjang dengan lentisel pada permukaan. Pneumatofor berfungsi sebagai saluran masuk udara saat surut, sementara lentisel mengatur pertukaran gas dengan atmosfer. Dari lentisel, oksigen dialirkan ke akar melalui jaringan aerenkima, yaitu ruang antar sel yang luas dan berfungsi sebagai sistem transportasi gas internal.

Proses difusi oksigen ini memungkinkan terbentuknya radial oxygen loss (ROL), yaitu pelepasan  $O_2$  ke rhizosfer yang membantu mengoksidasi ion beracun dan menciptakan mikrohabitat aerobik di sekitar akar. Hal ini krusial untuk menekan

toksistas sulfidik dan mendukung komunitas mikroba bermanfaat (Kodikara et al., 2020).



**Gambar 4.4** a *Xylocarpus* sp saat diberi perlakuan genangan (dalam tahap publikasi) dan b. Stress genangan pada mangrove

Ketika oksigen sangat terbatas, akar mangrove beralih ke fermentasi anaerob. Proses ini memang menghasilkan energi lebih sedikit (2 ATP/glukosa dibandingkan 36 ATP pada respirasi aerob), tetapi cukup untuk mempertahankan fungsi seluler dalam jangka pendek. Untuk mengurangi kerusakan, metabolit hasil fermentasi dikompartementalisasi dalam vakuola dan dinetralkan setelah kondisi aerob kembali tersedia.

### Fisiologi Fotosintesis pada Mangrove

Mangrove memiliki strategi fotosintesis yang khas untuk menghadapi kombinasi cahaya intens, salinitas tinggi, dan defisit oksigen. Pengaturan stomata merupakan mekanisme pertama. Pada kondisi salin, stomata cenderung menutup sebagian sehingga laju asimilasi CO<sub>2</sub> menurun. Namun, hal ini meningkatkan efisiensi penggunaan air. Anatomi daun juga mendukung efisiensi fotosintesis. Daun tebal dan sukulen, dengan lapisan kutikula serta trikoma, membantu mengurangi transpirasi. Beberapa spesies



mengatur orientasi daun untuk mengurangi radiasi langsung pada siang hari.

Fotosistem II pada mangrove menunjukkan ketahanan terhadap stres melalui mekanisme perlindungan non-fotokimia (NPQ). Nilai fluoresensi klorofil Fv/Fm pada kondisi sehat berada di kisaran 0,78–0,83, tetapi dapat menurun di bawah 0,70 saat tanaman mengalami stres salin (Cardona et al., 2018). Metabolisme karbon pada mangrove juga menunjukkan fleksibilitas. Aktivitas enzim Rubisco tetap terjaga meski konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam daun berkurang, sementara osmolit organik berperan ganda sebagai penyangga osmotik sekaligus cadangan karbon. Implikasinya, spesies dengan toleransi fotosintesis tinggi seperti *Avicennia marina* dapat bertahan di zona hipersalin, sementara *Rhizophora apiculata* tumbuh optimal pada salinitas menengah (Li et al., 2025).

### **Adaptasi terhadap Stres Lingkungan Lain**

Selain salinitas dan anoksia, mangrove juga menghadapi stres lingkungan lain.

- a) **Suhu tinggi** : Mangrove mengaktifkan heat shock proteins (HSPs) yang berfungsi melindungi enzim dan membran dari denaturasi. Perubahan komposisi lipid membran juga membantu menjaga fluiditas pada suhu ekstrem.
- b) **Kekeringan** : Pada musim kemarau, terutama di hulu estuari, mangrove mengurangi kehilangan air melalui pengaturan bukaan stomata, penebalan kutikula, dan pengguguran daun.
- c) **Keterbatasan nutrisi** : Mangrove menjalin simbiosis dengan mikroba tanah, termasuk mikoriza dan bakteri fiksasi nitrogen. Simbiosis ini membantu suplai hara pada substrat miskin nutrisi dan meningkatkan ketahanan terhadap cekaman abiotik. Adaptasi terhadap stres tambahan ini menunjukkan fleksibilitas fisiologi mangrove yang memungkinkan ekosistem ini bertahan di lingkungan yang sangat dinamis (Zhu, 2025).

## Implikasi Fisiologi terhadap Ekologi dan Rehabilitasi

Pemahaman fisiologi mangrove memiliki implikasi langsung pada pengelolaan ekosistem.

- a) **Pemilihan spesies** : Toleransi salinitas dan anoksia menentukan keberhasilan rehabilitasi. *Avicennia marina* cocok untuk zona luar, sementara *Rhizophora* lebih baik di zona menengah dengan salinitas sedang.
- b) **Desain penanaman** : Informasi mengenai kebutuhan aerasi akar dan orientasi daun membantu menentukan jarak tanam serta kedalaman bibit.
- c) **Kontribusi karbon** : Tingkat fotosintesis dan pertumbuhan biomassa memengaruhi stok karbon ekosistem. Spesies dengan efisiensi fotosintesis tinggi berkontribusi lebih besar pada penyimpanan karbon biru.
- d) **Resiliensi ekosistem** : Adaptasi fisiologi memungkinkan mangrove bertahan terhadap perubahan iklim, termasuk kenaikan muka laut dan gelombang panas.

Dengan demikian, integrasi pengetahuan fisiologi ke dalam praktik rehabilitasi dan konservasi dapat meningkatkan keberhasilan program dan memperkuat peran mangrove dalam mendukung pembangunan berkelanjutan (Sugiana, 2024).



## **BAB 5**

### **Peran Mangrove Dalam Siklus Karbon**

#### **Pendahuluan**

**E**kosistem mangrove memiliki peran penting dalam mengatur siklus karbon global melalui kemampuan uniknya menyerap dan menyimpan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari atmosfer, sebuah konsep yang dikenal sebagai karbon biru (blue carbon). Istilah ini mengacu pada karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem pesisir seperti mangrove, rawa pasang surut, dan padang lamun yang memiliki kapasitas tinggi dalam mengikat karbon dalam biomassa dan sedimen (Alongi et al., 2015). Hutan mangrove berfungsi sebagai penyerap karbon (carbon sink) yang efektif melalui proses fotosintesis, di mana  $\text{CO}_2$  diubah menjadi biomassa berupa batang, daun, cabang, dan akar (Atwood et al., 2015). Sebagian besar karbon tersebut kemudian tersimpan dalam sedimen anaerobik selama berabad-abad, menjadikan mangrove sebagai salah satu penyimpanan karbon paling efisien di dunia (Lanae, 2019). Namun, ketika ekosistem ini terganggu akibat konversi menjadi tambak atau pembangunan pesisir, karbon yang telah lama tersimpan dapat terlepas kembali ke atmosfer sebagai  $\text{CO}_2$ , mempercepat laju perubahan iklim (Sondak, 2015). Di kawasan seperti Delta Mahakam, Kalimantan Timur, mangrove memiliki kontribusi besar terhadap mitigasi perubahan iklim global melalui stok karbon yang tinggi baik di atas maupun di bawah permukaan tanah (Arifanti et al., 2019). Dengan demikian, pelestarian dan rehabilitasi ekosistem mangrove menjadi strategi penting dalam menjaga keseimbangan siklus karbon serta mendukung upaya global untuk menekan emisi gas rumah kaca.

## **Konsep *Blue Carbon* (Karbon Biru)**

Istilah "karbon biru" atau "karbon biru" mengacu pada karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang diserap dan disimpan oleh ekosistem pesisir dan laut di seluruh dunia, terutama oleh hutan bakau (mangrove), rawa pasang surut, dan padang lamun. Diakui bahwa ekosistem-ekosistem ini memiliki kapasitas yang luar biasa untuk mengikat dan menyimpan karbon, membuatnya berperan penting dalam mengatasi perubahan iklim (Alongi et al., 2015).

Konsep blue carbon pada mangrove memiliki peran karena memiliki karakteristik yang unik yaitu:

- a. Penyerapan CO<sub>2</sub> (sekuestrasi) mangrove dapat menyerap CO<sub>2</sub> di atmosfer melalui proses fotosintesis yang diubah menjadi biomassa berupa batang, akar, daun, dan cabang (Atwood et al., 2015).
- b. Penyimpanan karbon dalam jangka panjang dalam reservoir utama yaitu biomassa terletak di atas permukaan tanah berupa batang, cabang, dan daun sedangkan sedimen (tanah) terletak di bawah permukaan tanah (Lanae, 2019).
- c. Ketika hutan mangrove dihancurkan untuk pengembangan pesisir atau tambak, karbon yang telah tersimpan di dalam tanah selama berabad-abad akan terpapar ke udara dan terlepas kembali sebagai CO<sub>2</sub>, yang akan mempercepat perubahan iklim (Sondak, 2015).

## **Proses Fotosintesis Dan Fiksasi Karbon Di Mangrove**

Fotosintesis mangrove hampir sama dengan tumbuhan lain, tetapi mekanisme fiksasi dan penyimpanan karbonnya berbeda karena lingkungannya yang payau (salinitas tinggi) dan berlumpur (anaerobik). Ekosistem mangrove berkontribusi besar terhadap pengurangan perubahan iklim dengan mengurangi konsentrasi karbon di atmosfer melalui proses fotosintesis yang efektif dan mekanisme penyimpanan karbon yang stabil di sedimen (Ariyadi et al., 2023).



Sebagai fotoautotrof, mangrove mengubah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi glukosa (makanan) dan oksigen. Kemampuan fotosintesis mangrove sangat tinggi, meskipun mereka hidup di lingkungan yang keras (salinitas dan genangan air). Namun, tingkat fotosintesis dapat dipengaruhi dan dibatasi oleh faktor lingkungan seperti suhu air, salinitas, dan ketersediaan nutrisi. Misalnya, suhu air yang tinggi dapat memengaruhi sistem perakaran, pertumbuhan, fotosintesis, dan fiksasi  $\text{CO}_2$  pada mangrove (Dookie et al., 2023). Jumlah biomassa dan kerapatan tegakan mangrove sangat memengaruhi kapasitas penyerapan dan penyimpanan karbon (stok karbon) (Alviana et al., 2023; Fauzi et al., 2023).

### **Peran Biomassa Mangrove Di Atas Dan Dibawah Permukaan**

Biomassa mangrove, baik di atas maupun di bawah permukaan, sangat penting untuk menjaga fungsi ekosistem pesisir, terutama sebagai penyimpan karbon. Secara kolektif, biomassa ini membentuk cadangan karbon utama, menjadikan mangrove sebagai ekosistem "karbon biru" yang sangat penting untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Biomassa mangrove terdiri dari dua bagian utama, masing-masing dengan tugas ekologis dan fungsi fiksasi karbon tertentu yaitu biomassa mangrove di atas dan dibawah permukaan tanah.

#### **a) Biomassa di atas permukaan tanah (*Above-Ground Biomass/AGB*)**

Biomassa di atas permukaan tanah menggambarkan massa vegetasi kering di atas permukaan tanah, seperti batang, cabang, dan daun pohon mangrove. Karbon ini disimpan dalam struktur kayu dan daun (Imam et al., 2024).

#### **b) Biomassa di bawah permukaan (*Below-Ground Biomass/BGB*)**

Biomassa di bawah permukaan tanah menggambarkan massa vegetasi yang telah kering di dalam substrat (tanah atau lumpur),

terutama sistem perakaran yang kompleks seperti pneumatofor, akar halus, akar pasak, dan akar tunjang (Kumar et al., 2024).



**Gambar 5.1.** Biomassa di atas permukaan tanah



**Gambar 5.2.** Biomassa di bawah permukaan tanah

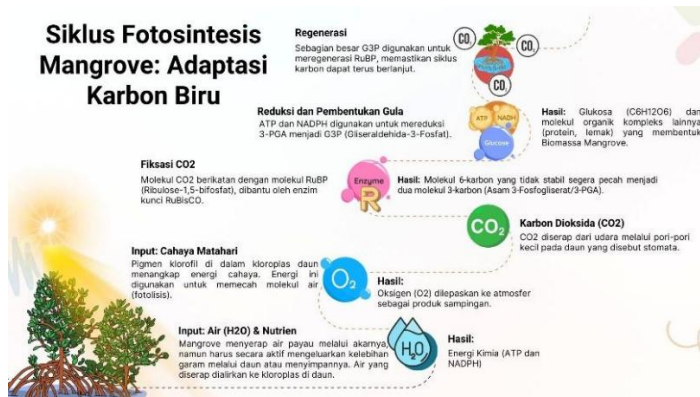
## Siklus Karbon Di Delta Mahakam

Delta Mahakam, Kalimantan Timur, merupakan salah satu delta sungai terbesar di Asia Tenggara yang ditutupi oleh hutan mangrove, menjadikannya komponen krusial dalam siklus karbon regional dan global (*blue carbon*). Ekosistem mangrove memainkan peran penting dalam siklus karbon Delta Mahakam sebagai



penyerap karbon (*carbon sink*) yang kuat, dengan sebagian besar karbon disimpan di dalam sedimen. Namun, tindakan manusia, terutama konversi hutan menjadi tambak, membuat siklus ini sangat rentan. Penyimpanan karbon melalui fotosintesis mangrove sehingga karbon diubah menjadi biomassa seperti batang, akar, dan daun. Biomassa di atas permukaan tanah (AGB) dan di bawah permukaan tanah (BGB) adalah tempat karbon disimpan. Cadangan karbon total pada mangrove utuh dapat mencapai 1023 Mg karbon per ha<sup>-1</sup>, menurut penelitian yang dilakukan (Arifanti et al., 2019).

Sistem perakaran mangrove yang padat menahan sedimen lumpur yang dibawa oleh aliran Sungai Mahakam dan serasah organik dari vegetasi mangrove. Karbon dapat terakumulasi dan terkubur di sedimen selama ribuan tahun karena kondisi tanah delta yang anaerobik (miskin oksigen) dan tergenang.



Gambar 5.3. Siklus fotosintesis mangrove



**Gambar 5.4.** Mangrove menyimpan karbon berkelanjutan

## Perbandingan Cadangan Karbon Mangrove Delta Mahakam Dan Ekosistem Lain

Sebagian besar cadangan karbon di Delta Mahakam terletak di dalam sedimen/tanah. Dibandingkan dengan hutan tropis daratan, mangrove menyimpan karbon hingga beberapa kali lipat lebih banyak karena kedalaman dan akumulasi karbon di sedimen. Cadangan karbon tanah tertinggi di area rehabilitasi mangrove Delta Mahakam (1120 ton/ha), dibandingkan dengan mangrove alami di sepanjang sungai (686 ton/ha) dan tambak yang tidak digunakan (383 ton/ha) (Diana et al., 2023). Hal ini menunjukkan kemungkinan pemulihan dalam meningkatkan stok karbon.

Mangrove Delta Mahakam berfungsi sebagai penyimpan karbon. Perbandingan ini menunjukkan mengapa konservasi mangrove, atau karbon biru, sangat penting untuk mengurangi perubahan iklim. Perbandingan Cadangan Karbon Mangrove dan Ekosistem Lain di Delta Mahakam pada Tabel 5.1.



**Tabel 5.1.** Perbandingan cadangan karbon mangrove dan ekosistem lain di Delta Mahakam

No	Ekosistem	Lokasi	Cadangan Karbon Total (MgC ha <sup>-1</sup> )	Persentase Cadangan Karbon di Sedimen	Sumber
1	Mangrove Utuh	Delta Mahakam, Indonesia	1023	80%–90%	Arifanti et al. (2019)
2	Tambak Konversi	Delta Mahakam (Bekas Mangrove)	499	70%	Arifanti et al. (2019)
3	Hutan Hujan Tropis	Umum (misalnya Amazon/Kalimantan Daratan)	240–550	10%–30%	Murdiyarto et al. (2015)
4	Hutan Gambut Tropis	Umum (Indonesia)	1000–3000	~90%	Donato et al. (2011)
5	Padang Lamun (Seagrass)	Umum Pesisir	20–300	90%	Donato et al. (2011)

Catatan: Mg C ha<sup>-1</sup> adalah Megagram Karbon per Hektar. Angka cadangan karbon ini dapat bervariasi tergantung kedalaman sedimen yang diukur dan jenis tegakan.

