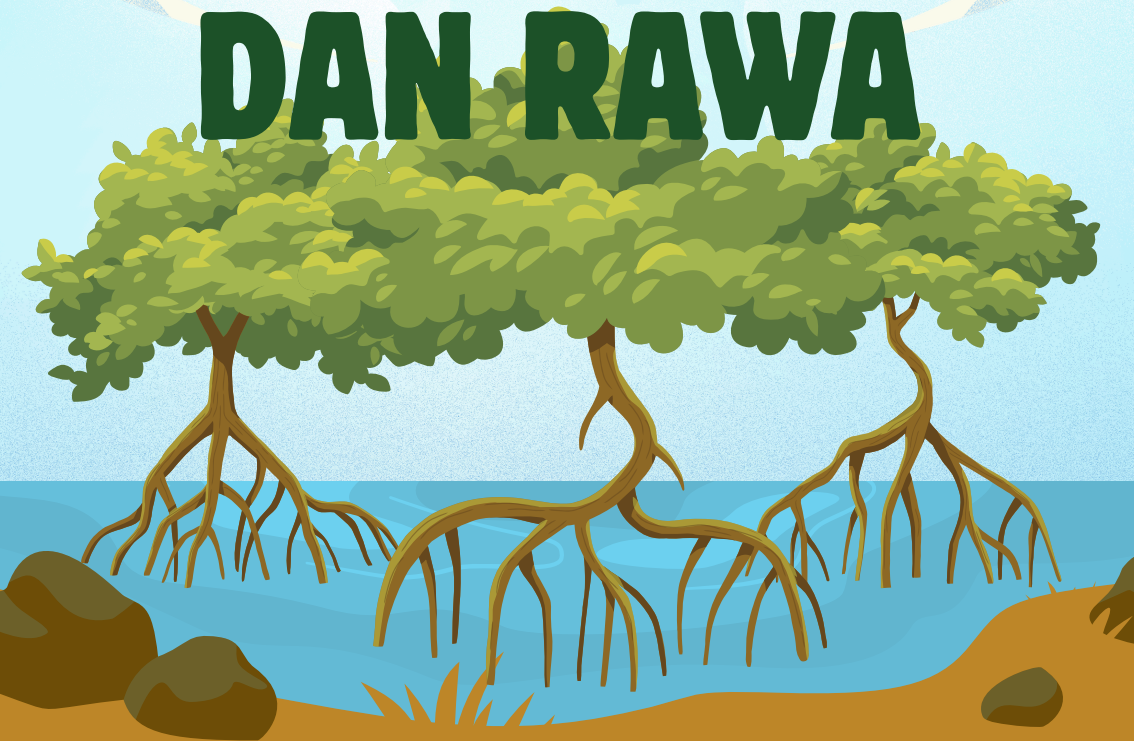


EKOLOGI HUTAN MANGGROVE DAN RAWA



Penulis:

Sahabuddin, Annisa Novita Sari,
Magdalin Ulaan, Nurul Musdalifah,
Roni Haposan Sipayung, Tri Ari Setyastuti,
Muhammad Rizki, Dedy Putra Wahyudi,
Rismawaty Rusdi

EKOLOGI HUTAN MANGGROVE DAN RAWA

Sahabuddin
Annisa Novita Sari
Magdalin Ulaan
Nurul Musdalifah
Roni Haposan Sipayung
Tri Ari Setyastuti
Muhammad Rizki
Dedy Putra Wahyudi
Rismawaty Rusdi



GET PRESS INDONESIA

EKOLOGI HUTAN MANGGROVE DAN RAWA

Penulis :

Sahabuddin
Annisa Novita Sari
Magdalin Ulaan
Nurul Musdalifah
Roni Haposan Sipayung
Tri Ari Setyastuti
Muhammad Rizki
Dedy Putra Wahyudi
Rismawaty Rusdi

ISBN : 978-634-255-620-7

Editor : Mila Sari, M. Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S. Pd.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juli 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Ekologi Hutan Mangrove dan Rawa* ini dapat diselesaikan. Isi buku ini mencakup pembahasan tentang konsep dasar ekologi, karakteristik ekosistem mangrove, adaptasi dan fisiologi mangrove, keanekaragaman hayati mangrove, dinamika lingkungan mangrove, kualitas air dan bioindikator, fungsi dan manfaat mangrove, dan mangrove dan perubahan iklim, pengelolaan dan konservasi mangrove. Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi referensi dan dapat memberikan manfaat serta inspirasi bagi semua pembaca.

Padang, Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 KONSEP DASAR EKOLOGI.....	11
1.1 Hakikat, Definisi, dan Ruang Lingkup Ekologi	11
1.1.1 Konsep dan Perkembangan Ilmu Ekologi.....	11
1.1.2 Ruang Lingkup dan Sifat Interdisipliner Ekologi.....	5
1.2 Struktur, Fungsi, dan Komponen Ekosistem	8
1.2.1 Struktur dan Komponen Ekosistem.....	8
1.2.2 Fungsi dan Sistem Ekologi.....	11
1.3 Tingkatan Organisasi Kehidupan dan Pendekatan Ekologi ...	14
1.3.1 Hierarki Organisasi dan Tingkat Kajian Ekologi	14
1.3.2 Klasifikasi dan Pendekatan Ilmiah dalam Ekologi	17
1.4 Sifat Ekologis dan Pendekatan Holistik dalam Ekosistem.....	19
1.4.1 Sifat dan Interaksi dalam Sistem Ekologis	19
1.4.2 Kompleksitas dan Pendekatan Holistik Ekosistem.....	21
DAFTAR PUSTAKA	25
BAB 2 KARAKTERISTIK EKOSISTEM MANGROVE	28
2.1 Ekosistem Mangrove	33
2.1.1 Fungsi Mangrove	36
2.1.2 Struktur Ekosistem Hutan Mangrove.....	37
2.2 Karakter Fisik Mangrove	42
2.2.1 Tipe Akar Mangrove.....	42
2.2.2 Tipe Daun Mangrove.....	44
2.2.3 Tipe Bunga dan Buah Mangrove	45
2.2.4 Tipe Vegetasi Utama Mangrove	48

DAFTAR PUSTAKA	51
BAB 3 ADAPTASI DAN FISILOGI MANGROVE	53
3.1 Konsep Adaptasi Mangrove dalam Perspektif Biologi	54
3.2 Apa Itu Stres Salinitas?	56
3.3 Adaptasi Mangrove Pada Lingkungan Salin	58
3.4 Faktor Lingkungan Utama yang Mempengaruhi Adaptasi dan Fisiologi Mangrove	67
DAFTAR PUSTAKA	70
BAB 4 KEANEKARAGAMAN HAYATI MANGROVE	73
4.1 Pengertian Keanekaragaman Hayati Mangrove	73
4.2 Keanekaragaman Flora Mangrove	75
4.2.1 Api-Api Hitam (<i>Avicennia Alba</i>)	76
4.2.2 Api-Api Putih (<i>Avicennia Marina</i>)	77
4.2.3 Jeruju Hitam (<i>Acanthus Illicifolius</i>)	78
4.2.4 Nipah (<i>Nypa Fruticans</i>)	79
4.2.5 Bakau Bandul (<i>Rhizophora Mucronata</i>)	80
4.2.6 Pidada Merah (<i>Sonneratia Caseolaris</i>)	81
4.2.7 Api-Api (<i>Avicennia Lanata</i>)	82
4.2.8 Teruntum Putih (<i>Lumnitzera Racemosa Wild</i>)	82
4.2.9 Nyirih Putih (<i>Xylocarpus Granatum</i>)	83
4.2.10 Tanjung (<i>Bruguiera Sexangular</i>)	83
4.3 Keanekaragaman Fauna Mangrove	84
4.4 Mikroorganisme pada Kawasan Hutan Mangrove	86
DAFTAR PUSTAKA	88
BAB 5 DINAMIKA LINGKUNGAN MANGROVE	91
5.1 Dinamika Fisik	92
5.1.1 Pasang Surut	92
5.1.2 Sedimentasi	94
5.1.3 Salinitas	95

5.2 Dinamika Kimia	95
5.3 Dinamika Biologis.....	100
5.4 Dinamika Antropogenik	103
DAFTAR PUSTAKA	108
BAB 6 KUALITAS AIR DAN BIOINDIKATOR	111
6.1 Konsep Kualitas Air.....	114
6.1.1 Definisi dan Ruang Lingkup	114
6.1.2 Parameter Utama	116
6.2 Karakteristik Kualitas Air Mangrove dan Rawa	117
6.2.1 Dinamika Pasang Surut (Mangrove).....	118
6.2.2 Genangan dan Stagnasi Air (Rawa).....	119
6.2.3 Pengaruh Bahan Organik	120
6.3 Bioindikator Ekosistem Perairan	121
6.3.1 Pengertian dan Fungsi Bioindikator	122
6.3.2 Kriteria organisme indikator	124
6.4 Jenis Bioindikator	125
6.4.1 Fitoplankton dan Diatom	127
6.4.2 Makrozoobentos	129
6.4.3 Ikan dan Organisme Akuatik.....	130
6.5 Hubungan Kualitas Air dan Bioindikator	131
6.5.1 Respon Organisme Terhadap Perubahan Lingkungan	132
6.5.2 Indikator Kesehatan Ekosistem.....	133
6.6 Metode Analisis dan Monitoring.....	134
6.6.1 Pengukuran Parameter Fisika-Kimia	135
6.6.2 Analisis Bioindikator.....	136
6.6.3 Interpretasi Data Kualitas Iar	137
6.7 Peran Ekologis dan Aplikasi	138
6.7.1 Mangrove Sebagai Buffer Lingkungan	140

6.7.2 Konservasi dan Rehabilitasi.....	141
6.7.3 Implikasi untuk Perikanan dan Budidaya	143
DAFTAR PUSTAKA	145
BAB 7 FUNGSI DAN MANFAAT MANGROVE	148
7.1 Fungsi Ekologis Mangrove dalam Ekosistem Pesisir	150
7.1.1 Peran Mangrove dalam Menjaga Stabilitas Garis Pantai	150
7.1.2 Peran Mangrove dalam Mengurangi Abrasi, Gelombang, dan Intrusi Air Laut	151
7.1.3 Fungsi Akar Mangrove dalam Menahan Sedimen	152
7.1.4 Kontribusi Mangrove terhadap Stabilitas Fisik Lingkungan	152
7.2 Peran Mangrove dalam Menunjang Keanekaragaman Hayati.....	155
7.2.1 Mangrove sebagai Habitat Flora dan Fauna	155
7.2.2 Peran Mangrove bagi Ikan, Udang, Kepiting, Moluska, Burung, dan Biota Lainnya	157
7.2.3 Fungsi <i>Nursery Ground</i> , <i>Feeding Ground</i> , dan <i>Breeding Ground</i>	158
7.2.4 Konektivitas Ekologis Mangrove dengan Ekosistem Pesisir Lainnya	159
7.3 Manfaat Mangrove bagi Lingkungan dan Kehidupan Manusia	161
7.3.1 Peran Mangrove dalam Penyimpanan Karbon Biru (<i>Blue Carbon</i>)	161
7.3.2 Fungsi Mangrove dalam Menjaga Kualitas Air	162
7.3.3 Manfaat Ekonomi Bagi Masyarakat Pesisir.....	163
7.3.4 Potensi Mangrove untuk Pendidikan, Penelitian, dan Ekowisata	164
7.3.5 Nilai Sosial dan Budaya Mangrove	165
7.4 Pengelolaan Berkelanjutan dan Konservasi Mangrove.....	166

7.4.1 Ancaman dan Degradasi Ekosistem Mangrove	166
7.4.2 Dampak Hilangnya Fungsi Mangrove.....	167
7.4.3 Prinsip Pengelolaan dan Pemanfaatan Berkelanjutan.....	168
7.4.4 Konservasi dan Rehabilitasi Mangrove	169
DAFTAR PUSTAKA	172
BAB 8 MANGROVE DAN PERUBAHAN IKLIM.....	184
8.1 Mekanisme Karbon Biru di Indonesia	186
8.1.1 Definisi dan Konsep Karbon Biru di Kawasan Pesisir .	186
8.1.2 Dinamika Biogeokimia Sekuestrasi Karbon	187
8.1.3 Kompartemen Karbon: Biomassa vs. Sedimen.....	190
8.1.4 Potensi Cadangan Karbon Nasional dan Regional	193
8.1.5 Ancaman Konversi: dari Penyerap menjadi Sumber Emisi	196
DAFTAR PUSTAKA	199
BAB 9 PENGELOLAAN DAN KONSERVASI MANGROVE	203
9.1 Konsep Pengelolaan dan Konservasi Mangrove.....	205
9.2 Prinsip-Prinsip Pengelolaan Mangrove	206
9.1.1 Berbasis Ekosistem dan Lanskap.....	206
9.1.2 Berbasis Ilmu Pengetahuan.....	206
9.1.3 Mengutamakan Perlindungan Mangrove yang Masih Baik.....	207
9.1.4 Memulihkan Proses Ekologis, Bukan Sekedar Menanam	209
9.1.5 Partisipatif dan Berkeadilan	209
9.1.6 Adaptif terhadap Perubahan Iklim.....	209
9.2 Strategi Pengelolaan dan Konservasi Mangrove	210
9.2.1 Investasi dan Pemetaan Mangrove	210
9.2.2 Zonasi Pengelolaan Mangrove	211
9.3 Rehabilitasi dan Restorasi Mangrove	213

9.3.1	Diagnosis Penyebab Kerusakan.....	213
9.3.2	Restorasi Hidrologi.....	214
9.3.3	Regenerasi Alami.....	215
9.3.4	Penanaman Selektif.....	215
9.3.5	Pemeliharaan dan Perlindungan Pascatanam	215
9.4	Konservasi Berbasis Masyarakat.....	216
9.5	Pemanfaatan Mangrove Secara Berkelanjutan.....	216
9.5.1	Silvofishery	217
9.5.2	Ekowisata Mangrove.....	217
9.5.3	Hasil Hutan Bukan Kayu.....	217
9.5.4	Jasa Ekosistem dan Karbon Biru	217
9.6	Kelembagaan dan Kebijakan Pengelolaan Mangrove.....	218
9.7	Monitoring dan Evaluasi Konservasi Mangrove.....	219
9.8	Tantangan Pengelolaan dan Konservasi Mangrove	220
9.9	Arah Pengelolaan Mangrove Berkelanjutan	221
DAFTAR PUSTAKA		223
BIODATA PENULIS		226

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Garis Waktu Evolusi Ekologi dari Natural History ke <i>Systems Science</i>	4
Gambar 1. 2 Kompleksitas dan 2 Pendekatan Holistik.....	7
Gambar 1. 3 Ilustrasi Berwarna Komponen Biotik dalam Ekosistem Perairan	10
Gambar 1. 4 Infografis Hierarki Organisasi Kehidupan di Laut	16
Gambar 1. 5 Model Konseptual Pendekatan Holistik dalam Manajemen Mangrove.....	23
Gambar 2. 1 Peta Sebaran Kawasan Mangrove di Indonesia	30
Gambar 2. 2 Pembagian Wilayah di Kawasan Pesisir dan Laut.....	35
Gambar 2. 3 Flora dan Fauna di Ekosistem Mangrove.....	39
Gambar 2. 4 Pola Rendaman Tipe Lahan Mangrove	41
Gambar 2. 5 Bentuk Sistem Perakaran Pohon Mangrove	43
Gambar 2. 6 Bentuk-Bentuk Daun Pohon Mangrove.....	45
Gambar 2. 7 Gambaran Bentuk Buah dan Bunga <i>Avicennia Marina</i> (Kiri) dan <i>Rhizophora Apiculata</i> (Kanan)	47
Gambar 2. 8 Pembagian Zonasi Ekosistem Mangrove Berdasarkan Jenis Spesiesnya.....	50
Gambar 3. 1 Akar Napas pada <i>Avicennia</i> sp. (Api-api)	59
Gambar 3. 2 Akar Tunjang pada <i>Rhizophora Mucronata</i>	60
Gambar 3. 3 Akar Lutut pada <i>Bruguiera</i> sp.....	61
Gambar 4. 1 <i>Avicennia Alba</i>	77
Gambar 4. 2 <i>Avicennia Marina</i>	78
Gambar 4. 3 <i>Acanthus Ilicifolius</i>	79
Gambar 4. 4 <i>Nypa Fruticans</i>	80
Gambar 4. 5 <i>Rhizophora Mucronate</i>	81
Gambar 4. 6 <i>Rhizophora Mucronate</i>	82
Gambar 5. 1 Ekosistem Mangrove Saat Pasang	93
Gambar 5. 2 Karbon Mangrove.....	98
Gambar 5. 3 Kepiting Bakau	101
Gambar 5. 4 Penanaman Mangrove di Lantebung.....	106
Gambar 6. 1 Mangrove	111
Gambar 6. 2 Bioindikator Ekosistem Perairan.....	121
Gambar 6. 3 Fitoplankton dan Diatomae.....	127

Gambar 7. 1 Kerangka Sintesis Fungsi dan Manfaat Mangrove dalam Sistem Pesisir	150
Gambar 7. 2 <i>Rhizophora</i> sp.	156
Gambar 7. 3 Keterkaitan Antar Ekosistem di Sepanjang Bentang Laut Tropis.....	161
Gambar 9. 1 Kerangka Pengelolaan Mangrove berbasis Lanskap	208
Gambar 9. 2 Contoh Zonasi Sederhana Kawasan Mangrove	212

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Luas Cakupan Ekosistem Mangrove di Seluruh Dunia	31
Tabel 2. 2 Luas Cakupan Ekosistem Mangrove di Seluruh Provinsi di Indonesia	32
Tabel 6. 1 Jenis Bioindikator Pada Ekosistem Mangrove Berdasarkan Respon Organisme Terhadap Perubahan Kualitas Lingkungan	125
Tabel 7. 1 Ringkasan Mekanisme Ekologis Mangrove dalam Menjaga Stabilitas Pesisir	153
Tabel 8. 1 Stok Karbon Ekosistem Mangrove	194
Tabel 9. 1 Data Inventarisasi Mangrove	210
Tabel 9. 2 Zonasi, Fungsi dan Bentuk Pengelolaan Mangrove	211
Tabel 9. 3 Kesalahan Umum dalam Rehabilitasi Mangrove dan Solusinya	214
Tabel 9. 4 Indikator Monitoring Konservasi Mangrove	219

BAB 1

KONSEP DASAR EKOLOGI

Oleh Sahabuddin

1.1 Hakikat, Definisi, dan Ruang Lingkup Ekologi

Ekologi bukan sekadar cabang dari ilmu biologi, melainkan sebuah paradigma berpikir yang menempatkan kehidupan dalam konteks relasionalnya dengan alam semesta. Di dalam ekosistem laut dan pesisir, ekologi menjadi instrumen krusial untuk memahami bagaimana energi matahari ditransformasikan menjadi biomassa, bagaimana materi bergerak dalam siklus biogeokimia yang tertutup, dan bagaimana organisme beradaptasi terhadap tekanan lingkungan yang ekstrem di wilayah transisi darat-laut seperti mangrove dan rawa.

1.1.1 Konsep dan Perkembangan Ilmu Ekologi

A. Etimologi dan Filosofi Dasar

Secara etimologis, istilah ekologi berakar dari bahasa Yunani, yaitu *oikos* yang berarti "rumah" atau "tempat tinggal" dan *logos* yang berarti "ilmu" atau "telaah". Secara harfiah, ekologi dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari makhluk hidup di dalam rumah tangga alamnya (Haeckel, 1866; Sari *et al.*, 2024). Namun, dalam perspektif kelautan modern, "rumah" ini tidak bersifat statis; ia mencakup volume

air laut yang dinamis, substrat sedimen yang kaya akan proses geokimia, serta atmosfer yang berinteraksi langsung melalui pertukaran gas di permukaan (Alongi, 2024).

Konsep ekologi menekankan bahwa tidak ada satu pun organisme yang mampu hidup secara terisolasi. Keberadaan suatu spesies selalu bergantung pada keberadaan spesies lain (faktor biotik) dan kondisi lingkungan fisiknya (faktor abiotik). Dalam konteks ilmu kelautan, hubungan ini terlihat jelas pada ketergantungan fitoplankton terhadap penetrasi cahaya matahari dan ketersediaan nutrisi terlarut untuk melakukan fotosintesis, yang kemudian menjadi fondasi bagi seluruh rantai makanan di samudera (Bengen, 2024).

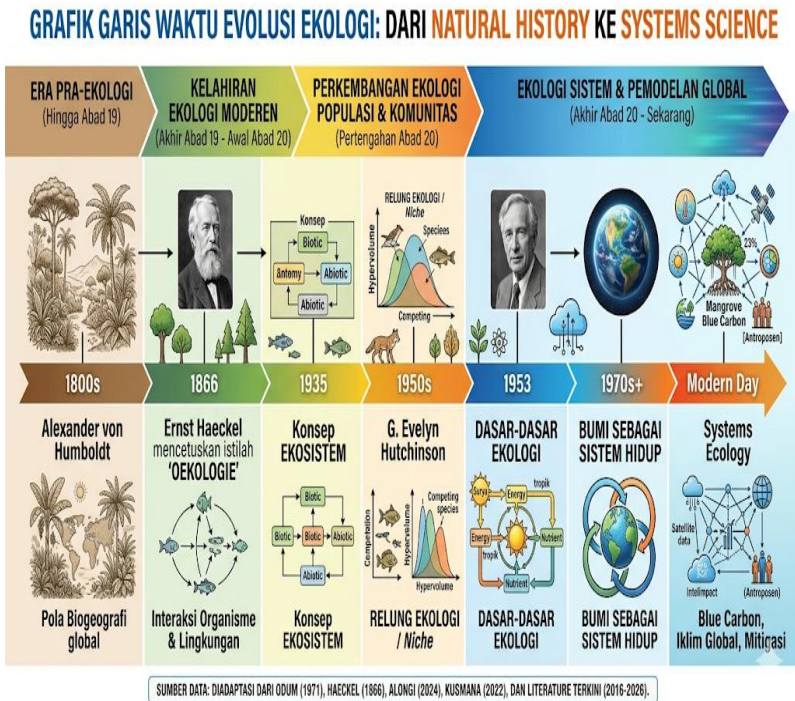
B. Sejarah dan Evolusi Pemikiran Ekologis

Perkembangan ilmu ekologi mengalami transformasi panjang dari sekadar pengamatan sejarah alam (*natural history*) menjadi sains sistem yang kompleks dan prediktif.

- 1. Era Pra-Sains (Antikitas hingga Abad ke-18):** Akar pemikiran ekologis dapat ditelusuri kembali ke Aristoteles dan muridnya, Theophrastus, yang mendeskripsikan hubungan antara hewan dengan habitatnya. Pada abad ke-18, Carl Linnaeus memperkenalkan konsep "Ekonomi Alam" (*Economy of Nature*), sebuah pandangan bahwa alam semesta diatur oleh tatanan yang seimbang dan harmonis untuk mendukung kehidupan (McIntosh, 1985).
- 2. Lahirnya Ekologi Modern (Abad ke-19):** Istilah ekologi secara resmi diusulkan oleh ahli biologi Jerman, Ernst Haeckel, pada tahun 1866 dalam bukunya *Generelle Morphologie der Organismen*.

Haeckel mendefinisikan ekologi sebagai studi tentang hubungan organisme dengan lingkungan organik dan anorganiknya. Pada periode yang sama, Charles Darwin melalui teorinya tentang seleksi alam memberikan kerangka evolusioner bagi ekologi; ia menunjukkan bahwa adaptasi organisme adalah hasil dari interaksi terus-menerus dengan tekanan lingkungan (Darwin, 1859).

3. **Fase Ekosistem dan Ekologi Sistem (Abad ke-20):** Tonggak sejarah paling signifikan dalam ekologi modern adalah pengenalan istilah "ekosistem" oleh Arthur Tansley pada tahun 1935. Tansley menekankan bahwa organisme dan lingkungan fisiknya harus dipelajari sebagai satu kesatuan sistem yang terintegrasi. Pemikiran ini diperdalam oleh Eugene P. Odum melalui bukunya yang sangat berpengaruh, *Fundamentals of Ecology* (1953), yang memperkenalkan pendekatan aliran energi dan siklus materi sebagai bahasa universal ekologi (Odum, 1971).
4. **Ekologi di Era Antroposen (Abad ke-21):** Saat ini, ekologi telah berevolusi menjadi "ilmu kelangsungan hidup" (*survival science*). Fokus penelitian bergeser pada bagaimana ekosistem laut merespons krisis global seperti pemanasan global, asidifikasi laut, dan degradasi habitat mangrove. Ekologi kini berperan sebagai basis ilmiah dalam pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya SDG 14 tentang Kehidupan di Bawah Air (WALHI, 2025).



Gambar 1. 1 Grafik Garis Waktu Evolusi Ekologi dari Natural History ke Systems Science

(Sumber: Visualisasi Penulis dengan bantuan AI)

C. Urgensi Ekologi dalam Masalah Lingkungan

Dalam ekologi perairan dan kelautan Indonesia, pemahaman mengenai perkembangan ilmu ini sangat mendesak mengingat Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia. Perubahan genetik dan respons fisiologi ikan terhadap lingkungan yang berbeda (seperti perbedaan salinitas atau suhu akibat perubahan iklim) memerlukan kajian ekologi yang mendalam untuk menjamin ketahanan pangan nasional (Utami *et al.*, 2026). Tanpa pemahaman

ekologis yang memadai, eksploitasi sumber daya laut akan menyebabkan runtuhnya jasa ekosistem yang sulit untuk dipulihkan.

1.1.2 Ruang Lingkup dan Sifat Interdisipliner Ekologi

A. Ruang Lingkup Ekologi Perairan dan Pesisir

Ekologi memiliki ruang lingkup yang sangat luas, mencakup berbagai tingkatan hierarki biologis, mulai dari individu, populasi, komunitas, ekosistem, hingga biosfer. Namun, dalam studi ilmu kelautan, fokus utama sering kali diletakkan pada sistem perairan transisi yang meliputi pesisir, mangrove, dan rawa.

1. **Ekosistem Mangrove:** Ruang lingkup ekologi di sini mencakup interaksi antara vegetasi halofit (tahan garam) dengan sedimen anaerob dan fauna akuatik yang mencari perlindungan di akar-akar tunjang. Mangrove dipandang sebagai ekosistem penyimpan karbon biru (*blue carbon*) yang paling efisien di dunia (Kusmana, 2022).
2. **Ekosistem Pesisir dan Estuari:** Meliputi studi mengenai gradien salinitas dan dampaknya terhadap distribusi organisme. Estuari bertindak sebagai "nursery ground" bagi banyak spesies ikan komersial, menjadikannya ruang lingkup penting bagi ekologi perikanan (Halid, 2025).
3. **Ekosistem Rawa dan Lahan Basah:** Berfokus pada dinamika hidrologi dan peran mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik untuk menjaga kesuburan perairan di sekitarnya.

B. Sifat Interdisipliner: Integrasi Berbagai Disiplin Ilmu

Ekologi secara inheren bersifat interdisipliner. Untuk memahami fenomena ekologis di laut, seorang ilmuwan tidak bisa hanya mengandalkan ilmu biologi semata. Ia harus mampu mensintesis pengetahuan dari berbagai bidang (Briscoe, 2026):

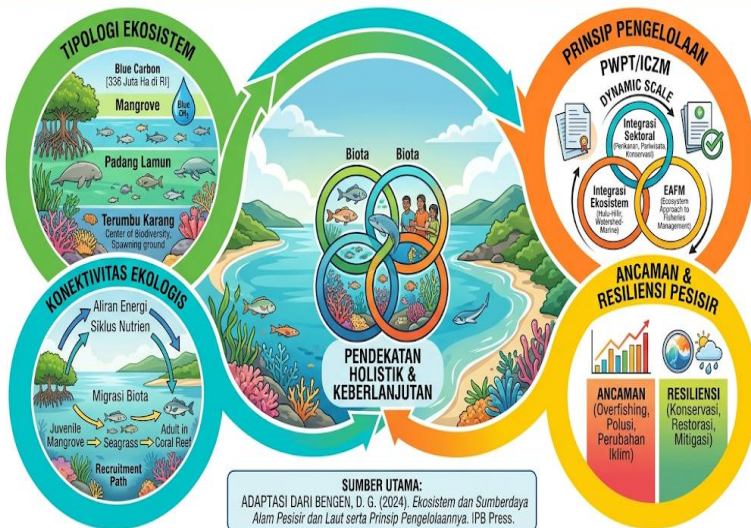
- **Fisika (Fisika Kelautan):** Mempelajari bagaimana arus laut, gelombang, dan pasang surut memengaruhi dispersi larva ikan dan nutrisi. Penetrasi cahaya (fotik) dalam air menentukan batas kedalaman di mana produsen primer dapat hidup.
- **Kimia (Kimia Lingkungan):** Menganalisis siklus nitrogen, fosfor, dan karbon di dalam air. Parameter kimia seperti pH, salinitas, dan oksigen terlarut (DO) adalah faktor pembatas utama bagi kelangsungan hidup biota laut.
- **Geologi dan Geografi:** Geomorfologi pantai menentukan jenis habitat yang terbentuk (pantai berpasir, berbatu, atau berlumpur). Sejarah geologi seperti tektonik lempeng sangat memengaruhi biogeografi dan keanekaragaman hayati spesies di Indonesia (Kusmana & Hikmat, 2015).
- **Ekonomi dan Sosial:** Mengingat peran manusia sebagai predator puncak dan pengelola lingkungan, ekologi modern sering berintegrasi dengan ilmu sosial ekonomi untuk mengkaji sistem sosial-ekologi (SES). Misalnya, pengelolaan mangrove di Teluk Awur, Jepara, melibatkan analisis keterkaitan antara kebutuhan ekonomi masyarakat dengan

kelestarian ekologis hutan bakau tersebut (Putri *et al.*, 2024).

C. Ekologi sebagai Sains Holistik

Karakteristik utama dari ruang lingkup ekologi adalah pendekatannya yang holistik. Berbeda dengan pendekatan reduksionis yang memecah sistem menjadi bagian-bagian kecil, ekologi memandang ekosistem sebagai satu kesatuan yang memiliki sifat-sifat baru yang muncul dari interaksi komponennya (*emergent properties*). Contohnya, ketahanan sebuah hutan mangrove terhadap badai tidak dapat dipahami hanya dengan mempelajari satu batang pohon, melainkan harus dilihat dari struktur komunitas dan kepadatan akarnya secara keseluruhan (Febryano *et al.*, 2015).

VISUALISASI KONSEP: BENGEN, D. G. (2024). Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolaannya. IPB Press.



Gambar 1. 2 Kompleksitas dan 2 Pendekatan Holistik

(Sumber: Visualisasi Penulis dengan bantuan AI)

Dalam konteks manajemen perikanan, pendekatan holistik ini diterjemahkan ke dalam *Ecosystem Approach to Fisheries Management* (EAFM). EAFM menegaskan bahwa pengelolaan stok ikan tidak boleh hanya fokus pada satu spesies target, melainkan harus mempertimbangkan habitat, predator, mangsa, serta kesejahteraan masyarakat nelayan sebagai bagian tak terpisahkan dari ekosistem (Bengen, 2024).

1.2 Struktur, Fungsi, dan Komponen Ekosistem

Memahami ekosistem berarti memahami sebuah entitas di mana totalitas interaksi jauh lebih besar daripada sekadar jumlah bagian-bagiannya. Dalam ekologi kelautan, struktur dan fungsi ekosistem merupakan dua sisi mata uang yang tidak dapat dipisahkan; struktur menyediakan kerangka fisik dan biologis, sementara fungsi menggambarkan mesin dinamika yang memungkinkan kehidupan terus berlangsung di tengah fluktuasi lingkungan pesisir yang ekstrem.

1.2.1 Struktur dan Komponen Ekosistem

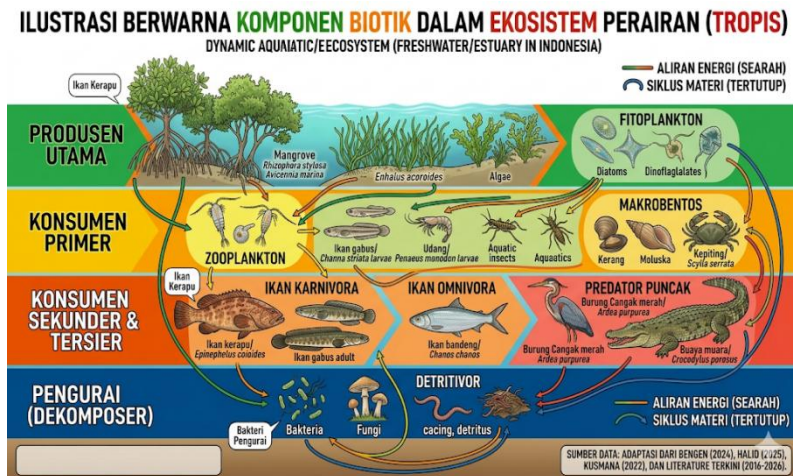
Struktur ekosistem didefinisikan sebagai susunan komponen penyusun ekosistem serta hubungan antar komponen tersebut pada waktu dan ruang tertentu. Struktur ini mencakup dua dimensi utama: struktur fisik (seperti zonasi vegetasi dan stratifikasi air) dan struktur biologis (seperti komposisi spesies dan piramida trofik) (Kusmana & Azizah, 2022; Odum, 1971).