### **Potensi Emisi Karbon Akibat Degradasi Mangrove**

Mangrove dikenal sebagai ekosistem "Karbon Biru" karena menyimpan karbon 3 hingga 5 kali lebih banyak per satuan luas dibandingkan hutan tropis daratan. Sekitar 80-90% dari total

karbon yang tersimpan pada ekosistem mangrove berada dalam sedimen (tanah) yang tebal dan kaya bahan organik. Aktivitas manusia membahayakan siklus karbon di Delta Mahakam. Konversi mangrove menjadi tambak (akukultur) merupakan penyebab utama hilangnya karbon. Ketika mangrove ditebang dan tanah dikeringkan/diolah, karbon organik yang sebelumnya stabil di sedimen teroksidasi dan dilepaskan sebagai CO<sub>2</sub> ke atmosfer.

Konversi mangrove di Delta Mahakam menyebabkan banyak kerugian karbon. Tambak yang ditinggalkan memiliki cadangan karbon kurang dari separuh dari mangrove utuh (499 Mg C ha<sup>-1</sup> dibandingkan 1023 Mg C ha<sup>-1</sup>). Ini sebanding dengan potensi emisi tahunan sebesar 120 Mg CO<sub>2</sub> e ha<sup>-1</sup> setelah konversi. Kehilangan karbon di hutan gambut tropis sama dengan emisi tahunan. Emisi karbon sebanding dengan 226 tahun akumulasi karbon di mangrove alami. (Arifanti et al., 2019). Selama hutan mangrove tidak dihancurkan, Delta Mahakam berfungsi sebagai penyimpan karbon penting. Namun, setelah hutan mangrove dihancurkan, peran delta berubah dari penyerap karbon menjadi sumber emisi karbon yang besar (Sidik et al., 2017). Laju deforestasi mangrove di Delta Mahakam diperkirakan melepaskan 2.9 Tg CO<sub>2</sub> e per tahun jika *carbon pool* tanah dimasukkan dalam perhitungan, menurut data historis (1980–2001) (Arifantie at al., 2021). Meskipun laju deforestasi telah menurun sejak tahun 2001, angka-angka ini menunjukkan betapa besarnya potensi emisi karbon tanah mangrove.



## BAB 6

# Manfaat dan Jasa Ekosistem Mangrove

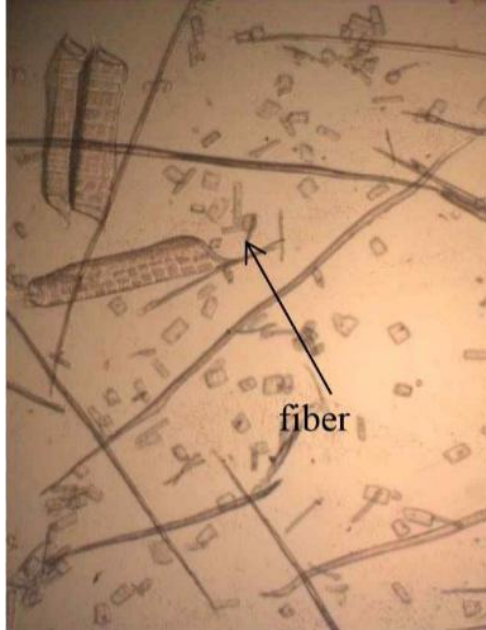
### Pendahuluan

**E**kosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki nilai ekologis, ekonomis, dan sosial yang sangat tinggi. Mangrove tidak hanya berperan penting dalam menjaga stabilitas ekosistem pesisir, tetapi juga memberikan berbagai manfaat langsung maupun tidak langsung bagi manusia. Manfaat tersebut meliputi penyediaan bahan baku industri, sumber energi, jasa ekosistem dalam pengendalian pencemaran, hingga pemanfaatan inovatif dalam bidang kesehatan. Berdasarkan hasil penelitian terbaru, mangrove juga memiliki peran penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan melalui kemampuan menyerap logam berat dan menjadi bahan dasar berbagai produk ramah lingkungan.

Bab ini mengulas beberapa manfaat dan jasa ekosistem mangrove berdasarkan temuan penelitian terkini, meliputi potensi kayu untuk industri pulp dan kertas, bahan konstruksi, sumber energi, kesehatan, serta kemampuan untuk menyerap logam berat.

### Mangrove Sebagai Bahan Baku Industri Pulp Dan Kertas

Mangrove memiliki karakteristik anatomi dan sifat serat yang memungkinkan pemanfaatannya dalam industri pulp dan kertas. Berdasarkan penelitian Andianto et al. (2024), kualitas serat kayu mangrove diklasifikasikan ke dalam kelas mutu II dan III, yang cukup baik untuk dijadikan bahan baku industri pulp dan kertas. Spesies seperti *Hibiscus tiliaceus*, *Avicennia alba*, *Sonneratia caseolaris*, dan *Excoecaria agallocha* memenuhi kriteria kelas II, sedangkan *Bruguiera gymnorhiza*, *B. cylindrica*, dan *S. ovata* termasuk kelas III.



**Gambar 6.1.** Serat kayu jenis mangrove (Andianto et al., 2024)

Kriteria ini ditentukan berdasarkan nilai turunan panjang dan dimensi serat, di antaranya adalah *runkle ratio*, *mublsteph ratio*, *felting power*, dan *flexibility ratio*. Nilai turunan dimensi serat berkaitan erat dengan proses pembuatan pulp dan kualitas kertas yang dihasilkan. Kayu dengan kualitas serat baik menghasilkan pulp dengan daya tahan tinggi, ketahanan sobek, dan permukaan yang lebih halus. Dengan potensi ini, mangrove tidak hanya berfungsi sebagai penyangga ekosistem pesisir tetapi juga sebagai sumber daya industri pulp dan kertas yang bernilai ekonomis tinggi.

### **Kayu Mangrove Untuk Energi Dan Konstruksi**

Selain sebagai bahan baku pulp, kayu mangrove juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam industri energi dan konstruksi. (Galvão et al., 2024) yang meneliti spesies *Lacunguria racemosa*, *Avicennia germinans*, dan *Rhizophora mangle*, melaporkan kerapatan



kayu yang relatif tinggi (726,8–1.031,6 kg/m<sup>3</sup>) dengan MOE tertinggi ditunjukkan kayu *R. mangle* (18,8 GPa). Temuan ini menegaskan potensi kayu dari vegetasi mangrove untuk dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi. Selain itu, jenis *R. mangle* juga berpotensi untuk dijadikan bahan baku produksi arang karena memiliki kadar lignin yang relatif tinggi (24,9%) dan abu yang relatif rendah (0,8%) (Galvão et al., 2025).

Perbedaan sifat kayu antar spesies perlu dipertimbangkan, selain variasi sifat kayu yang juga terjadi dalam satu batang pohon (Zobel & van Buijtenen, 1989). Jones & Watanabe (2024) yang meneliti jenis *Bruguiera gymnorhiza* dan *Rhizophora stylosa* melaporkan adanya perbedaan nyata sifat kayu antara bagian batang, cabang, dan perakaran. Penelitian lain oleh (Zhang et al., 2015) mengungkapkan bahwa modulus elastisitas dari perakaran jenis *Sonneratia alba* mencapai 200–800 MPa, lebih tinggi dibandingkan akar lateral tumbuhan lain. Akar tanaman mangrove yang sering terpapar ombak dan arus pasang surut akan mengalami adaptasi struktural seperti peningkatan densitas, proporsi serat, dan lignifikasi, sehingga mampu menahan gaya mekanis dari lingkungannya. Oleh karena itu, pemanfaatan kayu jenis mangrove perlu disesuaikan dengan karakteristik spesifik setiap bagian, terutama untuk aplikasi struktural maupun non-struktural, di mana kekuatan, keawetan, dan stabilitas dimensi sangat menentukan kinerja material.

Pemanfaatan kayu mangrove juga dapat ditingkatkan melalui pengembangan komposit dengan modifikasi kimia. Samson et al. (2023) melaporkan papan partikel *Rhizophora spp.* yang direkatkan dengan perekat berbasis protein menunjukkan kekuatan ikat internal yang memenuhi standar JIS A-5908 dan ASTM D1037-99, dengan nilai tertinggi mencapai 1,11–1,13 MPa, melampaui beberapa hasil penelitian sebelumnya. Peningkatan ini disebabkan oleh penetrasi perekat yang lebih baik, serta terbentuknya interaksi ikatan hidrogen dan ikatan disulfida.

## **Pemanfaatan Mangrove Untuk Kesehatan Dan Industri**

Mangrove menghasilkan berbagai metabolit sekunder sebagai bentuk adaptasi terhadap kondisi ekstrem habitatnya. Senyawa-senyawa tersebut berpotensi dimanfaatkan sebagai obat herbal, dan pemanfaatannya telah dibuktikan secara empiris oleh masyarakat pesisir. Studi Duryat et al. (2023) menemukan 21 spesies mangrove dari 12 famili yang dimanfaatkan sebagai tanaman obat, dengan indeks keanekaragaman sedang ( $H' = 1,9312$ ). Spesies yang umum digunakan antara lain *Avicenia alba*, *Acanthus ilicifolius*, *Rhizophora apiculata* *Rhizophora stylosa*. Bagian tanaman yang digunakan terutama daun (91,67%) dan kulit batang (8,33%), dengan tingkat pemanfaatan tertinggi pada *R. apiculata* sebagai antiseptik (88%).

Selain dimanfaatkan untuk pengobatan tradisional, mangrove juga mengandung senyawa tanin yang berperan penting dalam berbagai industri. Hilmi et al. (2021), mengidentifikasi 19 spesies mangrove penghasil tanin, di antaranya *Heritiera littoralis*, *Nypa fruticans*, dan *Rhizophora mucronata* yang memiliki kadar tanin tertinggi. Kandungan tanin ini berpotensi dimanfaatkan untuk industri cat, pakan ternak, penyamakan kulit, dan perekat kayu. Dengan demikian, mangrove tidak hanya berfungsi sebagai penyangga ekosistem pesisir, tetapi juga memiliki nilai ekonomis tinggi dalam bidang kesehatan dan industri.

## **Peran Mangrove Dalam Mengurangi Pencemaran Logam Berat**

Selain nilai ekonomis, ekosistem mangrove memiliki jasa ekosistem yang signifikan dalam menjaga kualitas lingkungan, salah satunya melalui kemampuan menyerap dan menahan logam berat. Penelitian oleh Lian et al. (1999) menemukan bahwa propagul dari 10 spesies mangrove di China memiliki tingkat akumulasi logam berat yang rendah, bahkan di bawah kadar latar tanah. Logam berat yang diuji meliputi tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), kadmium (Cd), dan timbal (Pb), dengan urutan konsentrasi rata-rata  $Zn > Mn > Cu > Cd > Pb$ . Koefisien absorpsi biologis



menunjukkan bahwa logam seperti Zn, Cd, Cu, dan Mn diserap dalam kisaran 0,02–1,30, sedangkan Pb sangat rendah (0,0007–0,0020). Hal ini mengindikasikan bahwa mangrove berperan sebagai filter alami yang aman dan efektif dalam mengendalikan pencemaran logam berat.

Penelitian terbaru juga menegaskan peran mangrove dalam mitigasi logam berat melalui berbagai mekanisme, termasuk pengikatan pada dinding sel dan biomolekul (seperti fitokelatin), pembentukan penghalang di akar, serta pembentukan lapisan besi yang mampu mengikat Cr, Pb, dan Ni. Selain itu, mangrove dapat mengeluarkan kelebihan logam melalui kelenjar garam dan mengaktifkan sistem pertahanan antioksidan untuk mengurangi stres oksidatif akibat akumulasi logam berat (Rahman et al., 2024). Dengan adaptasi ini, mangrove berperan penting sebagai penyangga alami dalam strategi pengendalian pencemaran logam berat di kawasan pesisir.

## **BAB 7**

# **Aspek Sosial Ekonomi Masyarakat Pesisir**

### **Pendahuluan**

**M**asyarakat pesisir merujuk pada penduduk yang tinggal di daerah pesisir, yaitu zona transisi antara daratan dan laut. Masyarakat pesisir adalah sekelompok masyarakat yang sebagian besar penduduknya bergantung secara langsung atau tidak langsung pada pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya pesisir dan laut, seperti perikanan, budidaya laut, dan kegiatan terkait lainnya.

Bagi masyarakat pesisir, sumber daya alam menjadi tumpuan utama dalam banyak aspek kehidupan mereka. Sumber daya alam berperan dalam pemenuhan pangan lokal, sumber mata pencaharian, dan identitas budaya. Komunitas-komunitas ini sering kali memiliki ciri-ciri sosial dan ekonomi yang unik, yang terbentuk oleh kedekatan mereka dengan laut dan ketergantungan mereka pada sumber dayanya.

Bab ini mengulas beberapa aspek yang mempengaruhi kehidupan masyarakat pesisir dari segi sosial, ekonomi dan kerentanan terhadap perubahan iklim dan bencana.

### **Kehidupan Sosial Masyarakat Pesisir**

Masyarakat pesisir kerap ditandai oleh hubungan sosial yang erat, rasa persaudaraan yang kuat, dan pola hidup kolektif. Interaksi sosial mereka dibangun melalui kedekatan antar individu, rasa tanggung jawab bersama, dan rasa memiliki yang terlahir dari tradisi lokal. Penelitian (Mildaeni & Muharudin, 2022) mengungkapkan bahwa masyarakat pesisir, khususnya di komunitas nelayan, memiliki tingkat solidaritas yang tinggi. Nelayan saling berbagi



lokasi ikan, saling membantu dan bekerja sama ketika nelayan lain mengalami kesulitan. Masyarakat pesisir memiliki struktur sosial yang beragam dan dinamis. Struktur sosial menggambarkan pola hubungan dan peran yang terorganisasi dalam masyarakat. Struktur sosial mencakup distribusi peran, status, serta norma dan nilai yang mengatur interaksi antara peran dan status tersebut.

Struktur masyarakat pesisir umumnya terbentuk berdasarkan jenis mata pencaharian seperti penangkapan ikan, pengolahan hasil tangkapan, budidaya perairan, serta kegiatan ekonomi penunjang seperti reparasi perahu atau pedagang ikan. Penelitian (Sativa et al., 2025) mengungkapkan bahwa dalam kehidupan masyarakat pesisir, khususnya masyarakat nelayan, terdapat tiga struktur sosial yang terbentuk yang terdiri dari juragan, pembawa kapal dan nelayan buruh. Juragan menempati status sosial paling tinggi di komunitas nelayan yang berperan sebagai pemberi modal dan pendistribusian hasil laut dari nelayan ke pasar yang lebih luas. Struktur sosial kedua adalah pembawa kapal yang berperan sebagai pemimpin yang memastikan kapal berlayar dengan aman dan juga berperan dalam membagi tugas para nelayan dan kru lainnya agar dapat bekerja dengan maksimal. Struktur sosial ketiga adalah nelayan buruh yang berkaitan dengan aktivitas fisik yang berat seperti menarik jaring dan mengangkat ikan. Hal ini menunjukkan bahwa kepemilikan modal mempengaruhi pembagian peran dan tanggung jawab dalam komunitas nelayan.

Hubungan kekerabatan juga mempengaruhi kehidupan sosial masyarakat pesisir. Hubungan kekerabatan sebagai modal sosial untuk masuk ke dalam jaringan sosial dan sebagai akses untuk memanfaatkan sumber daya. Penelitian (Borneo et al., 2019) mengemukakan bahwa pada komunitas nelayan, kerja sama didasarkan pada hubungan kekerabatan karena faktor kepercayaan dan kedekatan emosional. Namun, tidak jarang pula nelayan menjalin kerja sama dengan tetangga terdekat yang bukan bagian dari keluarga, terutama ketika hubungan sosial yang erat telah terbentuk. Pilihan ini mencerminkan nilai-nilai kepercayaan dan solidaritas yang kuat dalam komunitas nelayan, di mana hubungan

sosial yang harmonis menjadi landasan penting dalam aktivitas ekonomi mereka.

### **Aktivitas Ekonomi Masyarakat Pesisir**

Masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir menjalankan berbagai macam kegiatan ekonomi yang sangat dipengaruhi oleh kedekatan mereka dengan laut dan ketersediaan sumber daya alam. Sebagian besar kegiatan ekonomi masyarakat pesisir berhubungan dengan laut. Kegiatan utama mereka meliputi sektor perikanan, akuakultur, pariwisata, serta sejumlah usaha lainnya yang mendukung.

#### **a) Penangkapan ikan**

Sebagian besar masyarakat pesisir bermata pencaharian sebagai nelayan. Penangkapan ikan dilakukan secara individu maupun kelompok menggunakan berbagai macam metode, baik metode tradisional maupun metode modern. Penelitian (Sondakh et al., 2017) mengungkapkan bahwa banyak nelayan yang masih menggunakan alat tangkap tradisional secara turun-temurun. Keterbatasan alat yang sederhana ini terkadang membuat hasil tangkapan sangat rendah, bahkan tidak mencukupi kebutuhan keluarga. Hasil tangkapan ikan umumnya dijual ke pasar, namun tidak menutup kemungkinan untuk konsumsi pribadi. Penelitian (Najah et al., 2015) melaporkan bahwa terdapat satu tempat untuk masyarakat menjual hasil tangkapan ikan, yaitu tempat pelelangan ikan. Di tempat tersebut, nelayan dapat menjual ikannya kepada pedagang pengumpul atau pedagang pengecer.

#### **b) Budidaya laut**

Budidaya laut atau biasa dikenal dengan akuakultur adalah kegiatan yang dilakukan untuk memelihara dan memperbanyak organisme laut seperti ikan, udang, rumput laut dan biota lainnya. Budidaya laut merupakan sumber pendapatan lain bagi masyarakat pesisir tanpa harus bergantung pada laut lepas. Penelitian (Suwanto, 2022) melaporkan bahwa tambak silvofishery tradisional yang dikelola oleh masyarakat di Delta Mahakam menghasilkan komoditi berupa



udang, ikan dan kepiting. Adapun nilai ekonomi dari masing-masing komoditas sebesar Rp.2.747.940,-/ha/thn untuk komoditas udang, Rp.2.061.600,-/ha/thn untuk komoditas udang, dan Rp.1.368.000,-/ha/thn untuk komoditas kepiting.

### **c) Pariwisata**

Bagi masyarakat yang tinggal di pesisir, pariwisata menjadi sumber pendapatan lain. Keterlibatan semua pihak secara inklusif menentukan keberhasilan dari pariwisata. Keberhasilan itu ditentukan oleh sejauh mana masyarakat ikut berperan, manfaatnya dibagikan secara adil, dan adanya dukungan infrastruktur. Berbagai penelitian mengindikasikan bahwa pariwisata secara langsung menambah penghasilan penduduk pesisir melalui penciptaan pekerjaan di sektor penginapan, pemandu wisata, transportasi, serta layanan makanan dan minuman.

### **Kerentanan Terhadap Perubahan Iklim Dan Bencana**

Ketergantungan masyarakat pesisir terhadap sumber daya alam membuat masyarakat sangat rentan terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada alam. Perubahan iklim, penurunan ketersediaan ikan, kerusakan mangrove dan bencana alam dapat membuat mata pencaharian dan ketahanan pangan masyarakat pesisir terancam.

Penelitian (Ardila & Hayat, 2023) mengungkapkan bahwa faktor alam mempengaruhi kehidupan masyarakat pesisir, khususnya nelayan. Nelayan bekerja dalam situasi laut yang bersifat akses terbuka, dan cuaca laut memiliki dampak besar terhadap hasil tangkapan. Pada musim hujan, tangkapan ikan bisa menurun drastis, bahkan menyebabkan kerugian alih-alih mendapatkan keuntungan.

Penelitian lain dari (Ariadi et al., 2023) melaporkan bahwa musim dan mutu air merupakan tolok ukur penting bagi siklus hidup ekosistem tambak. Musim yang berubah-ubah, secara alami memicu fluktuasi dalam kualitas air pada budidaya tambak udang

dimana jumlah total nutrien agregat dalam air tambak meningkat selama musim kemarau dan menurun selama musim hujan.



## **BAB 8**

# **Ancaman terhadap Ekosistem Mangrove**

### **Pendahuluan**

**E**kosistem mangrove di Delta Mahakam merupakan kawasan pesisir yang strategis dan produktif di Provinsi Kalimantan Timur, membentang dari Muara Badak hingga Muara Jawa. Kawasan ini berperan penting sebagai habitat flora dan fauna pesisir, serta menjaga keseimbangan ekologis dan mendukung kehidupan sosial-ekonomi masyarakat setempat. Selain mampu menyerap karbon biru dalam jumlah besar, bahkan melebihi hutan tropis daratan (Wahyuni dkk., 2014), mangrove juga berfungsi sebagai pelindung alami dari abrasi dan banjir serta sebagai sumber kayu, hasil perikanan, dan bahan baku industri rumah tangga (Putri dkk., 2023). Sejak tahun 1980, luas mangrove global dan regional terus menurun, dengan penurunan terbesar terjadi pada dekade 1980–1990 akibat ekspansi tambak udang dan eksploitasi hutan mangrove untuk industri, terutama di Asia Tenggara (Valiela dkk. 2001, Kusumadewi dkk. 2024). Meskipun laju kehilangan mangrove akibat aktivitas manusia menurun sejak tahun 2000, faktor lingkungan seperti abrasi dan cuaca ekstrem kini menjadi penyebab utama degradasi di luar kawasan Asia Tenggara.

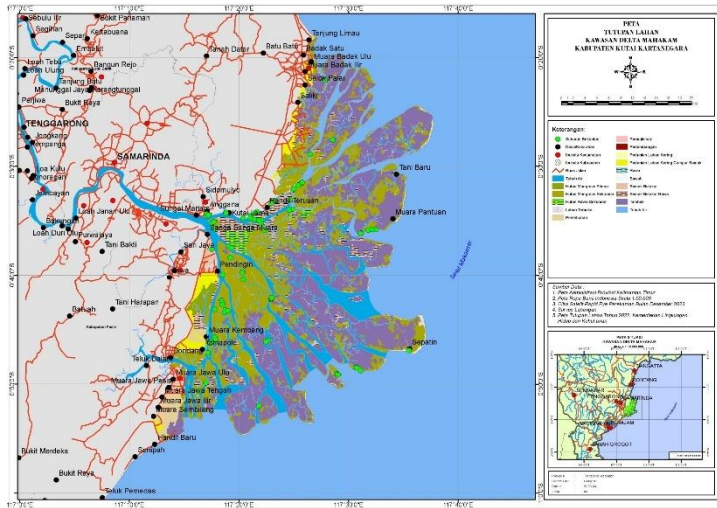
Bab ini akan menguraikan berbagai ancaman terhadap ekosistem mangrove Delta Mahakam, mulai dari konversi lahan, tekanan pembangunan infrastruktur, pengelolaan DAS yang tidak terintegrasi, dampak perubahan iklim hingga Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) mangrove. Selanjutnya, akan dibahas dampak sosial-ekologis yang ditimbulkan serta berbagai upaya mitigasi dan rekomendasi strategis untuk pengelolaan yang berkelanjutan.

## **Konversi dan perubahan tutupan lahan**

Konversi mangrove menjadi tambak tradisional di Delta Mahakam telah mengakibatkan hilangnya lebih dari 63.000 hektar hutan, memicu fragmentasi habitat, penurunan keanekaragaman hayati, dan gangguan siklus hidrologi alami. Konversi kawasan tersebut menjadi salah satu penyebab utama hilangnya tutupan vegetasi mangrove di Delta Mahakam. Aktivitas ini didorong oleh kepentingan ekonomi, terutama untuk memenuhi permintaan pasar terhadap komoditas perikanan seperti udang dan bandeng. Proses alih fungsi ini sering kali dilakukan tanpa mempertimbangkan daya dukung lingkungan, sehingga berdampak signifikan terhadap penurunan ekosistem, keanekaragaman hayati, serta terganggunya fungsi ekologis mangrove sebagai pelindung pesisir dan penyimpan karbon.

Studi oleh Arifanti dkk. (2019) menunjukkan bahwa lebih dari 70% kawasan mangrove di Delta Mahakam telah dikonversi menjadi tambak sejak tahun 1980-an, dengan laju deforestasi yang terus meningkat akibat lemahnya pengawasan dan insentif ekonomi yang tinggi. Meskipun laju penurunan kawasan mangrove secara global telah melambat, konversi kawasan untuk budidaya perikanan (terutama tambak) tetap menjadi ancaman utama yang menyebabkan hilangnya fungsi ekologis seperti penyerapan dan penyimpanan karbon (*blue carbon*) dan perlindungan garis pantai dari abrasi serta badai.

Pada tingkat nasional, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan juga mencatat bahwa tambak intensif menjadi salah satu faktor utama penyebab kerusakan mangrove di Indonesia, termasuk di Kalimantan Timur. Alih fungsi kawasan menjadi tambak budidaya udang dan ikan juga membuat perubahan formasi vegetasi mangrove di kawasan Delta Mahakam.



Gambar 8.1. Peta tutupan lahan Delta Mahakam (Harmonis dkk., 2024)

### Pembangunan infrastruktur

Selain konversi lahan, pembangunan infrastruktur (termasuk proyek Ibu Kota Negara – IKN), berdampak langsung pada ekosistem mangrove melalui peningkatan polusi, fragmentasi habitat, dan gangguan zonasi ekologis. Tanpa perencanaan spasial berbasis ekologi, pembangunan ini berisiko memperburuk kondisi lingkungan pesisir (Diana, dkk., 2017).

Pembangunan infrastruktur seperti jalan, pelabuhan, kawasan industri, dan perluasan pemukiman di wilayah Delta Mahakam memerlukan lahan kering yang secara alami tidak tersedia, mengingat karakteristiknya sebagai dataran rendah basah. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, proses reklamasi dilakukan dengan cara meninggikan dan mengeringkan lahan, yang sering kali melibatkan pembabatan, pengeringan, dan pengurukan kawasan mangrove. Praktik ini menyebabkan penurunan luas tutupan mangrove secara signifikan, yang berdampak langsung pada

fragmentasi habitat dan terputusnya koridor ekologis bagi berbagai fauna khas seperti bekantan (*Nasalis larvatus*), monyet ekor panjang (*Macaca fascicularis*), dan sejumlah spesies burung air. Selain itu, hilangnya vegetasi mangrove turut mengurangi kapasitas ekosistem dalam menjalankan fungsi ekologis penting, seperti penyerapan karbon, perlindungan terhadap abrasi, dan penyangga kualitas air.



**Gambar 8.2.** Bentuk-bentuk aktivitas yang berdampak pada kerusakan ekosistem di Delta Mahakam.

### **Pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) yang tidak terintegrasi**

Tidak hanya aktivitas langsung, ancaman dari hulu yang berupa Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang tidak terintegrasi turut menjadi ancaman bagi ekosistem mangrove khususnya di kawasan Delta Mahakam melalui peningkatan polusi dan sedimen, yang merusak kualitas air dan tanah, menghambat pertumbuhan mangrove, dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Delta Mahakam menerima limpasan limbah industri, pertanian, dan domestik dari hulu sungai, sementara pengelolaan DAS yang tidak terkoordinasi menyebabkan sedimentasi dan perubahan substrat

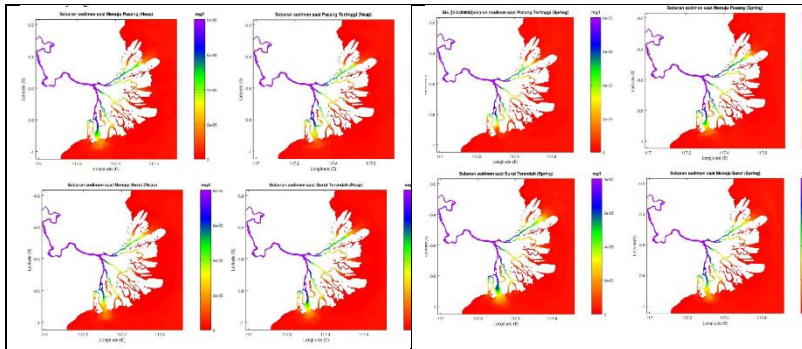


tanah. Sedimen yang berasal dari hulu akan terbawa ke hilir kemudian mengendap di zona mangrove, sehingga dapat mengubah struktur substrat dan mengganggu pertumbuhan akar mangrove.

Delta Mahakam merupakan wilayah pesisir dengan karakter perairan semi-tertutup. Kawasan ini menampilkan sungai dan kanal yang saling terhubung, membentuk pola kipas delta yang sangat dinamis. Di sekeliling delta, terlihat hutan hujan tropis yang lebat dan luas. Warna coklat keemasan pada aliran sungai menunjukkan tingginya kandungan sedimen dan material terlarut yang terbawa arus menuju laut. Cabang sungai yang kompleks mencerminkan proses sedimentasi yang aktif, sementara ruang di antara cabang tersebut berfungsi sebagai zona akumulasi endapan aluvial dan menjadi habitat penting bagi berbagai jenis flora dan fauna pesisir.

Interaksi antara sistem darat dan perairan di Delta Mahakam mengindikasikan keterkaitan erat antara produktivitas hayati dan dinamika hidrologi. Delta ini menyediakan tanah subur, mendukung biodiversitas tinggi, serta menjadi habitat bagi komponen ekosistem pesisir dan perikanan lokal. Namun, pola sedimen yang terus berubah, pengaruh pasang surut, serta aktivitas manusia seperti pemukiman, perikanan, dan potensi polusi mempunyai potensi mengubah keseimbangan ekologi.

Gambar 8.3 menunjukkan hasil simulasi model menunjukkan bahwa pola sebaran sedimen dipengaruhi oleh arus permukaan, di mana konsentrasi sedimen tertinggi terjadi di daerah muara saat pasang, dan berpindah ke arah laut saat surut.



**Gambar 8.3.** Pola sebaran sedimen ketika Purnama (*Neap*) dan Purnama (*Spring*) disetiap waktu (Anggara dkk., 2021).

### Perubahan iklim dan kenaikan muka air laut

Selain berbagai dampak dari berbagai ancaman tersebut, perubahan iklim pun dapat mengancam kawasan Delta Mahakam melalui terjadinya kenaikan muka air laut yang dapat menyebabkan banjir rob, erosi pantai, dan perubahan ekosistem rawa. Hal ini dapat mengganggu mata pencaharian masyarakat seperti perikanan, merusak infrastruktur vital, serta memicu hilangnya habitat dan ancaman pengungsian penduduk akibat perubahan kondisi lingkungan yang semakin sulit. Selain perubahan topografi lahan dan salinitas air, kenaikan muka air laut juga dapat mengubah kesesuaian lahan melalui siklus pasang surut. Perubahan topografi juga dapat mengganggu zonasi mangrove, dan jenis-jenis yang tidak tahan salinitas ekstrem atau perubahan substrat berpotensi menyusut populasinya atau punah lokal.



**Gambar 8.4.** Ilustrasi perubahan iklim dan meningkatnya muka air laut.

Berdasarkan visualisasi ilustrasi Gambar 8.4 di atas, berikut penjelasan bagaimana perubahan iklim dan kenaikan muka air laut menjadi ancaman nyata bagi ekosistem mangrove:

1. Emisi CO<sub>2</sub> dari industri berkontribusi terhadap pemanasan global.
2. Kenaikan permukaan laut yang menyebabkan banjir dan kematian pohon mangrove.
3. Perbandingan antara kondisi mangrove sehat dan mangrove yang terdegradasi akibat perubahan iklim.
4. Zona terinundasi (area daratan yang diterobos atau digenangi oleh air sebagai akibat dari peristiwa seperti tsunami atau banjir besar) yang kehilangan fungsi ekologis dan habitat fauna.

## Dampak Sosial dan Ekologis

Ancaman terhadap ekosistem mangrove tidak hanya berdampak pada kerusakan lingkungan secara ekologis, tetapi juga membawa konsekuensi sosial dan ekonomi yang serius bagi masyarakat pesisir. Penurunan kualitas dan luas tutupan mangrove berkontribusi langsung terhadap berkurangnya hasil tangkapan ikan dan biota perairan lainnya, yang menjadi sumber utama mata pencaharian nelayan lokal. Selain itu, hilangnya vegetasi mangrove mengurangi fungsi alami sebagai penahan abrasi dan pelindung dari banjir rob, sehingga meningkatkan risiko kerusakan infrastruktur dan pemukiman di wilayah pesisir. Dampak kumulatif ini turut menyebabkan berkurangnya sumber penghasilan alternatif, seperti hasil hutan non-kayu dan ekowisata, yang sebelumnya bergantung pada keberlanjutan ekosistem mangrove.