A. Komponen Biotik

Komponen biotik dalam ekosistem perairan dan mangrove diklasifikasikan berdasarkan peran fungsionalnya dalam pemrosesan energi dan materi:

1. **Produsen (Autotrof):** Di ekosistem mangrove, produsen utama terbagi menjadi makroflora (pohon mangrove sejati dan ikutan) serta mikroflora (fitoplankton, alga perifiton, dan benthik). Mangrove sejati (*true mangroves*) seperti genus *Rhizophora*, *Avicennia*, dan *Sonneratia* memiliki adaptasi unik untuk melakukan fotosintesis di lingkungan dengan salinitas tinggi. Kemampuan mereka mengubah energi radiasi matahari menjadi energi kimia (biomassa) merupakan fondasi utama bagi produktivitas primer di wilayah pesisir (Alongi, 2024; Bengen, 2024).
2. **Konsumen (Heterotrof):** Kelompok ini tidak dapat menghasilkan makanan sendiri dan bergantung pada produsen. Dalam ilmu perikanan, konsumen ini mencakup spektrum luas mulai dari zooplankton, makrobentos (seperti kepiting bakau *Scylla serrata*), hingga predator puncak seperti ikan karnivora dan buaya muara. Struktur konsumen ini sering kali menunjukkan pola migrasi yang dinamis; banyak spesies ikan laut menggunakan mangrove sebagai tempat asuhan (*nursery ground*) hanya pada fase larva atau juvenil (Rajulani *et al.*, 2022).
3. **Dekomposer dan Detritivor:** Di ekosistem lahan basah dan mangrove, peran dekomposer (bakteri dan fungi) serta detritivor (organisme pemakan serasah) sangat krusial. Karena sebagian besar biomassa mangrove tidak

dimakan langsung oleh herbivora tetapi jatuh sebagai serasah daun, dekomposisi menjadi jalur utama transfer energi. Bakteri anaerob di sedimen mangrove memainkan peran vital dalam siklus sulfur dan nitrogen (Ariyanto & Kartika, 2022).



Gambar 1. 3 Ilustrasi Berwarna Komponen Biotik dalam Ekosistem Perairan

(Sumber: Visualisasi Penulis dengan bantuan AI)

B. Komponen Abiotik (Lingkungan Fisik-Kimia)

Komponen abiotik bertindak sebagai faktor pembatas (*limiting factors*) yang menentukan kelangsungan hidup dan distribusi organisme.

- **Faktor Fisik:** Termasuk pasang surut, suhu, penetrasi cahaya, dan substrat. Pasang surut adalah penggerak utama (*primary driver*) ekosistem mangrove; ia membawa nutrisi, membuang limbah metabolik, dan menentukan zonasi spesies berdasarkan toleransi terhadap

penggenangan. Substrat berupa lumpur halus yang kaya organik merupakan ciri khas mangrove yang mendukung sistem perakaran khusus (Setyawan *et al.*, 2021).

- **Faktor Kimia:** Salinitas adalah variabel kimia paling kritis. Organisme laut dan mangrove harus memiliki mekanisme osmoregulasi yang efisien untuk bertahan hidup di bawah tekanan osmotik yang berfluktuasi. Selain itu, kadar Oksigen Terlarut (DO), pH, serta konsentrasi nutrisi (Nitrogen dan Fosfor) menentukan tingkat kesuburan perairan pesisir (Ari, 2020).

C. Parameter Ekologis: Kepadatan, Biomassa, dan Distribusi Struktur biologis dikuantifikasi melalui beberapa parameter:

1. **Kepadatan (*Density*):** Jumlah individu per satuan luas. Di hutan mangrove, kepadatan pohon berhubungan terbalik dengan diameter batang (hukum *self-thinning*).
2. **Biomassa:** Berat total materi organik hidup. Indonesia memiliki biomassa mangrove tertinggi di dunia, yang berkontribusi signifikan terhadap simpanan karbon global (Muliadi *et al.*, 2024).
3. **Pola Distribusi:** Organisme dapat terdistribusi secara acak, seragam, atau mengelompok. Di pesisir, pola mengelompok (*clumped*) paling sering ditemukan karena adanya gradien nutrisi atau perlindungan fisik (Kusmana, 2017).

1.2.2 Fungsi dan Sistem Ekologi

Fungsi ekosistem merujuk pada proses-proses dinamis yang melibatkan interaksi antara komponen biotik dan abiotik. Ekosistem dipandang sebagai sebuah "pabrik

biologis" yang memproses energi dan mendaur ulang materi (Sari *et al.*, 2024).

A. Aliran Energi (*Energy Flow*)

Energi masuk ke ekosistem melalui fotosintesis dan mengalir melalui rantai makanan. Berbeda dengan materi, energi mengalir secara satu arah dan tidak dapat didaur ulang.

- **Hukum Termodinamika:** Aliran energi mengikuti Hukum Termodinamika I (kekekalan energi) dan II (entropi). Hanya sekitar 10% energi yang diteruskan dari satu tingkat trofik ke tingkat trofik berikutnya, sementara sisanya hilang sebagai panas metabolik.
- **Jaring Makanan:** Di mangrove, jaring makanan sangat kompleks karena adanya integrasi antara rantai makanan merumput (*grazing food chain*) dan rantai makanan detritus (*detritus food chain*). Detritus (serasah daun yang membusuk) menyediakan lebih dari 80% kebutuhan energi bagi komunitas benthik pesisir (Alongi, 2024; JINU, 2024).

B. Siklus Materi dan Biogeokimia (*Nutrient Cycling*)

Materi bergerak dalam siklus tertutup antara organisme dan lingkungannya.

- **Siklus Karbon:** Mangrove adalah penyerap karbon yang luar biasa. Melalui proses sekuestrasi, karbon atmosfer diubah menjadi biomassa dan disimpan dalam sedimen dalam jangka waktu ribuan tahun (karbon biru).
- **Siklus Nitrogen dan Fosfor:** Bakteri di zona rizosfer (sekitar akar) mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat diserap

tanaman. Siklus ini menjamin keberlanjutan produktivitas primer di perairan yang sering kali miskin hara (Ariyanto & Kartika, 2022).

C. Interaksi Fungsional Antar Komponen

Interaksi ini menjaga keseimbangan ekosistem (*homeostatis*).

1. **Simbiosis:** Misalnya, hubungan antara akar napas mangrove dengan epibion (seperti tiram atau alga) yang meningkatkan keanekaragaman hayati lokal.
2. **Predasi dan Kompetisi:** Mekanisme kontrol populasi yang memastikan tidak ada satu spesies pun yang mendominasi secara absolut, sehingga menjaga stabilitas komunitas (Reza *et al.*, 2024).

D. Konsep Ekosistem sebagai Satu Kesatuan Sistem

Ekosistem bersifat holistik dan terintegrasi. Perubahan pada satu komponen abiotik (misalnya kenaikan salinitas akibat kenaikan muka air laut) akan memicu respons fisiologis pada produsen, yang kemudian mengubah ketersediaan energi bagi konsumen (ikan dan udang), dan akhirnya memengaruhi ekonomi nelayan. Pendekatan sistem menekankan bahwa pengelolaan mangrove atau rawa tidak dapat dilakukan secara parsial, melainkan harus mencakup seluruh keterkaitan fungsionalnya (FPIK UB, 2023; Mutaqin & Widantara, 2024).

1.3 Tingkatan Organisasi Kehidupan dan Pendekatan Ekologi

Ekologi sebagai ilmu sistem menuntut pemahaman terhadap hierarki kehidupan yang terstruktur secara logis. Setiap tingkatan organisasi memiliki karakteristik unik yang tidak dapat dijelaskan hanya dengan mempelajari bagian-bagian penyusunnya secara terpisah. Dalam domain kelautan, pemahaman ini krusial untuk menentukan skala manajemen—apakah intervensi harus dilakukan pada tingkat spesies (seperti perlindungan spesies terancam punah) atau pada tingkat lanskap (seperti pengelolaan kawasan konservasi perairan).

1.3.1 Hierarki Organisasi dan Tingkat Kajian Ekologi

Organisasi kehidupan dalam ekologi mengikuti pola hierarki yang disebut sebagai spektrum biologi. Di dalam spektrum ini, unit-unit fungsional berinteraksi dengan lingkungan fisik (energi dan materi) untuk membentuk sistem ekologis yang berjenjang (Odum, 1971; Utami *et al.*, 2026).

A. Jenjang Organisasi Kehidupan

1. **Gen dan Sel:** Meskipun sering dianggap sebagai domain biologi molekuler, ekologi modern menggunakan pendekatan genomik untuk memahami adaptasi organisme. Misalnya, ekspresi gen tertentu pada mangrove *Avicennia marina* menentukan tingkat toleransi terhadap cekaman salinitas (Alongi, 2024).
2. **Organ dan Organisme:** Kajian pada tingkat ini berfokus pada individu. Bagaimana satu ekor ikan atau satu pohon mangrove bertahan hidup secara fisiologis dan morfologis terhadap lingkungannya.

3. **Populasi:** Kumpulan individu dari spesies yang sama yang menduduki ruang dan waktu yang sama. Fokus kajiannya adalah dinamika jumlah, laju kelahiran (*natalitas*), kematian (*mortalitas*), dan kepadatan (Sari *et al.*, 2024).
4. **Komunitas:** Seluruh populasi dari berbagai spesies yang berinteraksi di suatu habitat. Dalam komunitas mangrove, interaksi terjadi antara populasi pohon, kepiting, burung, dan mikroorganisme tanah.
5. **Ekosistem:** Tingkatan di mana komunitas biotik berintegrasi dengan faktor abiotik. Di sini, fokus utama adalah pada fungsi seperti siklus nutrisi dan aliran energi (Bengen, 2024).
6. **Biosfer:** Tingkatan tertinggi yang mencakup seluruh lapisan bumi di mana kehidupan berada. Dalam ekologi laut global, ini mencakup interaksi antara lautan, atmosfer, dan daratan dalam mengatur iklim bumi.



Gambar 1. 4 Infografis Hierarki Organisasi Kehidupan di Laut

(Sumber: Visualisasi Penulis dengan bantuan AI)

B. Cabang Utama Kajian Ekologi

Dalam membedah fenomena di atas, ekologi secara tradisional dibagi menjadi dua pendekatan besar:

- **Autoekologi:** Kajian mengenai hubungan timbal balik antara individu atau populasi suatu spesies dengan lingkungannya. Contohnya adalah penelitian mengenai respon fisiologis ikan bawal terhadap perubahan suhu air laut akibat fenomena El Niño (Reza *et al.*, 2024).
- **Sinekologi:** Kajian mengenai kelompok organisme sebagai satu kesatuan fungsional (komunitas atau ekosistem). Sinekologi lebih kompleks karena harus mempertimbangkan interaksi antar-spesies yang beragam, seperti

struktur komunitas benthos di hutan mangrove pasca-restorasi (Rajulani *et al.*, 2022).

1.3.2 Klasifikasi dan Pendekatan Ilmiah dalam Ekologi

Untuk mempermudah analisis di tengah kompleksitas alam, ilmuwan mengklasifikasikan ekologi berdasarkan habitat, aplikasi, maupun disiplin ilmu dasarnya.

A. Klasifikasi Berdasarkan Habitat

Pembagian ini didasarkan pada sifat fisik dan kimiawi lingkungan tempat organisme hidup:

1. **Ekologi Darat (Terrestrial):** Fokus pada bioma seperti hutan hujan tropis atau savana.
2. **Ekologi Perairan (Akuatik):**
 - **Limnologi:** Ekologi perairan tawar (danau, sungai, rawa).
 - **Ekologi Laut (Oseanografi Biologis):** Mencakup zona litoral, neritik, hingga zona pelagik dan abisal di samudera dalam.
3. **Ekologi Pesisir dan Estuari:** Merupakan area transisi yang memiliki dinamika unik karena percampuran massa air tawar dan laut (salinitas payau). Ekologi mangrove masuk dalam kategori ini (Kusmana, 2022).

B. Klasifikasi Berdasarkan Bidang Aplikasi

Ekologi diaplikasikan untuk memecahkan masalah praktis manusia:

- **Ekologi Perikanan:** Mempelajari dinamika populasi stok ikan untuk menentukan kuota penangkapan yang berkelanjutan (MSY - *Maximum Sustainable Yield*) (Halid, 2025).

- **Ekologi Pertanian (Agroekologi):** Fokus pada efisiensi energi dan pengendalian hama secara alami dalam sistem budidaya.
- **Ekologi Manusia:** Kajian mengenai interaksi antara sistem sosial manusia dengan lingkungan alam, termasuk bagaimana budaya lokal di pesisir memengaruhi konservasi sumber daya laut (Putri *et al.*, 2024).

C. Peran Ilmu Dasar dalam Pendekatan Ekologi

Ekologi bersifat multidisipliner dan sangat bergantung pada ilmu dasar untuk menjelaskan mekanisme interaksi:

1. **Fisika:** Digunakan untuk memahami termodinamika aliran energi, hidrodinamika arus yang membawa larva, serta mekanisme penetrasi cahaya di kolom perairan yang membatasi zona fotosintesis.
2. **Kimia:** Fundamental dalam menjelaskan siklus biogeokimia (seperti siklus Nitrogen dan Fosfor) serta proses asidifikasi laut yang mengancam organisme berkerangka kapur.
3. **Biologi:** Menyediakan data dasar mengenai taksonomi, genetika, fisiologi, dan perilaku organisme (Briscoe, 2026).

D. Pendekatan Ilmiah Modern: Pemodelan dan *Remote Sensing*

Memasuki dekade 2020-an, pendekatan ilmiah ekologi kelautan telah bergeser ke arah penggunaan teknologi tinggi. Pemodelan matematis digunakan untuk memprediksi perubahan tutupan mangrove secara spasial (Mutaqin & Widantara, 2024). Sementara itu, penginderaan jauh (*remote sensing*)

memungkinkan pemantauan kesehatan ekosistem pesisir secara real-time pada skala luas yang tidak mungkin dilakukan melalui survei lapangan tradisional saja (Muliadi *et al.*, 2024).

1.4 Sifat Ekologis dan Pendekatan Holistik dalam Ekosistem

Memahami ekosistem melampaui sekadar menginventarisasi daftar spesies yang ada di dalamnya. Ekosistem harus dipandang sebagai entitas fungsional yang memiliki karakter dinamis, di mana interaksi antar komponen menciptakan fenomena yang tidak dapat diprediksi hanya dengan melihat komponen secara individual. Dalam ekologi kelautan dan perikanan, pemahaman tentang sifat sistemik ini menjadi fondasi bagi pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan.

1.4.1 Sifat dan Interaksi dalam Sistem Ekologis

Sistem ekologis memiliki karakteristik unik yang membedakannya dari sistem fisik mekanis. Sifat-sifat ini menentukan bagaimana ekosistem merespons perubahan lingkungan dan gangguan manusia.

A. Sifat Emergen (*Emergent Properties*)

Salah satu konsep paling fundamental dalam ekologi sistem adalah sifat emergen. Sifat emergen adalah karakteristik yang muncul pada tingkat organisasi yang lebih tinggi namun tidak dimiliki oleh komponen di tingkat bawahnya.

- **Contoh pada Tingkat Komunitas:** "Stabilitas" atau "keanekaragaman spesies" adalah sifat emergen dari sebuah komunitas mangrove. Anda

tidak bisa menemukan sifat "keanekaragaman" pada tingkat individu pohon tunggal.

- **Implikasi Manajemen:** Dalam restorasi mangrove, menanam ribuan bibit (tingkat individu) tidak menjamin terbentuknya fungsi ekosistem (seperti perlindungan pantai). Fungsi tersebut hanya muncul jika interaksi antara vegetasi, sedimen, dan biota air telah mencapai keseimbangan sistemik tertentu (Odum, 1971; Kusmana, 2022).

B. Sifat Kumulatif dan Sinergis

Dampak dari berbagai interaksi dalam ekosistem seringkali bersifat kumulatif atau bahkan sinergis.

1. **Interaksi Kumulatif:** Penumpukan polutan logam berat di sedimen rawa mungkin tidak mematikan biota secara instan, namun akumulasi jangka panjang melalui rantai makanan (*biomagnifikasi*) dapat menyebabkan kegagalan reproduksi pada predator puncak (Sari *et al.*, 2024).
2. **Efek Sinergis:** Gabungan antara kenaikan suhu air laut dan penurunan kadar pH (*asidifikasi*) dapat memberikan tekanan yang jauh lebih berat bagi terumbu karang dibandingkan jika kedua gangguan tersebut terjadi secara terpisah (Alongi, 2024).

C. Interaksi Organisme dan Lingkungan: Umpan Balik (*Feedback Loops*)

Interaksi dalam ekosistem bersifat timbal balik. Organisme tidak hanya beradaptasi terhadap lingkungan, tetapi juga aktif mengubah lingkungan tersebut.

- **Umpan Balik Positif:** Mempercepat perubahan (misalnya, hilangnya vegetasi mangrove menyebabkan erosi substrat, yang kemudian menyulitkan bibit baru untuk tumbuh).
- **Umpan Balik Negatif:** Menjaga stabilitas/homeostatis (misalnya, peningkatan populasi herbivora akan dikendalikan oleh peningkatan populasi predator, menjaga keseimbangan komunitas) (Reza *et al.*, 2024; Layanan Repositori NTT, 2024).

1.4.2 Kompleksitas dan Pendekatan Holistik Ekosistem

Ekosistem pesisir, mangrove, dan rawa adalah sistem yang sangat kompleks (*Complex Adaptive Systems*). Kompleksitas ini menuntut pergeseran paradigma dari pendekatan sektoral/reduksionis menuju pendekatan holistik.

A. Konsep Sistem Ekologis yang Kompleks

Kompleksitas ekosistem muncul dari ribuan interaksi yang terjadi secara simultan. Dalam ekosistem perairan Indonesia, kompleksitas ini terlihat pada konektivitas antara hulu dan hilir. Kerusakan hutan di pegunungan akan meningkatkan sedimentasi di muara sungai, yang kemudian menimbun perakaran mangrove dan mematikan terumbu karang di lepas pantai (Bengen, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa ekosistem tidak memiliki batas yang kaku secara ekologis.

B. Pendekatan Holistik dalam Ekologi

Pendekatan holistik (dari bahasa Yunani *holos* yang berarti keseluruhan) menekankan bahwa sistem harus dipelajari sebagai satu kesatuan yang utuh. Dalam ilmu kelautan, pendekatan ini berarti:

- Tidak hanya fokus pada spesies bernilai ekonomi (seperti udang), tetapi juga pada habitat pendukungnya (mangrove).
- Mempertimbangkan aspek bio-fisik, kimia, hingga sosial-ekonomi masyarakat lokal secara simultan.

C. Urgensi Pendekatan Menyeluruh dalam Pengelolaan Mangrove dan Rawa

Di Indonesia, pendekatan holistik telah diimplementasikan melalui konsep *Ecosystem Approach to Fisheries Management* (EAFM) dan *Integrated Coastal Zone Management* (ICZM).

1. **Pengelolaan Mangrove:** Kegagalan proyek rehabilitasi mangrove di masa lalu sering terjadi karena pendekatan yang terlalu sederhana (hanya menanam tanpa memperbaiki hidrologi). Pendekatan holistik mengharuskan restorasi dilakukan dengan memperbaiki aliran air (hidrodinamika), memastikan kesesuaian jenis dengan substrat, serta melibatkan kearifan lokal masyarakat (Putri *et al.*, 2024; FPIK UB, 2023).

MODEL KONSEPTUAL PENDEKATAN HOLISTIK DALAM MANAJEMEN MANGROVE



Gambar 1. 5 Model Konseptual Pendekatan Holistik dalam Manajemen Mangrove

(Sumber: Visualisasi Penulis dengan bantuan AI)

- 2. Pengelolaan Lahan Basah/Rawa:** Pendekatan ini krusial untuk mencegah kebakaran lahan gambut dan intrusi air laut. Pengelolaan harus menjaga tata air (hidrologi) secara menyeluruh agar fungsi ekosistem sebagai penyimpan karbon dan pengatur banjir tetap terjaga (WALHI, 2025; Muliadi *et al.*, 2024).

Konsep dasar ekologi memberikan kita kacamata untuk melihat dunia bukan sebagai kumpulan objek yang terpisah, melainkan sebagai jaringan kehidupan yang saling terpaut. Sifat emergen dan kompleksitas sistem ini menjadi peringatan bahwa setiap intervensi manusia terhadap alam

akan memberikan dampak yang luas, sehingga pendekatan holistik menjadi satu-satunya jalan menuju keberlanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2024). *Blue Carbon and Marine Ecosystems: Processes, Functions, and Global Impacts*. Springer Nature.
- Ari, A. (2020). Komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem perairan pesisir. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis*, 12(1), 45-51.
- Ariyanto, T., & Kartika, Y. (2022). Struktur dan fungsi ekosistem perairan payau sebagai kawasan transisi. *Jurnal Biologi Perairan*, 8(2), 113-120.
- Bengen, D. G. (2024). *Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolaannya*. IPB Press.
- Bengen, D. G. (2024). *Ekosistem Pesisir: Struktur, Fungsi, dan Dinamika*. IPB Press.
- Briscoe, M. G. (2026). Interdisciplinary oceanography: Challenges and opportunities for the next decade. *Oceanography Journal*, 39(1).
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. John Murray.
- Febryano, G., Suharjito, D., Darusman, D., Kusmana, C., & Hidayat, A. (2015). Aktor dan relasi kekuasaan dalam pengelolaan mangrove di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, Indonesia. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 12(2), 125-142.
- FPIK UB. (2023). *Riset Holistik dalam Pengelolaan Ekosistem Pesisir*. Universitas Brawijaya.
- Haeckel, E. (1866). *Generelle Morphologie der Organismen*. Reimer.

- Halid, I. (2025). *Ekologi Perairan: Dasar-Dasar dan Aplikasi dalam Manajemen Sumberdaya*. Askara Sastra Media.
- JINU. (2024). Fungsi ekologis mangrove sebagai daerah asuhan biota laut. *Jurnal Ilmu Nasional Unggul*.
- Kusmana, C. (2017). Metode survei dan interpretasi data ekologi hutan. *Fakultas Kehutanan IPB*.
- Kusmana, C. (2022). *Ekologi Mangrove Indonesia*. Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University.
- Kusmana, C., & Azizah. (2022). *Ekologi Mangrove Indonesia: Teori dan Implementasi*. Jurnal Kehutanan.
- Kusmana, C., & Hikmat, A. (2015). The biodiversity of flora in Indonesia. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2), 187-198.
- McIntosh, R. P. (1985). *The Background of Ecology: Concept and Theory*. Cambridge University Press.
- Muliadi, et al. (2024). ICZM di Indonesia: Peluang dan Tantangan. *Journal of Coastal Management*.
- Mutaqin, B. W., & Widantara. (2024). Pemodelan spasial garis pantai Indonesia. *Geography Research*.
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology* (3rd ed.). W.B. Saunders Company.
- Putri, T. D., Sunarsih, S., & Muhammad, F. (2024). Analisis kerentanan sosial masyarakat dan adaptasi perubahan iklim di wilayah pesisir. *Journal of Marine Research*, 13(1).
- Rajulani, et al. (2022). Struktur komunitas makrobentos di kawasan mangrove rehabilitasi. *Jurnal Kelautan dan Perikanan*.
- Reza, et al. (2024). Konektivitas ekosistem pesisir dalam mendukung biodiversitas laut. *Jurnal Kelautan*.

- Sari, L. A., Nafisyah, A. L., Manan, A., Cahyoko, Y., Andriyono, S., & Dewi, N. N. (2024). *Buku Ajar Ekologi Perairan*. Airlangga University Press.
- Setyawan, A. D., *et al.* (2021). Review: Keanekaragaman hayati dan ekologi mangrove di Jawa. *Biodiversitas*.
- Utami, R. N., Apriyanto, H., Ruwaida, I. P., & Pebriandi. (2026). *Ekologi Umum: Konsep, Interaksi, dan Tantangan Global*. Lingkar Edukasi Indonesia.
- WALHI. (2025). *Buku Bencana Ekologis: Mereduksi Risiko, Memulihkan Indonesia*. Wahana Lingkungan Hidup Indonesia.

BAB 2

KARAKTERISTIK EKOSISTEM MANGROVE

Oleh Annisa Novita Sari

Kekayaan alam di Indonesia begitu melimpah. Tidak hanya di lautan, daratan Indonesia juga menyimpan sumber daya alam yang besar dan beranekaragam, yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Ekosistem daratan begitu banyak ragamnya, salah satunya adalah ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang memiliki keunikan tersendiri dibandingkan ekosistem hutan yang lain karena dapat hidup di dua alam, yaitu daratan dan lautan. Oleh karena itu, ekosistem mangrove banyak ditemukan di daerah pesisir. Mangrove memanfaatkan substrat daerah pesisir sebagai tempat hidupnya, dimana masih terpengaruh oleh kadar garam yang terkandung di dalam air laut, sehingga salinitas air laut juga mempengaruhi kehidupan pohon mangrove.

Mangrove merupakan perpaduan kata *mangue* (bahasa Portugis) dan *grove* (bahasa Inggris) yang diartikan sebagai semak belukar yang tumbuh di tepi laut. Mangrove juga didefinisikan sebagai tumbuhan yang terdapat di daerah pasang surut (Macnae, 1969; Tomlinson, 1986; Wightman, 1989 dalam (Rangkuti *et al.*, 2017)). Hutan mangrove dapat didefinisikan sebagai hutan yang disusun oleh komunitas tumbuhan halofit yang tahan terhadap kadar garam yang tinggi, dan dapat disebut sebagai mangal, hutan bakau, hutan pasang surut, dan hutan

pantai (Swasta, 2021). Hutan bakau atau mangal menggambarkan varietas komunitas pantai tropik yang didominasi oleh beberapa spesies pohon-pohon yang khas atau semak-semak yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh dalam perairan asin (Nybakken, 1988).

Ekosistem mangrove tersebar di seluruh dunia. Jumlah total cakupan ekosistem mangrove dunia sebesar 147.256 km² atau 14.725.600 Ha, di mana Asia Tenggara memiliki cakupan luasan mangrove yang paling besar yaitu sebesar 49.500 km² atau 4.950.000 Ha atau 33,6% dari total mangrove di seluruh dunia. Indonesia sendiri memiliki ekosistem mangrove yang terbesar di dunia (21%), lalu diikuti oleh Afrika Barat dan Afrika Tengah serta dua negara bagian di Amerika (Tabel 2.1). Hutan mangrove di Indonesia tersebar di seluruh provinsi dengan luasan yang berbeda-beda (Gambar 2.1). Berdasarkan Peta Mangrove Nasional Tahun 2024 yang tertuang dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup/ Kepala Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 3330 Tahun 2025, luas cakupan hutan mangrove di Indonesia tahun 2024 adalah 3,44 juta hektar atau 23% dari luas total mangrove dunia (Tabel 2.2) (MenLH, 2025).



Gambar 2. 1 Peta Sebaran Kawasan Mangrove di Indonesia
(Sumber : Direktorat Konservasi Tanah dan Air, 2021)

Pulau Papua menjadi wilayah dengan luas mangrove yang paling besar di Indonesia dengan luas sebesar 1,57 juta Ha, diikuti oleh Pulau Kalimantan (7,2 ribu Ha) dan Pulau Sumatra (6,73 ribu Ha). Sedangkan pulau dengan luasan hutan mangrove terkecil adalah Pulau Jawa dengan total luas sebesar 0,64 ribu hektar. Selain karena luas wilayah yang berbeda-beda tiap pulau, akan tetapi aktivitas manusia di dalamnya juga dapat mempengaruhi kondisi luasan hutan mangrove. Seperti diketahui, Pulau Jawa merupakan pulau dengan kepadatan penduduk yang tertinggi di Indonesia. Hal ini dapat berdampak pada munculnya peningkatan kebutuhan manusia untuk permukiman maupun fasilitas penunjang perekonomian masyarakat. Sebagai contoh kondisi hutan Mangrove di Subang, Jawa Barat. Dari tahun 1990 hingga 2025 terjadi penurunan luas hutan mangrove sebesar 80% akibat dari dinamika penggunaan lahan di daerah pesisir (Santoso *et al.*, 2026). Dari total mangrove yang ada di Indonesia, 80% masih dikategorikan

dalam kondisi baik, tapi 20% lainnya berada pada kondisi kritis pada tahun 2019 (Adyasari *et al.*, 2021). Reklamasi lahan, kegiatan budidaya perikanan, perluasan areal perkotaan dan pengembangan kawasan industri juga dapat menyebabkan degradasi hutan mangrove (Wang *et al.*, 2025).

Tabel 2. 1 Luas Cakupan Ekosistem Mangrove di Seluruh Dunia

Wilayah	Total Luasan (km ²)	Persentase Global (%)
Afrika Timur dan Selatan	7.749	5,3
Timur Tengah	358	0,2
Asia Selatan	9.749	6,6
Asia Tenggara	49.500	33,6
Asia Timur	221	0,2
Australia dan Selandia Baru	10.348	7,0
Kepulauan Pasifik	5.790	3,9
Amerika Utara dan Tengah dan Karibia	21.270	14,4
Amerika Selatan	19.469	13,2
Afrika Barat dan Tengah	22.802	15,5
Total Keseluruhan	147.256	100

Sumber: (Marice & Spalding, 2024)

Tabel 2. 2 Luas Cakupan Ekosistem Mangrove di Seluruh Provinsi di Indonesia

No	Provinsi	Luas Mangrove (Ha)
1	Aceh	31.785
2	Sumatera Utara	61.389
3	Sumatera Barat	16.531
4	Riau	231.002
5	Jambi	12.588
6	Sumatera Selatan	173.008
7	Bengkulu	2.621
8	Lampung	10.797
9	Bangka Belitung	66.712
10	Kepulauan Riau	66.943
11	DKI Jakarta	608
12	Jawa Barat	12.434
13	Jawa Tengah	16.094
14	DI Yogyakarta	15
15	Jawa Timur	30.839
16	Banten	3.750
17	Bali	2.330
18	NTB	11.032
19	NTT	22.935
20	Kalimantan Barat	162.526
21	Kalimantan Tengah	46.400
22	Kalimantan Selatan	81.194

No	Provinsi	Luas Mangrove (Ha)
23	Kalimantan Timur	240.937
24	Kalimantan Utara	189.743
25	Sulawesi Utara	12.011
26	Sulawesi Tengah	38.051
27	Sulawesi Tenggara	65.140
28	Sulawesi Selatan	10.081
29	Sulawesi Barat	3.489
30	Gorontalo	8.985
31	Maluku	188.955
32	Maluku Utara	47.783
33	Papua Barat Daya	154.385
34	Papua Barat	326.493
35	Papua Tengah	306.800
36	Papua	162.080
37	Papua Selatan	622.276
Total Keseluruhan		3.440.742

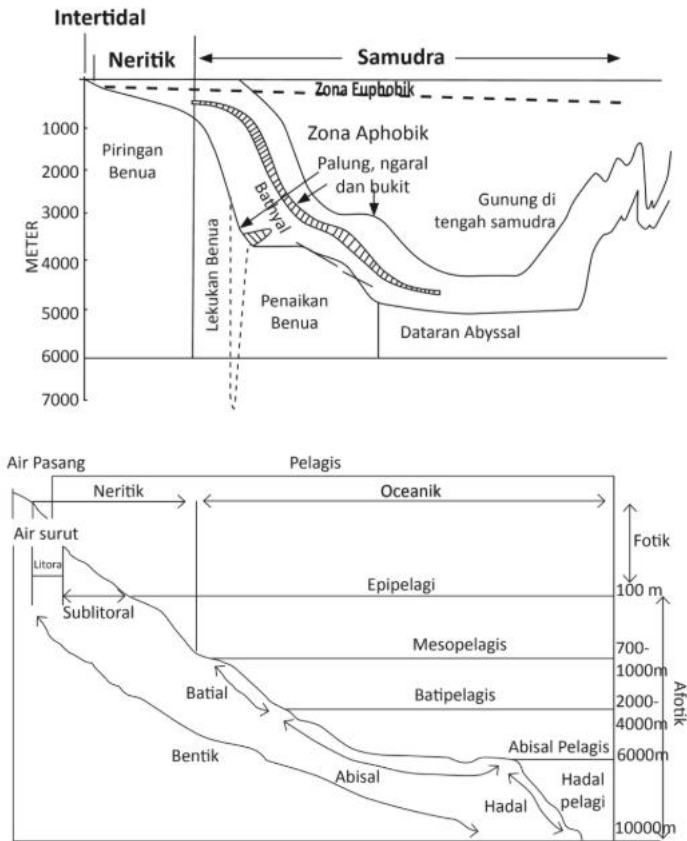
Sumber: MenLH, 2025

2.1 Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove memiliki keunikan dibandingkan dengan ekosistem yang lain karena didominasi oleh vegetasi yang mampu bertahan hidup dan bertumbuh dengan kondisi terendam air laut dengan salinitas yang tinggi. Ekosistem mangrove dapat dikatakan sebagai penghubung antara ekosistem darat dan ekosistem laut. Keunikan yang dimiliki

ekosistem mangrove ini menyebabkan ekosistem ini kaya akan keanekaragaman hayati di dalamnya, baik itu flora maupun faunanya. Di Indonesia sendiri, keanekaragaman jenis mangrove tercatat sangat tinggi yang terdiri dari 48 jenis mangrove tropis atau mewakili sekitar 80% jenis mangrove tropis di dunia.