## Upaya Mitigasi dan Restorasi

Meski tekanan terhadap mangrove Delta Mahakam dan pesisir Kaltim sangat kuat, inisiatif rehabilitasi dan restorasi terus dilakukan oleh berbagai pihak. Model sintesis antara pemulihan ekosistem, pemberdayaan masyarakat, dan penguatan kolaborasi multipihak berjalan sejak tahun 2022—dilaksanakan oleh Universitas Mulawarman, Pertamina Foundation, Badan Restorasi Gambut dan Mangrove, serta Pokja dan kelompok masyarakat lokal. Tiga tahap restorasi yang telah dilakukan (pada kurun waktu tahun 2022—2024) berhasil menanam lebih dari 1,6 juta bibit mangrove pada 121 hektare lahan, dengan target utama pemulihan habitat keanekaragaman hayati (bekantan, monyet ekor panjang, puluhan jenis burung), peningkatan kualitas hidup masyarakat lokal, serta transfer teknologi ramah lingkungan (*smart silvofishery*, persemaian mangrove di desa, pengolahan produk turunan mangrove seperti nira nipah, etanol, ekowisata).

Selain itu, program *Mangroves for Coastal Resilience* (M4CR) oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menargetkan kegiatan rehabilitasi pada 41.000 hektare mangrove di



empat provinsi utama, termasuk Kalimantan Timur pada kurun waktu 2022–2027, dengan skema pendanaan internasional dan penekanan pada manfaat ekonomi-ekologis jangka panjang.

1. Berbagai langkah yang dapat diambil untuk mengatasi ancaman terhadap mangrove di Delta Mahakam, di antaranya:
2. Restorasi mangrove yang melibatkan masyarakat, didukung oleh organisasi.
3. Penguatan kebijakan pengelolaan mangrove oleh Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur, meski masih ada kendala dalam kapasitas SDM dan koordinasi antar instansi.
4. Penggunaan teknologi modern, seperti citra satelit dan drone, untuk memantau perubahan tutupan lahan secara cepat dan akurat.

### **Rekomendasi Strategis**

Agar ekosistem mangrove di Delta Mahakam tetap lestari, dibutuhkan pengelolaan yang terintegrasi dan fleksibel, meliputi:

1. Penguatan aturan dan penegakan hukum untuk mencegah konversi lahan ilegal.
2. Penyatuan pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan wilayah pesisir dalam satu kerangka ekoregion.
3. Peningkatan edukasi dan keterlibatan masyarakat dalam upaya restorasi dan pelestarian.
4. Pengembangan sistem pemantauan berbasis teknologi guna mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat berdasarkan data.

## BAB 9

# Teknik Rehabilitasi Mangrove

### Pendahuluan

Rehabilitasi mangrove merupakan upaya terpadu untuk memulihkan fungsi ekosistem pesisir, bukan sekadar kegiatan penanaman bibit. Prinsip utamanya adalah mengembalikan kondisi ekologis yang memungkinkan mangrove tumbuh dan beregenerasi secara alami dengan memperhatikan faktor hidrologi, kesesuaian spesies, serta partisipasi masyarakat. Hidrologi menjadi komponen kunci karena sistem pasang surut menentukan suplai air, salinitas, dan sedimentasi yang mendukung pertumbuhan mangrove (Van Loon et al., 2016). Pemilihan jenis mangrove harus sesuai dengan zonasi ekologis, misalnya *Avicennia marina* di zona depan yang berpasir dan *Rhizophora mucronata* di zona tengah berlumpur (Van Bijsterveldt et al., 2020). Selain itu, keterlibatan masyarakat lokal menjadi elemen penting dalam menjamin keberlanjutan program, sebab mereka memiliki pengetahuan ekologi tradisional dan kepentingan langsung terhadap keberhasilan ekosistem pesisir (Damastuti & de Groot, 2017; Kusmana, 2017). Pendekatan rehabilitasi berbasis ekologi seperti *Ecological Mangrove Rehabilitation* (EMR) menekankan pemulihan kondisi alami dan aliran hidrologi sebelum melakukan penanaman (Lewis et al., 2019), sedangkan inovasi seperti *silvofisbery* menawarkan integrasi antara konservasi dan ekonomi masyarakat (Bosma et al., 2021). Di Delta Mahakam, penerapan prinsip-prinsip ini menjadi krusial mengingat kawasan tersebut mengalami degradasi luas akibat konversi tambak sejak 1980-an, namun juga menyimpan potensi besar sebagai model keberhasilan rehabilitasi mangrove berbasis ekosistem di Indonesia (Arifanti et al., 2019).



## **Prinsip Dasar Rehabilitasi Mangrove**

Rehabilitasi mangrove bukan sekadar menanam bibit, melainkan upaya mengembalikan fungsi ekosistem. Prinsip utama adalah pemulihan kondisi ekologis yang memungkinkan mangrove tumbuh secara alami. Hidrologi merupakan faktor kunci, karena sistem pasang surut mengatur suplai air, salinitas, dan distribusi sedimen. Tanpa perbaikan hidrologi, penanaman berulang akan gagal. Selain itu, pemilihan spesies harus sesuai dengan zonasi ekologis. Misalnya, *Avicennia* sp. cocok di zona depan (*mudflat*), sedangkan *Rhizophora mucronata* lebih sesuai di bagian tengah yang terlindung. Keterlibatan masyarakat juga menjadi prinsip dasar, sebab mereka adalah pengguna langsung sumber daya mangrove. Berikut prinsip-prinsip tersebut dijelaskan lebih detail.

## **Pemulihan Fungsi Ekosistem (*Restoring Ecosystem Function*)**

Mangrove memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir. Fungsi utama ekosistem ini mencakup perlindungan garis pantai dari abrasi, badai, dan tsunami; penyediaan habitat bagi berbagai biota akuatik yang bernilai ekonomi seperti ikan, kepiting, dan udang; serta kemampuan menyimpan karbon dalam jumlah besar yang berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim (Alongi, 2020). Selain itu, mangrove juga berperan dalam filtrasi air, stabilisasi sedimen, serta pengendalian kualitas perairan pesisir (Friess et al., 2020).

Rehabilitasi mangrove yang hanya menitikberatkan pada peningkatan tutupan vegetasi tanpa mempertimbangkan pemulihan fungsi ekosistem seringkali berakhir dengan kegagalan. Kegagalan tersebut biasanya ditandai dengan tingginya angka kematian bibit, hilangnya vegetasi dalam beberapa tahun, atau ketidakmampuan ekosistem untuk kembali mendukung keanekaragaman hayati dan aktivitas ekonomi masyarakat pesisir (Kodikara et al., 2017). Oleh karena itu, prinsip pertama dari rehabilitasi mangrove adalah memastikan bahwa intervensi diarahkan untuk mengembalikan

fungsi ekosistem secara menyeluruh, bukan sekadar menambah jumlah pohon yang ditanam.

### **Pentingnya Hidrologi Dan Parameter Fisik**

Hidrologi merupakan faktor kunci dalam keberhasilan rehabilitasi mangrove. Keberadaan pasang surut, tingkat salinitas, tekstur tanah, serta ketersediaan sedimen menentukan apakah bibit mangrove dapat tumbuh dengan baik (Van Loon et. al., 2016). Studi-studi terkini menunjukkan bahwa distribusi alami bibit mangrove sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik-lingkungan seperti tekstur tanah (proporsi pasir, lumpur, dan lempung), pH air, serta kandungan unsur hara (Dale et. al., 2014).

Pendekatan berbasis tipologi pesisir juga semakin mendapat perhatian dalam perencanaan rehabilitasi. Penelitian di Karawang, Jawa Barat, misalnya, menunjukkan bahwa identifikasi kondisi pesisir berdasarkan tipologi (estuarin, deltaik, pantai terbuka) serta analisis densitas mangrove dapat digunakan untuk menentukan strategi rehabilitasi yang tepat: apakah melalui proteksi alami, penanaman intensif, atau membiarkan regenerasi alami berlangsung (Dale et al., 2014). Hal ini menegaskan bahwa rehabilitasi mangrove tidak dapat dilakukan dengan pendekatan seragam, tetapi harus menyesuaikan dengan kondisi hidrologi dan fisik di setiap lokasi.



## **Regenerasi Alami vs Intervensi**

Regenerasi alami merupakan salah satu mekanisme yang paling efektif dan ekonomis dalam memulihkan mangrove, selama kondisi lingkungan mendukung. Ketika suplai benih mencukupi dan parameter ekologi seperti salinitas serta frekuensi genangan berada dalam kisaran toleransi, maka mangrove dapat tumbuh kembali tanpa intervensi besar dari manusia (Kodikara et al., 2017). Studi di Taman Nasional Kutai menemukan bahwa regenerasi alami mampu memulihkan sebagian besar area mangrove yang rusak, asalkan sumber benih tersedia dari kawasan mangrove terdekat.

Namun, regenerasi alami memiliki keterbatasan, terutama jika sumber benih terlalu jauh, atau jika tekanan antropogenik seperti penebangan dan alih fungsi lahan masih berlangsung. Dalam kondisi seperti itu, intervensi manusia melalui penanaman perlu dilakukan, meskipun tetap harus mempertimbangkan kesesuaian ekologis dan ketersediaan kondisi lingkungan yang mendukung. Prinsip yang dianut adalah “mendukung regenerasi alami sebisa mungkin, intervensi hanya jika perlu”.

## **Kesesuaian Spesies Dan Zonasi Ekologis**

Pemilihan spesies yang tepat merupakan prinsip fundamental dalam rehabilitasi mangrove. Setiap spesies memiliki preferensi ekologis yang berbeda, misalnya terhadap salinitas, frekuensi genangan, substrat, serta tingkat eksposur terhadap gelombang. Misalnya, *Avicennia marina* lebih toleran terhadap kondisi salinitas tinggi dan tanah berpasir, sementara *Rhizophora mucronata* lebih cocok pada substrat berlumpur dengan pasang surut yang stabil (Van Bijsterveldt et. al., 2020).

Kegagalan banyak proyek rehabilitasi di Indonesia salah satunya disebabkan oleh penanaman spesies yang tidak sesuai dengan zonasi ekologis. Bibit yang ditanam di luar zona preferensinya memiliki tingkat kematian tinggi dan pertumbuhan yang lambat. Oleh karena itu, keberhasilan rehabilitasi sangat ditentukan oleh

kesesuaian spesies yang ditanam dengan kondisi ekologis lokal. Prinsip “right species at the right place” menjadi panduan utama dalam merancang intervensi (Friess et al., 2019).

### **Partisipasi Komunitas Dan Aspek Sosial-Ekonomi**

Keberlanjutan rehabilitasi mangrove tidak hanya ditentukan oleh aspek ekologi, tetapi juga oleh partisipasi masyarakat. Masyarakat lokal memiliki pengetahuan ekologi tradisional yang dapat mendukung keberhasilan proyek, seperti pemahaman tentang pola pasang surut, musim, serta lokasi sumber benih alami (Van Bijsterveldt et. al., 2020). Selain itu, karena masyarakat adalah pihak yang paling terdampak oleh degradasi maupun keberhasilan rehabilitasi, maka keterlibatan mereka dalam perencanaan, pelaksanaan, hingga monitoring menjadi faktor kunci.

Penelitian terbaru menegaskan hal ini. Damastuti & de Groot (2017) menemukan bahwa tingkat partisipasi masyarakat sangat menentukan keberhasilan konservasi mangrove, dengan faktor-faktor seperti usia dan pendidikan berpengaruh terhadap tingkat keterlibatan. Kusmana (2017) juga melaporkan bahwa partisipasi aktif masyarakat dalam seluruh tahapan rehabilitasi memberikan dampak positif bagi keberlanjutan program. Dengan demikian, rehabilitasi yang mengabaikan aspek sosial-ekonomi dan partisipasi masyarakat berisiko gagal dalam jangka panjang.

### **Perencanaan Adaptif Dan Monitoring**

Rehabilitasi mangrove harus dilakukan secara adaptif, artinya selalu siap untuk menyesuaikan strategi berdasarkan hasil monitoring dan perubahan kondisi lingkungan. Monitoring jangka panjang penting untuk mengevaluasi tingkat kelangsungan hidup bibit, perubahan tutupan vegetasi, serta dinamika faktor lingkungan seperti intrusi air laut atau sedimentasi (Lewis et. al., 2019). Monitoring sosial juga perlu dilakukan, misalnya terkait manfaat ekonomi dan sosial yang dirasakan masyarakat setelah rehabilitasi.



Kusmana (2017) menekankan pentingnya penggunaan tipologi pesisir dalam perencanaan adaptif. Dengan memahami karakteristik pesisir (apakah estuarin, deltaik, atau pantai terbuka), perencana dapat mengembangkan strategi rehabilitasi yang sesuai dan fleksibel terhadap perubahan lingkungan. Prinsip adaptif ini memastikan bahwa program rehabilitasi tidak berhenti pada tahap penanaman, melainkan terus berkembang berdasarkan evaluasi lapangan dan pembelajaran berkelanjutan.

### **Teknik Rehabilitasi Mangrove**

Upaya rehabilitasi mangrove telah berkembang pesat selama beberapa dekade terakhir, baik di Indonesia maupun di berbagai belahan dunia. Pada awalnya, pendekatan yang digunakan lebih bersifat konvensional dengan menekankan kegiatan penanaman bibit secara masif. Namun, dalam praktiknya, pendekatan ini sering gagal karena tidak mempertimbangkan kondisi ekologis dan hidrologis yang kompleks. Perkembangan terbaru menekankan pentingnya pendekatan berbasis ekologi, yang menempatkan pemulihan proses-proses alami sebagai inti rehabilitasi. Selain itu, sejumlah teknik inovatif juga mulai diperkenalkan untuk menanggulangi tantangan spesifik di lapangan, termasuk pendekatan berbasis sosial-ekonomi seperti *silvofishery*. Bab ini menguraikan beragam teknik rehabilitasi mangrove, keunggulan dan keterbatasannya, serta prinsip pemilihan metode yang sesuai dengan kondisi lokal.

## **Teknik Konvensional (Pola Tradisional)**

Teknik konvensional dalam rehabilitasi mangrove biasanya berfokus pada penanaman bibit (propagules) atau semai dari jenis tertentu, terutama *Rhizophora* spp., karena ketersediaannya yang melimpah dan kemudahan memperoleh propagul. Pola penanaman ini sering dilakukan secara massal dengan jarak tanam yang seragam (misalnya 1 x 1 meter atau 1.5 x 1.5 meter). Di Indonesia, program nasional rehabilitasi mangrove yang dijalankan sejak tahun 1980-an hingga 2000-an sebagian besar menggunakan pendekatan ini (Kusmana, 2017).

Meskipun sederhana dan mudah dilakukan, metode konvensional memiliki tingkat kegagalan yang tinggi. Banyak lokasi yang ditanami tidak sesuai dengan preferensi ekologis spesies yang digunakan, misalnya penanaman *Rhizophora* di daerah pasang surut yang terlalu tinggi atau berpasir, yang menyebabkan kematian bibit dalam waktu singkat (Kusmana, 2017). Selain itu, keberhasilan jangka panjang juga terbatas karena pendekatan ini tidak memulihkan fungsi ekosistem secara menyeluruh, melainkan hanya menambah tutupan vegetasi secara artifisial.

Kelebihan teknik konvensional adalah kemudahan mobilisasi tenaga kerja dan kesederhanaan teknis, sehingga sering dipilih dalam proyek berbasis target luasan tanam. Namun, kelemahannya justru terletak pada rendahnya tingkat keberlanjutan dan ketidakmampuan untuk merespon kompleksitas ekologi.

## **Teknik Berbasis Ekologi (*Ecological Mangrove Rehabilitation*)**

Sebagai kritik terhadap pendekatan konvensional, konsep *Ecological Mangrove Rehabilitation* (EMR) mulai dikembangkan sejak awal 2000-an dan semakin populer dalam satu dekade terakhir. EMR menekankan pemulihan kondisi ekologi dan hidrologi yang memungkinkan regenerasi alami mangrove, alih-alih hanya fokus pada penanaman bibit (Lewis et. al., 2019). Prinsip EMR adalah



mengidentifikasi penyebab degradasi (misalnya gangguan hidrologi akibat tambak atau tanggul), kemudian melakukan rekayasa ekologi untuk mengembalikan aliran pasang surut, sedimentasi, dan suplai benih alami. Setelah kondisi ini dipulihkan, mangrove biasanya akan tumbuh kembali secara alami, atau dengan sedikit bantuan berupa penanaman spesies lokal di area yang kurang mendapat suplai benih (Van loon et al., 2016).

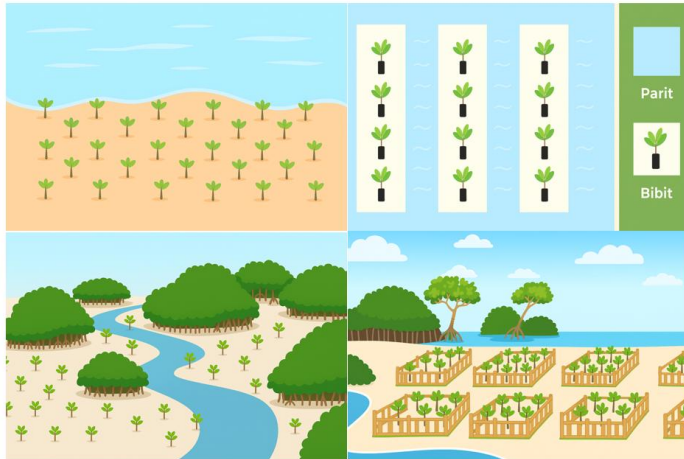
Contoh keberhasilan EMR dapat ditemukan di Indonesia, seperti di Demak, Jawa Tengah, di mana pendekatan ini digunakan untuk mengatasi abrasi dan rob. Dengan membuka kembali jalur hidrologi dan memanfaatkan struktur bambu sebagai perangkap sedimen, area pesisir yang semula terabrasi berhasil ditumbuhi kembali oleh vegetasi mangrove dalam waktu kurang dari lima tahun (van Bijsterveldt et al., 2020). Kelebihan EMR adalah tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dan biaya yang relatif lebih rendah dalam jangka panjang, karena memanfaatkan regenerasi alami. Namun, kelemahannya adalah membutuhkan waktu perencanaan dan survei awal yang lebih panjang serta koordinasi lintas disiplin.

### **Teknik Alternatif dan Inovatif**

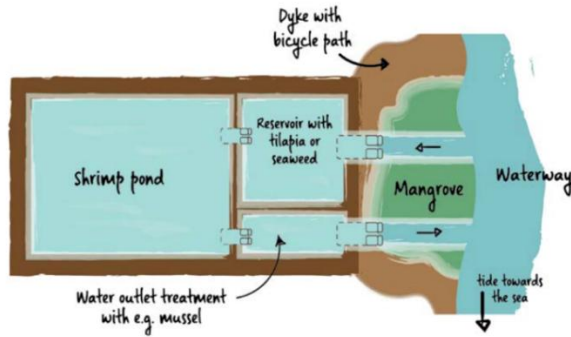
Selain metode konvensional dan EMR, sejumlah teknik inovatif juga dikembangkan untuk mengatasi kondisi spesifik di lapangan. Salah satunya adalah silvofishery, yaitu sistem integrasi antara tambak dengan vegetasi mangrove. Model ini memungkinkan peningkatan produksi perikanan sekaligus menjaga fungsi ekologis mangrove. Silvofishery terbukti meningkatkan pendapatan masyarakat sekaligus memperbaiki kualitas lingkungan tambak (Bosma et al., 2021).

Teknik lain adalah *assisted natural regeneration* (ANR), di mana fokus utama adalah melindungi dan memfasilitasi regenerasi alami dengan cara mengurangi gangguan, menambah suplai benih, atau menyiapkan substrat yang sesuai. ANR lebih hemat biaya dibandingkan penanaman intensif dan efektif di lokasi dengan sumber benih yang cukup. Inovasi lain mencakup *bioengineering*

menggunakan material alami (misalnya bambu, ranting, atau serasah) untuk membangun struktur perangkap sedimen, sehingga menciptakan kondisi substrat yang lebih stabil bagi pertumbuhan mangrove. Teknik ini telah digunakan di beberapa lokasi di pesisir Jawa, dengan hasil positif dalam mempercepat kolonisasi alami mangrove (Lewis et al., 2019).



**Gambar 9.1.** Ilustrasi sederhana beberapa teknik rehabilitasi mangrove (*OpenAI, 2025*). Pola tanam intensif (kiri atas), pengkayaan (kiri bawah), silvofishery (kanan atas), dan rumpun berjarak (kanan bawah).



**Gambar 9.2.** Pola tanam Associated Mangrove Aquaculture (Bosma dkk., 2020)

### **Studi Kasus: Delta Mahakam**

Delta Mahakam di Kalimantan Timur merupakan salah satu kawasan pesisir dengan ekosistem mangrove yang memiliki arti strategis, baik secara ekologis maupun ekonomis. Kawasan ini sejak lama menjadi penopang kehidupan masyarakat pesisir melalui perikanan, tambak, dan jasa lingkungan, namun juga menyimpan catatan kerusakan mangrove terbesar di Indonesia akibat konversi besar-besaran sejak dekade 1980-an. Dinamika antara kebutuhan ekonomi, tekanan pembangunan, dan upaya konservasi menjadikan Delta Mahakam sebagai contoh nyata kompleksitas pengelolaan mangrove di lapangan. Oleh karena itu, bab ini akan mengulas kondisi kerusakan mangrove yang terjadi, berbagai upaya rehabilitasi yang telah dijalankan, serta tantangan dan peluang yang muncul dalam menjaga keberlanjutan ekosistem di kawasan delta ini.

### **Kerusakan Mangrove**

Delta Mahakam di Kalimantan Timur merupakan salah satu kawasan pesisir terpenting di Indonesia, dengan ekosistem mangrove yang pada awalnya mencakup lebih dari 280.000 hektar.

Ekosistem ini berfungsi sebagai benteng alami terhadap abrasi, penyedia habitat penting bagi ikan, kepiting, dan udang, serta penopang ekonomi masyarakat pesisir. Namun, sejak 1980-an, kawasan ini mengalami kerusakan serius akibat konversi besar-besaran menjadi tambak udang dan bandeng.

Menurut laporan FAO (2012), lebih dari 75% mangrove di Delta Mahakam hilang dalam kurun waktu 30 tahun, menjadikannya salah satu kasus kehilangan mangrove terbesar di Asia Tenggara. Faktor utama kerusakan adalah ekspansi tambak intensif yang tidak memperhatikan daya dukung lingkungan. Tambak yang dibuka secara masif sering kali tidak memiliki infrastruktur pengelolaan air yang memadai, sehingga produktivitas tambak menurun dalam 5–10 tahun.

Kerusakan mangrove membawa dampak ekologis dan sosial-ekonomi yang serius. Secara ekologis, hilangnya vegetasi mangrove mempercepat abrasi pantai, menyebabkan berkurangnya suplai sedimen, serta meningkatkan intrusi air laut ke daratan. Hal ini mengakibatkan degradasi kualitas tanah dan air, yang pada gilirannya menurunkan produktivitas tambak itu sendiri (Arifanti et al., 2019). Dari sisi sosial-ekonomi, masyarakat pesisir yang sebelumnya bergantung pada hasil tambak dan perikanan mengalami penurunan pendapatan, sementara kerentanan mereka terhadap bencana pesisir seperti banjir rob dan badai semakin meningkat.

Fenomena “*boom and bust*” (ledakan produksi tambak di awal, lalu keruntuhan akibat degradasi lingkungan) menjadi ciri khas pembangunan pesisir yang tidak berkelanjutan di Delta Mahakam. Kondisi ini menunjukkan betapa pentingnya pengelolaan mangrove berbasis ekosistem yang mempertimbangkan keseimbangan antara produksi ekonomi dan fungsi ekologis jangka panjang.



## **Upaya Rehabilitasi**

Upaya rehabilitasi mangrove di Delta Mahakam telah dilakukan sejak 1990-an melalui berbagai program pemerintah, LSM, dan perusahaan. Pada tahap awal, strategi yang dominan adalah penanaman massal propagul *Rhizophora* di sepanjang garis pantai dan tambak terlantar. Namun, tingkat keberhasilan relatif rendah. Banyak bibit mati karena ditanam di lokasi dengan hidrologi yang tidak sesuai, misalnya di area abrasi aktif atau tambak yang tidak lagi memiliki pasang surut alami (Ilman et al., 2016).

Pelajaran dari kegagalan penanaman massal mendorong diterapkannya pendekatan *Ecological Mangrove Rehabilitation* (EMR). Pendekatan ini menekankan perbaikan hidrologi sebagai prasyarat utama sebelum dilakukan penanaman. Di beberapa lokasi tambak terlantar, saluran air dibuka kembali untuk mengembalikan pasang surut alami. Hasilnya cukup signifikan: bibit mangrove tumbuh secara alami dari sumber benih di sekitar area, dengan tingkat keberhasilan lebih tinggi dibanding penanaman manual (Lewis, 2019).

Selain EMR, model *silvofishery* juga mulai dikembangkan. Pola ini mengintegrasikan mangrove dengan tambak melalui sistem berbagi lahan, biasanya 60% untuk mangrove dan 40% untuk tambak. Pendekatan ini tidak hanya memulihkan ekosistem, tetapi juga meningkatkan produktivitas tambak melalui perbaikan kualitas air dan stabilisasi ekosistem. Studi Van Loon et al. (2016) menunjukkan bahwa *silvofishery* meningkatkan hasil tangkapan kepiting bakau sekaligus menyediakan jasa ekosistem berupa perlindungan pantai dan penyimpanan karbon.

Keterlibatan masyarakat lokal menjadi faktor penentu dalam keberhasilan rehabilitasi di Delta Mahakam. Sejak awal 2000-an, kelompok masyarakat pesisir di Muara Badak, Anggana, dan sekitarnya membentuk kelompok tani hutan dan kelompok nelayan yang berperan aktif dalam rehabilitasi. Mereka tidak hanya ikut menanam, tetapi juga mengelola kawasan melalui kesepakatan lokal,

misalnya membatasi penebangan mangrove dan mengelola sistem *silvofishery* secara kolektif. Arifanti et al. (2019) mencatat bahwa keberhasilan rehabilitasi meningkat signifikan ketika masyarakat terlibat langsung dalam perencanaan, pelaksanaan, hingga monitoring.

Lebih jauh, keberadaan kemitraan multi-pihak juga memperkuat upaya rehabilitasi. Pemerintah daerah, BRGM, universitas lokal, serta LSM internasional seperti Mangrove Action Project, telah mendorong integrasi antara konservasi, ekonomi lokal, dan adaptasi perubahan iklim. Kini, sebagian area Delta Mahakam bertransformasi menjadi laboratorium alami untuk pembelajaran rehabilitasi mangrove berbasis ekosistem di Indonesia.



**Gambar 9.3.** Upaya kegiatan penanaman mangrove di Delta Mahakam



## **Tantangan dan Peluang Rehabilitasi Mangrove di Delta Mahakam**

Rehabilitasi mangrove di Delta Mahakam menghadapi berbagai tantangan yang kompleks. Salah satu tantangan utama adalah konflik kepentingan lahan antara kepentingan konservasi dengan kebutuhan ekonomi masyarakat, khususnya tambak udang dan bandeng yang sejak lama menjadi mata pencaharian utama. Selain itu, degradasi kualitas lingkungan akibat intrusi air laut, sedimentasi yang tinggi, dan perubahan pola hidrologi memperumit proses pemulihan alami mangrove. Keterbatasan koordinasi antarinstansi pemerintah, lemahnya penegakan hukum terhadap konversi ilegal, serta minimnya insentif ekonomi bagi masyarakat juga turut menghambat keberhasilan rehabilitasi.

Namun demikian, peluang besar tetap terbuka. Meningkatnya kesadaran global terhadap pentingnya ekosistem mangrove, baik untuk mitigasi perubahan iklim maupun ketahanan pangan, mendorong masuknya dukungan pendanaan dan teknologi baru. Program seperti *Mangrove for Coastal Resilience (M4CR)* yang didukung World Bank menjadi contoh bagaimana pendekatan berbasis ekologi dan partisipasi masyarakat dapat mempercepat pemulihan. Selain itu, adanya inisiatif lokal berupa pengembangan *silvofisbery* di Delta Mahakam memperlihatkan bahwa rehabilitasi bisa berjalan beriringan dengan ekonomi masyarakat. Jika tantangan-tantangan struktural dan teknis dapat diatasi, Delta Mahakam memiliki peluang besar untuk menjadi model sukses rehabilitasi mangrove di Indonesia bahkan di tingkat global.

**Tabel 9.1.** Tantangan dan Peluang Rehabilitasi Mangrove di Delta Mahakam

<b>Aspek</b>	<b>Tantangan</b>	<b>Peluang</b>
Ekologi & Lingkungan	Degradasi kualitas tanah dan air; intrusi air laut; sedimentasi tinggi; perubahan hidrologi	Pemulihan fungsi ekosistem melalui <i>Ecological Mangrove Rehabilitation</i> ; potensi karbon biru sebagai solusi iklim
Sosial-Ekonomi	Ketergantungan masyarakat pada tambak tradisional; konflik kepentingan lahan	Pengembangan silvofishery yang mengintegrasikan budidaya dengan konservasi; peningkatan pendapatan berkelanjutan
Kelembagaan & Regulasi	Lemahnya koordinasi antarinstitusi; penegakan hukum yang kurang efektif	Dukungan kebijakan nasional restorasi mangrove; adanya target rehabilitasi mangrove Indonesia (600 ribu ha)
Pendanaan & Teknologi	Keterbatasan insentif ekonomi; biaya rehabilitasi tinggi	Dukungan program internasional seperti <i>M4CR-World Bank</i> ; penerapan teknologi pemetaan & monitoring berbasis GIS/Drone
Keterlibatan Masyarakat	Partisipasi belum merata; kurangnya kapasitas teknis	Meningkatnya kesadaran lokal; adanya kelompok masyarakat pesisir aktif.



## **BAB 10**

### **Strategi Pengelolaan Berkelanjutan**

#### **Pendahuluan**

**H**utan merupakan salah satu ekosistem daratan yang memiliki keragaman tipe sesuai dengan komponen penyusunnya, baik dari segi vegetasi dominan, kondisi edafik, maupun perbedaan setiap faktor lingkungan yang melatarbelakanginya. Setiap tipe hutan membentuk ekosistem khas yang berfungsi menjaga keseimbangan ekologis pada skala lokal hingga global. Sebagai contoh, hutan hujan tropis yang memiliki peran penting dalam menjaga siklus hidrologi dan keanekaragaman hayati. Salah satu ekosistem yang menempati posisi strategis adalah hutan mangrove, yaitu hutan yang tumbuh pada wilayah pasang surut di kawasan pesisir. Ekosistem ini berfungsi tidak hanya sebagai benteng alami yang melindungi garis pantai dari abrasi dan intrusi air laut, tetapi juga sebagai penyerap karbon (blue carbon), habitat bagi berbagai biota akuatik, serta penyangga stabilitas ekologis pada kawasan pesisir. Peran dan fungsi ekosistem mangrove turut berkontribusi dalam menjaga perubahan iklim hingga menjadi tonggak perekonomian masyarakat sekitar kawasan pesisir.

Indonesia memiliki satu ekosistem mangrove penting yang terletak di Delta Sungai Mahakam. Kawasan tersebut tidak luput dari berbagai tekanan dan gangguan antropogenik. Bagaimanapun, terjadinya degradasi ekologis, alih fungsi lahan, dan kurangnya tata kelola dapat menjadi ancaman terhadap stabilitas ekosistem mangrove ini. Pendekatan strategi pengelolaan berkelanjutan lintas sektor menjadi penting sebagai upaya melestarikan ekosistem mangrove di Delta Sungai Mahakam. Bab ini menyajikan studi literatur terkini bagi pembaca terkait konseptual implementasi

strategi pengelolaan berkelanjutan berdasarkan aspek lintas sektor pengelolaan suatu ekosistem mangrove melalui pendekatan konservasi, sosial-ekonomi, dan kebijakan.