Jika dilihat dari zonasi pembagian daerah pesisir, ekosistem mangrove menempati zona daratan hingga ke daerah pantai yang sudah mulai tergenang oleh air laut atau wilayah neritik (Gambar 2.2). Mintakat neritik adalah wilayah lingkungan perairan yang terletak di atas landas benua. Wilayah ini dihuni oleh biota laut yang dipengaruhi oleh kandungan unsur hara, sifat kimiawi perairan, dinamika perubahan perairan akibat dari pengaruh daratan ke laut, serta faktor cahaya, kandungan sedimen dan energi fisika dalam kolom air (Romimohtarto & Juwana, 2009).



Gambar 2. 2 Pembagian Wilayah di Kawasan Pesisir dan Laut

(Sumber : Rangkuti *et al.*, 2017)

Ekosistem mangrove didefinisikan sebagai mintakat pasut dan mintakat supra-pasut dari pantai berlumpur dan teluk, goba dan estuari yang didominasi oleh halofita, yaitu tumbuhan yang hidup di air asin, berpokok dan beradaptasi tinggi, yang berkaitan dengan anak sungai, rawa dan banjir, bersama-sama dengan populasi tumbuh-tumbuhan dan hewan. Ekosistem mangrove terdiri dari dua bagian yaitu bagian daratan dan bagian perairan (Romimohtarto & Juwana, 2009).

Oleh karena itu, ekosistem mangrove sangat bergantung pada air laut untuk menunjang kehidupannya serta kehidupan biota perairan yang menjadikan kawasan hutan mangrove sebagai tempat hidupnya. Keberadaan air laut yang menggenangi substrat dasar ekosistem mangrove, menyebabkan nilai salinitas kawasan ini cenderung tinggi. Oleh karena itu, biota air yang hidup di dalamnya juga masuk dalam golongan hewan payau dan laut.

2.1.1 Fungsi Mangrove

Hutan mangrove memiliki banyak fungsi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia baik secara ekologi, ekonomi, sosial, mitigasi bencana dan perubahan iklim.

1. Manfaat Ekologi

Secara ekologi, ekosistem mangrove memiliki fungsi sebagai sistem penyangga kehidupan dari berbagai organisme yang tinggal di dalam hutan mangrove, baik itu organisme akuatik maupun organisme terestrial. Organisme-organisme tersebut memanfaatkan hutan mangrove sebagai tempat mencari makan (*feeding ground*), tempat asuhan (*nursery ground*), maupun sebagai tempat berkembang biak (*spawning ground*) (Rangkuti *et al.*, 2017).

2. Manfaat Sosial Ekonomi

Secara ekonomi, mangrove dapat dimanfaatkan oleh masyarakat setempat sebagai sumber mata pencaharian. Di Indonesia sendiri, mangrove dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai tempat untuk mencari ikan, kepiting, udang. Hutan mangrove juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat untuk melakukan budidaya perikanan dengan berbagai komoditas, seperti ikan, kepiting, dan rumput laut. Hasil tangkapan dari hutan mangrove dapat dimanfaatkan untuk melakukan pengolahan hasil laut yang bernilai ekonomis tinggi. Buah mangrove sendiri juga dapat diolah untuk menjadi bahan pangan seperti

brownis, dodol, sirup dan lain sebagainya. Selain itu, hutan mangrove juga dapat dimanfaatkan sebagai lokasi wisata dan pendidikan yang dibungkus dalam konsep ekowisata mangrove. Beberapa provinsi di Indonesia yang menjadikan hutan mangrove sebagai kawasan ekowisata di antaranya adalah Riau, Bengkulu, Bangka Belitung, Bali, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan Barat, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Papua Barat Daya, dan Papua Selatan.

3. Mitigasi Bencana dan Perubahan Iklim

Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Mangrove memiliki peran sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) yang sangat efektif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, mangrove juga dapat melindungi garis pantai dari bencana alam seperti tsunami, gelombang tinggi, dan kenaikan air permukaan laut (Putra *et al.*, 2025).

2.1.2 Struktur Ekosistem Hutan Mangrove

Sebagai sebuah ekosistem, hutan mangrove juga merupakan kawasan sebagai tempat berinteraksi antara komponen biotik dan abiotik. :

1. Komponen Biotik

a. Flora

Jenis-jenis flora yang menghuni hutan mangrove sangat beragam, tergantung dari karakteristik lingkungan mangrove itu sendiri. Flora yang ada merupakan tumbuhan bakau yang mempunyai kemampuan dalam mentolerir salinitas yang tinggi.

Vegetasi utama yang menyusun hutan mangrove adalah *Rhizophora*, *Sonneratia*, *Avicennia*, dan *Xylocarpus*. Jenis vegetasi utama ini merupakan jenis yang mendominasi hutan

mangrove dan sering ditemukan di dalam ekosistem mangrove. Selain jenis tersebut, terdapat juga jenis spesies mangrove yang lain seperti *Bruguiera*, *Ceriops*, *Scyphypora*, *Nypa*, dan masih banyak lagi. Jenis-jenis ini biasanya disebut sebagai vegetasi pendukung.

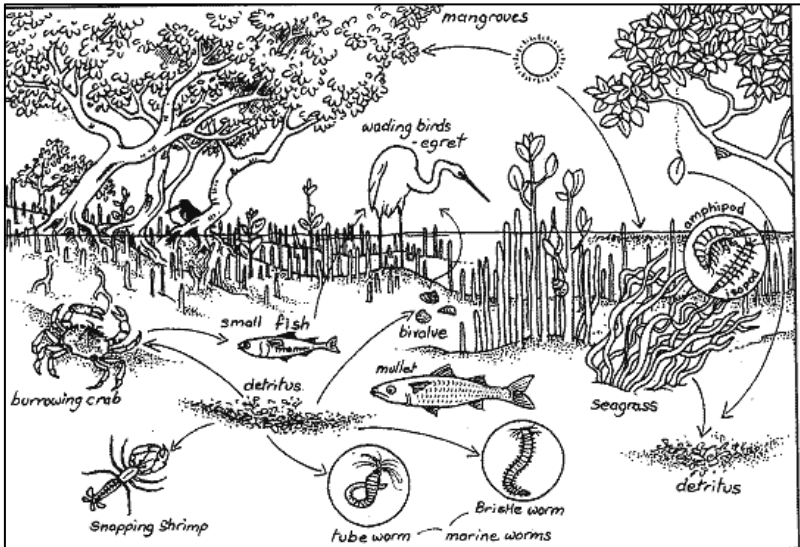
Hutan mangrove yang ada di Indonesia didominasi oleh jenis *Rhizophora mucronata* dan *Rhizophora apiculata*. Selain itu, juga ditemukan jenis *Avicennia marina*, *Avicennia alba*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, *Xylocarpus araneatum*, *Nypa fruticans*, *Bruguiera gymnorhiza*, dan masih banyak lagi.

b. Fauna

Kawasan hutan mangrove tidak hanya dihuni oleh tumbuhan saja, akan tetapi terdapat beberapa jenis hewan yang ditemukan di ekosistem ini. Hewan-hewan yang hidup di ekosistem mangrove berasal dari darat, laut dan air tawar. Beberapa jenis hewan harus dapat beradaptasi dengan substrat berlumpur. Sebagai contoh ikan gelodog (*Periophthalmus* sp.) telah mengembangkan siripnya untuk meluncur di atas substrat berlumpur. Kepiting memiliki kemampuan untuk menggali substrat atau *ngerong* sebagai tempat hidup, makan, bernafas, dan berkembang biak (Romimohtarto & Juwana, 2009).

Jenis-jenis hewan yang sering ditemukan di ekosistem mangrove di antaranya adalah ikan, reptil, burung, dan invertebrata. Hewan-hewan ini memanfaatkan hutan mangrove sebagai tempat untuk hidup, mencari makan, dan berkembang biak. Jenis hewan yang ditemukan di kawasan mangrove Indonesia antara lain: ikan, kepiting, udang, kerang, invertebrata, moluska, mamalia, rusa, kasuari,

burung kuntul, burung air atau burung pantai, bangau, biawak, buaya, ular, dan serangga.



Gambar 2. 3 Flora dan Fauna di Ekosistem Mangrove
(Sumber : Mangrove Forest, 2026)

2. Komponen Abiotik

a. Iklim/Cuaca

Mangrove akan tumbuh dengan subur di wilayah pesisir yang memiliki iklim tropis dan subtropis yang dekat dengan garis khatulistiwa. Mangrove tidak dapat hidup di tempat yang terlalu dingin, sehingga suhu optimum untuk kehidupan mangrove rata-rata adalah 22°C. Mangrove akan mati jika suhu terlalu dingin. Seperti halnya tumbuhan hijau yang lain, pohon mangrove juga memiliki kemampuan untuk memasak makanannya sendiri atau fotosintesis sehingga sangat membutuhkan masukan sinar matahari yang cukup sebagai prosesnya.

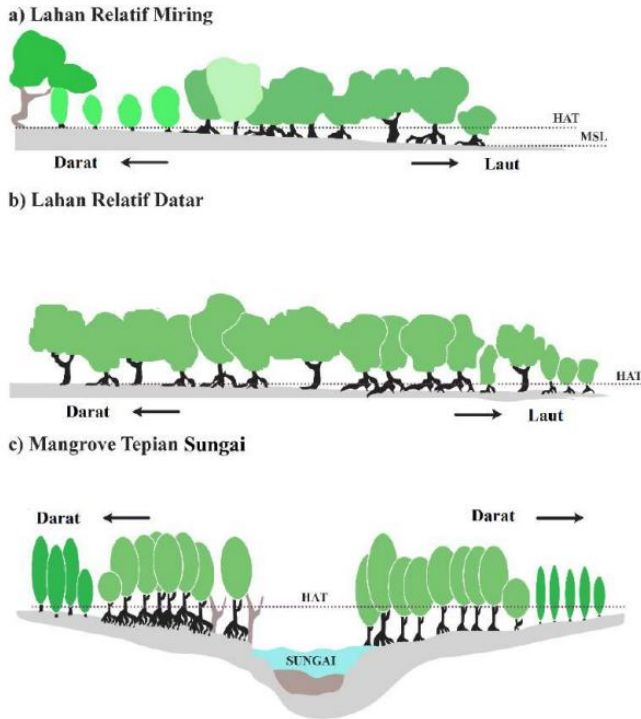
b. Salinitas

Keberadaan ekosistem mangrove di daerah pantai, menyebabkan pohon mangrove sering tergenang oleh air laut. Hal ini akan menyebabkan kawasan ini memiliki salinitas air yang tinggi. Kisaran salinitas di kawasan mangrove yang optimal untuk pertumbuhan pohon mangrove adalah 5 – 35 ppt. Ada beberapa spesies mangrove yang mampu hidup pada salinitas yang ekstrim hingga 40 ppt tetapi tidak banyak, antara lain: *Rhizophora apiculata*, *Ceriops decandra*, dan *Avicennia alba*.

Mangrove memiliki kutikula yang tebal untuk menyimpan air, menyerap air laut dan membuang garamnya melalui kelenjar pembuang garam. Mangrove juga dapat hidup dengan substrat yang miskin zat asam dan unsur hara, sehingga mangrove melakukan beberapa adaptasi dengan cara mengembangkan sistem perakaran yaitu terbentuknya akar nafas (*pneumatophore*), seperti pada spesies *Avicennia* spp., *Bruguiera* spp., dan *Sonneratia* spp. (Romimohtarto & Juwana, 2009).

c. Pasang surut

Pasang surut air laut menjadi faktor yang sangat penting bagi kehidupan mangrove, khususnya berkaitan dengan genangan air. Mangrove hidup di kawasan intertidal sehingga pasang surut air laut dapat mempengaruhi kehidupan mangrove. Terdapat 3 (tiga) jenis pasang surut air laut, yaitu tipe diurnal (harian tunggal), semi-diurnal (harian ganda), dan tipe campuran. Faktor yang mempengaruhi pasang surut air laut adalah gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi. Kondisi pasang surut air laut ini secara tidak langsung akan menentukan sistem zonasi jenis vegetasi mangrove yang ada di dalam hutan mangrove serta pola perendamannya (Gambar 2.4).



Gambar 2. 4 Pola Rendaman Tipe Lahan Mangrove
(Sumber : Djamaludin, 2018)

d. Substrat

Substrat adalah kondisi tanah pada lahan mangrove yang terdiri dari butiran-butiran kecil dan butiran sangat kecil ($< 0,25 \text{ mm}$). Tanah mangrove biasanya asam karena kegiatan bakteri belerang (*sulphur bacteria*), akan tetapi kaya akan unsur hara yaitu ion Na (Romimohtarto & Juwana, 2009). Pergerakan air laut yang lambat menyebabkan terjadinya penumpukan sedimen halus dan mengendap di dasar. Kumpulan lumpur ini akan menjadi substrat dasar kawasan ekosistem mangrove (Nybakken, 1988). Jenis substrat

ekosistem mangrove di Indonesia didominasi dengan lumpur hingga berpasir.

2.2 Karakter Fisik Mangrove

Hutan mangrove memiliki keunikan lain yaitu jenis vegetasi yang beranekaragam. Vegetasi mangrove memiliki keragaman tipe dan bentuk, baik akar, daun, bunga dan buah sehingga dapat menggambarkan keberagaman yang ada di dalam hutan mangrove.

2.2.1 Tipe Akar Mangrove

Kondisi habitat dari hutan mangrove adalah tanah berlumpur, asin dan memiliki oksigen yang rendah, sehingga pohon mangrove harus dapat beradaptasi dengan kondisi tersebut, baik secara fisiologis maupun morfologis. Salah satunya adalah sistem perakaran pada pohon mangrove. Akar merupakan bagian tubuh pohon mangrove yang langsung bersentuhan dengan lingkungan habitat mangrove, sehingga dibutuhkan sistem perakaran yang kuat dalam menopang keseluruhan tubuh mangrove serta memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan. Sistem perakaran pohon mangrove juga berfungsi sebagai organ pernapasan untuk mengambil oksigen dari udara bebas. Adapun bentuk-bentuk perakaran mangrove (Gambar 2.2) antara lain :

1. Akar Papan/Banir (*Buttress*)

Akar ini berbentuk seperti papan, sangat keras, dan pipih. Akar jenis ini biasanya dimiliki oleh pohon mangrove yang hidup di daerah yang dekat dengan daratan, seperti *Ceriops* sp. dan *Xylocarpus granatum*.

2. Akar Nafas/Pasak (*Pneumatophore*)

Akar nafas adalah akar yang muncul dari dalam tanah dan berbentuk seperti pensil, serta berfungsi untuk mengambil udara. Pohon mangrove yang memiliki sistem

perakaran seperti ini biasanya hidup di tepi pantai dengan substrat lumpur atau lumpur berpasir, seperti *Avicennia* sp. dan *Sonneratia* sp.

3. Akar Tunjang/Penyangga (*Siltroot*)

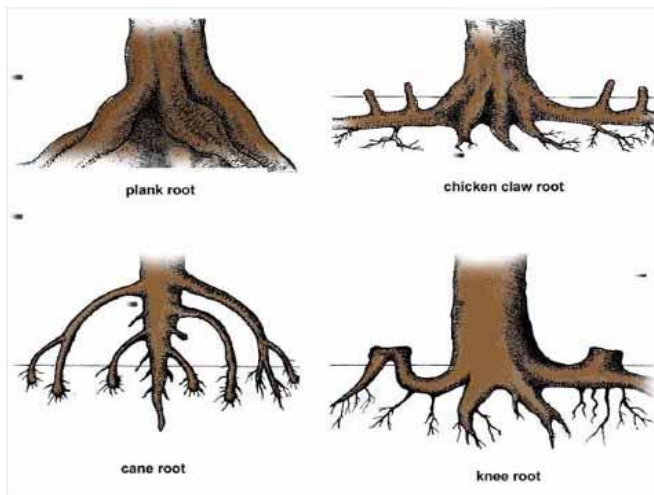
Bentuk dari jenis akar ini adalah seperti cakar ayam. Akar ini keluar dari batang dan tumbuh di dalam substrat. Sistem perakaran ini biasanya dimiliki oleh mangrove yang hidup di tepi pantai dengan substrat pasir atau di rawa pinggir sungai, seperti *Rhizophora* sp. Fungsi akar ini adalah agar pohon tetap berdiri tegak saat ada hempasan angin dan deburan ombak.

4. Akar Lutut (*Knee Root*)

Jenis akar ini berbentuk menjulur seperti lutut. Akar lutut semula tumbuh ke permukaan substrat lalu melengkung kembali ke substrat lagi. Jenis mangrove yang memiliki akar lutut adalah *Bruguiera* sp.

5. Akar Tipe *Xylocarpus melongesis*

Akar tipe ini berbentuk seperti akar pensil, tetapi berukuran lebih besar.



Gambar 2. 5 Bentuk Sistem Perakaran Pohon Mangrove

(Sumber : Karlina, 2012)

2.2.2 Tipe Daun Mangrove

Mangrove menghasilkan daun sepanjang tahun karena daun berfungsi dalam menjaga metabolisme dan fisik yang berkaitan dengan pengeluaran garam dan keseimbangan kapasitas air. Secara morfologi daun mangrove rata-rata hampir sama, yaitu ovate hingga elliptic, berujung daun tumpul (*blunt*) hingga menajam (*pointed*), dan tepian daun bundar. Tekstur daun mangrove umumnya solid hingga lembut seperti bulu-bulu (*coriaceous*) tetapi tidak kaku. Tulang daun tidak terlihat jelas dan tidak pernah menonjol (Djamaludin, 2018).

Rangkuti (2017) menyebutkan terdapat 5 (lima) tipe bentuk daun mangrove, yaitu (Gambar 2.6):

1. *Lanceolate*

Dimiliki oleh *Acanthus ilicifolius*, *Avicennia alba*, dan *Nypa fruticans*.

2. *Elliptical*

Contoh mangrove yang memiliki bentuk daun ini berasal dari famili Euphorbiaceae, yaitu *Excoecaria agallocha*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, dan *Heritiera littoralis*.

3. *Oval*

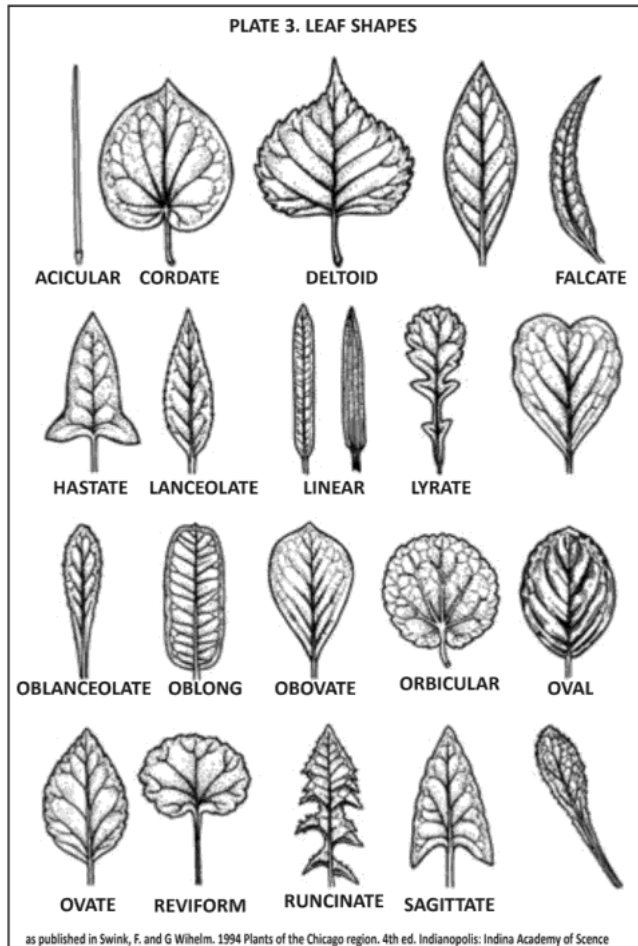
Jenis mangrove yang memiliki daun oval yaitu *Sonneratia caseolaris*.

4. *Obovate*

Mangrove dengan bentuk daun obovate contohnya *Ceriops tagal*, *Xylocarpus granatum*, *Sonneratia alba*, *Aegiceras corniculatum*, *Ceriops decandra*, dan *Lumnitzera racemosa*.

5. *Cordate*

Bentuk daun ini dimiliki oleh *Hibiscus tiliaceus* dan *Thespesia populnea*.



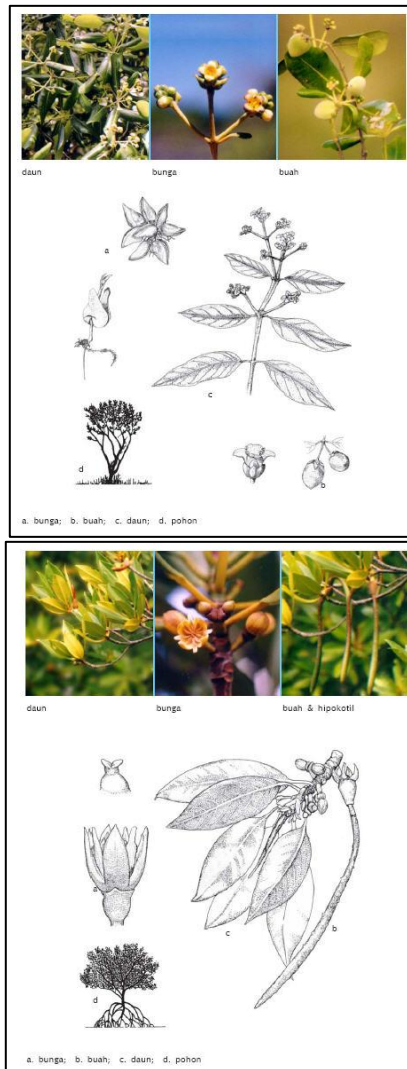
Gambar 2. 6 Bentuk-Bentuk Daun Pohon Mangrove
(Sumber : Swink & Wilhelm, 1994; Rangkuti *et al.*, 2017)

2.2.3 Tipe Bunga dan Buah Mangrove

Bunga dan buah mangrove menjadi salah satu kunci identifikasi mangrove. Fungsi bunga pada mangrove adalah untuk berkembangbiakan. Bentuk-bentuk bunga mangrove antara lain, **single** yang ditemukan pada jenis *Lumnitzera racemosa*, **cyme** ditemukan pada *Phempis*

acidulata, **panide** pada *Rhizophora stylosa*, **spike** pada *Avicennia alba*, **recame** pada *Xylocarpus moluccensis*, **catkin** pada *Scyphiphora hydrophyllacea*, dan **umbel** pada *Avicennia marina* (Rangkuti *et al.*, 2017).

Semua jenis mangrove menghasilkan buah, dimana penyebarannya dibantu oleh arus air. Bentuk-bentuk buah mangrove bermacam-macam, antara lain berbentuk bola, biji buncis, dan silinder atau tongkat. Selain itu, ada beberapa tipe buah yang lain yaitu vivipari dan kriptovivipari. Vivipari adalah buah dengan biji yang sudah berkecambah dan telah keluar dari kulit buah, sedangkan kriptovivipari adalah buah yang mempunyai biji yang telah berkecambah ketika masih melekat di pohon induknya tapi masih tertutup oleh kulit biji (Rangkuti *et al.*, 2017).



Gambar 2. 7 Gambaran Bentuk Buah dan Bunga
Avicennia Marina (Kiri) dan *Rhizophora Apiculata* (Kanan)
 (Sumber : Wetland, 2026a, 2026b)

2.2.4 Tipe Vegetasi Utama Mangrove

Tipe vegetasi utama mangrove yaitu *overwash forest*, *basin forest*, *fringe fores*, *riverine forest*, *dwarf mangrove*, dan *hammock*.

1. *Overwash forest*

Tipe ini adalah mangrove yang selalu terkena pasang surut yang menyebabkan jenis mangrove ini selalu tergenang oleh air laut. Tipe ini biasanya didominasi oleh genus *Rhizophora*. Lokasi yang terdapat tipe vegetasi ini salah satunya adalah kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu.

2. *Basin forest*

Karakteristik tipe vegetasi ini adalah mangrove yang menerima limpasan dari daratan/terrestrial. Terletak jauh di pedalaman daratan, menempati area cekungan, teluk dalam, atau saluran drainase yang datar. Contoh lokasi keberadaan *basin forest* adalah zona pedalaman hutan mangrove di Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah.

3. *Fringe forest*

Merupakan mangrove yang menerima pasang surut setiap hari akan tetapi sedikit mendapatkan masukan air tawar. Jenis vegetasinya yang memiliki akar tunjang (*Rhizophora*) dan akar nafas (*Avicennia*). Contoh lokasi keberadaan *basin forest* adalah pada garis pantai luar Hutan Mangrove Muara Kubu, Kalimantan Barat dan pantai pesisir terbuka di Taman Nasional Bunaken, Sulawesi Utara.

4. *Riverine forest*

Merupakan mangrove yang sepanjang perairan mengalir seperti anak sungai pasang surut. Wilayah ini sangat subur dan paling produktif karena mendapat pasokan nutrisi fluvial (unsur hara) serta air tawar dalam jumlah besar dari aliran sungai. Pohon mangrove di sini umumnya tumbuh paling tinggi dan

besar. Salah satu lokasi yang terdapat tipe ini adalah di ekosistem mangrove di sepanjang Muara Sungai Bogowonto, Kulon Progo, Yogyakarta dan hutan mangrove di sepanjang aliran Sungai Mahakam, Kalimantan Timur.

5. *Dwarf mangrove*

Merupakan mangrove yang kerdil karena jarang terkena pasang surut dan kurang nutrien atau unsur hara. Tingginya tidak lebih dari 1,5 meter. Kondisi habitat jenis mangrove ini adalah keterbatasan nutrisi ekstrim, salinitas sangat tinggi, tanah berbatu kaku, dan pengaruh iklim dingin. Lokasi yang ditemukan jenis mangrove ini di Pulau Samba, Nusa Tenggara Timur, tepatnya di area yang bersalinitas tinggi di atas tanah kapur kaku.

6. *Hammock*

Merupakan jenis yang jarang terkena pasang surut dengan tinggi maksimum kurang dari 5 meter. Tipe ini tumbuh di atas lahan atau gundukan tanah yang posisinya lebih tinggi dari cekungan di sekitarnya sehingga jarang terkena pasang surut. Lokasi ditemukannya jenis ini adalah di ekosistem Everglades, Florida, Amerika Serikat.

Selain dari ciri-ciri fisik, jenis vegetasi mangrove dapat dibedakan secara kewilayahan atau spasial di mana dia tumbuh (Gambar 2.7). Pembagian zonasi vegetasi mangrove didasarkan pada jenis substrat, salinitas, pasang surut air laut, dan faktor genangan air laut. Adapun pembagian zonasi di dalam ekosistem mangrove adalah sebagai berikut (Irwanto, 2020):

1. Zona garis pantai (*Proximal*)

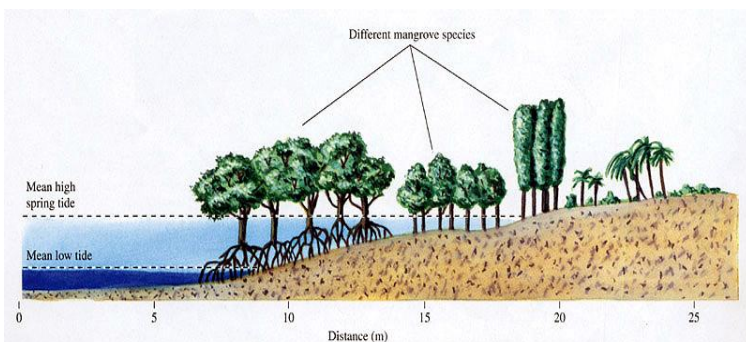
Zona atau kawasan ini merupakan kawasan paling depan yang langsung berhadapan dengan air laut. Besaran zona ini berkisar antara 10 – 75 meter dari garis pantai, tergantung dari faktor pasang surut air laut. Jenis mangrove yang sering ditemukan di zona ini antara lain *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Avicennia marina*, dan *Sonneratia alba*.

2. Zona tengah (*middle*)

Zona tengah ini berada di antara zona garis pantai dan zona belakang yang sering dihuni oleh jenis *Rhizophora apiculata*, *Avicennia officinalis*, *Bruguiera cylindrica*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Sonneratia caseolaris*, dan masih banyak lagi. Jenis substrat pada wilayah ini didominasi oleh lumpur liat.

3. Zona belakang (*distal*)

Kawasan paling belakang dari sistem zonasi hutan mangrove ini biasanya berbatasan langsung dengan hutan darat sehingga sulit untuk membedakan antara hutan mangrove dan hutan darat di kawasan ini. Beberapa jenis mangrove yang ditemukan di wilayah ini antara lain *Xylocarpus granatum*, *Nypa fruticans*, *Heritiera littoralis*, dan masih banyak lagi.



Gambar 2. 8 Pembagian Zonasi Ekosistem Mangrove Berdasarkan Jenis Spesiesnya
(Sumber :Irwanto, 2020)

DAFTAR PUSTAKA

- Adyasari, D., Pratama, M. A., Teguh, N. A., Sabdaningsih, A., Kusumaningtyas, M. A., & Dimova, N. (2021). Anthropogenic impact on Indonesian coastal water and ecosystems: Current status and future opportunities. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112689. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112689>
- Direktorat Konservasi Tanah dan Air, D. P. (2021). *Peta Mangrove Nasional*.
- Djamaludin, R. (2018). *Mangrove. Biologi, Ekologi, Rehabilitasi dan Konservasi*. Unsrat Press.
- Irwanto. (2020). *Komposisi dan Zonasi Hutan Mangrove*. <Http://Mangrove.Irwantoshut.Com/Zonasi-Mangrove.Jpg>.
- Karlina, S. (2012). *Jenis Perakaran Mangrove*. <Https://Marinescienceunpad.Wordpress.Com/2012/08/29/Jenis-Perakaran-Mangrove/>.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup/Kepala Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 3330 Tahun 2025 Tentang Peta Indikatif Batas Kesatuan Lanskap Mangrove, Pub. L. 3330 (2025).
- Mangrove Forest. (2026). *Food Chains and Webs*. Https://Mangroveforestndahl.Weebly.Com/Uploads/1/6/4/3/16436236/4508545_orig.Gif.
- Marice, L., & Spalding, M. D. (2024). *The State of the World's Mangroves* 2024. <https://doi.org/10.5479/10088/119867>
- Nybakken, J. W. (1988). *Biologi Laut. Suatu Pendekatan Ekologis*. PT Gramedia.

- Putra, A. A., Kamal, E., Yuspardianto, & Ira Desmiati. (2025). Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove: Panduan Konservasi dan Rehabilitasi Kawasan Pesisir untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. *Journal of Marine and Estuarine Science*, 1(1), 7–14.
- Rangkuti, A. M., Cordova, M. R., Rahmawati, A., Yulma, & Adimu, H. E. (2017). *Ekosistem Pesisir dan Laut Indonesia*. Bumi Aksara.
- Romimohtarto, K., & Juwana, S. (2009). *Biologi Laut. Ilmu Pengetahuan tentang Biologi Laut*. Djambatan.
- Santoso, N., Nugraha, R. P., Marfi, K. P., Ulfa, A., & Asy'Ari, R. (2026). Understanding of three decade temporal dataset of mangrove distribution on shoreline expansion in Subang Northern Coastal Area, Indonesia. *Trees, Forests and People*, 25, 101260. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2026.101260>
- Swasta, I. B. J. (2021). *Bioekologi Ekosistem Laut dan Estuari*. PT. RajaGrafindo Persada.
- Wang, D., Wu, M., Chen, Z., Cheng, C., Huang, L., Gao, C., Wan, B., & Qiu, P. (2025). Mapping mangrove forest degradation using lidar and Landsat data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 145, 104984. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104984>
- Wetland. (2026a). *Avicennia marina*. https://www.Wetlands.or.Id/Mangrove/Mangrove_species.Php?Id=14.
- Wetland. (2026b). *Rhizophora apiculata*. https://www.Wetlands.or.Id/Mangrove/Mangrove_species.Php?Id=36.

BAB 3

ADAPTASI DAN FISILOGI MANGROVE

Oleh Magdalin Ulaan

Ekosistem mangrove memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekologis, ekonomis, dan sosial lingkungan. Hutan mangrove berfungsi sebagai perlindungan alami garis pantai dari abrasi, mencegah air laut masuk, penyerap karbon (*blue karbon*), dan rumah bagi banyak biota di perairan. Namun demikian, kondisi ekstrim seperti salinitas tinggi, kondisi tanah anaerob, perubahan pasang surut, tekanan gelombang dan sedimentasi yang dinamis memungkinkan ekosistem ini untuk terus dan berkembang. Tumbuhan mangrove mengembangkan berbagai bentuk adaptasi morfologis dan fisiologis yang kompleks untuk dapat bertahan hidup dalam kondisi tertentu. Ada adaptasi fisiologis seperti mekanisme pengaturan ion (homeostasis), toleransi terhadap stres salinitas, efisiensi fotosintesis pada kondisi terbatas, dan kemampuan untuk mengatasi kondisi kurangnya oksigen pada sistem perakaran. Struktur khusus seperti akar napas (pneumatofor), akar tunjang, dan daun menunjukkan adaptasi morfologis.