### **Pendekatan Ekologis**

Ekosistem mangrove pada kawasan pesisir memiliki peran penting sebagai agen perlindungan secara ekologis. Beberapa gangguan diantaranya abrasi, merambahnya air asin, alih fungsi hutan menjadi tambak, dan sebagai penyangga sedimentasi (Diana et al., 2021). Degradasi ekosistem mangrove secara masif masih berlangsung pada Delta Mahakam yang merepresentasikan 2% dari total mangrove di Indonesia (Murdiyarso et al., 2021). Bagaimanapun, kawasan ekosistem mangrove berkontribusi efektif sebagai solusi berbasis alam (Nature-based Solution) untuk rangkaian strategi pengelolaan berkelanjutan.

Ekosistem mangrove Delta Sungai Mahakam telah mengalami tingginya laju degradasi melalui alih fungsi lahan. Sebagian besar degradasi mangrove terjadi akibat pengembangan kawasan secara masif seperti pembalakan, akuakultur, pertambangan, polusi dan berbagai gangguan antropogenik (Arifanti et al., 2022). Bagaimanapun, pemanfaatan tanpa adanya upaya perlindungan berdampak pada degradasi ekosistem hingga penurunan ekonomi masyarakat. Pelaksanaan restorasi dan rehabilitasi ekosistem mangrove perlu dilakukan secara komprehensif melalui upaya penerapan efektif di lapangan. Upaya perbaikan kondisi mangrove dapat ditempuh melalui implementasi pemanfaatan yang berbentuk sylvofishery (perpaduan silvikultur dan akuakultur). Dalam konteks pendekatan ekologis, implementasi sylvofishery perlu dikembangkan lebih lanjut sebagai komponen penting dari upaya konservasi ekosistem mangrove untuk pengelolaan berkelanjutan (Sumarga et al., 2024). Bentuk sylvofishery dalam upaya rehabilitasi ekosistem mangrove berkontribusi luas mencakup peningkatan cadangan karbon, produksi perikanan, peluang ekowisata, dan perlindungan satwa liar. Dalam perspektif upaya konservasi ekosistem mangrove, pengembangan sylvofishery turut berintegrasi



dengan stakeholders dan masyarakat. Pengetahuan ekologis logal turut penting diperhatikan dalam pengembangannya dalam rangka membentuk sistem konservasi berbasis *sylofishery* yang baik. Lebih lanjut, berbagai penyesuaian dalam ranah manajerial yang inovatif akan mendorong efektivitas pendekatan ekologis dalam strategi pengelolaan berkelanjutan ekosistem mangrove Delta Sungai Mahakam.

### **Pendekatan Sosial-ekonomi**

Tantangan dalam upaya melestarikan ekosistem mangrove yakni meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan tetap mengedepankan aspek ekologis. Hal tersebut sering kali disebut dengan ekonomi biru. Masyarakat sekitar ekosistem mangrove merupakan bagian penting dari ekonomi biru sebagai motor ekonomi lokal. Secara umum, kontribusi masyarakat berbentuk kemitraan dan kelembagaan. Berdasarkan Katherina et al. (2023), kemitraan masyarakat perlu pendekatan holistik untuk mendorong perubahan positif berkelanjutan di masyarakat.

Adapun bentuk skema kemitraan tersebut perlu berjalan sesuai peran dan fungsinya masing-masing. Secara umum, masyarakat lokal berkontribusi dalam identifikasi tantangan, perekonomian, keadilan sosial, hingga potensi sumber daya kawasan. Pihak wirausaha (swasta) dapat berkolaborasi dengan masyarakat melalui kebijakan Corporate Social Responsibility (CSR). Dukungan kebijakan turut diberikan oleh pemerintah melalui perlindungan hukum praktik ekonomi biru yang berkelanjutan. Pendampingan bagi masyarakat melalui Non-Governmental Organization (NGO) dalam pembangunan ekonomi biru lokal. Lebih lanjut, penguatan kelembagaan masyarakat berkontribusi juga untuk menguatkan legalitas serta partisipatif secara teknis dan produktifitas perekonomian. Secara spesifik, menemukan solusi alternatif kebutuhan ekonomi dan memperkuat pasar bagi masyarakat akan menurunkan gangguan antropogenik terhadap ekosistem mangrove.

## **Pendekatan Kebijakan**

Pengembangan ekosistem mangrove di Indonesia mengutamakan laju perekonomian kawasan. Profit dari ekonomi biru berpengaruh dalam pengambilan kebijakan strategi pengelolaan mangrove. Beberapa institusi memiliki peran masing-masing dalam pengelolaan kawasan mangrove di Indonesia. Indonesia mengalami pembagian institusi kementerian pusat melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 139 Tahun 2024.

Secara resmi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dibagi menjadi dua entitas kementerian yang berbeda. Keputusan tersebut tentu berpengaruh dalam aspek kebijakan nasional dalam pengelolaan kawasan mangrove. Kondisi terkini, pengaturan kelembagaan secara nasional untuk mangrove menjadi semakin kompleks sehingga diperlukan sinkronisasi kuat dalam mengisi ruang kosong antar sektoral kelembagaan (Mursyid et al., 2021). Sampai pada tahun 2024, Pemerintah Indonesia telah melaksanakan restorasi dan rehabilitasi ±330.000 hektar dari target total seluas 600.000 hektar kawasan mangrove (Arifanti et al., 2025).

Sebagian pelaksanaan restorasi dan rehabilitasi mangrove memiliki ruang untuk diperkuat aspek kolaborasi berbasis riset. Berdasarkan Friess et al. (2024), sebelum implementasi restorasi dan rehabilitasi mangrove, penguatan antar lembaga menjadi hal penting untuk mengatasi permasalahan dasar tumpang tindih antar lembaga (stakeholders). Multidisplin riset kebijakan mangrove komprehensif perlu melibatkan ±20 institusi tingkat nasional hingga subnasional. Kondisi kolaborasi antar lembaga pemerintah perlu digalakkan sehingga menjadi jembatan untuk kolaborasi lebih luas bersama masyarakat.

Dalam ranah Internasional, Pemerintah Indonesia turut berkomitmen mewujudkan target SDG 14 dalam tajuk Mengkonservasi dan memanfaatkan secara berkelanjutan sumber daya laut, samudra, dan maritim untuk pembangunan



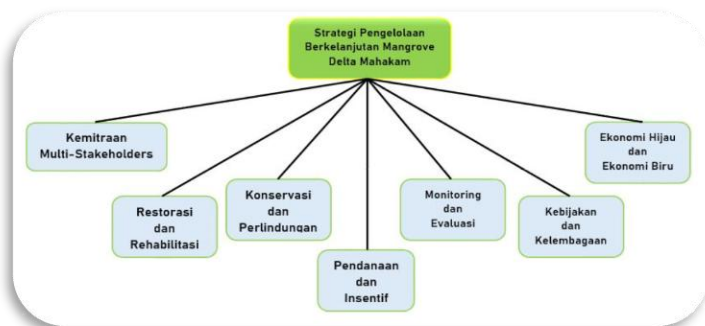
berkelanjutan. Guna mewujudkan SDG 14 diperlukan kerangka kebijakan berbasis masyarakat. Salah satu pendekatan kunci berdasarkan Arfan et al. (2024), pemberdayaan masyarakat termasuk nelayan, petani, kelompok wanita, dan pengrajin merupakan pondasi keberhasilan untuk mendirikan industri berbasis mangrove skala rumah tangga. Tantangan penting aspek kebijakan terkait mangrove di Indonesia yaitu penguatan kolaborasi lintas aktor hingga pemberdayaan masyarakat. Aspek kebijakan turut berpengaruh terhadap aspek lainnya dalam keberhasilan strategi pengelolaan berkelanjutan.

### **Konseptual Strategi Pengelolaan Berkelanjutan**

Strategi pengelolaan berkelanjutan ekosistem mangrove Delta Mahakam secara konseptual penting menekankan integrasi kebijakan, konservasi, rehabilitasi, kemitraan partisipatif masyarakat sebagai dasar potensi pengembangan pemanfaatan ekonomi hijau (Edwin et al., 2021). Dukungan sistem monitoring dan evaluasi turut dilakukan secara menyeluruh. Lebih lanjut, pendanaan eksternal melalui karbon biru, hibah, dan perdagangan karbon dapat menjadi motor penggerak strategi pengelolaan berkelanjutan (Diana et al., 2021). Dengan demikian sistem monitoring dan evaluasi berfungsi sebagai pengawas jalannya pengelolaan.

Kerangka konseptual diperlukan sebagai pemantik strategi pengelolaan berkelanjutan bagi ekosistem mangrove Delta Mahakam. Dapat diperhatikan pada Gambar 10.1. penegasan terkait strategi pengelolaan berkelanjutan ekosistem mangrove Delta Mahakam tidak dapat diterapkan tanpa strategi lainnya. Sinkronisasi dari seluruh aspek memainkan peran menguatkan dan terintegrasi. Pendekatan tersebut telah mencakup keterkaitan dalam strategi pengelolaan ekosistem mangrove secara holistik. Konseptual lebih lanjut untuk mempertegas target melalui Roadmap. Penyusunan Roadmap dapat dilakukan berdasarkan tujuan. Sebagai contoh, Roadmap jangka panjang dapat dibagi menjadi 2(dua) fase. Tahap fase 1(satu) bertujuan pada teknis

pengentasan degradasi dan penguatan pondasi kelembagaan. Adapun tahap fase 2(dua) bertujuan pada penguatan ekonomi hijau secara luas hingga kontribusi lokal berorientasi SDG 14 sebagai kontribusi internasional.



**Gambar 10.1.** Konseptual Strategi Pengelolaan Mangrove Delta Mahakam



### **Daftar Pustaka**

- Alongi, D. M., Murdiyarso, D., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Hutahaean, A., & Saintilan, N. (2015). Indonesia's blue carbon: A globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetlands Ecology and Management*, 24(1), 3–13.
- Alongi, D.M. (2009). *The energetics of mangrove forests*. Dordrecht: Springer.
- Alongi, D.M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, pp.195–219. DOI:10.1146/annurev-marine-010213-135020
- Alongi, D.M. (2020). Impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 6(3), 1–10.
- Alongi, D. M. (2020) 'Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation', *Sci*, 2(3), p. 67. doi: 10.3390/sci2030067.
- Analuddin, K., Septiana, A., Syahrir, L., Rahim, S., Pratama, D., Hasidu, L.O.A., et al. (2024) 'Vulnerability of mangrove ecosystems and blue carbon storage in the Coral Triangle region, Southeast Sulawesi, Indonesia', *Ecology and Evolution*, 2024.
- Andianto, Wahyudi, I., Sari, R. K., & Pari, G. (2024). Fiber quality of seven mangrove wood species. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 52(4), 393–403. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2024.52.4.393>.
- Anggara G, Mandang I, & Rahmiati. (2021). Studi Karakteristik Sedimen di Estuari Delta Mahakam, Kalimantan Timur. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 4(1), 1–8. Geofisika FMIPA Universitas Mulawarman. E-ISSN: 2615-5176.
- Ardila, I., & Hayat, N. (2023). Kehidupan Sosial Ekonomi Masyarakat Pesisir Karangantu. *Jurnal Pendidikan Sosiologi Undiksha*, 5(3), 291–297. <https://doi.org/10.23887/jpsu.v5i3.76775>
- 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. <https://doi.org/10.5755/j01.erem.80.1.33887>
- Ariadi, H., Azril, M., & Mujtahidah, T. (2023). Water Quality Fluctuations in Shrimp Ponds during Dry and Rainy Seasons. *Ribarstvo, Croatian Journal of Fisheries*, 81(3), 127–137. <https://doi.org/10.2478/cjf-2023-0014>
- Arifanti, V. B., Basyuni, M., Suharti, S., Slamet, B., Karlina, E., Sidik, F., Helbert, H., Yeny, I., Yulianti, M., Marwayana, O. N., Macklin, P. A., Rahmania, R., Suyadi, S., Wahyuni, T., Halwany, W., Rahmila, Y. I., Faubiany, V., Mubaraq, A., Aznawi, A. A., & Ali, H. M. (2025). Assessing the Environmental and Socioeconomic Impacts of Mangrove Loss in Indonesia: A Synthesis for Science-Based Policy. *Forest Science and Technology*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/21580103.2025.2536595>
- Arifanti, V. B., Kauffman, J. B., Hadriyanto, D., Murdiyarso, D., & Diana, R. (2019). Carbon dynamics and land use carbon footprints in mangrove-converted aquaculture: The case of the Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 432, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.043>.
- Arifanti, V. B., Novita, N., & Tosiani, A. (2021, October). Mangrove deforestation and CO2 emissions in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 874, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- Arifanti, V.B., Phang, V.P.E., Nugroho, A.D., Wibawan, L. and Nuruddin, T. (2024) ‘Greenhouse gas fluxes of different land uses in mangrove ecosystems in Indonesia’, *Carbon Balance and Management*, 19(1), 10.
- Arifanti, V. B., Sidik, F., Mulyanto, B., Susilowati, A., Wahyuni, T., Subarno, S., Yulianti, Y., Yuniarti, N., Aminah, A., Suita, E., Karlina, E., Suharti, S., Pratiwi, P., Turjaman, M., Hidayat, A., Rachmat, H. H., Imanuddin, R., Yeny, I., Darwiati, W., ... Novita, N. (2022). Challenges and Strategies for



- Sustainable Mangrove Management in Indonesia: A Review. *Forests*, 13(5), 695. <https://doi.org/10.3390/f13050695>
- Ariyadi, A., Widayat, W., & Anggraeni, D. (2023). Biogeochemical Role of Mangroves: Carbon Sequestration, Oxygen Release, and Their Contribution to Ecosystem Sustainability. *Current Research in Environmental & Sustainability*, 3(2), 26–36.
- Asaad, I., Adnan, A., & Fachrul, M.F. (2021). Hydrological dynamics and mangrove distribution in Mahakam Delta, East Kalimantan. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 747, 012018.
- Aslan, L.O., Taufiqurrahman, A. and Rachman, F. (2019) 'Leaf litter decomposition by sesarimid crabs in mangrove forests of West Papua', *Biodiversitas*, 20(8), pp. 2389–2397.
- Atwood, T. B., Connolly, R. M., Ritchie, E. G., Lovelock, C. E., Heithaus, M. R., Hays, G. C., Fourqrean, J. W., & Macreadie, P. I. (2015). Predators help protect carbon stocks in blue carbon ecosystems. *Nature Climate Change*, 5(12), 1038–1045. <https://doi.org/10.1038/nclimate2763>.
- Basyuni, M., Wati, R., & Sulistiyono, N. (2022). Diversity and conservation of mangrove ecosystems in East Kalimantan. *Biodiversitas*, 23(1), 123–135.
- Bengen, D.G. (2017). *Ekosistem dan sumber daya pesisir dan laut*. Bogor: IPB Press.
- BMKG (2021). Data Iklim Wilayah Kalimantan Timur 2010–2020. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Borneo, B. R., Fidhiani, D. D., & Erwiantono. (2019). Sistem Kekerabatan Masyarakat Nelayan Di Kampung Talisayan Kecamatan Talisayan Kabupaten Berau. *Jurnal Pembangunan Perikanan Dan Agribisnis*, 6(1), 23–33. <https://doi.org/10.30872/jppa.v6i1.115>
- Bosma, R.H., Debrot, A.O., Rejeki, S., Tonneijck, F., Priyanto, E.B., Susanto, A., Yuniati, W. & Sihombing, W., 2020. Associated Mangrove Aquaculture Farms: Building with Nature to Restore Eroding Tropical Muddy Coasts. *Ecoshape Technical Report No. 4*. Wageningen University & Research, Wageningen, The Netherlands.

- Bosma, R. H., Sidik, A. S., van Zwieten, P. A. M., Aditya, A. & Visser, L. (2021) 'Environmental and socio-economic sustainability of integrated mangrove-shrimp farming', *Reviews in Aquaculture*, 13(2), pp. 1220-1244. doi: 10.1111/raq.12513.
- Cardona, T., Shao, S., Nixon, P.J., 2018. Enhancing photosynthesis in plants: the light reactions. *Essays in Biochemistry* 62, 85–94. <https://doi.org/10.1042/EBC20170015>
- Dale, P. E. R., Knight, J. M., & Dwyer, P. G. (2014). Mangrove rehabilitation: a review focusing on ecological and institutional issues. *Wetlands ecology and management*, 22(6), 587-604.
- Damastuti, E., & de Groot, R. (2017). Effectiveness of community-based mangrove management for sustainable resource use and livelihood support: A case study of four villages in Central Java, Indonesia. *Journal of environmental management*, 203, 510-521.
- Damastuti, E., Wulandari, C. and Winarno, G.D. (2023) 'Effectiveness of community-based mangrove management in Central Java, Indonesia', *Ocean & Coastal Management*, 236, 106452.
- Diana, R., Kiswanto, K., Hardi, E. H., Palupi, N. P., Susmiyati, R. H., Jaslin, J., & Karyati, K. (2023). Soil carbon stock in different of mangrove ecosystem in Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 373, p. 02003). EDP Sciences.
- Diana, R., Matius, P., Syahrinudin, Karyati, Hendra, M., & Melsitiara, R. (2021). Species diversity and estimation of carbon stock in abandoned shrimp pond of mangrove ecosystem in East Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 800(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/800/1/012042>
- Diana R, Deddy H, Azka I, R, & Fajar P 2017. Sequestrasi Karbon Pada Mangrove di Delta Mahakam Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Nasional: Kontribusi Penelitian dan Pengajaran dalam Penguatan Aksi Mitigasi dan Adaptasi*



- Perubahan Iklim untuk Implementasi NDC Indonesia. hh.240-256.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), pp.293–297. DOI:10.1038/ngeo1123
- Dookie, S., Jaikishun, S., & Ansari, A. A. (2023). The Influence of Soil-Water Relations in Mangrove Forests on Ecosystem Balance. *World Environment*, 13(1), 9-28.
- Duryat, Rodiani, & Maryono, T. (2023). Mangroves species diversity and their use as medicinal plants by coastal communities of Pesawaran Lampung. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1255(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1255/1/012027>.
- Edwin, M., Sulistyorini, I. S., Poedjirahajoe, E., Faida, L. R. W., Purwanto, R. H., & Imanuddin, I. (2021). Structure and Dominance of Species in Mangrove Forest on Kutai National Park, East Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)*, 27(1), 59–68. <https://doi.org/10.7226/jtfm.27.1.59>
- Efriyeldi, E., Fauzi, M. and Siregar, I. (2023) ‘The mangrove ecosystem in a harbor-impacted city: vegetation structure and spatial variability’, *Environmental Advances*, 12, 100332.
- Fachrul, M.F., Rizal, A., & Nurhayati, A. (2019). Climatic influences on coastal ecosystems of East Kalimantan. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis*, 13(2), 87–96.
- FAO (2012) *Mangrove ecosystems of Asia: Status, challenges and management strategies*. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Fauzi, I., Alamsyah, R., & Uspar, U. (2023). Komposisi Jenis dan Kandungan Karbon Ekosistem Mangrove di Pantai Hubat Kabupaten Sinjai. *Fisheries: Jurnal Perikanan Dan Ilmu Kelautan*, 3(2), 68–74.
- Friess, D.A., Rogers, K., Lovelock, C.E., Krauss, K.W., Hamilton, S.E., Lee, S.Y., Lucas, R., Primavera, J., Rajkaran, A. & Shi,

- S. (2019) 'The state of the world's mangrove forests: past, present, and future', *Annual Review of Environment and Resources*, 44, pp. 89-115. doi: 10.1146/annurev-environ-101718-033302.
- Friess, D. A., Shribman, Z. I., Stankovic, M., Iram, N., Baustian, M. M., & Ewers Lewis, C. J. (2024). Restoring blue carbon ecosystems. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*, 2, e9. <https://doi.org/10.1017/cft.2024.9>
- Galvão, M. L., Bessa-Silva, A., Batista, A. S., Balboni, B. M., Santos, I. S., & Fernandes, M. E. B. (2024). Effects of wood density on mechanical properties of mangrove wood from the Amazon coast. *PLoS ONE*, 19(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313824>.
- Galvão, M. L., Nobre, J. R. C., Balboni, B. M., Santos, I. S., & Fernandes, M. E. B. (2025). Assessment of suitability of mangrove wood for different uses. *Journal of Wood Science*, 71(1). <https://doi.org/10.1186/s10086-025-02180-6>.
- Hamilton, S.E. & Friess, D.A. (2018). Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*, 8(3), pp.240–244. DOI:10.1038/s41558-018-0090-4
- Harmonis, C. Boer, M. Mustakim, Rustam, M. Syoim, F.D. Kusuma. 2023. Evaluasi-Monitoring Keaneragaman Hayati di Area PPKH PT Pertamina Hulu Mahakam Delta Mahakam. Laporan Kegiatan Perlindungan Keanekaragaman Hayati *Blue Carbon Initiative*. Pertamina Foundation – Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda.
- Harmonis, H. *et al.* (2022) "Diversity of butterflies in the tropical wetland of Kayan-Sembakung Delta, North Kalimantan, Indonesia," *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(6). Available at: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230660>.
- Hidayat, R., Sari, D.P., & Amin, B. (2021). Socio-ecological dynamics of Mahakam Delta mangrove ecosystems. *Regional Studies in Marine Science*, 48, 102030.



- Hopkins, G.R. & Brodie, E.D. Jr (2015). Occurrence of amphibians in saline habitats: a review and evolutionary perspective. *Herpetological Monographs*, 29, pp.1-27.
- Humber, R. A., Friess, D. A., & Thomas, N. (2024). Biodiversity and ecosystem functioning in mangrove forests under anthropogenic stress. *Global Ecology and Conservation*, 51, e03127. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03127>.
- Ilman, M., Dargusch, P. & Dart, P. (2016) 'A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangroves', *Land Use Policy*, 54, pp. 448-459. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.03.010.
- Imam, K., Nuraya, T., & Harfindha, E. M. (2024). Estimasi Karbon Biomassa Atas Mangrove pada Ekosistem Mangrove di Pesisir Desa Bakau Besar dan Bakau Kecil Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 7(3), 151.
- Katherina, L. K., Vibriyanti, D., Hidayati, I., & Ningrum, V. (2023). Unlocking the Power of Community Partnerships in Driving Green Economy Practices: Lessons from Indonesia's Cases in Agriculture, Forestry, and Waste Management. *Society*, 11(1), 137–157. <https://doi.org/10.33019/society.v11i1.532>
- Kathiresan, K. & Bingham, B.L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40, pp.81–251. DOI:10.1016/S0065-2881(01)40003-4.
- Kathiresan, K. and Bingham, B.L. (2001) 'Biology of mangroves and mangrove ecosystems', *Advances in Marine Biology*, 40, pp. 81–251.
- Kodikara, K.A.S., Mukherjee, N., Jayatissa, L.P., Dahdouh-Guebas, F. & Koedam, N. (2017) 'Have mangrove restoration projects worked? An in-depth study in Sri Lanka', *Restoration Ecology*, 25(5), pp. 705-716. doi: 10.1111/rec.12492.
- Kodikara, K.A.S., Pathmasiri, R., Irfan, A., Loku Pullukuttige, J., Madarasinghe, S.K., Farid, D.-G., Nico, K., 2020. Oxidative stress, leaf photosynthetic capacity and dry matter content in young mangrove plant *Rhizophora mucronata* Lam. under

- prolonged submergence and soil water stress. *Physiol Mol Biol Plants* 26, 1609–1622. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00843-w>
- Kristensen, E. (2008) ‘Mangrove crabs as ecosystem engineers; with emphasis on sediment processes’, *Journal of Sea Research*, 59(1–2), pp. 30–43.
- Kumar, M., Yadav, A., Kumari, R., & Thakur, S. (2024). Aboveground Biomass and Carbon Storage in Mangrove Forests in Southeastern Mexico. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(3), 41.
- Kusmana, C. (2017). Lesson learned from mangrove rehabilitation program in Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(1), 89-97.
- Kusumadewi S, D, Nadhira S, Purnomo, H 2024, Pembelajaran restorasi dan pengelolaan mangrove berbasis masyarakat, Bogor, Indonesia: CIFOR; Nairobi, Kenya: ICRAF.
- Lanae, A. P. (2019). Blue Carbon dan Perubahan Iklim. Climate Institute.
- Lewis III, R. R., Brown, B. M., & Flynn, L. L. (2019). Methods and criteria for successful mangrove forest rehabilitation. In *Coastal wetlands* (pp. 863-887). Elsevier.
- Li, J., Song, L.-Y., Guo, Z.-J., Xu, C.-Q., Zhang, L.-D., Wang, J.-C., Tang, H.-C., Dai, M.-J., Zhu, X.-Y., Zheng, H.-L., 2025. Salinity affects C/N ratio through differential responses of carbon and nitrogen metabolism in mangrove *Avicennia marina* leaves revealed by combined analysis of transcriptome and metabolome. *Plant Soil* 507, 783–806. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06770-z>
- Liu, S., Yang, S., Liu, H., Hu, Q., Liu, X., Wang, Jinwang, Wang, Jiayu, Xin, W., Chen, Q., 2023. Physiological and transcriptomic analysis of the mangrove species *Kandelia obovata* in response to flooding stress. *Marine Pollution Bulletin* 196, 115598. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115598>
- Mildaeni, I. N., & Muharudin, E. (2022). Social Values and Society (SVS ). 4(2). <https://doi.org/10.26480/svs.02.2022.2>



- Murdiyarso, D., Arifanti, V. B., Sidik, F., Sillanpää, M., & Sasmito, S. D. (2021). Optimizing Carbon Stocks and Sedimentation in Indonesian Mangroves under Different Management Regimes. In K. W. Krauss, Z. Zhu, & C. L. Stagg (Eds.), *Geophysical Monograph Series* (1st ed., pp. 159–172). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119639305.ch8>
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J.B., Warren, M., Sasmito, S.D., Donato, D., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S. and Kurnianto, S. (2015) ‘The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation’, *Nature Climate Change*, 5(12), pp. 1089–1092.
- Mursyid, H., Daulay, M. H., Pratama, A. A., Laraswati, D., Novita, N., Malik, A., & Maryudi, A. (2021). Governance issues related to the management and conservation of mangrove ecosystems to support climate change mitigation actions in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 133, 102622. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102622>
- Nagelkerken, I., Sheaves, M., Baker, R. and Connolly, R.M. (2015) ‘The seascape nursery: a novel spatial approach to identify and manage nurseries for coastal marine fauna’, *Fish and Fisheries*, 16(2), pp. 362–371.
- Najah, R. A., Lubis, E., Solihin, I., & Pane, A. B. (2015). The study of catch production market value in PPS Nizam Zachman and PPI Muara Angke. *Marine Fisheries*, 6(2), 155–167.
- NASA Earth Observatory 2022, Mahakam Delta, East Kalimantan – Landsat-9 Imagery. <https://earthobservatory.nasa.gov>.
- Persoon, G.A. and Simarmata, R. (2014) “Undoing ‘marginality’: The islands of the Mahakam Delta, East Kalimantan (Indonesia),” *Journal of Marine and Island Cultures*, 3(2), pp. 43–53. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.imic.2014.11.002>.
- Pribadi, R., Trianto, A. and Arifin, Z. (2018) ‘The role of microbial decomposers in mangrove litter decomposition in Segara Anakan, Central Java’, *Marine Research in Indonesia*, 43(1), pp. 45–54.

- Prihantono, J., Nakamura, T., Nadaoka, K., Wirasatriya, A., Adi, N.S., 2022. Rainfall Variability and Tidal Inundation Influences on Mangrove Greenness in Karimunjawa National Park, Indonesia. *Sustainability* 14, 8948. <https://doi.org/10.3390/su14148948>
- Putra, M.I.H., Nursyam, H., Zainuri, M., Lestari, I. and Putri, A.P. (2021) 'Metagenomic analysis of microbial communities in mangrove soils of East Kalimantan, Indonesia', *Biodiversitas*, 22(5), pp. 2805–2813.
- Putri R, D, Supratiwi & Hendra T, A 2023, 'Implementasi kebijakan pengelolaan hutan mangrove oleh pemerintah provinsi kalimantan timur dalam menangani permasalahan kerusakan hutan mangrove Delta Mahakam'. *Journal of Politic and Government Studies*, vol. 12 no. 3, hh. 406-429.
- Rizal, A., Fachrul, M.F., & Hartati, R. (2020). Sediment transport and ecological implications in Mahakam Delta. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110679.
- Sasmito, S. D., Murdiyarso, D., Friess, D. A., Kurnianto, S., & MacKenzie, R. A. (2022). Mangrove restoration for climate change mitigation and adaptation in Indonesia: Challenges and opportunities. *Environmental Science & Policy*, 128, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.11.018>.
- Sasmito, S.D., Sillanpää, M., Hayes, M.A., Bachri, S., Saragi-Sasmito, M.F., Sidik, F., Hanggara, B.B., Murdiyarso, D. and Hutley, L.B. (2020) 'Mangrove blue carbon stocks and dynamics are controlled by soil carbon pools', *Global Change Biology*, 26(6), pp. 3020–3031.
- Sativa, S. Z., Fitri, N., & Rangkuti, S. R. (2025). 2025+3-1+Antigen+Salsabila+Zahri+Sativa+Mini+Riset+Sosioantr opologi. 1.
- Sidik, F., Supriyanto, B., & Lugina, M. (2017). Tingkat rujukan emisi hutan mangrove delta Mahakam. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* Vol, 14(2), 93-104.
- Sondak, C. F. A. (2015). Estimasi Potensi Penyerapan Karbon Biru (Blue Carbon) Oleh Hutan Mangrove Sulawesi Utara. *Jurnal of Asean Studies on Maritime Issues*, 1(1), 1–11.



- Sondakh, V. B., Andaki, J. A., & Wasak, M. P. (2017). Malalayang Satu Timur Kecamatan Malalayang Kota Manado. *Akulturas*, 5(9).
- Sugiana, I.P., 2024. Ecosystem carbon stock and annual sequestration rate from three genera-dominated mangrove zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*.
- Suhardi, R.M., Rahardi, W., Shih, H.-C., Mantiquilla, J.A., Wu, Y.-H., Shiao, M.-S., Chiang, Y.-C., 2024. A review of the mangrove ecosystem in Indonesia: Biodiversity, conservation, and challenges in sustainable management. *Ecological Genetics and Genomics* 32, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2024.100282>
- Sumarga, E., Rosleine, D., Hutajulu, G. B., Plaurint, R. P., . T., Basyuni, M., Larekeng, S. H., Taqiyudin, M. F., Shohihah, N. N., & Ali, H. (2024). Quantification of ecosystem services from mangrove silvofishery. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(3). <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.03.23>
- Suryadiputra, I.N.N., Yulianto, E., & Gunawan, H. (2018). Mangrove ecosystem services and coastal resilience in Indonesia. *Wetlands Ecology and Management*, 26, 543–556.
- Suwarto. (2022). Productivity and Economic Value of Fishery Commodity at Traditional Silvofishery Ponds. *International Journal of Innovative Science and Research Technologi*, 7(12), 469–473.
- Syakti, A.D., Lestari, P., & Widianarko, B. (2018). Coastal sediment characteristics in the Mahakam Delta, East Kalimantan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 315.
- Tomlinson, P.B. (2016) *The Botany of Mangroves*. 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press.
- Unsworth, R.K.F., Ambo-Rappe, R., Jones, B.L., La Nafie, Y.A., Irawan, A., Hernawan, U.E., Moore, A.M. and Cullen-Unsworth, L.C. (2019) 'Indonesian seagrass meadows support high diversity of reef fish', *Diversity and Distributions*, 25(6), pp. 1253–1266.