Pemahaman mengenai adaptasi dan perkembangan mangrove sangatlah penting, terlebih dalam kaitannya untuk pengelolaan dan pemanfaatan ekosistem pesisir secara berkelanjutan. Hal Ini juga relevan dengan sistem budidaya terpadu seperti *silvofishery* atau wanamina, di mana mangrove

berperan untuk meningkatkan produktivitas perikanan dan stabilitas lingkungan. Sehingga, kajian fisiologi dan adaptasi mangrove sangat diperlukan untuk memahami bagaimana mekanisme internal pada tumbuhan ini dalam bertahan hidup di kondisi tekanan lingkungan yang begitu ekstrim. Oleh karena itu, kajian konsep adaptasi dan fisiologi mangrove diharapkan dapat menjadi dasar dalam upaya konservasi, pemulihan, serta pengembangan pemanfaatan ekosistem mangrove yang berkelanjutan

3.1 Konsep Adaptasi Mangrove dalam Perspektif Biologi

Dalam ilmu biologi, adaptasi adalah konsep dasar yang mengacu pada kemampuan suatu makhluk untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungannya untuk mempertahankan kelangsungan hidup dan reproduksi. (Futuyma, 2013). Adaptasi dianggap dalam kajian biologi evolusioner sebagai proses seleksi alam yang berlangsung lama, di mana individu dengan karakteristik lingkungan yang lebih sesuai akan memiliki tingkat keberhasilan hidup dan reproduksi yang lebih tinggi (Futuyma, 2013)

Pada tumbuhan, adaptasi umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama, yaitu adaptasi morfologi, fisiologi, dan tingkah laku (Taiz *et al.*, 2015). Adaptasi fisiologi mencakup proses internal seperti metabolisme, regulasi air, dan respons terhadap stres lingkungan. Adaptasi morfologi mencakup perubahan struktur atau bentuk luar tumbuhan, seperti pada akar, batang, dan daun.

Mangrove merupakan kelompok tumbuhan yang memiliki bentuk adaptasi yang sangat unik hal ini disebabkan karena habitat mangrove berada pada ekosistem pesisir yang ekstrem. Hal ini ditandai dengan kondisi salinitas tinggi, sifat tanah yang anaerob, fluktuasi pasang surut, serta tingginya tekanan

osmotik. Kondisi tersebut menjadikan mangrove sebagai objek penting dalam studi kasus tentang bagaimana adaptasi tumbuhan terhadap stres lingkungan (Tomlinson, 2016).

Secara morfologi, mangrove memiliki struktur unik seperti akar napas (pneumatofor), akar tunjang, dan akar lutut. Struktur-struktur ini membantu jaringan akar mendapatkan lebih banyak oksigen dalam tanah yang kekurangan oksigen. Selain itu, daun mangrove biasanya tebal, dilapisi zat lilin (kutikula), dan memiliki kelenjar garam, yang membantu mengurangi kehilangan air dan menjaga keseimbangan garam dalam jaringan (Parida and Jha, 2010).

Dari segi fisiologi, adaptasi mangrove berkaitan dengan mekanisme toleransi terhadap salinitas. Tumbuhan mangrove dapat mencegah garam masuk melalui mekanisme eksklusi pada akarnya, mengeluarkannya melalui kelenjar tertentu pada daunnya, atau menyimpannya dalam jaringan tertentu. Selain itu, mangrove memiliki kemampuan penyesuaian osmotik dengan mensintesis bahan organik seperti prolin dan gula untuk mempertahankan tekanan turgor sel (Alongi, 2009).

Ciri utama mangrove adalah mampu beradaptasi dengan kondisi anaerob. Tanah berlumpur yang tergenang air mengurangi difusi oksigen. Untuk mengatasi hal ini, mangrove mengembangkan jaringan parenkima, yang memungkinkan oksigen dipindahkan ke sistem perakaran dari bagian atas tanaman. Proses ini mempertahankan metabolisme dan mendukung respirasi seluler (Taiz *et al.*, 2015)

Selain adaptasi fisiologi dan morfologi, mangrove juga menggunakan teknik reproduksi vivipari, yaitu biji berkecambah saat masih berada pada pohon induk. Propagul memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk bertahan hidup di lingkungan pesisir yang dinamis, yang sering mengalami kerusakan fisik karena akibat gelombang dan arus.

3.2 Apa Itu Stres Salinitas?

Salinitas adalah komponen lingkungan yang sangat penting yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, terutama pada tahap perkembangan awal seperti tahap pembibitan. Tingginya akumulasi garam di dalam tanah menyebabkan stres salinitas, yang dapat menghambat pertumbuhan dan bahkan menyebabkan kematian tanaman. Sebagai tanggapan terhadap tekanan lingkungan yang ekstrim, kondisi ini menyebabkan berbagai perubahan fisiologis dan metabolik, yang mengakibatkan penurunan produktivitas tanaman.

Secara umum, dampak salinitas terhadap tanaman dapat dilihat melalui dua mekanisme utama, yaitu stres osmotik dan toksisitas ion akibat akumulasi ion natrium (Na^+) dan klorida (Cl^-) yang tinggi di dalam jaringan tanaman.

Tanaman pada tahap awal ketika mengalami stres akibat salinitas tinggi, akan menyerap air sedikit, sebaliknya akibat tekanan osmotik yang disebabkan oleh tingginya konsentrasi garam di tanah maupun pada jaringan tanaman, maka tanaman akan kehilangan air melalui stomata. Kondisi ini disebut sebagai stres hiperosmotik (Munns, 2005). Pada tahap awal, stres osmotik dapat menyebabkan berbagai perubahan fisiologis, termasuk penurunan fungsi membran sel, ketidakseimbangan unsur hara, penurunan kemampuan untuk mengeluarkan spesies oksigen reaktif (ROS), perubahan dalam aktivitas enzim antioksidan, penurunan laju fotosintesis, dan penurunan bukaan stomata (Rahnama *et al.*, 2010).

Secara umum pengaruh stres salinitas pada tanaman dibedakan menjadi dua tahap utama. Tahap pertama yaitu tidak berhubungan langsung dengan akumulasi ion, yaitu penurunan proses pertumbuhan yang disebabkan akibat osmotik yang disebabkan oleh penutupan stomata dan penghambatan proses ekspansi sel pada jaringan batang. Tahap kedua yaitu yang berkaitan langsung dengan akumulasi ion, yang disebabkan oleh tingginya konsentrasi ion sitotoksi sehingga mengganggu

proses metabolisme, dengan mempercepat penuaan jaringan, sehingga memicu kematian sel (Roy, Negrão and Tester, 2014). Oleh karena itu, stres salinitas juga dapat disebut sebagai stres hiperionik. Salah satu bukti efek toksiknya adalah akumulasi ion Na^+ dan Cl^- di dalam jaringan tanaman karena kadar natrium klorida yang tinggi di lingkungan. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan ion di dalam sel, yang mengganggu berbagai proses fisiologis dan dapat menyebabkan kerusakan fatal.

Meningkatnya konsentrasi natrium dapat menghambat penyerapan ion kalium (K^+), meskipun elemen ini memainkan peran penting dalam proses pertumbuhan dan pembelahan sel. Namun, akibatnya tanaman menjadi kurang produktif dan mengalami gejala penuaan lebih cepat (James *et al.*, 2011). Selain itu, garam yang masuk melalui sistem perakaran mengaktifasi berbagai jalur sinyal sebagai bentuk respons adaptasi tanaman. Respons tersebut melibatkan mekanisme toleransi ion, seperti membatasi penyerapan ion Na^+ oleh akar serta mengurangi distribusinya ke bagian tanaman lainnya.

Sebagai contoh, *Avicennia marina* dikenal sebagai spesies dengan toleransi salinitas yang tinggi, sedangkan *Rhizophora mucronata* juga menunjukkan kemampuan adaptasi terhadap garam yang relatif baik dibandingkan dengan *Bruguiera sexangula*, *Sonneratia caseolaris*, dan *Aegiceras corniculatum* merupakan spesies dengan toleransi rendah terhadap salinitas (Kodikara *et al.*, 2017). Berbagai hasil penelitian juga menunjukkan bahwa bibit mangrove memiliki adaptasi yang berbeda-beda terhadap tingkat salinitas. Selain itu, pada beberapa spesies mangrove klasifikasi taksonomi maupun karakter vivipar tidak selalu dapat dijadikan alat ukur yang akurat dalam menentukan kemampuan toleransi terhadap tingkat salinitas (Asaeda & Barnuevo, 2019).

Kondisi fisiologis mangrove bersifat dinamis dan dapat mengalami perubahan akibat pengaruh perubahan iklim serta kenaikan permukaan air laut yang dipicu oleh pemanasan global. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai mekanisme adaptasi mangrove terhadap perubahan salinitas menjadi hal yang cukup kompleks, tetapi sangat penting untuk menunjang pengelolaan dan pelestarian ekosistem mangrove secara berkelanjutan di lingkungan yang terus mengalami perubahan.

3.3 Adaptasi Mangrove Pada Lingkungan Salin

Adaptasi adalah kemampuan organisme dalam merespons dan mengatasi tekanan lingkungan agar tetap dapat bertahan hidup. Dalam hal ini, mangrove memiliki karakter adaptasi yang unik, sehingga mampu tumbuh dan berkembang pada habitat berlumpur yang umumnya bersifat asam serta minim oksigen (anoksik).

Adaptasi morfologi mangrove merupakan bentuk perubahan struktur tubuh yang memungkinkan tumbuhan ini bertahan hidup pada lingkungan pesisir yang ekstrem, seperti salinitas tinggi, kondisi tanah anaerob, serta dinamika pasang surut. Adaptasi ini berperan penting dalam mendukung fungsi fisiologis serta menjaga stabilitas ekosistem mangrove secara keseluruhan (Lovelock *et al.*, 2024)

1. Adaptasi terhadap kadar oksigen rendah

Sistem perakaran yang unik dan beragam pada mangrove membantunya untuk mendapatkan oksigen dari tempat yang tidak banyak aerasi. Adapun bentuk perakaran pada mangrove, diantaranya:

a. Akar napas (Pneumatofor)

Akar pneumatofor adalah akar yang tumbuh vertikal ke atas permukaan sedimen memiliki fungsi untuk meningkatkan suplai oksigen dalam kondisi tanah anaerob. Strukturnya memiliki lentisel yang memungkinkan oksigen berdifusi dari udara ke jaringan akar, ini merupakan adaptasi yang sangat penting untuk mendukung respirasi akar dan proses metabolisme dalam lingkungan yang tergenang (Amaliyah *et al.*, 2012)



Gambar 3. 1 Akar Napas pada *Avicennia* sp. (Api-api)

Sumber : <https://dkp.jatimprov.go.id/unit/dkp-tubankab//news/view/3738>

b. Akar tunjang (Stilt root)

Akar tunjang tumbuh dari batang dan memanjang hingga masuk ke substrat, berperan sebagai penyangga mangrove pada sedimen lunak agar tetap tegak dan kuat saat diterpa angin kencang. Selain menopang tanaman, struktur akar ini juga mampu menangkap partikel sedimen serta mengurangi energi

gelombang, sehingga membantu menekan abrasi pantai dan menjaga kestabilan ekosistem pesisir (MUHAMMAD, 2024).



Gambar 3. 2 Akar Tunjang pada *Rhizophora Mucronata*

Sumber : <https://dkp.jatimprov.go.id/unit/dkp-tubankab//news/view/3738>

c. Akar lutut (Knee root)

Akar lutut memiliki bentuk melengkung yang muncul ke atas permukaan tanah sebelum kembali menembus sedimen. Struktur ini berkaitan dengan fungsinya guna meningkatkan aerasi pada sistem perakaran serta memperluas proses pertukaran gas di

lingkungan yang miskin oksigen. Tipe akar ini biasanya dijumpai pada mangrove genus *Bruguiera sp*



Gambar 3. 3 Akar Lutut pada *Bruguiera sp*

Sumber : <https://dkp.jatimprov.go.id/unit/dkp-tubankab//news/view/3738>

2. Adaptasi terhadap kadar garam tinggi

Struktur daun mangrove tebal dan kokoh serta dilengkapi dengan kelenjar garam yang berperan mengeluarkan kelebihan garam dari jaringan tanaman, serta jaringan penyimpan air yang membantu mempertahankan keseimbangan osmotik. Di samping itu, stomata pada daun tersusun secara khusus untuk mengurangi tingkat penguapan air.

Daun pada mangrove tipe non-secreter seperti *Rhizophora sp*, memiliki struktur khas sebagai bentuk penyesuaian terhadap lingkungan hidupnya, sehingga mampu menimbun garam mineral melalui pengendapan pada batang maupun daun. Karakteristik utama mangrove non-secreter adalah daun yang tebal dan kokoh yang berfungsi menyimpan air untuk mempertahankan keseimbangan salinitas. Kandungan garam dalam jaringan

tubuh mangrove turut memengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangannya. Salinitas merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan mangrove, karena beberapa jenis mangrove mampu membatasi penyerapan garam dari lingkungan tumbuhnya. Pada umumnya, mangrove menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik pada kondisi salinitas rendah, mengingat tumbuhan ini bersifat toleran terhadap garam dan bukan bergantung pada kadar garam tinggi untuk hidup. Oleh sebab itu, peningkatan salinitas air laut hingga lebih dari 35 ppt dapat menghambat pertumbuhan bahkan menyebabkan kematian mangrove. Pada mangrove tipe non-secreter seperti *Rhizophora sp*, garam yang masuk ke dalam tubuh tanaman akan disimpan pada jaringan tertentu. Sebagai bentuk adaptasi terhadap kelebihan garam, tanaman akan menggugurkan daun-daun tua untuk membantu mengurangi akumulasi garam. Meskipun jumlah garam yang dikeluarkan relatif sedikit, mekanisme ini berperan penting dalam meningkatkan ketahanan mangrove terhadap stres salinitas tinggi (Enjella, Prayitno and Minsas, 2024).

Daun mangrove yang bersifat sukulen, ditandai dengan jaringan daun yang tebal, hal ini berkaitan dengan fungsinya guna meningkatkan kapasitas penyimpanan air, efisiensi proses fotosintesis, serta penyerapan CO₂. Selain itu, lapisan epidermis daun yang dilindungi kutikula berlilin menjadi bentuk adaptasi terhadap kondisi salinitas tinggi, karena dapat mengurangi laju transpirasi dan membantu mempertahankan keseimbangan air di dalam jaringan tanaman. Karakteristik lain yang berhubungan dengan sifat sukulen pada mangrove mencakup perkembangan anatomi tipe Kranz, berkurangnya kerapatan stomata, serta ukuran stomata yang cenderung lebih besar. Pada *Rhizophora mangle* atau mangrove merah, peningkatan sifat sukulen sebagai respons

terhadap stres garam ditunjukkan dengan pembesaran sel hipodermis hialin yang berfungsi meningkatkan kemampuan daun dalam menyimpan air. Selain itu, daun *Avicennia marina* memiliki struktur anatomi khas berupa kelenjar garam dan jaringan hipodermis penyimpan air yang berperan penting dalam menunjang adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. (Saharani *et al.*, 2025).

3. Adaptasi Reproduksi

Adaptasi reproduksi pada mangrove ditunjukkan melalui dua mekanisme utama, yaitu viviparitas dan penyebaran propagul. Mangrove bereproduksi melalui proses pembungaan yang penyerbukannya dibantu oleh angin maupun serangga. Setelah terjadi penyerbukan, biji tidak segera lepas ke lingkungan, tetapi tetap menempel pada pohon induk dan mengalami perkecambahan hingga berkembang menjadi propagul. Kemampuan biji untuk berkecambah saat masih melekat pada induknya dikenal sebagai viviparitas.

4. Adaptasi terhadap Kondisi Anaerobik (Tanah Tergenang)

Selain menghadapi tekanan salinitas, mangrove juga tumbuh pada kondisi tergenang yang menyebabkan tanah bersifat anaerobik. Keadaan tanah yang jenuh air menghambat proses difusi oksigen sehingga sistem perakaran rentan mengalami kekurangan O_2 dan paparan senyawa toksik seperti H_2S serta Fe^{2+} . Sebagai bentuk adaptasi terhadap kondisi tersebut, mangrove mengembangkan struktur khusus berupa pneumatofor dan akar tunjang yang memiliki lentisel pada permukaannya. Pneumatofor berperan sebagai tempat masuknya udara, terutama ketika air surut, sedangkan lentisel berfungsi mengatur pertukaran gas antara jaringan tanaman dan atmosfer. Oksigen yang masuk selanjutnya disalurkan ke bagian akar melalui jaringan aerenkima, yaitu ruang antarsel yang berkembang luas dan berfungsi

sebagai sistem transportasi gas di dalam tanaman. Melalui proses difusi tersebut terjadi fenomena radial oxygen loss (ROL), yaitu pelepasan oksigen dari akar ke daerah sekitarnya (rhizosfer). Mekanisme ini membantu mengoksidasi ion-ion yang bersifat toksik sekaligus membentuk mikrohabitat aerobik di sekitar perakaran. Proses tersebut berperan penting dalam mengurangi toksisitas sulfida serta mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang menguntungkan (Kodikara *et al.*, 2020).

Ketika ketersediaan oksigen berada pada tingkat yang sangat rendah, akar mangrove akan beralih ke mekanisme metabolisme melalui fermentasi anaerob. Walaupun proses ini menghasilkan energi yang jauh lebih sedikit, yaitu sekitar 2 ATP per molekul glukosa dibandingkan sekitar 36 ATP pada respirasi aerob, energi tersebut masih mampu menopang aktivitas sel untuk sementara waktu. Untuk mengurangi efek negatifnya, hasil metabolisme fermentasi disimpan di dalam vakuola dan akan dinetralkan kembali setelah kondisi aerobik kembali normal (Rahim and Baderan, 2017).

5. Fisiologi Fotosintesis pada Mangrove

Mekanisme fotosintesis pada mangrove juga tergolong unik hal ini sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan ekstrem, seperti intensitas cahaya tinggi, salinitas tinggi, serta kondisi substrat yang miskin oksigen. Salah satu respons fisiologis utama terlihat pada pengaturan stomata atau mulut daun. Ketika mengalami cekaman, terutama akibat salinitas tinggi, stomata cenderung menutup sebagian untuk mengurangi kehilangan air melalui proses transpirasi. Meskipun kondisi tersebut dapat menurunkan penyerapan CO₂ dan laju fotosintesis, efisiensi penggunaan air oleh tanaman menjadi lebih optimal. Selain itu, struktur anatomi daun juga berperan penting dalam mendukung adaptasi proses fotosintesis pada mangrove. Daun yang tebal dan bersifat sukulen, disertai lapisan kutikula dan

keberadaan trikoma, berfungsi menekan laju penguapan air. Beberapa spesies mangrove juga mampu mengatur posisi atau orientasi daun guna mengurangi paparan radiasi matahari secara langsung, terutama pada siang hari ketika suhu dan evaporasi meningkat. Pada tingkat fisiologis, fotosistem II pada mangrove mampu mempertahankan kestabilan proses fotosintesis melalui mekanisme perlindungan *non-photochemical quenching* (NPQ). Mekanisme ini berfungsi mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan energi cahaya. Kondisi kesehatan fotosintesis tanaman dapat diketahui melalui nilai fluoresensi klorofil (F_v/F_m). Dalam keadaan normal dan sehat, nilai F_v/F_m umumnya berkisar antara 0,78–0,83, sedangkan pada kondisi stres akibat salinitas tinggi nilai tersebut dapat menurun hingga di bawah 0,70, yang menandakan terjadinya penurunan efisiensi fotosintesis pada tanaman (Cardona *et al.*, 2019).

Metabolisme karbon pada mangrove sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan salin menunjukkan tingkat fleksibilitas yang tinggi. Hal ini terlihat dari aktivitas enzim Rubisco yang tetap dapat dipertahankan meskipun konsentrasi CO_2 di dalam jaringan daun menurun. Selain berfungsi menjaga keseimbangan osmotik sel, senyawa osmolit organik juga berperan sebagai cadangan karbon bagi tanaman. Kemampuan adaptasi tersebut menyebabkan adanya perbedaan toleransi salinitas antarspesies mangrove. Spesies yang memiliki kemampuan fotosintesis lebih toleran, seperti *Avicennia marina*, mampu bertahan pada lingkungan dengan tingkat salinitas sangat tinggi atau hipersalin. Sebaliknya, *Rhizophora apiculata* cenderung tumbuh lebih baik pada kondisi salinitas sedang.

6. Bentuk Adaptasi Mangrove terhadap suhu tinggi, kekeringan, keterbatasan nutrisi

Ekosistem mangrove tumbuh di wilayah pesisir dengan kondisi lingkungan yang ekstrem dan sangat

dinamis. Selain menghadapi tekanan salinitas serta genangan akibat pasang surut, mangrove juga harus mampu beradaptasi terhadap suhu tinggi, periode kekeringan, dan rendahnya ketersediaan unsur hara dalam substrat. Kondisi tersebut dapat memengaruhi berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk fotosintesis, respirasi, penyerapan air, dan metabolisme nutrisi. Oleh sebab itu, mangrove mengembangkan beragam bentuk adaptasi, baik secara morfologis, anatomis, fisiologis, maupun biokimia, agar tetap mampu tumbuh dan mempertahankan produktivitasnya di lingkungan yang penuh tekanan.

Suhu yang tinggi menyebabkan peningkatan pada laju transpirasi serta memicu stres panas pada jaringan tanaman, sementara kondisi kekeringan dapat mengurangi ketersediaan air yang dibutuhkan untuk proses metabolisme. Selain itu, substrat pada ekosistem mangrove umumnya memiliki kandungan oksigen dan nutrisi yang rendah akibat kondisi anaerobik dan tingginya salinitas. Sebagai bentuk penyesuaian terhadap kondisi tersebut, mangrove mengembangkan berbagai strategi adaptasi, seperti pembentukan daun sukulen, pengaturan bukaan stomata, peningkatan efisiensi penggunaan air, pembentukan sistem perakaran khusus, serta hubungan simbiosis dengan mikroorganisme tertentu guna membantu penyerapan nutrisi. Kemampuan adaptasi ini menjadikan mangrove sebagai salah satu vegetasi pesisir yang sangat toleran terhadap perubahan lingkungan. Adaptasi tersebut juga berperan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem mangrove dan mendukung fungsi ekologisnya, seperti melindungi pantai, menyerap karbon, menyediakan habitat bagi berbagai biota, serta menopang produktivitas kawasan pesisir.

- a. Suhu tinggi : Lingkungan dengan suhu tinggi, menyebabkan mangrove meningkatkan produksi *heat shock proteins* (HSPs) yang berfungsi melindungi enzim dan membran sel dari kerusakan maupun denaturasi akibat cekaman panas. Selain itu, mangrove juga melakukan penyesuaian

- terhadap komposisi lipid membran guna menjaga stabilitas dan fluiditas membran sel pada kondisi suhu yang ekstrem.
- b. Kekeringan: Pada musim kemarau, terutama di daerah hulu estuari, mangrove mengurangi kehilangan air melalui pengaturan bukaan stomata, penebalan lapisan kutikula daun, serta pengguguran sebagian daun guna menekan laju transpirasi.
 - c. Keterbatasan nutrisi: Mangrove membentuk interaksi simbiotik dengan berbagai mikroorganisme tanah, seperti mikoriza dan bakteri penambat nitrogen. Interaksi ini berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara pada substrat yang minim nutrisi serta membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai tekanan abiotik. Kemampuan tersebut mencerminkan tingginya fleksibilitas fisiologis mangrove, sehingga ekosistem ini tetap mampu bertahan dan berkembang pada lingkungan pesisir yang sangat dinamis (Deng *et al.*, 2026).

3.4 Faktor Lingkungan Utama yang Mempengaruhi Adaptasi dan Fisiologi Mangrove

Mangrove tumbuh pada wilayah peralihan antara daratan dan lautan yang memiliki kondisi lingkungan sangat dinamis. Faktor-faktor utama seperti salinitas, suhu, pH, kondisi redoks tanah, serta pasang surut menjadi pengendali penting yang memengaruhi pembentukan adaptasi morfologis dan fisiologis mangrove (Wang *et al.*, 2024). Keterkaitan antara kelima faktor tersebut memengaruhi pola distribusi, produktivitas, dan kemampuan adaptasi mangrove dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya di ekosistem pesisir.

1. Salinitas

Mangrove termasuk tumbuhan halofita yang memiliki kemampuan untuk tumbuh dan bertahan pada lingkungan dengan kadar garam tinggi. Salinitas menjadi salah satu

faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap fisiologi mangrove. Fluktuasi salinitas akibat intrusi air laut, curah hujan, maupun evaporasi dapat menyebabkan tekanan osmotik yang tinggi pada tanaman (Wang *et al.*, 2024). Keadaan tersebut menyebabkan mangrove mengembangkan berbagai strategi adaptasi, antara lain membatasi penyerapan garam melalui akar, mensekresikan garam lewat daun, serta mengakumulasi ion di dalam vakuola sel. (Parida and Jha, 2010). Secara fisiologis, salinitas tinggi dapat menurunkan laju fotosintesis, pertumbuhan, dan produktivitas primer mangrove (Alongi, 2009)

2. Suhu

Suhu perairan memiliki pengaruh besar terhadap berbagai proses fisiologis mangrove, seperti metabolisme, respirasi, dan fotosintesis. Perubahan iklim global yang menyebabkan peningkatan suhu dapat memperbesar laju evapotranspirasi, sehingga tekanan salinitas yang dialami mangrove menjadi lebih tinggi (Alongi, 2008). Pada umumnya, mangrove mampu tumbuh dengan baik pada suhu sekitar 25–30°C. Namun, suhu yang terlalu tinggi dapat memicu dehidrasi pada jaringan tanaman dan mengganggu aktivitas enzim fotosintesis. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah dapat menghambat metabolisme serta memperlambat pertumbuhan vegetatif mangrove (Alamsyah, Ir Suhartini, *et al.*, 2025)

3. Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH pada perairan dan sedimen mangrove umumnya dipengaruhi oleh pencampuran air laut, air tawar, serta proses penguraian bahan organik. Kondisi pH yang stabil sangat dibutuhkan untuk menjaga ketersediaan unsur hara dan mendukung aktivitas mikroorganisme di dalam tanah (Siswanto, 2026). Perubahan pH dapat memengaruhi keseimbangan ion dalam jaringan mangrove

sehingga proses penyerapan nutrisi menjadi terganggu. Bahkan pada kondisi yang terlalu asam, pH rendah dapat meningkatkan tingkat toksisitas logam berat di sekitar area perakaran tanaman.

4. Potensial Redoks (Eh) Tanah

Kondisi redoks pada tanah mangrove umumnya rendah atau bersifat anaerob karena tingginya kandungan bahan organik serta pengaruh genangan air pasang surut. Keadaan ini berpengaruh terhadap berbagai proses biogeokimia, seperti nitrifikasi, denitrifikasi, hingga pembentukan senyawa reduktif seperti H_2S . Minimnya oksigen di dalam sedimen membuat mangrove harus beradaptasi secara fisiologis, salah satunya dengan membentuk jaringan aerenkima yang membantu menyalurkan oksigen ke akar. Selain itu, kondisi redoks juga berperan penting dalam menentukan kualitas substrat dan menjaga kesehatan sistem perakaran mangrove (Rivera-Monroy *et al.*, 2017)

5. Pasang Surut

Pasang surut merupakan faktor hidrodinamika penting yang berperan dalam membentuk kondisi lingkungan mangrove. Perubahan pola pasang surut, terutama akibat kenaikan permukaan air laut, dapat mempercepat degradasi hutan mangrove. Keadaan ini dapat memicu abrasi pantai yang menyebabkan terjadinya pengikisan serta perpindahan sedimen. Di samping itu, energi gelombang dan arus yang besar mampu mengurangi kestabilan substrat sebagai media penyimpan unsur hara bagi mangrove. Dampaknya, substrat menjadi kurang mendukung bagi pertumbuhan dan keberlangsungan hidup mangrove. Tingginya gelombang juga turut meningkatkan potensi abrasi di kawasan pesisir (Anurogo *et al.*, 2018)

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, S. *et al.* (2023) "Abiotic stress tolerance in mangroves with a special reference to salinity," *Plant Sci Today*, 10(2), pp. 58–68.
- Alamsyah, R. *et al.* (no date) *BIOLOGI MANGROVE MENARA PRESS INDONESIA*. Available at: www.menarapress.com.
- Alongi, D.M. (2008) "Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change," *Estuarine, coastal and shelf science*, 76(1), pp. 1–13.
- Alongi, D.M. (2009) *The energetics of mangrove forests*. Springer.
- Amaliyah, S. *et al.* (2012) "Pengaruh Umur Tegakan Tanaman Terhadap Adaptasi Pneumatophor *Avicennia alba* di Kawasan Wonorejo-Surabaya," *Journal of Mathematics and Science*, 15(1), pp. 11–14.
- Anurogo, W. *et al.* (2018) "Pengaruh pasang surut terhadap dinamika perubahan hutan mangrove di kawasan Teluk Banten," *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(2), pp. 130–139.
- Cardona, T. *et al.* (2019) "Early Archean origin of photosystem II," *Geobiology*, 17(2), pp. 127–150.
- Deng, Z. *et al.* (2026) "Global carbon emissions and decarbonization in 2025: Climate chronicles," *Nature Reviews Earth & Environment*, pp. 1–3.
- Enjella, E., Prayitno, D.I. and Minsas, S. (2024) "Analisis Garam dari Daun Mangrove *Rhizophora stylosa* dan *Rhizophora mucronata*," *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 7(2), pp. 121–126.
- Futuyma, D.J. (2013) "The evolution of evolutionary ecology," *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 59(4), pp. 172–180.

- James, R.A. *et al.* (2011) "Major genes for Na⁺ exclusion, Nax1 and Nax2 (wheat HKT1; 4 and HKT1; 5), decrease Na⁺ accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions," *Journal of experimental botany*, 62(8), pp. 2939–2947.
- Kodikara, K.A.S. *et al.* (2020) "Oxidative stress, leaf photosynthetic capacity and dry matter content in young mangrove plant *Rhizophora mucronata* Lam. under prolonged submergence and soil water stress," *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(8), pp. 1609–1622.
- Lovelock, C.E. *et al.* (2024) "Mangrove ecology guiding the use of mangroves as nature-based solutions," *Journal of Ecology*, 112(11), pp. 2510–2521.
- MUHAMMAD, F.N. (2024) "REDUKSI GELOMBANG DENGAN MANGROVE *Rhizophora* sp SEBAGAI ALTERNATIF PELINDUNG PANTAI (STUDI KASUS PANTAI TANJUNG PUTUS, PESAWARAN)."
- Munns, R. (2005) "Genes and salt tolerance: bringing them together," *New phytologist*, 167(3), pp. 645–663.
- Parida, A.K. and Jha, B. (2010) "Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review," *Trees*, 24(2), pp. 199–217.
- Rahim, S. and Baderan, D.W.K. (2017) *Hutan mangrove dan pemanfaatannya*. Deepublish.
- Rahnama, A. *et al.* (2010) "Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil," *Functional Plant Biology*, 37(3), pp. 255–263.
- Rivera-Monroy, V.H. *et al.* (2017) *Mangrove ecosystems: a global biogeographic perspective*. Springer.
- Roy, S.J., Negrão, S. and Tester, M. (2014) "Salt resistant crop plants," *Current opinion in Biotechnology*, 26, pp. 115–124.

- Saharani, N.P. *et al.* (2025) "Analisis Adaptasi dan Persebaran Spesies Mangrove di Jawa Tengah," *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, 27(1), pp. 39–48.
- Siswanto, E. (2026) "Bioremediasi dan Fitoremediasi Tanah Pertanian Tercemar Pestisida sebagai Upaya Pengelolaan Lahan Berkelanjutan: Studi Kasus: Desa Slemanan, Kec. Udanawu, Kab. Blitar," *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 4(1), pp. 21–32.
- Taiz, L. *et al.* (2015) "Plant physiology and development."
- Tomlinson, P.B. (2016) *The botany of mangroves*. Cambridge University Press.
- Wang, W. *et al.* (2024) "Spatio-temporal variation of water salinity in mangroves revealed by continuous monitoring and its relationship to floristic diversity," *Plant diversity*, 46(1), pp. 134–143.

BAB 4

KEANEKARAGAMAN HAYATI MANGROVE

Oleh Nurul Musdalifah

4.1 Pengertian Keanekaragaman Hayati Mangrove

Keanekaragaman hayati (*biodiversity*) adalah keragaman kehidupan di bumi yang meliputi bakteri, jamur, tumbuhan dan hewan yang seluruhnya membentuk satu ekosistem (Yuliani *et al.*, 2023). Menurut Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1994, keanekaragaman hayati didefinisikan sebagai variasi di antara organisme hidup yang berasal dari semua lingkungan, seperti habitat darat, laut, dan perairan lainnya, termasuk sistem ekologi tempat mereka berada. Konsep ini mencakup variasi genetik dalam spesies, keanekaragaman antar spesies, dan perbedaan antar ekosistem.

Keanekaragaman hayati menawarkan banyak manfaat bagi kehidupan manusia, meliputi kebutuhan dasar untuk bertahan hidup, makna moral dan spiritual, serta apresiasi visual atau estetika. Jasa ekologisnya mendukung keseimbangan siklus air, mengoptimalkan pengelolaan sumber daya air, menjaga produktivitas tanah dan keberlanjutan lingkungan, mengurangi risiko erosi dan degradasi pantai, serta menstabilkan kondisi iklim lokal. Selain itu, keanekaragaman hayati memberikan manfaat konsumtif langsung dengan menyediakan sumber daya untuk makanan, pakaian, dan perumahan, sekaligus menghasilkan nilai ekonomi dan produktif melalui

kontribusinya terhadap perdagangan di tingkat regional, nasional, dan global (Adom *et al.*, 2019).

Ekosistem mangrove umumnya tersebar di sepanjang zona pantai pasang surut di wilayah tropis dan subtropis. Menurut (Purnomo & Permatasari, 2021), mangrove terdiri dari beragam komunitas tumbuhan yang tumbuh subur di daerah pesisir beriklim tropis dan subtropis. Ekosistem ini secara unik beradaptasi dengan habitat salin dan lanskap pesisir dengan tanah yang tergenang air dan miskin oksigen. Hutan mangrove sebagian besar dibentuk oleh vegetasi mangrove khusus yang mampu tumbuh di lingkungan pantai berlumpur, berpasir, dan pasang surut. Namun, tidak semua daerah pesisir mendukung pertumbuhan mangrove, karena beberapa wilayah memiliki karakteristik lingkungan yang tidak cocok untuk perkembangannya (Rahim & Baderan, 2017; Pramudji, 2003).

Hutan mangrove adalah sistem ekologis kompleks yang dicirikan oleh interaksi yang kuat antara flora, fauna, mikroorganisme, dan lingkungan fisik sekitarnya. Hutan mangrove memiliki fungsi ekologis yang vital, termasuk melindungi garis pantai dari erosi, mengurangi intrusi air laut, menyediakan tempat makan dan pembibitan, serta mendukung habitat bagi berbagai spesies ikan, kerang, dan udang. Selain signifikansi ekologisnya, hutan mangrove juga berkontribusi pada kegiatan ekonomi dengan menyediakan sumber daya seperti kayu bakar dan arang untuk penggunaan industri. Keberadaannya sangat penting dalam menjaga integritas garis pantai, memperkuat ketahanan pesisir, dan meningkatkan produktivitas laut, sekaligus mempertahankan beragam komunitas biologis dengan nilai ekologis dan ekonomi yang tinggi (Melayu & Latifa, 2025).

4.2 Keanekaragaman Flora Mangrove

Di hutan mangrove dapat ditemukan beranekaragam jenis tumbuhan yang hidup. Jenis-jenis tumbuhan yang diklasifikasikan dalam 3 kelompok, sebagai berikut:

1. Mangrove sejati

Mangrove sejati (*true mangrove*) adalah kelompok jenis mangrove yang membentuk tegakan murni/mendominasi dalam komunitas mangrove. Memiliki ciri-ciri akar napas dan viviparous, misalnya Bakau (*Rhizophora*), Api-api (*Avicennia*), Pedada (*Sonneratia*), Tancang (*Bruguiera*), Tingi (*Ceriops*), Nyirih (*Xylocarpus*), Teruntun (*Aegiceras*), Dungun (*Heritiera*), dan Nipah (*Nypa fruticans*).

2. Mangrove tidak sejati

Mangrove tidak sejati terdiri dari spesies tumbuhan yang jarang membentuk tegakan monospesifik dan umumnya tidak mendominasi komposisi atau kerangka struktural komunitas mangrove. Spesies yang dikategorikan dalam kelompok ini termasuk *Excoecaria*, *Xylocarpus*, *Heritiera*, *Aegiceras*, *Aegialitis*, *Acrostichum*, *Camptostemon*, *Scyphiphora*, *Phymatopteris* dan *Osbornia*.

3. Mangrove ikutan

Tumbuhan mangrove terkait mengacu pada spesies tumbuhan yang tumbuh berdampingan dengan spesies mangrove utama dan minor di dalam habitat mangrove. Spesies ini bukanlah komponen inti mangrove tetapi berkontribusi pada ekosistem sekitarnya. Contoh umum termasuk pandan (*Pandanus sp.*) dan kembang laut (*Thespesia sp.*).

Indonesia memiliki salah satu keanekaragaman hayati mangrove terkaya di dunia, dengan 47 spesies yang diklasifikasikan sebagai mangrove sejati dan 22 spesies yang diidentifikasi sebagai mangrove terkait. Secara keseluruhan, keanekaragaman mangrove Indonesia mencapai sekitar 243

spesies, meliputi berbagai kelompok tumbuhan seperti pakis, rumput, epifit, palem, tumbuhan merambat, dan semak (Arinasa, 2012). Sedangkan (Noor *et al.*, 1999) melaporkan bahwa 40 dari 50 spesies mangrove sejati yang dikenal di dunia ditemukan di Indonesia, yang menggarisbawahi kekayaan ekologis negara yang luar biasa. Di seluruh kepulauan Indonesia, sekitar 202 spesies mangrove telah tercatat, tersebar di beberapa pulau utama, termasuk Jawa (166 spesies), Sumatera (157 spesies), Kalimantan (150 spesies), Irian Jaya (142 spesies), Sulawesi (135 spesies), Maluku (133 spesies), dan Kepulauan Sunda Kecil (120 spesies).

Terdapat 39 jenis mangrove sejati di Kawasan Indo-Australia yaitu *Acanthus ebracteatus*, *A. iliciolius*, *Aegilites annulata*, *Aegiceras corniculatum*, *A. floridum*, *Avicennia alba*, *A. eucalyptifolia*, *A. marina*, *A. officinalis*, *Bruguiera cylindrica*, *B. exaristata*, *B. gymnorhiza*, *B. hainesii*, *B. parviflora*, *B. sexangular*, *Camptosperma philippinensis*, *C. schultzei*, *Ceriops decandra*, *C. tagal*, *Cynometra ramiflora*, *Excoecaria agallocha*, *Heritiera litoralis*, *Kandelia candel*, *Lumnitzera littorea*, *L. recemosa*, *Nypa fruticans*, *Osbornia octodonta*, *Phoenix paludosa*, *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa*, *Scyphiphora hydrophyllacea*, *Sonneratia alba*, *S. caaseolaris*, *S. ovata*, *Xylocarpus granatum*, *X. mekongensis*, dan *X. moluccensis* (Noor *et al.*, 1999).

4.2.1 Api-Api Hitam (*Avicennia Alba*)

Pohon yang tumbuh menyebar sampai mencapai tinggi 25 m. Kumpulan beberapa pohon membentuk sistem perakaran horizontal dan akar nafas. Kulit kayu berwarna keabu-abuan atau gelap kecokelatan. Memiliki ciri khas yang terletak pada daun yang ramping dan Panjang serta buah yang berbentuk seperti cabe atau biji buah mete yang berwarna hijau kekuningan, jenis ini biasanya ditemukan pada wilayah yang berlumpur, tepi Sungai, daerah kering,

toleran terhadap salinitas tinggi. Untuk penyebarannya, ditemukan diseluruh Indonesia.



Gambar 4. 1 *Avicennia Alba*

(Sumber: Purnomo and Permatasari, 2021)

4.2.2 Api-Api Putih (*Avicennia Marina*)

Spesies mangrove ini adalah pohon yang tumbuh tegak dan dapat mencapai ketinggian sekitar 30 meter. Ia memiliki sistem perakaran horizontal yang rumit menyerupai struktur seperti pensil, yang ditutupi oleh lentisel yang memfasilitasi pertukaran gas. Kulit luar pohon berwarna hijau keabu-abuan, sedangkan kulit bagian dalam berwarna krem pucat atau putih. Buahnya yang khas berwarna hijau keabu-abuan, berbentuk seperti kacang kecil, ditutupi bulu halus, dan memiliki ujung yang runcing. Spesies ini beradaptasi dengan baik pada substrat berlumpur, tepi sungai, zona pantai kering, dan daerah dengan tingkat salinitas yang sangat tinggi. Ia umumnya menghuni lingkungan muara, mulut sungai, dan teluk pantai yang terlindungi di mana pengaruh pasang surut sedang. Toleransinya yang luar biasa terhadap kondisi lingkungan yang asin dan menantang menjadikannya

komponen penting dari ekosistem mangrove di habitat tersebut. Jenis Api-api putih ditemukan tumbuh menyebar diseluruh Indonesia. Karena populasi yang cukup mudah ditemukan ini, sehingga memiliki banyak manfaat misalnya kayu bakar. Akarnya menjadi habitat/tempat mencari makan berbagai jenis kepiting bakau, dan siput.



Gambar 4. 2 *Avicennia Marina*

(Sumber: Purnomo and Permatasari, 2021)

4.2.3 Jeruju Hitam (*Acanthus Illicifolius*)

Jenis ini merujuk pada kategori Semak dengan tinggi mencapai 1,5 meter. Memiliki percabangan yang sedikit dan umumnya muncul dari bagian-bagian yang lebih tua. Buah jeruju hitam berwarna hijau saat masih muda dan permukaan licin dan mengkilat. Bentuknya lonjong seperti buah melinjo dengan panjang mencapai 3 cm. Ciri khas daun yang meruncing dan berduri tajam. Permukaan daun yang halus dengan tepi yang bervariasi bergerigi besar seperti gergaji atau agak rata dan secara gradual menyempit menuju pangkal. Jeruju hitam biasanya

ditemukan dekat dengan mangrove. Jenis ini dapat ditemukan diseluruh Indonesia.



Gambar 4.3 *Acanthus ilicifolius*

(Sumber: Purnomo and Permatasari, 2021)

4.2.4 Nipah (*Nypa Fruticans*)

Palma tanpa batang dipermukaan serta membentuk rumpun/kelompok. Batangnya terdapat dibawah permukaan tanah, kuat dan mengarpu. Jenis ini mampu tumbuh mencapai 4-9 meter. Memiliki buah berbentuk bulat berwarna cokelat, buah yang kaku berserat serta oada setiao buah terdapat satu biji yang berbentuk telur. Diameter buah mencapai 45 cm, dengan bentuk daun tersusun dengan Panjang tandan 4-9 m. nipah tumbuh dibagian belakang bakau, terutama daerah aliran Sungai yang memasok air ke pesisir. Jenis ini ditemukan dan tumbuh menyebar di seluruh Indonesia.



Gambar 4. 4 *Nypa Fruticans*

(Sumber: Iswari, 2023)

4.2.5 Bakau Bandul (*Rhizophora Mucronata*)

Bakau bandul memiliki tinggi hingga mencapai 27 m, dengan diameter batang hingga 70 cm yang berwarna gelap hingga hitam. Memiliki akar tunjang dan akar udara yang tumbuh dari percabangan bagian bawah. Bakau bondol memiliki buah berbentuk lonjong dan Panjang berwarna hijau kecokelatan, degan permukaan kasar di bagian pangkal. Ciri khasnya yaitu daun yang berbentuk elips melebaar hingga bulat memanjang, Panjang 11-23 cm serta lebar daun hingga 5-13 cm. jenis ini bisa ditemukan di seluruh Indonesia dengan syarat tumbuh pada daerah Sungai yang berlumpur halus, mudah beradaptasi dengan ketinggian bervariasi atau yang diigenangi air pasang agak besar. Jenis bakau ini memiliki banyak manfaat yaitu kayunya sebagai bahan bangunan, kayu bakar dan bahan arang. Akar napasny menjadi habitat berbagai jenis biota air laut.



Gambar 4. 5 *Rhizophora Mucronate*

(Sumber: Purnomo and Permatasari, 2021)

4.2.6 Pidada Merah (*Sonneratia Caseolaris*)

Bidada merah memiliki ketinggian mencapai 15 meter. Akar napas vertical seperti kerucut (tinggi 1 meter) yang banyak dan sangat kuat. Memiliki buah berbentuk seperti bola, bagian ujung bertangkai dan bagian dasarnya terbungkus kelopak daun. Memiliki benang sari yang berwarna putih pada bagian ujung dan pangkalnya berwarna merah. Ciri khas yang membedakan dengan jenis *Sonneratia* sp lainnya yaitu gagang/tangkai daun berwarna kemerahan. Jenis ini tumbuh pada daerah dengan salinitas rendah tanah berlumpur.



Gambar 4. 6 *Rhizophora Mucronate*

(Sumber: Purnomo and Permatasari, 2021)

4.2.7 Api-Api (*Avicennia Lanata*)

Tinggi pohon bisa mencapai 7-meter dengan akar nafas berbentuk pensil keluar dari akar hprizontal menyembul ke permukaan tanah. Jenis ini biasanya ditemukan pada dataran berlumpur dan tepi Sungai. Batang pohon api-api tegak dan biasanya memiliki banyak percabangan yang menyebar. Kulit batangnya berwarna gelap, serta daun yang berwarna hijau dibagian permukaan, dan berpearna putih kekuningan dan terdapat rambut-rambut halus pada bagian bawah daun. Ukuran daunnya sekitar 9-5 cm. bunga berwarna kuninng pucat, dan biasanya terdapat pada ujung atau ketiak tangkai. Buahnya berwarna kuning dengan ukuran 1,5 x 2,5 cm (Setyadi *et al.*, 2023).

4.2.8 Teruntum Putih (*Lumnitzera Racemosa* Wild)

Jenis ini berupa pohon kecil/belukar yang mencapai tinggi 6-8 meter. Kulitnya berwarna cokelat-kemerahan hingga abu-abu tua. Jenis ini biasanya tumbuh di sepanjang

tepi vegetasi mangrove. Daun berwarna hijau dan bergerombol pada ujung dahan. Bunga berwarna putih cerah yang terletak di ujung atau di ketiak daun, serta buahnya berukuran kecil yang berwarna hijau (Setyadi *et al.*, 2023).

4.2.9 Nyirih Putih (*Xylocarpus Granatum*)

Nyirih Putih (*Xylocarpus granatum*) umumnya ditemukan di sepanjang tepian sungai pasang surut dan di lingkungan air payau dengan tingkat salinitas sedang. Spesies ini dapat tumbuh hingga ketinggian 10 hingga 20 meter dan dikenal dengan batangnya yang ramping, yang memiliki warna cokelat kekuningan dan kulit kayu yang mengelupas menyerupai pohon jambu. Buahnya berbentuk bulat dengan penampilan hijau kecoklatan. Daunnya umumnya tersusun berpasangan, biasanya terdiri dari dua pasang pada setiap batang. Permukaan atas daun halus dan hijau tua, sedangkan permukaan bawah lebih pucat (Setyadi *et al.*, 2023).

4.2.10 Tanjang (*Bruguiera Sexangular*)

Tanjang (*Bruguiera sexangular*) adalah spesies mangrove terkenal lainnya yang dapat mencapai ketinggian hingga 20 meter. Batangnya berwarna abu-abu gelap hingga cokelat, dengan permukaan kulit kayu yang kasar dan bertekstur. Daunnya berwarna hijau mengkilap di permukaan atas, sedangkan bagian bawahnya berwarna hijau kekuningan dan sering ditandai dengan bintik-bintik hitam yang khas. Bentuk daunnya bervariasi dari elips hingga elips-lanset, berujung runcing. Buahnya berbentuk bulat jika dilihat dari penampang melintang, yang berkontribusi pada identifikasi botaninya (Setyadi *et al.*, 2023).

4.3 Keanekaragaman Fauna Mangrove

Ekosistem mangrove mendukung beragam satwa liar, termasuk mamalia, reptil, dan berbagai spesies burung. Hutan pesisir ini tidak hanya menyediakan perlindungan dan sumber makanan, tetapi juga berfungsi sebagai tempat bersarang dan bereproduksi yang penting, terutama bagi banyak populasi burung air. Perairan di sekitar kawasan mangrove berfungsi sebagai habitat pembibitan dan zona makan yang penting bagi berbagai spesies ikan dan udang. Selain itu, lingkungan mangrove juga menjadi habitat bagi burung darat dan burung air. Burung air adalah spesies yang sepenuhnya bergantung pada habitat berbasis air untuk memenuhi kebutuhan makan dan aktivitas reproduksinya. Sedangkan burung darat yaitu spesies burung yang tidak sepenuhnya bergantung pada air misalnya sesekali untuk mencari makan dan tempat bertengger. Burung layang-layang (*Haliasturindus*), elang pemakan ikan (*Ichthyophagusichthyaetus*), burung pekakak, elang laut, dan bangau yang berkaki panjang merupakan burung yang paling sering ditemukan pada kawasan mangrove. Terdapat berbagai burung air migran (*Charadriidae* dan *Scolopacidae*), yang menjadikan mangrove sebagai tempat perhentian, serta tempat perlindungan dan mencari makan. Saat ini tercatat 200 jenis burung yang bergantung di habitat mangrove.

Jenis reptilia yang umumnya ditemukan pada Kawasan hutan mangrove misalnya buaya muara (*Crocodylus porosus*), baiwak (*Varanus salvator*), ular air, ular mangrove dan ular tambak. Selain reptilia, mamalia juga umum ditemukan berhabitat di hutan mangrove. Jenis reptilia tersebut yaitu babi liar, kancil, kelelawar (*Pteropus* spp.), berang-berang (*Iutra perspicillata* dan *Amblyonyx cinerea*), lutung, bekantan dan kucing bakau (*Felis viverrine*) (Noor *et al.*, 1999).

Ekosistem mangrove adalah habitat pesisir yang sangat kompleks yang dicirikan oleh keanekaragaman hayati yang kaya, mencakup berbagai macam kehidupan tumbuhan dan

hewan. Struktur vegetasi mangrove yang lebat menciptakan perlindungan dan kondisi hidup yang sesuai bagi banyak organisme, termasuk komunitas makrozoobentos. Benthos adalah organisme akuatik yang terutama menghuni substrat dasar lingkungan perairan, dengan epifauna hidup di permukaan substrat dan infauna berada di dalam lapisan sedimen. Makrozoobentos secara khusus terdiri dari organisme invertebrata yang lebih besar yang menempati wilayah dasar ekosistem perairan seperti sungai, danau, muara, dan lingkungan laut. Sedangkan (Putri *et al.*, 2021) melaporkan bahwa makrozoobentos adalah salah satu organisme yang dapat dijadikan indikator biologi karena dapat memberikan gambaran mengenai kondisi perairan.

Habitat makrozoobentos yang menetap di Kawasan hutan mangrove kebanyakan hidup pada substrat keras hingga berlumpur. Beberapa makrozoobentos yang umumnya ditemui pada kawasan hutan mangrove berasal dari kelas Gastropoda, Bivalvia, Crustaceae dan Polychaeta (Putri *et al.*, 2021; Hamzah *et al.*, 2022). (Marpaung *et al.*, 2014) juga mencatat bahwa jenis makrozoobenthos yang ditemukan pada Kawasan mangrove yakni Bilvavia, Gastropoda, Crustacea, Maxillopoda.

Molusca banyak ditemukan pada Kawasan mangrove di Indonesia. Dalam beberapa penelitian mencatat 91 jenis moluska pada wilayah maluku, 74 jenis moluska pada mangrove di Sulawesi Selatan, dan 40 jenis di Halmahera. Sehingga dapat diketahui bahwa moluska Sebagian besaar hidup di daerah mangrove. Namun, terdapat beberapa jenis kelompok moluska yang hidup didalam tanah, permukaan dan ada juga yang hidup menelpel pada tumbuh-tumbuhan. Selain itu, mangrove juga menjadi habitat berbagai jenis Crustaceae. Jenis crustacea yang banyak ditemukan pada ekosistem mangrove yaitu kepiting mangrove, kepiting biola dan udang-udangan (Putra *et al.*, 2023). Kepiting mangrove merupakan kepiting yang berhabitat di daerah mangrove dengan nilai ekonomi yang tinggi.

Ekosistem mangrove berfungsi sebagai habitat perkembangbiakan dan pembibitan yang penting bagi banyak spesies ikan. Hutan pesisir ini juga menyediakan sumber nutrisi yang melimpah, menjadikannya tempat makan penting bagi kehidupan akuatik. Populasi ikan yang terkait dengan lingkungan mangrove umumnya diklasifikasikan menjadi empat kategori. Pertama, spesies penghuni sejati menghabiskan seluruh siklus hidupnya di dalam habitat mangrove, seperti ikan mudskipper. Kedua, spesies penghuni sementara menghuni daerah mangrove terutama selama tahap juvenil sebelum bermigrasi ke perairan pesisir sebagai dewasa, seperti yang terlihat pada ikan mullet (*Mugilidae*). Ketiga, spesies pengunjung memasuki hutan mangrove terutama saat air pasang untuk mencari makanan, seperti spesies yang terkait dengan barracuda (*Sphyrnaenidae*). Terakhir, spesies pengunjung musiman menggunakan ekosistem mangrove secara berkala untuk tujuan pemijahan dan sebagai tempat perlindungan dari predator.

4.4 Mikroorganisme pada Kawasan Hutan Mangrove

Keberadaan mikroorganisme pada ekosistem mangrove sangat erat kaitannya dengan kestabilan ekosistem. Mikroorganisme berperan dalam siklus biogeokimia serta adanya simbiosis mutualisme antar bakteri dengan tumbuhan. Mikroba yang berasosiasi pada akar pohon bakau memainkan peran penting dalam melindungi dan memelihara ekosistem mangrove (Sui *et al.*, 2023).

Ekosistem mangrove menyediakan habitat yang sangat penting bagi mikroorganisme, berfungsi sebagai lingkungan produktif untuk pertumbuhan dan reproduksi berbagai kelompok mikroba, termasuk bakteri. Di antara mikroorganisme ini, aktinomisetes sangat signifikan karena kemampuannya menghasilkan senyawa bioaktif yang berharga. Spesies mangrove seperti *Rhizophora* spp., *Avicennia* spp., dan

Sonneratia spp. memainkan peran penting dalam mendukung dekomposisi bahan organik dan memfasilitasi proses biokimia di dalam sedimen mangrove. Komunitas bakteri di hutan mangrove sangat penting untuk penguraian serasah organik, yang merupakan proses penting untuk siklus nutrisi dan penyediaan bahan organik untuk mendukung organisme lain dalam ekosistem. Ihsan *et al.*, (2017) banyak genus bakteri telah diidentifikasi dalam dekomposisi serasah mangrove, termasuk *Bacillus*, *Aeromonas*, *Nocardiae*, *Corynebacterium*, *Listeria*, *Bacteroides*, *Pseudomonas*, *Enterobacteria*, *Actinobacillus*, *Clostridium*, *Plesiomonas*, *Bordetella*, *Streptococcus*, dan *Neisseria*. Serpihan tumbuhan bakau yang berjatuhan, termasuk daun, ranting, bunga, dan buah, berfungsi sebagai sumber nutrisi penting bagi organisme akuatik. Selain itu, komposisi vegetasi bakau secara signifikan memengaruhi keanekaragaman dan distribusi komunitas bakteri di dalam ekosistem ini.

Pada ekosistem mangrove juga terdapat keragaman fungi yang cukup tinggi yang berperan juga dalam proses dekomposisi bahan organik dan menghasilkan enzim dalam proses biokimia. Fungi merupakan komponen tanah yang berperan untuk mengurai bahan organik dari mangrove. Jenis fungi yang ditemukan berasosiasi pada tanah di hutan mangrove yaitu *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Sepedonium* sp., *Verticillium* sp., dan *Curvularia* sp (Ulwiyah & Syaifudin, 2025). Selain itu, terdapat juga virus yang berperan dalam mengontrol populasi bakteri dan alga dalam ekosistem mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

- Adom, D., Umachandran, K., Ziarati, P., Sawicka, B., & Sekyere, P. (2019). The Concept of Biodiversity and its Relevance to Mankind: A Short Review. *Jounral of Agriculture and Sustainability*, 12(2), 219–231.
- Arinasa, I. B. K. (2012). Mangrove diversity at West Bali National Park. *Buletin Kebun Raya*, 15(1), 10–20.
- Hamzah, S. F., Hamdani, H., Astuty, S., Ismail, M. R., & Komunitas, S. (2022). Struktur Komunitas Makrozoobentos di Kawasan Ekowisata Hutan Mangrove Pandansari, Brebes, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Nasional*, 17(1), 1–12.
- Ihsan, B., Malasari, E., & Wahyuni, N. (2017). Identifikasi Bakteri pada Serasah Daun Mangrove yang Terdekomposisi di Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan (KKMB) Kota Tarakan. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 2, 28–33.
<https://doi.org/10.22146/jtbb.27173>
- Iswari, K. (2023). Pemanfaatan Tanaman Nipah (*Nypa fruticans* wurmb) Sebagai Bahan Pangan : Review. *Jurnal Sains Agro*, 8(5), 41–51.
- Marpaung, A. A. F., Yasir, I., & Ukkas, M. (2014). Keanekaragaman makrozoobenthos di ekosistem mangrove silvofishery dan mangrove alami di Kawasan Ekowisata Pantai Boe , Kabupaten Takalar , Sulawesi Selatan. *Bonorowo Wetlands*, 4(June), 1–11.
<https://doi.org/10.13057/bonorowo/w040101>
- Melayu, M. A., & Latifa, A. (2025). Keanekaragaman Jenis Mangrove Di Kawasan Pesisir Pantai Pasir Putih Padang. *Jurnal Silva Tropika*, 9(1), 97–107.

- Noor, Y. R., Khazali, M., & SUryadiputra, I. N. N. (1999). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia* (1st ed.).
- Pramudji. (2003). Keanekaragaman Flora di Hutan Mangrove Kawasan Pesisir Teluk Mandar , Polewali , Propinsi Sulawesi Selatan: Kajian Pendahuluan. *Biota*, VIII(3), 135–142.
- Purnomo, S., & Permatasari, D. P. (2021). *Keanekaragaman Hayati Kawasan Mangrove Pengarengan*. Yayasan Kanopi Indonesia.
- Putra, P., Kusumawati, I., Suriani, M., & Hermi, R. (2023). Struktur Komunitas Crustacea Di Ekosistem Mangrove Desa Lhok Rigaih , Kecamatan Setia Bakti , Kabupaten Aceh Jaya. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 5(2), 219–228. <https://doi.org/10.35308/jlik.v5i2>.
- Putri, V. T., Yudha, I. G., Kartini, N., & Damai, A. A. (2021). The Performance of Macrozoobentos as a Bioindicator of Water Quality in The Lower Parts of The hurun Lampung River. *Journal of Aquatropica Asia*, 6(2), 72–82.
- Rahim, S., & Baderan, D. W. K. (2017). *Hutan Mangrove dan Pemanfaatannya* (1st ed.). CV Budi Utama.
- Setyadi, G., Darmawan, A. F., & Bahari, A. S. (2023). *Mangrove Di Mimika, Papua Tengah, Indonesia*.
- Sui, J., He, X., Yi, G., Zhou, L., & Liu, S. (2023). Diversity and structure of the root- associated bacterial microbiomes of four mangrove tree species , revealed by high-throughput sequencing. *PeerJ*, 1–25. <https://doi.org/10.7717/peerj.16156>
- Ulwiyah, & Syaifudin, A. (2025). Identifikasi keanekaragaman fungi tanah di hutan Mangrove Pantai Alam Indah Kota Tegal. *Jurnal Esabi (Jurnal Edukasi Dan Sains Biologi)*, 7(2), 94–103. <https://doi.org/10.37301/esabi.v7i2.85>

Yuliani, E. L., Heri, V., Bakara, D. O., Sammy, J., & Ariesta, D. L. (2023). *Keanekaragaman Hayati-Pengenalan Materi untuk Pengembangan Kurikulum Merdeka dan Muatan Lokal Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama di Kabupaten Kapuas Hulu* (CIFOR (ed.); p. 43). CIFOR. <https://doi.org/doi.org/10.17528/CIFOR/008808>
Yuliani

BAB 5

DINAMIKA LINGKUNGAN MANGROVE

Oleh Roni Haposan Sipayung

Ekosistem mangrove berperan penting dalam mendukung kehidupan daratan maupun lautan. Ekosistem ini sangat khas karena berada di wilayah peralihan antara darat dan laut (zona pesisir), sehingga sangat dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Dengan adanya pasang surut, maka vegetasi mangrove juga mengalami dinamika lingkungan yang kompleks. Dinamika lingkungan mangrove adalah proses perubahan yang terjadi secara terus-menerus pada ekosistem mangrove akibat interaksi antara faktor fisik, kimia, dan biologis. Dinamika ini menyebabkan siklus energi dan materi menjadi lebih tertutup.

Saat ini, ekosistem mangrove menjadi ekosistem utama yang difokuskan dalam pengelolaan khususnya dalam perdagangan karbon (*carbon trade*). Ekosistem mangrove memiliki potensi penyerapan karbon tertinggi yang secara signifikan berkontribusi pada pencapaian netralitas karbon (Panda *et al.*, 2025). Mangrove diyakini dapat menyimpan karbon 3-5 kali lebih banyak dibandingkan ekosistem daratan. Kemudian, hal ini yang mendorong pemangku kepentingan dalam memprioritaskan ekosistem mangrove melalui program Folu Net Sink 2030. Ekosistem mangrove diharapkan mampu memenuhi target yang ditetapkan dalam program tersebut melalui kegiatan rehabilitasi mangrove seperti penanaman,

pengelolaan zonasi maupun kebijakan yang mendukung program Folu Net Sink 2030.

Dinamika lingkungan mangrove merupakan tantangan bagi pengelolaan ekosistem mangrove di masa depan. Pemanasan global dan perubahan iklim yang berkepanjangan akan berpengaruh pada kondisi ideal ekosistem mangrove. Selain itu, adanya faktor antropogenik yang sangat sulit diprediksi akibat kebutuhan manusia yang semakin hari semakin bertambah pada akhirnya mengorbankan ekosistem mangrove.

Dinamika lingkungan mangrove perlu dikendalikan dalam rangka mengoptimalkan fungsi yang ada di dalamnya. Kajian terhadap dinamika lingkungan sangat dibutuhkan untuk mengukur sejauh mana perubahan ekosistem mangrove dan relevansinya dalam pengelolaan kebutuhan makhluk hidup.

5.1 Dinamika Fisik

Kondisi fisik ekosistem mangrove sangat jauh berbeda dengan kondisi ekosistem terestrial (daratan) pada umumnya. Ekosistem mangrove secara fisik dipengaruhi oleh adanya pasang surut, sedimentasi, dan salinitas melalui pencampuran air melalui daratan maupun lautan.

5.1.1 Pasang Surut

Pasang surut merupakan peristiwa tarikan gravitasi bulan dan matahari yang menimbulkan adanya pergerakan air di bumi. Kondisi ini yang menjadi dasar terbentuknya ekosistem mangrove yang memiliki kondisi yang sangat unik. Ekosistem mangrove dapat hidup apabila siklus pasang surut terjadi terus menerus, ketika pasang ekosistem mangrove berpeluang membawa nutrisi dan waktu surut memberikan waktu bagi ekosistem mangrove untuk bernapas.

Saat air pasang, air laut masuk ke ekosistem mangrove dan menggenangi perakaran serta substrat di sekitarnya. Air ini mengakumulasi lumpur, mineral, dan zat hara yang sangat bermanfaat bagi pertumbuhan vegetasi mangrove. Selain itu, banyak benthos seperti ikan, udang, dan kepiting masuk ke area mangrove untuk mencari makan dan berlindung. Sebaliknya, ketika air surut, beberapa bagian ekosistem mangrove menjadi kering dan berlumpur. Kondisi ini memungkinkan pertukaran oksigen pada substrat dan akar mangrove. Hewan-hewan seperti kepiting dan kerang juga akan lebih mudah mencari makanan pada lumpur ketika air sudah surut.



Gambar 5. 1Ekosistem Mangrove Saat Pasang

(Sumber: *mongabay.co.id*)

Adanya perubahan iklim dan naiknya permukaan air laut sangat mengganggu pasang surut pada ekosistem mangrove. Mangrove pada kondisi yang optimal mampu mengikuti kenaikan muka air dengan cara menumpuk sedimen saat pasang. Namun, jika laju pasang terlalu cepat atau aliran sungai tidak memberikan suplai sedimen, maka perakaran vegetasi mangrove bisa terendam terlalu lama dan kemudian akan segera mati. Sebaliknya, jika surut terlalu ekstrem karena kekurangan suplai air tawar,

lumpur mengering dan retak yang dapat menghilangkan habitat biota di dalamnya.

5.1.2 Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses akumulasi substrat lumpur, pasir, dan bahan organik yang terbawa oleh aliran air tawar sungai, ombak, maupun pasang surut laut pada ekosistem mangrove. Proses ini sangat penting karena secara langsung mendukung terbentuknya habitat mangrove. Perakaran mangrove yang sangat rapat mampu memperlambat arus/gelombang air sehingga partikel-partikel lumpur dan pasir mengalami pengendapan pada ekosistem mangrove. Lama-kelamaan, endapan tersebut terakumulasi dan membentuk substrat yang baru dengan bahan organik tinggi.

Berbagai manfaat sedimentasi yang dapat diperoleh ekosistem mangrove seperti peningkatan luas habitat pertumbuhan vegetasi mangrove, penyedia bahan organik bagi makhluk hidup, perlindungan terhadap gelombang dan abrasi, serta menjadi habitat bagi kepiting, kerang, dan ikan. Sedimentasi memegang peranan penting bagi kestabilan kehidupan pesisir yang rentan terhadap gangguan.

Namun, sedimentasi yang terjadi terus-menerus dan tidak terkendali juga dapat berdampak buruk pada ekosistem mangrove, misalnya menutupi akar napas mangrove dan mengurangi adanya pertukaran oksigen. Oleh karena itu, keseimbangan proses sedimentasi sangat penting untuk menjaga kondisi ekosistem mangrove sehingga fungsinya tetap optimal dan mampu memfasilitasi kehidupan daratan dan lautan.