- Van Bijsterveldt, C.E.J., van Wesenbeeck, B.K., van der Wal, D., Afati, N., Pribadi, R., Brown, B. & Bouma, T.J. (2020) 'How to restore mangroves for greenbelt creation along eroding coasts with abandoned aquaculture ponds', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235, p. 106576. doi: 10.1016/j.ecss.2019.106576.
- Van Loon, A. F., Te Brake, B., Van Huijgevoort, M. H., & Dijkema, R. (2016). Hydrological classification, a practical tool for mangrove restoration. *PloS one*, 11(3), e0150302.
- Wahyuni, Y, Eka I, K, P & Sahat M, H, S 2014, 'Valuasi total ekonomi hutan mangrove di Kawasan Delta Mahakam Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur', *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, vol. 3 no. 1, hh. 1-12.
- Wibawa, I.D.N., Setyawan, A.D., and Nugraha, W.S. (2025). Zonation patterns and salinity adaptation of mangrove species along coastal gradients in Indonesia. *Journal of Tropical Ecology*, (in press).
- Wibawa, I.K.A., Aryastana, P., Dewi, P.A.S. and Puspitha, N.L.P.R. (2025) 'Mangrove species distribution across soil texture gradients in Bali, Indonesia', *Biodiversitas*, 26(7), pp. 1–12.
- Wirabuana, P.Y.A.P., Baskorowati, L., Pamungkas, B., Mulyana, B., South, J., Purnobasuki, H. and Andriyono, S. (2025) 'Mangroves, fauna compositions and carbon sequestration after ten years restoration on Flores Island, Indonesia', *Scientific Reports*, 15, Article 4866.
- Yuliana, Y., Prasetyo, L.B. and Wibowo, A. (2020) 'Avian diversity in mangrove forests of East Kalimantan', *Jurnal Biologi Tropis*, 20(3), pp. 146–154.
- Yulianto, E., Pramudji, P., & Setiawan, H. (2020). Mangrove ecosystems of Mahakam Delta: biodiversity and sustainability challenges. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 7(2), 89–104.
- Zhu, Y., 2025. Research progress and prospect on the drought, heatwave, and Compound drought and heatwave events in China. *Transactions of Atmospheric Sciences*. <https://doi.org/10.13878/j.cnki.dqkxxb.20240911002>



## Tentang Penulis



**Muhammad Rafii Nur Fauzan, S.Hut., M.Hut.**, merupakan dosen Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman. Keahlian berfokus di bidang perencanaan hutan, terutama di bidang penginderaan jauh dan sistem informasi geografis, Selain mengajar, ia aktif melakukan penelitian di bidang pemetaan tutupan dan penggunaan lahan serta pengelolaan ekosistem mangrove di Kalimantan Timur. Ia juga terlibat dalam berbagai proyek kolaboratif yang mendukung kebijakan kehutanan dan perencanaan tata ruang berkelanjutan.



**Andi Nugroho, S.Hut., M.Sc.**, merupakan dosen dan peneliti di Departemen Konservasi Sumber Daya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis, Universitas Mulawarman. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana dan Magister pada Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang keilmuan Dendrologi yang berfokus pada keanekaragaman tumbuhan hutan tropis lembab dan aspek konservasinya. Penulis memiliki kegemaran *traveling* mengamati dan mendokumentasikan keindahan ragam tumbuhan. Saat ini penulis sedang berfokus pada kajian Ebenaceae di hutan tropis Kalimantan. Penulis juga telah memiliki pengalaman riset keragaman tumbuhan pada ekosistem mangrove serta aspek ekologi.

Email: [andinugrobo@fabutan.unmul.ac.id](mailto:andinugrobo@fabutan.unmul.ac.id)



**Oshlifin Rucmana Saud, S.Hut., M.Hut.** lahir di Buton, Sulawesi Tenggara pada 11 Juni 1993. Ia menyelesaikan pendidikan Sarjana dan Magister di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman, Samarinda Kalimantan Timur, masing-masing pada tahun 2017 dan 2022, dan kini aktif sebagai dosen serta peneliti di

Fakultas yang sama. Penulis produktif menghasilkan karya ilmiah berupa Jurna dan buku, di antaranya *Ekonomi Digital: Dampak dan Peluang di Era Globalisasi*, *Manajemen Proyek Ramah Lingkungan*, *Panduan Praktik Terbaik: Pengelolaan Habitat Orangutan dalam Skala Bentang Alam – Menyapa Lesan*, serta *Mengenal Biodiversitas Kupu-Kupu Desa Merabu*. Selain kegiatan akademik, penulis juga aktif melakukan pengabdian kepada masyarakat. Penulis gemar berpetualang, membaca, mencoba hal baru, dan mendengarkan musik, dengan harapan setiap karya yang ditulisnya dapat memperluas wawasan tidak hanya untuk penulis tetapi untuk orang banyak secara umum.

Email: [oshlifinas@fahutan.unmul.ac.id](mailto:oshlifinas@fahutan.unmul.ac.id)



**Achmad Syarifudin, S.Si., M.Sc.** adalah dosen Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman yang meneliti fisiologi pohon tropis dan adaptasi tanaman terhadap lingkungan ekstrem. Ia meraih gelar magister di Chulalongkorn University, Thailand, dengan fokus pada fisiologi dan genetika tanaman. Minatnya meluas pada isu lintas disiplin seperti K3 dan pengelolaan limbah. Saat ini, ia aktif meneliti fisiologi pohon salah satunya mangrove.



**Widia Sri Utami, S.Hut., M.Sc.**, menyelesaikan program Magister di Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada pada tahun 2022. Beliau merupakan dosen muda yang fokus pada perencanaan hutan, biometrika hutan, inventarisasi hutan, dan karbon hutan. Setelah lebih dari dua tahun mengabdikan di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Universitas Mulawarman,

beliau kini melanjutkan karier di S1 Kehutanan, Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat. Sebagai akademisi, beliau telah melakukan berbagai penelitian, antara lain inventarisasi flora dan fauna di Hutan Lindung Sungai Wain (Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Timur), serta penelitian biomassa dan karbon di beberapa lokasi, seperti PT Sumalindo Jaya Lestari IV Berau, Bukit Bangkirai Balikpapan, Taman Kehati Tirta Investama Subang, Hutan Jati Sungai Siring Samarinda, dan BKPH Subang. Pengajaran beliau mencakup mata kuliah seperti analisis pertumbuhan hasil, biometrika hutan, matematika, statistika, inventarisasi hutan, perancangan penelitian, konservasi tanah dan air, serta pengantar ilmu ekonomi. Di bidang pengabdian masyarakat, beliau terlibat dalam berbagai kegiatan, termasuk memberikan pengetahuan tentang pemanfaatan mangrove untuk karbon dan ecoprint di Desa Kubu, Kalimantan Barat, serta pengelolaan hutan rakyat untuk mitigasi perubahan iklim di Desa Loa Duri, Kalimantan Timur. Selain itu, beliau juga memberikan edukasi mengenai pemanfaatan hasil hutan non-kayu untuk ecoprint di LSHK Pusreht Bukit Soeharto, Balikpapan.



**Muhammad Rosyid Ridho, S.Hut., M.Sc.** adalah dosen di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia. Ia menyelesaikan pendidikan Sarjana dan Magister di Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada dengan fokus pada bidang sifat-sifat kayu dan keteknikan hasil hutan (*Wood Properties and Wood Engineering*). Sejak tahun 2023, ia aktif mengajar dan meneliti di Universitas Mulawarman dengan minat penelitian pada

karakteristik fisika dan mekanika kayu, pengaruh perlakuan panas terhadap struktur kayu, serta pengembangan bahan kayu untuk penggunaan berkelanjutan. Beberapa publikasinya telah dimuat di jurnal nasional dan internasional, di antaranya *Wood Science and Technology* dan *Jurnal Hutan Lestari*.



**Prof. Dr. Ir. Edy Budiarmo, M.Sc.** merupakan dosen senior di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia. Ia memperoleh gelar Sarjana Kehutanan dari Jurusan Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 1984, dan menyelesaikan program doktor (S3) bidang Kehutanan di Universitas Hamburg, Jerman pada tahun 1996. Sejak tahun 1985 hingga kini, ia aktif mengajar berbagai mata kuliah yang berkaitan dengan Teknologi Hasil Hutan, di antaranya Sifat-sifat Dasar Kayu, Fisika dan Mekanika Kayu, Pengolahan Hasil Hutan, Pengeringan Kayu, Pengawetan Kayu, serta Biologi dan Deteriorasi Kayu.



**Tya Rahmasari Sulistianto, S.Hut., M.Sc.** adalah dosen Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman yang meneliti tentang kondisi sosial dan ekonomi masyarakat sekitar hutan. Ia meraih gelar Magister di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, dengan fokus pada perpindahan penduduk dan perubahan penghidupan masyarakat pasca pembangunan.



**Fenny Putri Mariani Sofyan, S.Hut., M.Hut** adalah dosen dari Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman yang aktif dalam bidang pengajaran, penelitian, dan pengabdian masyarakat. Ia menyelesaikan pendidikan sarjana dan magister di Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman dengan fokus pada ilmu tanah dan nutrisi hutan. Penelitiannya banyak berfokus pada pemanfaatan pembenah tanah sebagai media tanam, akumulasi hara dalam biomassa tanaman, serta strategi revegetasi yang adaptif terhadap kondisi lahan terdegradasi. Selain menulis dan mempublikasikan hasil penelitian, ia juga berperan dalam pengembangan kurikulum dan desain tugas praktikum yang mendukung pembelajaran berbasis lapangan. Sejak tahun 2023, ia mulai terlibat dalam kegiatan rehabilitasi mangrove melalui *Project Blue Carbon Initiative* kerja sama dengan PERTAMINA Foundation, yang berlokasi di sekitar kilang Badak LNG Kota Bontang dan wilayah sekitar Delta Mahakam Kabupaten Kutai Kartanegara. Pada bidang pengabdian pernah melaksanakan kegiatan pelatihan batik dengan pewarna alami pada masyarakat pesisir Kota Bontang, pelatihan pembuatan Pupuk Organik Cair untuk masyarakat di Desa Loa Duri Kota



Samarinda, pengawasan kegiatan Pemeliharaan Tahun Kedua Rehabilitasi Hutan dan Lahan Ibukota Nusantara di Kab. Penajam Pasir Utara serta menjadi asisten pada pelatihan pemanenan dan Pengolahan Nira Nipah sebagai Bahan Baku Bioetanol bagi masyarakat di sekitar Kecamatan Anggana Kab. Kutai Kartanegara.

Email: [fenny.sofyan@fabutan.unmul.ac.id](mailto:fenny.sofyan@fabutan.unmul.ac.id)



**Muhammad Alriefqi Palgunadi, M.Sc.** adalah ahli ekologi hutan lulusan Wageningen University yang berkarier sebagai dosen di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis, Universitas Mulawarman. Ia memiliki pengalaman lebih dari satu dekade dalam penelitian dan rehabilitasi ekosistem, termasuk sebagai Tenaga Ahli Mangrove dan Coastal Rehabilitation pada proyek *Mangrove for Coastal*

*Resilience (M4CR)* yang didukung World Bank. Lewat buku *Mangrove Delta Mahakam* ini, ia menghadirkan wawasan ilmiah sekaligus pengalaman praktis dalam upaya rehabilitasi mangrove di Indonesia.



**Abdul Rahman Sidiq, M.Sc.** menyelesaikan program Magister Ilmu Kehutanan di Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada pada Desember 2022, dengan fokus pada Silvikultur. Keahlian Sidiq dimulai dari studi keanekaragaman flora tropis di Pulau Jawa, dengan minat khusus pada tanaman epifit seperti anggrek dan hoyo, serta hubungan mereka dengan pohon inang dan aspek sosial-budaya masyarakat. Ia telah terlibat dalam berbagai penelitian terkait vegetasi, morfologi, taksonomi, perbaikan pohon, dan domestikasi. Saat ini, Sidiq tertarik pada genetika molekuler dan ilmu tanah. Ia juga memiliki pengalaman internasional, termasuk program pertukaran pelajar di Universitas Utrecht, Belanda (2021-2022), dan pelatihan di Universitas Leiden, Belanda (2022).



**Ikhsan Fiqra Naufalianto, S.Hut., M.Sc.** lahir di Yogyakarta pada 22 Januari 2000. Ia diamanahi untuk menjadi dosen di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman. Ikhsan meraih gelar sarjana dan magister di Universitas Gadjah Mada, dengan fokus pada konservasi sumber daya hutan. Selain karier akademiknya, ia juga memiliki pengalaman riset, baik di tingkat nasional maupun internasional, di bidang-bidang terkait, seperti *environmental and social safeguards*, konservasi keanekaragaman hayati, serta pemodelan spasial dan statistik ekologi. Saat ini, ia aktif melakukan penelitian dalam pemodelan spasial dan statistik ekologi, khususnya pada lanskap perkotaan.

KAMI HADIR DENGAN BERBAGAI PAKET  
PENERBITAN YANG SESUAI KEBUTUHAN ANDA  
**STARDIGITAL PUBLISHING**

*" Karya buku adalah investasi masa depan,  
menulis cara terbaik untuk mengikal ilmu "*

**KIRIM NASKAH & TERBITKAN BUKU SEKARANG**

IKAPI  
Indonesian KAP (Kategori Penerbit)  
PT. Star Digital Publishing  
No. Anggota IKAPI : 202/DIY/2024

Whatsapp  
0812-6007-4406

Informasi Lebih Lanjut  
www.stardigitalpublishing.com

**PT. Star Digital Publishing** adalah perusahaan bergerak di bidang Penerbitan Buku Berkedudukan di Bantul-Yogyakarta-Indonesia dengan alamat website [www.stardigitalpublishing.com](http://www.stardigitalpublishing.com) merupakan web/situs resmi kami PT. Star Digital Publishing sebagai media untuk menerbitkan buku-buku karya berkualitas dan terbaik , serta penerbit menjamin aktif dan dapat diakses secara berkesinambungan.

Visi kami adalah menjadi jembatan bagi penulis dan pembaca, memberikan platform yang mendukung kreativitas dan inovasi dalam dunia literasi ilmu pengetahuan. Kami berusaha untuk menerbitkan karya-karya yang tidak hanya menginspirasi, tetapi juga memberikan dampak positif bagi masyarakat di Indonesia maupun di dunia.

Badan hukum dan tercatat dalam pangkalan data Direktorat Jenderal Administrasi Hukum Umum:  
NOMOR : AHU-059267.AH.01.30.Tahun 2024  
Kegiatan Usaha : 58110 - Penerbitan Buku  
PT. Star Digital Publishing Berkedudukan di BANTUL-Yogyakarta-Indonesia  
Anggota IKAPI: No. 202/DIY/2024  
Email:  
[ptstardigitalpublishing@gmail.com](mailto:ptstardigitalpublishing@gmail.com)  
Contact :  
Admin 1: 0812-6007-4406  
Admin 2: 0813-1881-5928

Hormat Kami,  
**Redaksi: PT. Star Digital Publishing**

# EKOSISTEM MANGROVE DELTA MAHAKAM

(Ekologi, Keanekaragaman, Fungsi, dan Strategi  
Pengelolaan Berkelanjutan)

Buku "Ekosistem Mangrove Delta Mahakam" menyajikan kajian komprehensif tentang salah satu ekosistem pesisir tropis terbesar dan paling produktif di Indonesia, yang terletak di Kalimantan Timur. Delta Mahakam memiliki peran ekologis yang sangat vital, tidak hanya dalam melindungi pesisir dari abrasi dan badai, tetapi juga sebagai habitat bagi biota akuatik bernilai ekonomi serta penyimpan karbon yang penting dalam mitigasi perubahan iklim. Buku ini membahas berbagai aspek penting, mulai dari ekologi dan keanekaragaman hayati mangrove hingga fungsi ekologisnya dalam siklus karbon biru.

Di dalam buku ini, pembaca akan menemukan uraian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi ekosistem mangrove Delta Mahakam, termasuk kondisi fisik, kimia, dan biologis tapak yang menentukan distribusi spesies. Buku ini juga mengupas peran mangrove dalam menyediakan jasa ekosistem, seperti pemanfaatan kayu mangrove untuk energi dan konstruksi serta potensi manfaat kesehatan. Selain itu, penulis membahas tantangan besar yang dihadapi ekosistem ini akibat konversi lahan, pembangunan pesisir, serta dampak perubahan iklim yang mengancam keberlanjutan fungsinya.

Sebagai panduan untuk pengelolaan yang berkelanjutan, buku ini menawarkan strategi pengelolaan berbasis ekosistem yang mempertimbangkan aspek ekologis dan sosial-ekonomi. Upaya rehabilitasi mangrove yang dijelaskan dalam buku ini memberikan wawasan penting mengenai teknik-teknik yang dapat dilakukan untuk merestorasi fungsi ekosistem, dengan tujuan menjaga keseimbangan alam dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat pesisir. Buku ini sangat berguna bagi akademisi, peneliti, pengambil kebijakan, dan masyarakat yang peduli terhadap keberlanjutan lingkungan pesisir.



ISBN 978-634-7400-61-1



9

786347

400611