5.1.3 Salinitas

Salinitas adalah tingkat kadar garam yang terdapat dalam air dan tanah pada ekosistem mangrove. Salinitas perairan mangrove biasanya berubah-ubah karena dipengaruhi oleh percampuran air laut, air sungai yang tawar, curah hujan, serta dampak dari pasang surut. Salinitas pada perairan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keberadaan biota akuatik (Purba *et al.*, 2025). Salinitas biasanya diukur dalam satuan ppt (*parts per thousand*) atau permil (‰). Perairan laut umumnya memiliki salinitas diatas 30‰. Namun, pada ekosistem mangrove, salinitas sangat fluktuatif bisa sangat rendah (payau) atau sangat tinggi (hipersalin) tergantung pada berbagai faktor. Kondisi salinitas pada ekosistem mangrove membuat kehidupan biota di dalamnya sangat spesifik dan memiliki perakaran yang khas (Heraningsih *et al.*, 2025).

Vegetasi mangrove mampu hidup pada kondisi salinitas yang tinggi karena memiliki adaptasi yang unik. Beberapa vegetasi mangrove dapat menyaring garam melalui perakaran, sementara vegetasi lain mengeluarkan garam melalui daun. Adaptasi ini mendukung vegetasi mangrove tetap bertahan di lingkungan yang asin.

Apabila kadar garam terlalu tinggi atau terlalu rendah, pertumbuhan mangrove menjadi terganggu. Oleh karena itu, keseimbangan salinitas sangat penting untuk menjaga kestabilan dan keberlangsungan kehidupan pada ekosistem mangrove.

5.2 Dinamika Kimia

Ekosistem mangrove memiliki kondisi kimia yang sangat unik sebagai hasil interaksi perairan, substrat lumpur, dan organisme yang ada di dalamnya. Pada ekosistem mangrove, daun, ranting, dan sisa organisme yang mati akan mengalami

pembusukan oleh mikroorganisme. Proses ini menghasilkan unsur-unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan karbon yang penting bagi pertumbuhan vegetasi dan biota mangrove. Oleh karena itu, substrat mangrove umumnya memiliki bahan organik yang sangat tinggi.

Dinamika kimia pada ekosistem mangrove merupakan proses perubahan dan interaksi unsur-unsur kimia yang terjadi di lingkungan mangrove, baik di dalam air, tanah, maupun organisme yang hidup di dalamnya. Proses kimia ini sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut, salinitas, sedimentasi, aktivitas biologis, serta faktor antropogenik. Dinamika kimia menjadi salah satu komponen penting yang menentukan produktivitas, keseimbangan, dan keberlanjutan ekosistem mangrove.

Ekosistem mangrove berada di daerah peralihan antara air laut dan air tawar sehingga memiliki karakteristik kimia yang unik. Salah satu faktor kimia utama adalah salinitas atau kadar garam. Salinitas di kawasan mangrove bersifat fluktuatif karena dipengaruhi oleh pasang surut air laut, curah hujan, penguapan, dan aliran sungai. Pada saat pasang, kadar garam meningkat akibat masuknya air laut, sedangkan ketika hujan atau debit sungai meningkat, salinitas cenderung menurun. Perubahan salinitas ini memengaruhi proses fisiologis tumbuhan mangrove dan distribusi organisme yang hidup di dalamnya.

Vegetasi mangrove berperan penting sebagai pelindung dan penstabil alami wilayah pesisir (Febriyanti & Nurseha, 2025). Vegetasi mangrove memiliki kemampuan adaptasi kimia yang tinggi terhadap kondisi kegaraman yang tinggi. Beberapa jenis mangrove mampu menyaring garam melalui akar sebelum air masuk ke jaringan tumbuhan, sedangkan jenis lain mengeluarkan kelebihan garam melalui daun. Adaptasi tersebut memungkinkan mangrove tetap dapat melakukan metabolisme dan mempertahankan keseimbangan ion di dalam sel meskipun hidup di lingkungan berkadar garam tinggi.

Dinamika unsur hara juga menjadi bagian penting dalam ekosistem mangrove. Daun, ranting, dan bagian tumbuhan mangrove yang gugur akan mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan nutrisi seperti nitrogen, fosfor, karbon, dan sulfur. Nutrisi tersebut kemudian diserap kembali oleh tumbuhan atau dimanfaatkan oleh organisme lain dalam rantai makanan. Selain itu, bentos juga sangat penting dalam proses penyediaan hara perairan (Poedjirahajoe, 2019). Siklus unsur hara di mangrove berlangsung secara aktif dan berperan besar dalam menjaga produktivitas ekosistem pesisir.

Karbon merupakan unsur kimia yang sangat penting dalam ekosistem mangrove. Mangrove dikenal sebagai salah satu penyerap dan penyimpan karbon terbesar di dunia melalui proses fotosintesis. Hutan mangrove dapat menyimpan karbon organik laut dan/atau darat di dalam sedimen (Zhang *et al.*, 2024). Karbon disimpan dalam biomassa tumbuhan seperti batang, akar, dan daun, serta dalam sedimen tanah selama ratusan hingga ribuan tahun. Kemampuan ini menjadikan mangrove sebagai ekosistem penyerap karbon biru (*blue carbon*) yang berperan dalam mengurangi konsentrasi karbon dioksida di atmosfer dan membantu mitigasi perubahan iklim. Penyerapan dan penyimpanan karbon di ekosistem mangrove merupakan jasa ekosistem 'karbon biru' pesisir yang penting bagi mitigasi perubahan iklim (Hafli *et al.*, 2025).



Gambar 5. 2 Karbon Mangrove

(Sumber: *forestdigest.com*)

Selain karbon, siklus nitrogen juga berlangsung intensif di kawasan mangrove. Nitrogen berasal dari sisa organisme, aliran sungai, maupun aktivitas manusia. Pada sedimen mangrove, bakteri berperan dalam proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang mengubah bentuk nitrogen menjadi senyawa yang dapat dimanfaatkan tumbuhan atau dilepaskan kembali ke atmosfer. Siklus ini sangat penting untuk menjaga kesehatan perairan dan mendukung pertumbuhan vegetasi mangrove.

Pasang surut air laut menyebabkan terjadinya pertukaran bahan kimia secara terus-menerus antara mangrove dan perairan sekitarnya. Saat pasang, air laut membawa mineral dan ion-ion tertentu masuk ke kawasan mangrove. Ketika surut, bahan organik terlarut, nutrien, dan sedimen dari mangrove terbawa keluar menuju laut. Proses ini menjadikan mangrove sebagai penghubung penting dalam distribusi unsur kimia antara daratan dan lautan.

Dinamika kimia mangrove juga dipengaruhi oleh tingkat keasaman atau pH tanah dan air. Tanah mangrove cenderung bersifat asam akibat akumulasi bahan organik dan proses

pembentukan asam sulfat dari oksidasi senyawa sulfur. Nilai pH yang terlalu rendah dapat memengaruhi ketersediaan unsur hara serta menghambat pertumbuhan organisme tertentu. Namun, mangrove memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi tersebut melalui mekanisme fisiologis tertentu.

Aktivitas manusia memberikan pengaruh besar terhadap kondisi kimia ekosistem mangrove. Limbah industri, pertanian, rumah tangga, dan pertambangan dapat membawa zat kimia berbahaya seperti logam berat, pestisida, deterjen, dan hidrokarbon ke kawasan pesisir. Bahan pencemar tersebut dapat terakumulasi dalam sedimen dan tubuh organisme sehingga mengganggu keseimbangan kimia ekosistem. Peningkatan nutrisi secara berlebihan akibat limbah juga dapat menyebabkan eutrofikasi yang menurunkan kualitas perairan.

Selain itu, perubahan iklim memengaruhi dinamika kimia mangrove melalui peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan. Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik dan meningkatkan pelepasan gas rumah kaca seperti karbon dioksida dan metana dari sedimen mangrove. Perubahan curah hujan juga memengaruhi tingkat salinitas dan konsentrasi unsur kimia di kawasan pesisir.

Secara keseluruhan, dinamika kimia pada ekosistem mangrove menunjukkan adanya interaksi kompleks antara air, tanah, organisme, dan lingkungan sekitar. Proses kimia yang berlangsung di dalamnya mendukung siklus nutrisi, produktivitas biologis, serta fungsi ekologis mangrove sebagai penyangga wilayah pesisir. Keseimbangan dinamika kimia sangat penting untuk menjaga kesehatan ekosistem mangrove sehingga pengelolaan lingkungan pesisir perlu dilakukan secara berkelanjutan agar proses-proses kimia alami tetap berlangsung dengan baik.

5.3 Dinamika Biologis

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir paling dinamis di dunia. Mangrove tumbuh di wilayah peralihan antara daratan dan lautan, terutama di daerah tropis dan subtropis yang dipengaruhi pasang surut air laut. Dinamika biologis pada ekosistem ini mencerminkan interaksi kompleks antara komponen biotik dan abiotik yang berlangsung secara terus-menerus sehingga membentuk keseimbangan ekologis yang khas.

Vegetasi mangrove didominasi oleh tumbuhan yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi terhadap kadar garam, genangan air, serta kondisi tanah berlumpur yang miskin oksigen. Jenis-jenis mangrove seperti *Rhizophora*, *Avicennia*, dan *Sonneratia* mempunyai ciri khusus berupa akar tunjang, akar napas, dan sistem filtrasi garam untuk mempertahankan hidup. Adaptasi ini memungkinkan mangrove menjadi pionir di kawasan pesisir yang ekstrem. Pertumbuhan mangrove dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti salinitas, intensitas cahaya, pasang surut, suhu, dan sedimentasi. Vegetasi mangrove menjadi salah satu mitigasi yang sangat baik dan sangat efektif dalam perlindungan kawasan pesisir sehingga perlu dijaga agar dapat tumbuh dengan baik dan berfungsi secara optimal (Sipayung *et al.*, 2023).

Dalam dinamika biologisnya, mangrove berfungsi sebagai produsen utama yang menghasilkan bahan organik melalui proses fotosintesis. Daun-daun mangrove yang gugur akan mengalami dekomposisi oleh bakteri, jamur, dan mikroorganisme lainnya sehingga menghasilkan detritus. Detritus ini menjadi sumber makanan penting bagi berbagai organisme seperti kepiting, udang, moluska, dan cacing laut. Oleh karena itu, rantai makanan di ekosistem mangrove sebagian besar berbasis detritus. Kondisi ekosistem mangrove diketahui merupakan wilayah yang banyak terdekomposisi

serasah mangrove sebagai bahan organik (Pinontoan *et al.*, 2023).

Interaksi antarorganisme di ekosistem mangrove berlangsung sangat intensif. Kepiting bakau berperan penting dalam mempercepat penguraian serasah daun sekaligus membantu aerasi tanah melalui aktivitas penggalian liang. Ikan-ikan kecil memanfaatkan akar mangrove sebagai tempat berlindung dari predator dan area pembesaran (*nursery ground*). Berbagai jenis burung datang untuk mencari makan, bersarang, atau bermigrasi. Selain itu, reptil, amfibi, hingga mamalia tertentu juga bergantung pada habitat mangrove sebagai sumber kehidupan



Gambar 5. 3 Kepiting Bakau

(Sumber: *rri.co.id*)

Dinamika populasi organisme di mangrove dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan. Saat pasang naik, banyak organisme laut seperti ikan dan udang memasuki kawasan mangrove untuk mencari makanan dan perlindungan. Ketika surut, sebagian organisme kembali ke laut sementara organisme yang mampu bertahan tetap hidup di substrat lumpur. Siklus pasang surut ini menciptakan pola distribusi

organisme yang khas dan memengaruhi aktivitas biologis harian.

Ekosistem mangrove juga memiliki hubungan erat dengan ekosistem lain seperti padang lamun dan terumbu karang. Nutrien dan bahan organik dari mangrove dapat terbawa arus menuju laut dan dimanfaatkan oleh organisme di ekosistem sekitarnya. Sebaliknya, terumbu karang membantu mengurangi energi gelombang sehingga melindungi mangrove dari abrasi. Keterkaitan ini menunjukkan bahwa mangrove menjadi bagian penting dalam jaringan ekosistem pesisir.

Proses regenerasi mangrove berlangsung melalui penyebaran propagul atau biji yang mampu terapung mengikuti arus air. Propagul yang menemukan substrat sesuai akan tumbuh menjadi individu baru. Namun, keberhasilan regenerasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan gangguan eksternal. Jika sedimentasi terlalu tinggi atau terjadi pencemaran, pertumbuhan mangrove dapat terganggu.

Aktivitas manusia turut memengaruhi dinamika biologis ekosistem mangrove. Penebangan liar, konversi lahan menjadi tambak atau permukiman, pencemaran limbah, dan perubahan iklim menyebabkan penurunan luas serta kualitas hutan mangrove. Perubahan iklim akan berdampak besar pada pertumbuhan mangrove (Sulaiman, 2023). Kerusakan mangrove dapat mengakibatkan hilangnya habitat berbagai spesies, menurunnya produktivitas perairan, dan meningkatnya abrasi pantai. Sebaliknya, upaya rehabilitasi dan konservasi mampu memulihkan fungsi ekologis mangrove secara bertahap.

Secara ekologis, ekosistem mangrove memiliki peran penting sebagai pelindung pantai dari gelombang dan badai, penyerap karbon (*blue carbon*), penyaring polutan, serta penyedia habitat bagi beragam biota. Dinamika biologis yang terjadi di dalamnya menunjukkan adanya hubungan timbal balik antara organisme dengan lingkungan fisiknya.

Keseimbangan ekosistem mangrove sangat bergantung pada keberlangsungan interaksi tersebut. Oleh karena itu, pelestarian mangrove menjadi langkah penting dalam menjaga stabilitas lingkungan pesisir dan keberlanjutan sumber daya hayati.

5.4 Dinamika Antropogenik

Dinamika antropogenik pada ekosistem mangrove merupakan perubahan yang terjadi akibat aktivitas manusia yang secara langsung maupun tidak langsung memengaruhi kondisi fisik, biologis, sosial, dan ekonomi kawasan mangrove. Ekosistem mangrove yang berada di wilayah pesisir menjadi salah satu kawasan yang paling rentan terhadap tekanan antropogenik karena lokasinya sering dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan pembangunan dan ekonomi masyarakat. Interaksi antara manusia dengan mangrove menciptakan dinamika yang kompleks, meliputi pemanfaatan sumber daya, perubahan tata guna lahan, pencemaran, hingga upaya konservasi dan rehabilitasi. Saat ini, mangrove cenderung melayani fungsi ekonomi, seperti pemenuhan kebutuhan rumah tangga, pemenuhan kebutuhan industri dan produksi benih. Dengan demikian, hutan mangrove menawarkan banyak keuntungan lingkungan dan finansial (Naibaho *et al.*, 2023).

Selama ini masyarakat pesisir memanfaatkan mangrove sebagai sumber kehidupan. Kayu mangrove digunakan sebagai bahan bakar, arang, bahan bangunan, dan peralatan tradisional karena memiliki ketahanan tinggi terhadap air dan serangan organisme laut. Selain itu, hasil perikanan di kawasan mangrove seperti ikan, kepiting, udang, dan kerang menjadi sumber pangan dan mata pencaharian utama masyarakat sekitar. Pemanfaatan ini pada awalnya berlangsung secara tradisional dan relatif seimbang dengan kemampuan regenerasi alam.

Namun, meningkatnya jumlah penduduk dan kebutuhan ekonomi menyebabkan eksploitasi mangrove semakin intensif. Penebangan mangrove secara besar-besaran untuk industri kayu dan produksi arang mengakibatkan berkurangnya tutupan hutan mangrove. Selain itu, konversi lahan mangrove menjadi tambak udang, tambak ikan, perkebunan, kawasan industri, pelabuhan, dan pemukiman menjadi salah satu penyebab utama degradasi ekosistem mangrove di berbagai wilayah pesisir. Aktivitas tersebut mengubah struktur habitat alami dan mengurangi fungsi ekologis mangrove.

Perubahan tata guna lahan menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem. Hilangnya vegetasi mangrove membuat kawasan pesisir lebih rentan terhadap abrasi, intrusi air laut, dan gelombang badai. Selain itu, konversi lahan juga menyebabkan penurunan kualitas habitat bagi berbagai spesies fauna yang bergantung pada mangrove sebagai tempat pemijahan, pembesaran, dan mencari makan. Banyak populasi ikan, udang, dan kepiting mengalami penurunan akibat rusaknya habitat mangrove.

Aktivitas antropogenik lainnya yang memengaruhi dinamika mangrove adalah pencemaran lingkungan. Limbah industri, limbah rumah tangga, tumpahan minyak, serta sampah plastik yang terbawa aliran sungai menuju pesisir dapat menurunkan kualitas perairan dan substrat mangrove. Kandungan bahan kimia berbahaya seperti logam berat dapat terakumulasi dalam sedimen dan organisme mangrove sehingga mengganggu proses biologis serta kesehatan biota. Pencemaran bahan kimia menjadi masalah serius yang berdampak pada kondisi perairan (Sari *et al.*, 2024). Pencemaran juga menghambat pertumbuhan akar dan regenerasi tumbuhan mangrove.

Pembangunan infrastruktur pesisir seperti jalan, reklamasi, pelabuhan, dan kawasan wisata turut mengubah pola hidrologi alami mangrove. Perubahan aliran air dan

sedimentasi dapat menghambat distribusi nutrisi serta mengganggu proses pasang surut yang sangat penting bagi kehidupan mangrove. Dalam beberapa kasus, pembangunan yang tidak memperhatikan aspek lingkungan menyebabkan kematian vegetasi mangrove secara bertahap. Ironisnya, Pembangunan ekosistem laut menjadi agenda nasional implementasi tujuan pembangunan berkelanjutan (Rachman *et al.*, 2023).

Perubahan iklim global juga merupakan bagian dari dinamika antropogenik karena dipicu oleh aktivitas manusia dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca. Kenaikan suhu bumi dan permukaan air laut berdampak pada ekosistem mangrove, terutama di wilayah pesisir rendah. Jika laju kenaikan muka air laut lebih cepat dibanding kemampuan mangrove beradaptasi, maka banyak kawasan mangrove dapat mengalami tenggelam atau mundur ke arah daratan. Selain itu, peningkatan frekuensi badai dan cuaca ekstrem dapat merusak struktur vegetasi mangrove.

Meskipun banyak aktivitas manusia berdampak negatif, dinamika antropogenik juga mencakup berbagai upaya konservasi dan rehabilitasi. Kesadaran akan pentingnya mangrove mendorong pemerintah, masyarakat, lembaga swadaya masyarakat, dan akademisi untuk melakukan perlindungan ekosistem ini. Program penanaman mangrove, rehabilitasi lahan pesisir, pembentukan kawasan konservasi, serta edukasi lingkungan menjadi bagian dari strategi pemulihan mangrove. Dengan demikian aktivitas manusia menunjukkan dampak ganda: tekanan konversi dan eksploitasi berlanjut, namun penurunan aktivitas tambak akibat abrasi justru memicu pemulihan alami (Candra *et al.*, 2025).



Gambar 5. 4 Penanaman Mangrove di Lantebung

(Sumber: ykliindonesia.org)

Konsep pengelolaan berbasis masyarakat mulai dikembangkan agar masyarakat lokal terlibat langsung dalam menjaga kelestarian mangrove. Pendekatan ini menempatkan masyarakat sebagai pelaku utama konservasi melalui pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan. Contohnya adalah pengembangan ekowisata mangrove, budidaya perikanan ramah lingkungan, dan pemanfaatan hasil mangrove non-kayu seperti madu, sirup, atau produk olahan pangan.

Dinamika antropogenik pada ekosistem mangrove menunjukkan adanya hubungan timbal balik antara manusia dan lingkungan pesisir. Di satu sisi, manusia bergantung pada mangrove untuk memenuhi kebutuhan hidup dan mendukung pembangunan ekonomi. Namun di sisi lain, aktivitas manusia yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerusakan ekosistem dan menurunkan kualitas lingkungan pesisir. Pemantauan tingkat kerusakan ini sangat penting bagi para *stakeholder* dalam mengelola kawasan hutan mangrove (Anurogo *et al.*, 2018). Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan mangrove yang berkelanjutan melalui keseimbangan antara pemanfaatan ekonomi, perlindungan lingkungan, dan kesejahteraan

masyarakat agar fungsi ekologis dan sosial mangrove tetap terjaga bagi generasi mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anurogo, W., Lubis, M. Z., Khakhim, N., Prihantarto, W. J., & Cannagia, L. R. (2018). Pengaruh pasang surut terhadap dinamika perubahan hutan mangrove di kawasan Teluk Banten. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(2), 130–139.
- Candra, R., Santoso, T., & Hilmanto, R. (2025). Dinamika Tutupan Hutan Mangrove Akibat Aktivitas Manusia di Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur. *Journal of People, Forest and Environment (JOPFE)*, 5(1), 42–52.
- Febriyanti, N., & Nurseha, T. (2025). Perisai Alam Tropis: Estuari dan Mangrove dalam Perspektif Adaptasi Iklim Berkelanjutan. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 5(1), 427–436.
- Hafli, R. D. M., Samiaji, J., & Windarti, W. (2025). Estimasi Stok Karbon dan Valuasi Ekonomi Ekosistem Mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 13(1), 74–81.
- Heraningsih, S. F., Sipayung, R. H., Ahmad, I. G., Puluhaulawa, R., Suryadri, H., Hiola, R., Alvionita, M., Dali, F. A., Fitrada, W., & Kalsum, S. U. (2025). *Ekologi Perairan dan Kesehatan Lingkungan*. Yayasan Kita Menulis.
- Naibaho, A. A., Harefa, M. S., Nainggolan, R. S., & Alfiaurahmah, V. L. (2023). Investigasi pemanfaatan hutan mangrove dan dampaknya terhadap daerah pesisir di Pantai Mangrove Paluh Getah, Tanjung Rejo. *J-CoSE: Journal of Community Service & Empowerment*, 1(1), 22–33.

- Panda, M., Dash, B. R., & Sahu, S. C. (2025). Ecosystem carbon stock variation along forest stand ages: insight from eastern coast mangrove ecosystem of India. *Ecological Processes*, 14(1), 14.
- Pinontoan, M. P., Paulus, J. J. H., Wullur, S., Rompas, R. M., Ginting, E. L., & Pelle, W. E. (2023). Oksigen terlarut dan pH di air sisipan sedimen mangrove dan pesisir di Desa Bulutui Kecamatan Likupang Barat. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 11(1), 132–138.
- Poedjirahajoe, E. (2019). Ekosistem mangrove karakteristik, fungsi, dan dinamikanya. (*No Title*).
- Purba, S. K., Indrawan, G. S., & Suteja, Y. (2025). Kondisi Makrozoobentos Kaitannya dengan Ekosistem Mangrove di Kawasan Mangrove Estuari Perancak, Jembrana, Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(1), 1–12.
- Rachman, F., Yunita, S., Manik, M. M., Girsang, O. B., Safitri, E., Sabri, T. M., Halizah, N., Yasmin, P., & Juliandi, J. (2023). Pembangunan ekosistem laut berkelanjutan melalui keterlibatan warga dalam pengelolaan hutan mangrove di Desa Tanjung Rejo. *Jurnal Kewarganegaraan*, 20(1), 40.
- Sari, L. A., Nafisyah, A. L., Manan, A., Cahyoko, Y., Andriyono, S., & Dewi, N. N. (2024). *Buku Ajar Ekologi Perairan*. Airlangga University Press.
- Sipayung, R. H., Suek, J., Pramatana, F., & Sinaga, P. S. (2023). PENYULUHAN EKOSISTEM MANGROVE SEBAGAI MITIGASI BENCANA DI KELURAHAN OESAPA BARAT, KOTA KUPANG, NUSA TENGGARA TIMUR. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(5), 11139–11142.
- Sulaiman, M. (2023). Pemanfaatan Hutan Mangrove Terhadap Penanganan Perubahan Iklim Di Pulau Wetar. *Jurnal Kelautan Dan Perikanan Terapan (JKPT)*, 1, 67–71.

Zhang, J., Gan, S., Yang, P., Zhou, J., Huang, X., Chen, H., He, H., Saintilan, N., Sanders, C. J., & Wang, F. (2024). A global assessment of mangrove soil organic carbon sources and implications for blue carbon credit. *Nature Communications*, 15(1), 8994.

BAB 6

KUALITAS AIR DAN BIOINDIKATOR

Oleh Tri Ari Setyastuti



Gambar 6. 1 Mangrove

Ekosistem mangrove dan rawa merupakan sistem perairan yang sangat dinamis, ditandai oleh fluktuasi hidrologi, kandungan bahan organik tinggi, serta interaksi kompleks antara faktor fisik, kimia, dan biologi. Dalam sistem ini, kualitas air menjadi faktor kunci yang menentukan stabilitas ekosistem dan keberlanjutan fungsi ekologis, termasuk sebagai habitat dan nursery ground bagi organisme perairan.

Kualitas air merupakan faktor utama yang menentukan keberlangsungan kehidupan organisme dalam ekosistem perairan, termasuk mangrove dan rawa. Parameter kualitas air seperti suhu, pH, salinitas, dan kekeruhan secara langsung memengaruhi proses fisiologis organisme akuatik. Perubahan kecil pada parameter ini dapat menyebabkan stres hingga kematian organisme. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air menjadi aspek penting dalam kajian ekologi perairan. Analisis kualitas air perlu dilakukan secara kuantitatif melalui

pengukuran parameter fisika, kimia, dan biologi, seperti suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut, BOD, COD, nutrisi, TSS, dan indikator mikrobiologi. Pengukuran tersebut sebaiknya mengacu pada metode standar agar hasilnya valid, dapat dibandingkan, dan dapat digunakan dalam pemantauan lingkungan jangka panjang (American Public Health Association *et al.*, 2023; Boyd, 2020).

Selain itu, kualitas air juga berkaitan erat dengan produktivitas ekosistem. Perairan dengan kualitas baik mampu mendukung pertumbuhan fitoplankton sebagai produsen primer. Sebaliknya, penurunan kualitas air akibat pencemaran akan mengganggu rantai makanan dan keseimbangan ekosistem. Hal ini berdampak langsung terhadap sektor perikanan dan keberlanjutan sumber daya hayati. Oleh sebab itu, pengelolaan kualitas air menjadi prioritas dalam konservasi ekosistem perairan.

Dalam konteks bioindikator, kualitas air tidak hanya diukur melalui parameter fisika-kimia, tetapi juga melalui respon organisme. Bioindikator seperti plankton, makrozoobentos, ikan, moluska, krustasea, mikroorganisme, dan vegetasi mangrove dapat digunakan untuk menilai kesehatan ekosistem karena organisme tersebut merespons perubahan kualitas air secara biologis dan ekologis. Bioindikator melengkapi pengukuran fisika-kimia yang umumnya hanya menggambarkan kondisi sesaat (Chandel *et al.*, 2024; Hertika *et al.*, 2024). Organisme ini lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan dibandingkan parameter kimia sesaat. Dengan demikian, penggunaan bioindikator menjadi pendekatan yang lebih komprehensif dalam evaluasi kualitas air. Pendekatan ini semakin banyak digunakan dalam penelitian ekologi modern.

Di sisi lain, tekanan antropogenik seperti limbah domestik dan industri turut memperburuk kualitas air. Aktivitas manusia menyebabkan peningkatan beban nutrisi dan bahan pencemar

di perairan. Kondisi ini dapat memicu eutrofikasi dan penurunan oksigen terlarut. Akibatnya, keseimbangan ekosistem menjadi terganggu dan biodiversitas menurun. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan berbasis ekologi untuk menjaga kualitas air secara berkelanjutan.

Ekosistem mangrove dan rawa memiliki peran penting sebagai penyangga alami dalam menjaga keseimbangan lingkungan perairan. Vegetasi mangrove mampu menyaring sedimen dan bahan pencemar sebelum masuk ke laut. Sistem akar yang kompleks berfungsi sebagai perangkap partikel dan penstabil substrat. Selain itu, mangrove juga berperan dalam menjaga kualitas air melalui proses filtrasi alami. Fungsi akar mangrove sebagai perangkap sedimen, penyerap nutrisi, penstabil substrat, serta pelindung wilayah pesisir menjadikan mangrove sebagai ekosistem penting dalam menjaga kualitas lingkungan perairan dan ketahanan pesisir (Alongi, 2014; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023; Global Mangrove Alliance, 2024).

Rawa dan lahan basah memiliki fungsi penting dalam penyimpanan air, pengaturan hidrologi, pemurnian air, siklus nutrisi, penyimpanan karbon, dan pemeliharaan keanekaragaman hayati. Fungsi tersebut menjadikan rawa sebagai ekosistem strategis dalam pengelolaan kualitas air dan mitigasi perubahan lingkungan (Convention on Wetlands, 2025; Mitsch & Gosselink, 2015; Song *et al.*, 2024). Ekosistem ini berfungsi sebagai reservoir alami yang menjaga kestabilan debit air sepanjang tahun. Selain itu, rawa juga berperan dalam proses biogeokimia seperti siklus karbon dan nitrogen. Kemampuan ini menjadikan rawa sebagai sistem penting dalam mitigasi perubahan iklim. Dengan demikian, rawa tidak hanya berfungsi secara lokal tetapi juga global.

Mangrove dan rawa juga berperan sebagai habitat penting bagi berbagai organisme akuatik dan semi-akuatik. Banyak spesies ikan, udang, dan moluska memanfaatkan ekosistem ini

sebagai tempat pemijahan dan pembesaran. Keberadaan organisme ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan masih mendukung kehidupan. Oleh karena itu, perubahan komunitas biota dapat digunakan sebagai indikator kesehatan ekosistem. Pendekatan ini sering digunakan dalam studi bioindikator untuk menilai kualitas lingkungan.

Selain fungsi ekologis, mangrove juga memberikan manfaat ekonomi dan sosial bagi masyarakat pesisir. Ekosistem ini melindungi garis pantai dari erosi dan gelombang laut. Kehilangan mangrove dapat meningkatkan risiko bencana dan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, upaya konservasi dan rehabilitasi mangrove menjadi sangat penting. Pendekatan berbasis ekosistem diperlukan untuk menjaga keberlanjutan fungsi mangrove dan rawa secara menyeluruh (Rahman et.al, 2025).

Selain berfungsi sebagai penyangga fisik, mangrove dan rawa juga berperan sebagai habitat penting bagi berbagai organisme akuatik dan terestrial. Ekosistem ini menjadi tempat pemijahan, pembesaran, dan mencari makan bagi ikan, udang, kepiting, serta berbagai jenis burung air. Tingginya produktivitas bahan organik dari serasah daun mangrove mendukung rantai makanan berbasis detritus yang menjadi sumber energi utama bagi organisme perairan. Dengan demikian, keberadaan mangrove dan rawa memiliki kontribusi besar terhadap produktivitas perikanan dan stabilitas ekosistem pesisir (Odum & Heald, 1975).

6.1 Konsep Kualitas Air

6.1.1 Definisi dan Ruang Lingkup

Kualitas air merupakan ukuran kondisi fisik, kimia, dan biologi suatu perairan yang menentukan kelayakannya bagi kehidupan organisme. Konsep ini mencerminkan

interaksi kompleks antara faktor lingkungan dan aktivitas biotik dalam suatu ekosistem. Dalam ekosistem mangrove dan rawa, kualitas air sangat dinamis karena dipengaruhi oleh pasang surut, curah hujan, dan input bahan organik. Oleh karena itu, kualitas air tidak bersifat statis, melainkan berubah secara temporal dan spasial. Pendekatan analisis kualitas air umumnya dilakukan secara kuantitatif melalui parameter terukur di lapangan dan laboratorium.

Ruang lingkup kualitas air mencakup berbagai aspek yang saling berhubungan, mulai dari kondisi fisika seperti suhu dan kekeruhan, hingga aspek kimia seperti pH dan salinitas. Selain itu, aspek biologi juga menjadi bagian penting dalam menilai kualitas air, terutama melalui keberadaan organisme indikator. Dalam konteks ekologi mangrove dan rawa, kualitas air juga berkaitan erat dengan produktivitas primer dan siklus nutrien. Kondisi ini menjadikan kualitas air sebagai indikator utama kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Dengan demikian, pengelolaan kualitas air menjadi bagian integral dalam konservasi lingkungan.

Kualitas air juga memiliki dimensi fungsional, yaitu kemampuannya dalam mendukung berbagai proses ekologis. Misalnya, kualitas air yang baik akan mendukung fotosintesis, respirasi, dan dekomposisi secara optimal. Sebaliknya, kualitas air yang buruk dapat menghambat proses tersebut dan menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem. Dalam ekosistem mangrove, perubahan kualitas air dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kesehatan vegetasi mangrove itu sendiri. Oleh karena itu, kualitas air tidak hanya berdampak pada organisme akuatik, tetapi juga pada vegetasi pesisir.

Selain itu, kualitas air juga menjadi indikator penting dalam menilai dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Pencemaran dari limbah domestik, industri,

dan pertanian dapat mengubah komposisi kimia air secara signifikan. Hal ini dapat menyebabkan eutrofikasi, penurunan oksigen terlarut, dan peningkatan toksisitas perairan. Dalam jangka panjang, kondisi tersebut dapat menurunkan keanekaragaman hayati dan produktivitas ekosistem. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air secara berkala menjadi sangat penting dalam pengelolaan ekosistem berkelanjutan.

6.1.2 Parameter Utama

Parameter kualitas air pada ekosistem mangrove dan rawa umumnya dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu fisika, kimia, dan biologi. Parameter fisika meliputi suhu, kekeruhan, dan total padatan tersuspensi (TSS) yang mempengaruhi penetrasi cahaya dan aktivitas fotosintesis. Parameter kimia mencakup pH, salinitas, oksigen terlarut (DO), serta nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Kombinasi parameter ini menentukan kondisi lingkungan yang mendukung kehidupan organisme akuatik. Pengukuran parameter tersebut menjadi dasar dalam analisis kualitas perairan.

Pada ekosistem mangrove, salinitas menjadi parameter yang sangat penting karena dipengaruhi oleh interaksi antara air laut dan air tawar. Fluktuasi salinitas dapat mempengaruhi distribusi spesies dan adaptasi organisme. Selain itu, oksigen terlarut sering kali rendah akibat tingginya aktivitas dekomposisi bahan organik. Kondisi ini dapat menciptakan lingkungan anaerob terutama di sedimen. Oleh karena itu, parameter DO menjadi indikator penting dalam menilai kesehatan ekosistem mangrove.

Pada ekosistem rawa, parameter kualitas air lebih dipengaruhi oleh kondisi hidrologi dan kandungan bahan organik. Rawa gambut, misalnya, memiliki pH yang

cenderung asam akibat dekomposisi bahan organik. Selain itu, konsentrasi nutrisi dapat meningkat akibat akumulasi bahan organik dan aktivitas mikroorganisme. Kondisi ini dapat memicu pertumbuhan alga yang berlebihan jika tidak terkendali. Oleh karena itu, pemantauan parameter kimia menjadi sangat penting dalam ekosistem rawa.

Selain parameter fisika dan kimia, parameter biologi juga berperan penting dalam penilaian kualitas air. Keberadaan plankton, bentos, dan mikroorganisme dapat digunakan sebagai bioindikator kondisi lingkungan. Perubahan komposisi komunitas organisme ini mencerminkan perubahan kualitas air secara jangka panjang. Ekosistem mangrove diketahui mampu meningkatkan kualitas air melalui proses filtrasi alami dan aktivitas biologis. Dengan demikian, integrasi parameter fisika, kimia, dan biologi memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi perairan.

6.2 Karakteristik Kualitas Air Mangrove dan Rawa

Kualitas air pada ekosistem mangrove dan rawa memiliki karakteristik yang unik dan dinamis karena dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, proses biogeokimia, serta interaksi antara faktor fisika, kimia, dan biologi. Pada mangrove, pengaruh pasang surut laut menjadi faktor dominan yang menyebabkan fluktuasi parameter kualitas air seperti salinitas, oksigen terlarut, dan kekeruhan. Sementara itu, pada ekosistem rawa, kondisi genangan air yang relatif stagnan menciptakan lingkungan dengan oksigen rendah dan akumulasi bahan organik tinggi. Perbedaan kondisi ini menyebabkan variasi proses ekologis yang signifikan antara kedua ekosistem tersebut. Oleh karena itu, pemahaman karakteristik kualitas air menjadi kunci dalam pengelolaan dan konservasi ekosistem perairan.

Selain itu, keberadaan vegetasi mangrove dan tumbuhan rawa turut memengaruhi kualitas air melalui proses filtrasi, penyerapan nutrisi, dan interaksi dengan mikroorganisme. Ekosistem mangrove dikenal sebagai sistem biofiltrasi alami yang mampu menyerap polutan dan menstabilkan kondisi perairan. Sebaliknya, rawa berfungsi sebagai penyimpan air dan bahan organik yang berperan dalam siklus nutrisi. Interaksi antara faktor hidrologi dan bahan organik ini menentukan tingkat kesuburan serta kesehatan ekosistem. Dengan demikian, karakteristik kualitas air pada mangrove dan rawa mencerminkan keseimbangan antara proses fisik, kimia, dan biologis dalam suatu sistem perairan.

6.2.1 Dinamika Pasang Surut (Mangrove)

Dinamika pasang surut merupakan faktor utama yang memengaruhi kualitas air di ekosistem mangrove. Pergerakan air laut secara periodik menyebabkan perubahan salinitas, suhu, dan konsentrasi oksigen terlarut. Pada saat pasang, air laut membawa nutrisi dan organisme ke dalam kawasan mangrove. Sebaliknya, saat surut terjadi proses flushing yang membantu mengeluarkan limbah dan bahan organik. Proses ini menciptakan sistem perairan yang dinamis dan relatif stabil (Rahmawati *et al*, 2024).

Fluktuasi pasang surut juga berperan dalam distribusi sedimen dan partikel tersuspensi. Sedimen yang terbawa oleh air laut akan terperangkap oleh sistem akar mangrove. Hal ini menyebabkan peningkatan kekeruhan di beberapa lokasi, namun sekaligus berfungsi sebagai mekanisme alami pengendapan. Proses ini membantu menjaga kejernihan air di perairan sekitarnya. Selain itu, sistem ini mendukung pembentukan substrat yang stabil bagi organisme benthik.

Dalam konteks kualitas air, pasang surut juga mempengaruhi siklus oksigen di perairan. Air yang bergerak secara kontinu membantu meningkatkan difusi oksigen ke dalam kolom air. Hal ini penting untuk mendukung aktivitas organisme aerobik. Namun, pada saat surut ekstrem, beberapa area dapat mengalami kondisi hipoksia. Kondisi ini menunjukkan bahwa dinamika pasang surut memiliki peran ganda dalam menentukan kualitas air.

Lebih lanjut, vegetasi mangrove berinteraksi langsung dengan dinamika pasang surut. Akar mangrove tidak hanya berfungsi sebagai penopang, tetapi juga sebagai filter alami yang menyerap nutrisi dan logam berat. Kemampuan ini menjadikan mangrove sebagai sistem biofiltrasi alami yang efektif. Dengan demikian, dinamika pasang surut tidak hanya mempengaruhi kualitas air secara fisik, tetapi juga melalui interaksi biologis yang kompleks.

6.2.2 Genangan dan Stagnasi Air (Rawa)

Ekosistem rawa dicirikan oleh kondisi genangan air yang relatif permanen atau musiman. Air yang tergenang cenderung memiliki pergerakan yang sangat lambat sehingga menyebabkan stagnasi. Kondisi ini menghambat difusi oksigen ke dalam air dan sedimen. Akibatnya, lingkungan rawa sering kali bersifat anaerob, terutama pada lapisan bawah. Kondisi ini mempengaruhi komposisi kimia dan biologi perairan.

Stagnasi air juga menyebabkan akumulasi nutrisi dan bahan organik dalam jumlah besar. Nutrien seperti nitrogen dan fosfor dapat terakumulasi akibat minimnya aliran air. Kondisi ini dapat memicu pertumbuhan alga dan mikroorganisme tertentu. Jika tidak terkendali, fenomena ini dapat menyebabkan eutrofikasi. Oleh karena itu,

pengelolaan hidrologi menjadi faktor penting dalam menjaga kualitas air rawa.

Selain itu, genangan air di rawa mempengaruhi nilai pH dan kandungan logam dalam air. Pada rawa gambut, dekomposisi bahan organik menghasilkan asam organik yang menyebabkan pH rendah. Kondisi ini dapat meningkatkan kelarutan logam tertentu seperti besi (Fe). Beberapa tanaman rawa memiliki adaptasi khusus untuk bertahan dalam kondisi tersebut. Hal ini menunjukkan adanya hubungan erat antara kualitas air dan adaptasi organisme (Sukarman, 2020).

Dari sisi ekologi, stagnasi air menciptakan lingkungan yang khas bagi mikroorganisme anaerob. Mikroba ini berperan dalam proses dekomposisi dan siklus nutrisi. Proses ini penting dalam menjaga kesuburan ekosistem rawa. Namun, akumulasi bahan organik yang berlebihan juga dapat menurunkan kualitas air. Oleh karena itu, keseimbangan antara input dan dekomposisi bahan organik menjadi sangat penting.

6.2.3 Pengaruh Bahan Organik

Bahan organik merupakan komponen penting yang mempengaruhi kualitas air di ekosistem mangrove dan rawa. Sumber utama bahan organik berasal dari serasah daun, akar, dan organisme mati. Proses dekomposisi bahan organik menghasilkan nutrisi yang mendukung produktivitas primer. Namun, proses ini juga mengonsumsi oksigen terlarut dalam jumlah besar. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas air jika terjadi secara berlebihan.

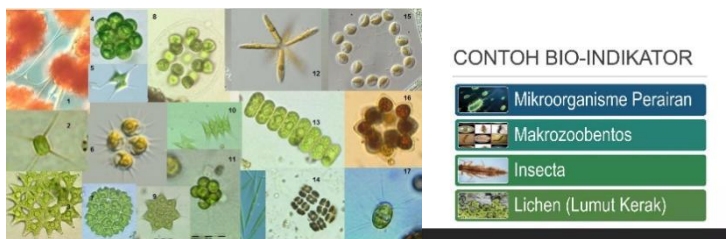
Dalam ekosistem mangrove, bahan organik berperan dalam membentuk rantai makanan berbasis detritus. Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi senyawa sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh

organisme lain. Proses ini meningkatkan kesuburan perairan dan mendukung keanekaragaman hayati. Selain itu, bahan organik juga berperan dalam meningkatkan kapasitas penyerapan polutan oleh sedimen. Hal ini memperkuat fungsi mangrove sebagai biofilter alami.

Di ekosistem rawa, akumulasi bahan organik dapat mencapai tingkat yang sangat tinggi. Hal ini terutama terjadi pada rawa gambut yang memiliki kandungan karbon tinggi. Proses dekomposisi yang lambat menyebabkan akumulasi bahan organik dalam jangka panjang. Kondisi ini berkontribusi pada pembentukan tanah gambut dan penyimpanan karbon. Namun, jika terganggu, dapat menyebabkan pelepasan karbon ke atmosfer (Sukarman, 2020).

Pengaruh bahan organik terhadap kualitas air juga berkaitan dengan perubahan parameter kimia seperti BOD dan COD. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan tingginya kebutuhan oksigen untuk proses dekomposisi. Hal ini dapat menyebabkan kondisi hipoksia yang merugikan organisme akuatik. Oleh karena itu, pengelolaan bahan organik menjadi aspek penting dalam menjaga kualitas air. Pendekatan ini diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara produktivitas dan kesehatan ekosistem.

6.3 Bioindikator Ekosistem Perairan



Gambar 6. 2 Bioindikator Ekosistem Perairan

Bioindikator merupakan salah satu pendekatan penting dalam menilai kualitas lingkungan perairan secara komprehensif. Berbeda dengan parameter fisika-kimia yang hanya menggambarkan kondisi sesaat, bioindikator mencerminkan kondisi lingkungan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Organisme akuatik secara alami terpapar oleh perubahan kualitas air, sehingga respons biologisnya dapat digunakan sebagai indikator kesehatan ekosistem. Pendekatan ini semakin banyak digunakan dalam studi ekologi perairan karena mampu mengintegrasikan berbagai faktor lingkungan. Oleh karena itu, bioindikator menjadi alat penting dalam biomonitoring dan pengelolaan sumber daya perairan.

Penggunaan bioindikator juga relevan dalam konteks konservasi dan pengendalian pencemaran lingkungan. Organisme seperti plankton, makrozoobentos, dan ikan memiliki sensitivitas berbeda terhadap perubahan kualitas air. Perubahan komposisi komunitas organisme ini dapat memberikan sinyal awal terjadinya degradasi lingkungan. Selain itu, bioindikator dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas kebijakan pengelolaan lingkungan. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya bersifat ilmiah tetapi juga aplikatif dalam pengambilan keputusan berbasis ekosistem.

6.3.1 Pengertian dan Fungsi Bioindikator

Bioindikator adalah organisme yang keberadaan, kelimpahan, dan perilakunya mencerminkan kondisi lingkungan tertentu. Organisme ini digunakan untuk menilai kualitas air berdasarkan respon biologis terhadap perubahan lingkungan. Dalam ekosistem perairan, bioindikator mencakup berbagai kelompok organisme seperti fitoplankton, zooplankton, makrozoobentos, dan ikan. Setiap kelompok memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap parameter lingkungan. Oleh karena itu, pemilihan bioindikator harus disesuaikan dengan tujuan penelitian.

Fungsi utama bioindikator adalah sebagai alat biomonitoring untuk menilai kesehatan ekosistem perairan. Bioindikator mampu memberikan informasi yang lebih menyeluruh dibandingkan parameter fisika-kimia. Hal ini karena organisme mencerminkan kondisi lingkungan dalam jangka waktu tertentu. Selain itu, bioindikator dapat digunakan untuk mendeteksi pencemaran sejak dini. Dengan demikian, bioindikator menjadi komponen penting dalam sistem pemantauan lingkungan.

Dalam praktiknya, bioindikator juga digunakan untuk mengevaluasi dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Misalnya, perubahan komunitas plankton dapat menunjukkan adanya eutrofikasi. Sementara itu, penurunan keanekaragaman makrozoobentos dapat mengindikasikan pencemaran organik. Makrozoobentos banyak digunakan sebagai bioindikator karena hidup relatif menetap, memiliki mobilitas rendah, berinteraksi langsung dengan sedimen, dan menunjukkan respons terhadap perubahan oksigen terlarut, bahan organik, substrat, serta pencemaran. Perubahan komposisi dan keanekaragaman makrozoobentos dapat mencerminkan tingkat tekanan ekologis pada perairan (Hertika *et al.*, 2024; Patang *et al.*, 2018). Oleh karena itu, bioindikator menjadi alat yang efektif dalam analisis ekologi perairan.

Selain itu, bioindikator memiliki peran dalam memahami dinamika ekosistem secara keseluruhan. Organisme indikator tidak hanya mencerminkan kondisi lingkungan, tetapi juga berperan dalam rantai makanan dan siklus nutrien. Misalnya, makrozoobentos berfungsi sebagai pengurai bahan organik dan sumber pakan bagi organisme lain. Dengan demikian, penggunaan bioindikator tidak hanya memberikan informasi tentang kualitas air, tetapi juga tentang fungsi ekosistem.

6.3.2 Kriteria organisme indikator

Organisme yang digunakan sebagai bioindikator harus memenuhi kriteria tertentu agar dapat memberikan informasi yang akurat. Salah satu kriteria utama adalah sensitivitas terhadap perubahan lingkungan. Organisme indikator harus mampu merespon perubahan kualitas air secara jelas dan terukur. Selain itu, organisme tersebut harus memiliki distribusi yang luas sehingga dapat digunakan di berbagai lokasi. Kriteria ini penting untuk memastikan konsistensi hasil pengamatan.

Kriteria lainnya adalah kemudahan dalam identifikasi dan pengambilan sampel. Organisme indikator sebaiknya mudah dikenali dan tidak memerlukan teknik identifikasi yang kompleks. Hal ini penting untuk mendukung efisiensi dalam kegiatan monitoring. Selain itu, organisme tersebut harus memiliki siklus hidup yang cukup panjang untuk mencerminkan kondisi lingkungan dalam jangka waktu tertentu. Dengan demikian, data yang diperoleh lebih representatif.

Selanjutnya, organisme indikator harus memiliki hubungan yang jelas dengan kondisi lingkungan. Artinya, perubahan dalam komunitas organisme harus dapat dikaitkan dengan perubahan kualitas air. Misalnya, kehadiran spesies tertentu dapat menunjukkan kondisi perairan yang tercemar atau bersih. Oleh karena itu, pemahaman ekologi organisme indikator menjadi sangat penting. Kriteria ini memastikan bahwa interpretasi data dapat dilakukan secara akurat.

Terakhir, organisme indikator harus memiliki peran ekologis yang signifikan dalam ekosistem. Organisme yang berperan dalam rantai makanan atau siklus nutrisi lebih relevan sebagai bioindikator. Hal ini karena perubahan pada organisme tersebut akan berdampak pada keseluruhan ekosistem. Selain itu, penggunaan

bioindikator juga direkomendasikan dalam pengelolaan kualitas lingkungan karena mampu menyediakan data yang komprehensif. Dengan demikian, pemilihan organisme indikator harus mempertimbangkan aspek ekologis dan praktis secara bersamaan.

6.4 Jenis Bioindikator

Bioindikator dalam ekosistem perairan terdiri dari berbagai kelompok organisme yang memiliki sensitivitas berbeda terhadap perubahan lingkungan. Kelompok organisme ini digunakan untuk menilai kondisi kualitas air secara biologis karena mampu mencerminkan perubahan lingkungan dalam jangka waktu tertentu. Dalam praktiknya, bioindikator tidak hanya menunjukkan kondisi pencemaran, tetapi juga memberikan informasi tentang stabilitas ekosistem. Oleh karena itu, penggunaan berbagai jenis bioindikator secara simultan memberikan hasil yang lebih komprehensif. Pendekatan ini banyak digunakan dalam studi ekologi perairan modern.

Tabel 6. 1 Jenis Bioindikator Pada Ekosistem Mangrove Berdasarkan Respon Organisme Terhadap Perubahan Kualitas Lingkungan

Jenis bioindikator	Contoh	Indikasi kondisi lingkungan
Vegetasi mangrove	<i>Rhizophora</i> , <i>Avicennia</i> , <i>Sonneratia</i> , <i>Bruguiera</i>	Kerapatan pohon, tutupan kanopi, regenerasi semai, dan kematian pohon menunjukkan tingkat kesehatan ekosistem
Makrozoobentos	Kepiting, kerang, siput, cacing polychaeta	Sangat peka terhadap pencemaran sedimen, bahan organik, dan perubahan salinitas

Jenis bioindikator	Contoh	Indikasi kondisi lingkungan
Moluska	Bivalvia dan gastropoda	Dapat mengakumulasi logam berat, sehingga sering dipakai sebagai indikator pencemaran
Krustasea	Kepiting bakau, udang, amphipoda	Menunjukkan kualitas substrat, ketersediaan bahan organik, dan gangguan habitat
Ikan	Ikan gelodok, juvenil ikan estuari	Menunjukkan fungsi mangrove sebagai tempat asuhan dan kestabilan kualitas air
Plankton	Fitoplankton dan zooplankton	Menunjukkan kesuburan perairan, eutrofikasi, dan perubahan kualitas air
Mikroalga/ perifiton	Diatom, alga epifit	Sensitif terhadap nutrien, cahaya, salinitas, dan pencemaran
Burung air	Kuntul, bangau, raja udang	Menggambarkan ketersediaan pakan dan kondisi habitat secara umum
Mikroorganisme	Bakteri pengurai, bakteri koliform	Menunjukkan proses dekomposisi, pencemaran organik, atau kontaminasi limbah domestik

Yang paling sering digunakan dalam penelitian mangrove adalah **makrozoobentos**, **moluska**, **vegetasi mangrove**, dan **plankton**, karena relatif mudah diamati dan cepat merespons perubahan lingkungan.

Secara umum, bioindikator dibagi menjadi beberapa kelompok utama, yaitu fitoplankton, makrozoobentos, serta ikan dan organisme akuatik lainnya. Masing-masing kelompok memiliki karakteristik dan tingkat respons yang berbeda terhadap perubahan kualitas air. Fitoplankton cenderung merespon cepat terhadap perubahan nutrisi, sedangkan makrozoobentos mencerminkan kondisi lingkungan jangka panjang. Sementara itu, ikan dapat menunjukkan dampak ekologis yang lebih luas. Integrasi ketiga kelompok ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kesehatan ekosistem perairan.

6.4.1 Fitoplankton dan Diatom



Gambar 6. 3 Fitoplankton dan Diatomae

Fitoplankton merupakan organisme mikroskopis yang berperan sebagai produsen primer dalam ekosistem perairan. Organisme ini sangat sensitif terhadap perubahan kualitas air, terutama terkait dengan nutrisi dan cahaya. Perubahan komposisi fitoplankton dapat menunjukkan adanya pencemaran atau eutrofikasi. Oleh karena itu, fitoplankton sering digunakan sebagai bioindikator awal dalam pemantauan kualitas air. Keberadaan dan kelimpahannya mencerminkan kondisi trofik suatu perairan.

Diatom merupakan salah satu kelompok fitoplankton yang paling banyak digunakan sebagai bioindikator. Organisme ini memiliki dinding sel silika yang tahan terhadap perubahan lingkungan. Diatom mampu menunjukkan perubahan kualitas air berdasarkan komposisi spesiesnya. Selain itu, diatom dapat ditemukan di berbagai habitat seperti kolom air, sedimen, dan substrat lainnya. Hal ini menjadikannya indikator yang sangat fleksibel dan representatif.

Komunitas fitoplankton juga dipengaruhi oleh parameter fisika-kimia seperti pH, suhu, dan konsentrasi nutrisi. Kondisi perairan yang kaya nutrisi cenderung didominasi oleh jenis tertentu seperti cyanobacteria. Sebaliknya, perairan yang relatif bersih biasanya didominasi oleh diatom. Perubahan dominasi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran. Oleh karena itu, analisis komunitas fitoplankton sangat penting dalam studi kualitas air.

Selain sebagai indikator kualitas air, fitoplankton juga memiliki peran penting dalam siklus energi dan nutrisi. Sebagai produsen primer, fitoplankton menjadi dasar rantai makanan di perairan. Perubahan pada komunitas fitoplankton dapat berdampak pada seluruh ekosistem. Oleh karena itu, pemantauan fitoplankton tidak hanya

penting untuk kualitas air, tetapi juga untuk kestabilan ekosistem secara keseluruhan.

6.4.2 Makrozoobentos

Makrozoobentos adalah organisme yang hidup di dasar perairan dan memiliki ukuran relatif besar sehingga dapat diamati tanpa alat pembesar. Kelompok ini meliputi berbagai organisme seperti cacing, moluska, dan krustasea. Makrozoobentos dikenal sebagai bioindikator yang efektif karena memiliki mobilitas rendah dan hidup menetap. Hal ini menyebabkan mereka sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan setempat. Oleh karena itu, perubahan kualitas air akan langsung tercermin pada komunitas makrozoobentos.

Keunggulan makrozoobentos sebagai bioindikator terletak pada sensitivitasnya terhadap perubahan kualitas lingkungan. Organisme ini dapat menunjukkan tingkat pencemaran berdasarkan keanekaragaman dan kelimpahannya. Perairan yang tercemar biasanya didominasi oleh spesies yang toleran terhadap kondisi ekstrem. Sebaliknya, perairan yang bersih memiliki keanekaragaman spesies yang tinggi. Oleh karena itu, analisis komunitas makrozoobentos sering digunakan dalam studi ekologi perairan.

Selain itu, makrozoobentos memiliki peran penting dalam proses ekosistem, terutama sebagai pengurai bahan organik. Organisme ini membantu mempercepat proses dekomposisi dan siklus nutrisi di perairan. Peran ini menjadikan makrozoobentos sebagai komponen penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan demikian, perubahan pada komunitas makrozoobentos dapat berdampak luas terhadap fungsi ekosistem.

Penggunaan makrozoobentos sebagai bioindikator juga didukung oleh kemudahan dalam pengambilan sampel dan identifikasi. Organisme ini relatif mudah dikoleksi dan dianalisis di laboratorium. Selain itu, banyak indeks biologi yang telah dikembangkan berdasarkan komunitas makrozoobentos. Hal ini menjadikan makrozoobentos sebagai salah satu indikator utama dalam biomonitoring perairan.

6.4.3 Ikan dan Organisme Akuatik

Ikan dan organisme akuatik lainnya merupakan bioindikator tingkat tinggi dalam ekosistem perairan. Organisme ini mencerminkan kondisi lingkungan secara lebih kompleks karena berada pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Perubahan kualitas air dapat mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, dan perilaku ikan. Oleh karena itu, ikan sering digunakan sebagai indikator kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Respon ikan terhadap pencemaran biasanya lebih lambat dibandingkan organisme mikroskopis, tetapi memberikan gambaran dampak jangka panjang.

Selain ikan, organisme akuatik lain seperti udang dan moluska juga dapat digunakan sebagai bioindikator. Organisme ini memiliki sensitivitas terhadap perubahan kualitas air, terutama terhadap kandungan oksigen dan polutan. Perubahan distribusi dan kelimpahan organisme ini dapat menunjukkan adanya gangguan lingkungan. Oleh karena itu, analisis komunitas organisme akuatik sangat penting dalam studi ekologi perairan. Pendekatan ini memungkinkan penilaian kualitas air secara lebih menyeluruh.

Ikan juga memiliki keunggulan sebagai bioindikator karena mudah diamati dan memiliki nilai ekonomi penting. Perubahan pada populasi ikan dapat langsung dirasakan

oleh masyarakat, terutama yang bergantung pada sektor perikanan. Selain itu, ikan dapat mengakumulasi zat pencemar dalam tubuhnya. Hal ini memungkinkan analisis bioakumulasi sebagai indikator kualitas lingkungan. Dengan demikian, ikan tidak hanya mencerminkan kondisi lingkungan, tetapi juga risiko terhadap kesehatan manusia.

Secara keseluruhan, penggunaan ikan dan organisme akuatik sebagai bioindikator memberikan perspektif yang lebih luas dalam penilaian kualitas air. Organisme ini mengintegrasikan berbagai faktor lingkungan dalam satu sistem biologis. Oleh karena itu, pendekatan ini sangat penting dalam pengelolaan ekosistem perairan secara berkelanjutan. Integrasi antara fitoplankton, makrozoobentos, dan ikan memberikan gambaran yang komprehensif tentang kondisi ekosistem.

6.5 Hubungan Kualitas Air dan Bioindikator

Kualitas air dan bioindikator memiliki hubungan yang sangat erat dalam menilai kondisi ekosistem perairan, khususnya pada mangrove dan rawa. Parameter fisika dan kimia seperti suhu, pH, salinitas, serta oksigen terlarut secara langsung mempengaruhi kehidupan organisme akuatik. Perubahan pada parameter tersebut akan memicu respon biologis yang dapat diamati melalui perubahan struktur komunitas organisme. Oleh karena itu, bioindikator menjadi alat penting untuk menginterpretasikan kondisi kualitas air secara lebih holistik. Pendekatan ini memungkinkan analisis kondisi lingkungan tidak hanya bersifat sesaat, tetapi juga mencerminkan kondisi jangka panjang.

Selain itu, bioindikator memberikan keunggulan dalam mendeteksi perubahan lingkungan yang tidak selalu terlihat melalui pengukuran kimia. Organisme hidup memiliki kemampuan merespon tekanan lingkungan secara kumulatif,

sehingga dapat menjadi indikator dini terhadap pencemaran. Dalam ekosistem mangrove, kualitas air yang buruk dapat mempengaruhi kesehatan vegetasi dan organisme terkait. Mangrove sendiri diketahui sensitif terhadap perubahan kualitas air, sehingga degradasi lingkungan akan tercermin pada kondisi ekosistem secara keseluruhan. Dengan demikian, hubungan antara kualitas air dan bioindikator bersifat integratif dan saling melengkapi.

6.5.1 Respon Organisme Terhadap Perubahan Lingkungan

Organisme akuatik menunjukkan respon yang beragam terhadap perubahan kualitas air, tergantung pada tingkat sensitivitasnya. Perubahan parameter seperti salinitas, pH, dan oksigen terlarut dapat mempengaruhi fisiologi, perilaku, dan reproduksi organisme. Misalnya, penurunan oksigen terlarut dapat menyebabkan stres hingga kematian pada organisme yang sensitif. Sebaliknya, organisme yang toleran akan tetap bertahan dan bahkan mendominasi komunitas. Hal ini menyebabkan perubahan komposisi komunitas sebagai respon terhadap kondisi lingkungan.

Respon organisme juga dapat diamati melalui perubahan kelimpahan dan keanekaragaman spesies. Pada perairan yang tercemar, biasanya terjadi penurunan keanekaragaman dan peningkatan dominasi spesies tertentu. Kondisi ini menunjukkan adanya tekanan lingkungan yang signifikan. Organisme seperti makrozoobentos sering digunakan untuk mengamati perubahan ini karena sifatnya yang relatif menetap. Dengan demikian, perubahan komunitas organisme dapat digunakan sebagai indikator kualitas air.

Selain itu, respon organisme tidak hanya bersifat langsung tetapi juga kumulatif. Organisme yang terpapar pencemaran dalam jangka panjang akan mengalami

perubahan fisiologis dan adaptasi tertentu. Hal ini dapat terlihat dari perubahan ukuran tubuh, tingkat reproduksi, atau pola distribusi. Respon jangka panjang ini memberikan informasi yang lebih akurat tentang kondisi lingkungan. Oleh karena itu, bioindikator sangat penting dalam studi ekologi perairan.

Dalam ekosistem mangrove, respon organisme juga dipengaruhi oleh dinamika lingkungan yang kompleks. Fluktuasi pasang surut dan interaksi dengan sedimen menyebabkan variasi kondisi lingkungan yang tinggi. Organisme yang hidup di lingkungan ini memiliki adaptasi khusus terhadap perubahan tersebut. Namun, ketika terjadi pencemaran, kemampuan adaptasi ini dapat terganggu. Akibatnya, perubahan komunitas organisme menjadi indikator awal terjadinya degradasi lingkungan.

6.5.2 Indikator Kesehatan Ekosistem

Bioindikator digunakan untuk menilai kesehatan ekosistem berdasarkan kondisi komunitas organisme yang ada. Ekosistem yang sehat umumnya memiliki keanekaragaman spesies yang tinggi dan struktur komunitas yang seimbang. Sebaliknya, ekosistem yang terganggu menunjukkan dominasi spesies tertentu dan penurunan keanekaragaman. Oleh karena itu, analisis komunitas organisme menjadi salah satu metode utama dalam penilaian kesehatan ekosistem. Pendekatan ini memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi lingkungan.

Dalam ekosistem mangrove, kualitas air yang baik akan mendukung pertumbuhan vegetasi dan organisme akuatik. Mangrove juga berperan sebagai biofilter alami yang mampu memperbaiki kualitas air dengan menyerap nutrisi dan polutan. Fungsi ini menjadikan mangrove sebagai indikator penting dalam menjaga kesehatan

ekosistem pesisir. Oleh karena itu, kondisi mangrove dapat mencerminkan kualitas lingkungan secara keseluruhan.

Selain itu, keberadaan spesies indikator tertentu dapat digunakan untuk menilai kondisi ekosistem. Misalnya, kepiting mangrove dari famili Sesarmidae dapat digunakan sebagai indikator kesehatan ekosistem mangrove. Keberadaan dan kelimpahan spesies ini mencerminkan kondisi lingkungan yang mendukung kehidupan organisme tersebut. Dengan demikian, bioindikator tidak hanya menunjukkan kualitas air, tetapi juga kondisi ekologis secara keseluruhan.

Penilaian kesehatan ekosistem juga dapat dilakukan dengan mengintegrasikan berbagai parameter kualitas air dan bioindikator. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dan akurat. Dengan menggabungkan data fisika, kimia, dan biologi, kondisi ekosistem dapat dipahami secara lebih mendalam. Hal ini sangat penting dalam pengelolaan dan konservasi lingkungan perairan. Oleh karena itu, penggunaan bioindikator menjadi bagian penting dalam strategi pengelolaan ekosistem berkelanjutan.

6.6 Metode Analisis dan Monitoring

Metode analisis dan monitoring kualitas air merupakan pendekatan penting dalam menilai kondisi ekosistem perairan secara menyeluruh. Pendekatan ini mengintegrasikan pengukuran parameter fisika-kimia dengan analisis bioindikator untuk memperoleh gambaran kondisi lingkungan yang lebih akurat. Dalam ekosistem mangrove dan rawa, metode ini sangat relevan karena kondisi lingkungan yang dinamis dan kompleks. Oleh karena itu, monitoring dilakukan secara berkala untuk menangkap perubahan temporal dan

spasial. Pendekatan terpadu ini memungkinkan pengelolaan ekosistem berbasis data yang lebih komprehensif.

Selain itu, metode analisis kualitas air juga berperan dalam mendeteksi pencemaran dan mengevaluasi efektivitas pengelolaan lingkungan. Data yang diperoleh dari monitoring digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait konservasi dan rehabilitasi ekosistem. Penggunaan bioindikator melengkapi data fisika-kimia dengan memberikan informasi biologis jangka panjang. Dengan demikian, metode ini tidak hanya bersifat deskriptif tetapi juga prediktif dalam menilai kondisi ekosistem. Integrasi berbagai metode menjadi kunci dalam pengelolaan kualitas air yang berkelanjutan.

6.6.1 Pengukuran Parameter Fisika-Kimia

Pengukuran parameter fisika-kimia merupakan langkah awal dalam analisis kualitas air. Parameter yang umum diukur meliputi suhu, pH, salinitas, kekeruhan, dan total padatan tersuspensi (TSS). Parameter ini memberikan gambaran langsung tentang kondisi lingkungan perairan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat lapangan seperti multiparameter water quality meter dan analisis laboratorium. Data yang dihasilkan bersifat kuantitatif dan mudah dibandingkan antar lokasi.

Selain parameter dasar, analisis juga mencakup oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biologis (BOD), dan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Parameter ini penting untuk menilai tingkat kesuburan dan pencemaran perairan. Misalnya, nilai DO yang rendah menunjukkan kondisi hipoksia yang dapat membahayakan organisme akuatik. Sementara itu, peningkatan nutrisi dapat memicu eutrofikasi. Oleh karena itu, parameter kimia menjadi indikator penting dalam analisis kualitas air.

Pengukuran parameter fisika-kimia juga harus mempertimbangkan faktor temporal dan spasial. Kondisi

perairan dapat berubah secara signifikan dalam waktu singkat akibat pengaruh pasang surut atau curah hujan. Oleh karena itu, pengambilan sampel dilakukan pada waktu dan lokasi yang representatif. Hal ini penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh mencerminkan kondisi sebenarnya. Dengan demikian, desain sampling menjadi aspek penting dalam monitoring kualitas air.

Selain itu, standar baku mutu air digunakan sebagai acuan dalam interpretasi data. Data hasil pengukuran dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan untuk menentukan tingkat pencemaran. Pendekatan ini memungkinkan klasifikasi kondisi perairan menjadi baik, sedang, atau tercemar. Oleh karena itu, pengukuran parameter fisika-kimia menjadi dasar dalam analisis kualitas air secara keseluruhan.

6.6.2 Analisis Bioindikator

Analisis bioindikator dilakukan untuk melengkapi data fisika-kimia dengan informasi biologis. Organisme seperti plankton, makrozoobentos, dan ikan digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan. Organisme ini memiliki sensitivitas berbeda terhadap perubahan kualitas air. Oleh karena itu, analisis komunitas organisme dapat memberikan gambaran kondisi lingkungan dalam jangka panjang. Pendekatan ini sangat penting dalam ekosistem yang dinamis seperti mangrove dan rawa.

Metode analisis bioindikator melibatkan identifikasi spesies, penghitungan kelimpahan, dan analisis keanekaragaman. Indeks biologi seperti indeks Shannon-Wiener sering digunakan untuk menilai keanekaragaman spesies. Nilai indeks yang tinggi menunjukkan kondisi ekosistem yang sehat. Sebaliknya, nilai yang rendah menunjukkan adanya tekanan lingkungan. Oleh karena itu,

analisis bioindikator menjadi alat penting dalam biomonitoring.

Makrozoobentos sering digunakan sebagai bioindikator karena sifatnya yang menetap dan sensitif terhadap perubahan lingkungan. Perubahan komposisi makrozoobentos dapat menunjukkan tingkat pencemaran perairan. Selain itu, plankton juga digunakan untuk mendeteksi perubahan kualitas air secara cepat. Kombinasi berbagai organisme indikator memberikan hasil yang lebih akurat. Dengan demikian, analisis bioindikator menjadi bagian penting dalam monitoring kualitas air.

Selain itu, analisis bioindikator juga dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak aktivitas manusia. Perubahan komunitas organisme dapat menunjukkan adanya pencemaran dari limbah domestik atau industri. Pendekatan ini memungkinkan deteksi dini terhadap degradasi lingkungan. Oleh karena itu, bioindikator menjadi alat yang efektif dalam pengelolaan lingkungan perairan.

6.6.3 Interpretasi Data Kualitas Iar

Interpretasi data kualitas air merupakan tahap akhir dalam proses analisis dan monitoring. Data yang diperoleh dari pengukuran fisika-kimia dan bioindikator dianalisis secara terpadu. Pendekatan ini memungkinkan penilaian kondisi ekosistem secara menyeluruh. Interpretasi dilakukan dengan membandingkan data dengan standar baku mutu dan referensi ilmiah. Dengan demikian, kondisi perairan dapat diklasifikasikan secara objektif.

Dalam interpretasi data, penting untuk mempertimbangkan hubungan antara parameter fisika-kimia dan bioindikator. Misalnya, nilai DO yang rendah biasanya diikuti oleh dominasi organisme yang toleran terhadap kondisi hipoksia. Sementara itu, peningkatan

nutrien dapat menyebabkan perubahan komunitas plankton. Hubungan ini membantu dalam memahami mekanisme perubahan ekosistem. Oleh karena itu, analisis integratif menjadi kunci dalam interpretasi data.

Selain itu, interpretasi data juga mempertimbangkan faktor lingkungan lainnya seperti hidrologi dan aktivitas manusia. Perubahan kualitas air tidak selalu disebabkan oleh satu faktor tunggal. Oleh karena itu, analisis harus dilakukan secara holistik dengan mempertimbangkan berbagai variabel. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi sumber pencemaran secara lebih akurat. Dengan demikian, strategi pengelolaan dapat dirancang secara lebih efektif.

Interpretasi data juga digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk merancang program konservasi dan rehabilitasi ekosistem. Selain itu, monitoring jangka panjang memungkinkan evaluasi efektivitas kebijakan lingkungan. Dengan demikian, interpretasi data kualitas air menjadi bagian penting dalam pengelolaan ekosistem berkelanjutan.

6.7 Peran Ekologis dan Aplikasi

Ekosistem mangrove merupakan salah satu komponen penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan pesisir dan perairan tropis. Mangrove memiliki fungsi ekologis yang kompleks, mulai dari perlindungan fisik pantai hingga pengaturan siklus biogeokimia. Keberadaan mangrove mampu meningkatkan stabilitas ekosistem melalui interaksi antara komponen biotik dan abiotik. Selain itu, mangrove berperan sebagai habitat bagi berbagai organisme akuatik dan terestrial. Fungsi ini menjadikan mangrove sebagai ekosistem kunci dalam menjaga keberlanjutan lingkungan.

Selain fungsi ekologis, mangrove juga memiliki nilai ekonomi yang tinggi, terutama dalam mendukung sektor perikanan dan budidaya. Ekosistem ini menyediakan habitat pembesaran (*nursery ground*) bagi berbagai spesies ikan dan udang. Dengan demikian, keberadaan mangrove berkontribusi langsung terhadap produktivitas perikanan. Selain itu, mangrove juga berperan dalam meningkatkan kualitas air melalui proses filtrasi alami. Fungsi ini sangat penting dalam mendukung kegiatan budidaya yang berkelanjutan.

Mangrove memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim karena mampu menyimpan karbon dalam biomassa dan sedimen. Meskipun luas mangrove relatif kecil dibandingkan ekosistem pesisir lainnya, kontribusinya terhadap penyimpanan karbon sedimen pesisir sangat besar (Alongi, 2014). Ekosistem ini mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar di biomassa dan sedimen. Hal ini menjadikan mangrove sebagai salah satu solusi alami dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, mangrove juga berperan dalam melindungi kawasan pesisir dari dampak perubahan iklim seperti kenaikan muka air laut. Oleh karena itu, konservasi mangrove menjadi prioritas dalam pengelolaan lingkungan global.

Dalam konteks aplikasi, mangrove tidak hanya berfungsi sebagai sistem alami, tetapi juga sebagai bagian dari pendekatan berbasis ekosistem. Pengelolaan mangrove yang berkelanjutan dapat mendukung berbagai sektor, termasuk perikanan, pariwisata, dan mitigasi bencana. Oleh karena itu, integrasi antara fungsi ekologis dan aplikasi praktis menjadi kunci dalam pemanfaatan mangrove. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan sumber daya secara optimal tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan.

6.7.1 Mangrove Sebagai Buffer Lingkungan

Mangrove berfungsi sebagai buffer lingkungan yang melindungi kawasan pesisir dari berbagai tekanan alami dan antropogenik. Sistem akar mangrove yang kompleks mampu menahan sedimen dan mengurangi energi gelombang laut. Hal ini membantu mencegah abrasi dan erosi pantai secara efektif. Selain itu, mangrove juga berfungsi sebagai pelindung terhadap badai dan gelombang tinggi. Dengan demikian, mangrove menjadi benteng alami bagi ekosistem pesisir.

Selain fungsi fisik, mangrove juga berperan sebagai biofilter alami yang menyaring polutan dari daratan sebelum mencapai laut. Akar mangrove mampu menyerap nutrisi berlebih dan logam berat dari air. Proses ini membantu menjaga kualitas air dan mencegah pencemaran laut. Dengan demikian, mangrove berkontribusi dalam menjaga kesehatan ekosistem perairan. Fungsi ini sangat penting dalam konteks peningkatan kualitas lingkungan pesisir.

Mangrove juga berperan dalam menstabilkan salinitas dan parameter fisika-kimia lainnya. Interaksi antara air laut dan air tawar di kawasan mangrove menciptakan kondisi lingkungan yang dinamis. Mangrove membantu menjaga keseimbangan kondisi tersebut melalui proses biologis dan fisik. Hal ini memungkinkan berbagai organisme untuk hidup dan beradaptasi di lingkungan tersebut. Oleh karena itu, mangrove menjadi ekosistem yang sangat produktif dan stabil.

Selain itu, mangrove juga mendukung keanekaragaman hayati yang tinggi. Ekosistem ini menjadi habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna. Keberagaman ini meningkatkan stabilitas ekosistem dan ketahanan terhadap gangguan lingkungan. Dengan demikian, mangrove tidak hanya berfungsi sebagai buffer fisik, tetapi

juga sebagai buffer biologis. Fungsi ini menjadikan mangrove sebagai komponen penting dalam sistem ekologi pesisir.

Mangrove juga memiliki peran dalam membangun daratan melalui akumulasi sedimen. Proses ini membantu memperluas wilayah pesisir dan menciptakan habitat baru. Selain itu, akumulasi sedimen juga berperan dalam penyimpanan karbon. Hal ini menjadikan mangrove sebagai ekosistem yang berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Oleh karena itu, fungsi mangrove sebagai buffer lingkungan memiliki dampak yang luas.

Secara keseluruhan, mangrove berfungsi sebagai sistem penyangga yang melindungi dan menstabilkan lingkungan pesisir. Fungsi ini mencakup aspek fisik, kimia, dan biologis yang saling berinteraksi. Dengan demikian, keberadaan mangrove sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, perlindungan mangrove menjadi prioritas dalam pengelolaan lingkungan.

6.7.2 Konservasi dan Rehabilitasi

Konservasi mangrove merupakan upaya penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem pesisir. Kegiatan ini melibatkan perlindungan kawasan mangrove dari kerusakan akibat aktivitas manusia. Selain itu, konservasi juga mencakup pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga fungsi ekologis mangrove. Oleh karena itu, konservasi menjadi langkah strategis dalam pengelolaan lingkungan.

Rehabilitasi mangrove dilakukan untuk memulihkan ekosistem yang telah mengalami degradasi. Kegiatan ini melibatkan penanaman kembali vegetasi mangrove di area yang rusak. Selain itu, rehabilitasi juga mencakup perbaikan kondisi lingkungan seperti hidrologi dan

kualitas tanah. Keberhasilan rehabilitasi sangat bergantung pada pemilihan lokasi dan spesies yang tepat. Oleh karena itu, perencanaan yang matang sangat diperlukan.

Pendekatan berbasis masyarakat menjadi salah satu strategi efektif dalam konservasi mangrove. Keterlibatan masyarakat lokal dalam pengelolaan mangrove dapat meningkatkan keberhasilan program konservasi. Selain itu, pendekatan ini juga memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat. Dengan demikian, konservasi tidak hanya berfokus pada lingkungan, tetapi juga pada kesejahteraan masyarakat. Hal ini menjadikan konservasi sebagai pendekatan yang berkelanjutan.

Selain itu, kebijakan pemerintah juga berperan penting dalam konservasi mangrove. Regulasi yang mendukung perlindungan kawasan mangrove dapat mengurangi tekanan terhadap ekosistem. Selain itu, program rehabilitasi yang didukung oleh pemerintah dapat mempercepat pemulihan ekosistem. Oleh karena itu, sinergi antara pemerintah, masyarakat, dan akademisi sangat penting. Pendekatan ini memungkinkan pengelolaan mangrove yang lebih efektif.

Konservasi mangrove juga berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Mangrove memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap karbon dari atmosfer. Oleh karena itu, pelestarian mangrove dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, mangrove juga melindungi kawasan pesisir dari dampak perubahan iklim. Dengan demikian, konservasi mangrove memiliki manfaat global.

Secara keseluruhan, konservasi dan rehabilitasi mangrove merupakan langkah penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem. Upaya ini harus dilakukan secara terpadu dan berkelanjutan. Dengan demikian, fungsi ekologis dan ekonomi mangrove dapat tetap terjaga. Oleh

karena itu, konservasi mangrove menjadi prioritas dalam pengelolaan lingkungan pesisir.

6.7.3 Implikasi untuk Perikanan dan Budidaya

Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam mendukung sektor perikanan dan budidaya. Mangrove berfungsi sebagai habitat pembesaran bagi berbagai spesies ikan dan udang. Keberadaan mangrove meningkatkan kelangsungan hidup larva dan juvenil organisme akuatik. Hal ini berdampak langsung pada peningkatan produksi perikanan. Oleh karena itu, mangrove memiliki nilai ekonomi yang tinggi dalam sektor perikanan.

Selain itu, mangrove juga berperan dalam menjaga kualitas air yang penting bagi kegiatan budidaya. Proses filtrasi alami oleh mangrove membantu mengurangi polutan dan nutrisi berlebih. Hal ini menciptakan kondisi lingkungan yang lebih stabil bagi organisme budidaya. Dengan demikian, mangrove mendukung sistem budidaya yang berkelanjutan. Pendekatan ini dikenal sebagai ekosistem-based aquaculture.

Mangrove juga berperan dalam mengurangi risiko penyakit dalam budidaya. Kualitas air yang baik membantu meningkatkan kesehatan organisme budidaya. Selain itu, keberadaan mikroorganisme alami di mangrove dapat membantu mengendalikan patogen. Hal ini mengurangi ketergantungan pada bahan kimia dalam budidaya. Dengan demikian, mangrove berkontribusi dalam praktik budidaya yang ramah lingkungan.

Dalam konteks pengelolaan, integrasi antara mangrove dan tambak menjadi strategi yang efektif. Sistem silvofishery merupakan contoh penerapan konsep ini. Dalam sistem ini, mangrove dan budidaya ikan atau udang dikelola secara bersamaan. Pendekatan ini meningkatkan

produktivitas sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Oleh karena itu, silvofishery menjadi solusi dalam pengelolaan perikanan berkelanjutan.

Selain itu, mangrove juga memberikan perlindungan terhadap infrastruktur budidaya dari gelombang dan badai. Hal ini mengurangi risiko kerusakan tambak dan kerugian ekonomi. Dengan demikian, mangrove memiliki peran strategis dalam mendukung keberlanjutan usaha budidaya. Oleh karena itu, pelestarian mangrove menjadi investasi jangka panjang bagi sektor perikanan.

Secara keseluruhan, mangrove memiliki implikasi yang luas dalam sektor perikanan dan budidaya. Ekosistem ini tidak hanya mendukung produksi, tetapi juga menjaga keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, integrasi antara konservasi mangrove dan kegiatan perikanan menjadi sangat penting. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan sumber daya secara optimal tanpa merusak ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29(3), 331–349.
<https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>
- Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195–219.
<https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (24th ed.). APHA Press.
- Boyd, C. E. (2020). *Water quality: An introduction* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8>
- Chandel, P., Mahajan, D., Thakur, K., Kumar, R., Kumar, S., Brar, B., Sharma, D., & Sharma, A. K. (2024). A review on plankton as a bioindicator: A promising tool for monitoring water quality. *World Water Policy*, 10(1), 213–232. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12137>
- Convention on Wetlands. (2025). *Global wetland outlook 2025: Valuing, conserving, restoring and financing wetlands*. Secretariat of the Convention on Wetlands.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *The world's mangroves 2000–2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc7044en>
- Global Mangrove Alliance. (2024). *The state of the world's mangroves 2024*. Global Mangrove Alliance.

- Hertika, A. M. S., Sudaryanti, S., Musa, M., Amron, K., Putra, R. B. D. S., Alfarisi, M. A., Hidayat, M. R., Pertiwi, M., & Halimah, M. F. (2024). Benthic macroinvertebrates as bioindicators to detect the level of water pollution in the upstream segment of Brantas River Watershed in Malang, East Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(2), 632–643. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250222>
- International Union for Conservation of Nature. (2024). *Red list of mangrove ecosystems*. IUCN.
- Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40, 81–251. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(01\)40003-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(01)40003-4)
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Odum, W. E., & Heald, E. J. (1975). The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. In L. E. Cronin (Ed.), *Estuarine research* (Vol. 1, pp. 265–286). Academic Press.
- Patang, F., Soegianto, A., & Hariyanto, S. (2018). Benthic macroinvertebrates diversity as bioindicator of water quality of some rivers in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Ecology*, 2018, Article 5129421. <https://doi.org/10.1155/2018/5129421>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Pemerintah Republik Indonesia.
- Song, A., Liang, S., Li, H., & Yan, B. (2024). Effects of biodiversity on functional stability of freshwater wetlands: A systematic review. *Frontiers in Microbiology*, 15, Article 1397683. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1397683>

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. World Health Organization.

BAB 7

FUNGSI DAN MANFAAT MANGROVE

Oleh Muhammad Rizki

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang paling khas dan penting di kawasan tropis dan subtropis. Ekosistem ini berkembang pada zona peralihan antara daratan dan lautan, terutama di wilayah pantai, muara, laguna, dan estuari yang dipengaruhi oleh pasang surut. Keunikan mangrove terletak pada kemampuannya beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti salinitas tinggi, substrat berlumpur, genangan periodik, dan dinamika pasang surut. Meskipun luasnya relatif kecil dibandingkan sebagian besar tipe hutan tropis lain, mangrove memiliki nilai ekologis, ekonomi, dan sosial yang sangat besar bagi kawasan pesisir dan masyarakat yang bergantung padanya (Primavera dkk., 2018).

Secara ekologis, mangrove berperan sebagai pelindung alami pantai dari abrasi, erosi, gelombang, banjir pesisir, dan intrusi air laut. Sistem perakarannya yang kompleks mampu menahan sedimen, memperlambat aliran air, dan membantu menjaga stabilitas garis pantai. Selain itu, mangrove juga berfungsi sebagai habitat penting bagi berbagai kelompok organisme, mulai dari mikroorganisme, moluska, krustasea, ikan, reptil, burung, hingga mamalia. Dalam banyak kasus, kawasan mangrove menjadi tempat mencari makan, pemijahan, pembesaran anakan, sekaligus tempat berlindung bagi berbagai biota, termasuk spesies yang bernilai ekonomi tinggi (Alongi, 2008; Nagelkerken dkk., 2008).

Di samping fungsi ekologis lokal, mangrove juga memiliki peran strategis dalam konteks lingkungan global. Ekosistem ini dikenal sebagai salah satu penyimpan karbon biru yang penting sehingga berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Mangrove juga membantu memperbaiki kualitas air melalui penyerapan sedimen, unsur hara, dan sebagian bahan pencemar, serta mendukung kesehatan ekosistem pesisir lain yang saling terhubung, seperti padang lamun dan terumbu karang. Dalam perspektif jasa ekosistem, manfaat mangrove mencakup penyediaan sumber pangan, perlindungan bencana, hingga peluang pengembangan pendidikan, penelitian, dan ekowisata (Alongi, 2020; Choudhary dkk., 2024).

Namun demikian, keberadaan ekosistem mangrove saat ini menghadapi berbagai tekanan yang semakin kompleks. Konversi lahan untuk tambak dan pertanian, pembangunan pesisir, eksploitasi berlebih, pencemaran, gangguan hidrologi, serta dampak perubahan iklim telah menyebabkan penurunan luasan dan kualitas ekosistem mangrove di banyak wilayah. Tekanan-tekanan tersebut tidak hanya mempercepat hilangnya tutupan mangrove, tetapi juga menurunkan kapasitas perlindungan pesisir, penyimpanan karbon, dan daya dukungnya terhadap keanekaragaman hayati maupun penghidupan masyarakat pesisir (Goldberg dkk., 2020; Richards & Friess, 2016).

Berdasarkan uraian tersebut, pembahasan mengenai fungsi dan manfaat mangrove menjadi penting untuk memperkuat pemahaman tentang peran strategis ekosistem ini, baik dalam menjaga keseimbangan lingkungan pesisir maupun dalam menunjang kehidupan masyarakat. Bab ini menguraikan fungsi ekologis mangrove, perannya dalam menopang keanekaragaman hayati, manfaatnya bagi lingkungan dan manusia, serta pentingnya pengelolaan berkelanjutan agar ekosistem mangrove tetap lestari dan produktif.



Disusun dari sintesis literatur tentang fungsi ekologis, biodiversitas, manfaat, dan pengelolaan mangrove.

Gambar 7. 1 Kerangka Sintesis Fungsi dan Manfaat Mangrove dalam Sistem Pesisir

Sumber: disusun berdasarkan Primavera dkk. (2018), Nagelkerken dkk. (2008), Alongi (2020), dan Richards & Friess (2016).

7.1 Fungsi Ekologis Mangrove dalam Ekosistem Pesisir

7.1.1 Peran Mangrove dalam Menjaga Stabilitas Garis Pantai

Mangrove berperan penting dalam menjaga stabilitas garis pantai karena bekerja sebagai pelindung fisik sekaligus penyangga ekologis di kawasan pesisir. Sistem akar, batang, dan kanopi mangrove menurunkan energi hidrodinamika, memperlambat aliran air, serta mendorong pengendapan sedimen di sekitar tegakan. Fungsi ini membuat mangrove mampu mengurangi pengikisan garis pantai dan mempertahankan kestabilan substrat pada zona intertidal (Purba dkk., 2025; Horstman dkk., 2014; Nguyễn & Chinh, 2025).

Peran tersebut semakin kuat karena interaksi antara akar mangrove, sedimen, dan komunitas mikroba rizosfer turut meningkatkan pengikatan partikel, biomineralisasi, dan penguatan tanah pesisir. Di sisi lain, efektivitas perlindungan mangrove tetap dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi, lebar sabuk mangrove, morfologi akar, salinitas, pasang surut, dan tekanan antropogenik. Oleh sebab itu, mangrove perlu dipahami sebagai infrastruktur ekologis alami yang menjaga integritas garis pantai melalui kombinasi mekanisme fisik dan ekologis (Siddique dkk., 2025).

7.1.2 Peran Mangrove dalam Mengurangi Abrasi, Gelombang, dan Intrusi Air Laut

Dalam mengurangi abrasi, mangrove berfungsi melalui sistem perakaran yang rapat dan kompleks yang mampu menstabilkan sedimen, memperlambat arus, dan memperkuat tanah pesisir. Mekanisme ini menurunkan laju pengikisan pantai karena partikel sedimen tidak mudah terlepas dan terangkut oleh arus maupun gelombang. Pada saat yang sama, akar, batang, dan kanopi mangrove juga meredam energi gelombang sebelum mencapai daratan, sehingga potensi abrasi dan kerusakan garis pantai dapat ditekan secara nyata (Pontee dkk., 2016)

Peran mangrove terhadap intrusi air laut lebih berkaitan dengan fungsinya sebagai penyangga biogeokimia dan penstabil lingkungan pesisir. Mangrove dapat membantu membatasi pergerakan salinitas di zona pesisir, tetapi pengendalian intrusi air laut pada skala yang lebih luas tetap memerlukan dukungan pengelolaan air tanah, pengaturan ekstraksi, dan penghalang hidraulik atau biologis. Karena itu, pendekatan yang paling efektif ialah pendekatan terpadu yang menggabungkan solusi berbasis alam dengan rekayasa pesisir sesuai kondisi

setempat (Werner dkk., 2013; Papailiopoulou dkk., 2026; Huynh dkk., 2024; Jordan & Fröhle, 2022).

7.1.3 Fungsi Akar Mangrove dalam Menahan Sedimen

Akar mangrove berfungsi penting dalam menahan sedimen karena mampu memperlambat aliran air, menurunkan energi hidrodinamika, dan menangkap partikel sedimen secara fisik di antara struktur akar yang kompleks. Tipe akar seperti *prop roots* pada *Rhizophora*, *pneumatophores* pada *Avicennia* dan *Sonneratia*, serta *knee roots* pada *Bruguiera* menunjukkan kontribusi yang berbeda, tetapi seluruhnya berperan dalam meningkatkan deposisi sedimen dan memperkuat substrat pesisir (Krauss dkk., 2003; Nguyen dkk., 2023; Raheman dkk., 2020).

Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh morfologi akar, kerapatan, porositas, plastisitas pertumbuhan akar, serta kondisi lingkungan seperti pasang surut, ukuran butir sedimen, salinitas, dan energi gelombang. Akar yang lebih rapat dan kompleks cenderung menghasilkan gaya hambat yang lebih besar sehingga peluang deposisi partikel halus dan bahan organik meningkat. Secara ekologis, penahanan sedimen oleh akar mangrove mendorong peningkatan elevasi tanah, pembentukan habitat benthik dan intertidal, serta akumulasi karbon di bawah permukaan, sehingga fungsi ini menjadi landasan penting bagi stabilitas pesisir jangka panjang (Kazemi dkk., 2021)

7.1.4 Kontribusi Mangrove terhadap Stabilitas Fisik Lingkungan

Mangrove memberikan kontribusi besar terhadap stabilitas fisik lingkungan pesisir melalui kemampuan sistem perakarannya dalam memperkuat tanah, meningkatkan kekuatan geser, dan menekan laju erosi.

Akar tunjang pada *Rhizophora* serta pneumatofora pada *Avicennia* dan *Sonneratia* berfungsi sebagai penguat alami yang menjaga kohesi substrat dan menurunkan kerentanan pantai terhadap pengikisan. Dalam berbagai kondisi lapangan, efektivitas ini dilaporkan mampu menurunkan erosi secara sangat signifikan, sehingga mangrove layak diposisikan sebagai penyangga fisik utama pada lingkungan pesisir (Siddique dkk., 2025; Karimi dkk., 2022; Jayson-Quashigah dkk., 2025; Krauss dkk., 2003).

Tabel 7. 1 Ringkasan Mekanisme Ekologis Mangrove dalam Menjaga Stabilitas Pesisir

Subtopik	Mekanisme utama	Dampak utama	Implikasi
7.1.1	Peredaman energi hidrodinamika dan pengendapan sedimen	Menjaga integritas garis pantai	Konservasi sabuk mangrove
7.1.2	Stabilisasi sedimen, redaman gelombang, penyangga salinitas	Mengurangi abrasi dan tekanan fisik	Pendekatan terpadu berbasis alam
7.1.3	Akar kompleks menangkap partikel dan memperlambat aliran	Akresi sedimen dan kenaikan elevasi tanah	Pemulihan struktur akar dan hidrologi

Subtopik	Mekanisme utama	Dampak utama	Implikasi
7.1.4	Penguatan tanah, retensi sedimen, ketahanan ekosistem	Stabilitas fisik lingkungan pesisir	Pengelolaan adaptif terhadap gangguan

Sumber: disusun dari sintesis pembahasan pada Subbab 7.1.

Kontribusi tersebut semakin lengkap karena mangrove juga meningkatkan retensi dan akresi sedimen, meredam energi gelombang, menopang keanekaragaman hayati, dan mendukung interaksi mikrobiota rizosfer yang berperan dalam stabilitas sedimen serta penyimpanan karbon. Meskipun demikian, fungsi ini tetap dipengaruhi oleh pasang surut, salinitas, dinamika hidrodinamika, konversi lahan, polusi, dan perubahan iklim. Dengan demikian, stabilitas fisik lingkungan pada ekosistem mangrove merupakan hasil interaksi antara penguatan fisik oleh vegetasi, proses sedimentasi, dan ketahanan biologis ekosistem secara keseluruhan (Alongi, 2008).

Keempat subtopik di atas menunjukkan bahwa stabilitas pesisir pada ekosistem mangrove tidak dibentuk oleh satu mekanisme tunggal, tetapi oleh keterkaitan antara perlindungan garis pantai, pengurangan abrasi dan gelombang, penahanan sedimen oleh akar, serta kontribusi mangrove terhadap kestabilan fisik lingkungan secara lebih luas. Rangkaian fungsi tersebut menegaskan bahwa mangrove merupakan fondasi ekologis dan fisik yang menopang ketahanan kawasan pesisir.

7.2 Peran Mangrove dalam Menunjang Keanekaragaman Hayati

Mangrove merupakan habitat transisi yang menghubungkan daratan dan laut, sehingga perannya terhadap keanekaragaman hayati tidak hanya terlihat pada tingginya kekayaan jenis, tetapi juga pada fungsi ekologisnya sebagai ruang hidup, tempat berlindung, lokasi mencari makan, area pembesaran, dan jalur konektivitas antar-ekosistem pesisir. Oleh karena itu, pembahasan pada bab ini menempatkan mangrove sebagai penopang utama keberlanjutan komunitas biota pesisir dari tingkat lokal hingga bentang pesisir yang lebih luas.

7.2.1 Mangrove sebagai Habitat Flora dan Fauna

Mangrove merupakan habitat intertidal yang sangat khas karena tersusun oleh vegetasi toleran garam dengan sistem akar kompleks, substrat berlumpur, dan pengaruh pasang surut yang dinamis. Kondisi tersebut membentuk heterogenitas habitat yang tinggi sehingga mangrove mampu mendukung berbagai kelompok flora dan fauna, mulai dari tumbuhan mangrove sejati hingga ikan, krustasea, moluska, reptil, amfibi, burung, mamalia, dan beragam invertebrata lainnya. Pada skala biogeografi, kawasan Indo-West Pacific dikenal sebagai pusat keragaman mangrove dan biota asosiasinya, sehingga mangrove sering dipandang sebagai salah satu habitat pesisir paling penting bagi konservasi biodiversitas (Lee dkk., 2017; Nagelkerken dkk., 2008; Ouyang & Guo, 2021; Rajpar & Zakaria, 2014).



Gambar 7. 2 *Rhizophora* sp.

Sumber: Zanganeh dkk. (2023)

Sebagai habitat flora, mangrove ditandai oleh dominasi jenis-jenis seperti *Rhizophora*, *Avicennia*, *Sonneratia*, *Bruguiera*, *Ceriops*, dan *Lumnitzera* yang menunjukkan zonasi sesuai gradien salinitas, frekuensi genangan, dan sifat substrat. Sebagai habitat fauna, struktur tajuk, akar, dan sedimen mangrove menyediakan ruang hidup yang aman dan produktif bagi berbagai organisme untuk berlindung, mencari makan, dan menyelesaikan fase penting dalam siklus hidupnya. Karena itu, fungsi habitat mangrove tidak hanya ditentukan oleh keberadaan vegetasi, tetapi juga oleh interaksi antara kompleksitas struktur, dinamika hidrologi, dan kondisi lingkungan setempat (Nagelkerken dkk., 2008; Lee dkk., 2017).

Namun, fungsi habitat tersebut sangat rentan terhadap tekanan antropogenik seperti konversi lahan, akuakultur, urbanisasi, pencemaran, dan perubahan iklim. Hilangnya mangrove berarti hilangnya ruang hidup bagi banyak spesies pesisir serta melemahnya integritas

ekologis wilayah pantai. Dengan demikian, menjaga mangrove sebagai habitat flora dan fauna merupakan langkah mendasar dalam mempertahankan keanekaragaman hayati pesisir dan fungsi ekosistemnya secara berkelanjutan (Naskar dkk., 2023; Damastuti dkk., 2022; Lee dkk., 2017).

7.2.2 Peran Mangrove bagi Ikan, Udang, Kepiting, Moluska, Burung, dan Biota Lainnya

Bagi ikan, udang, kepiting, dan moluska, mangrove menyediakan habitat yang kaya perlindungan dan sumber makanan melalui struktur akar yang rapat, kolom air dangkal, serta ketersediaan detritus dan organisme kecil sebagai pakan. Banyak ikan juvenil memanfaatkan akar tunjang sebagai tempat berlindung dari predator, sementara udang penaeid cenderung memanfaatkan tepian mangrove dan perairan yang terhubung dengan pasang surut untuk pertumbuhan awal. Kepiting dan moluska juga sangat bergantung pada sedimen, serasah, dan mikrohabitat akar mangrove untuk makan, berlindung, dan menjalani aktivitas hidupnya, sehingga keberadaan mangrove berkontribusi langsung terhadap produktivitas perikanan pesisir (Arceo-Carranza dkk., 2021).

Bagi burung dan biota lainnya, mangrove menyediakan tajuk untuk bertengger dan bersarang, area lumpur atau perairan dangkal untuk mencari makan, serta ruang perlindungan bagi berbagai jenis reptil, mamalia kecil, serangga, dan fauna semi-akuatik lainnya. Struktur vegetasi dan tingkat heterogenitas habitat berpengaruh terhadap kekayaan dan keberhasilan penggunaan habitat oleh burung, termasuk burung air, burung migran, dan beberapa spesies spesialis mangrove. Restorasi mangrove bahkan dilaporkan meningkatkan kembali ketersediaan relung bagi komunitas burung dan biota lain, sehingga menunjukkan bahwa fungsi habitat mangrove bersifat

dinamis namun dapat dipulihkan bila integritas ekosistemnya dijaga (Nagelkerken dkk., 2008).

Peran tersebut diperkuat oleh proses ekologi internal mangrove, terutama jaring makanan berbasis detritus, daur ulang nutrien, dan aktivitas bioturbasi oleh kepiting yang membantu menjaga kesehatan sedimen. Dengan kata lain, mangrove bukan sekadar menyediakan ruang fisik bagi organisme, tetapi juga mendukung proses-proses ekologis yang memungkinkan berbagai kelompok biota mempertahankan populasinya. Oleh sebab itu, nilai mangrove bagi ikan, udang, kepiting, moluska, burung, dan biota lainnya harus dipahami sebagai perpaduan antara fungsi habitat, fungsi trofik, dan fungsi penyangga ekosistem pesisir (Holguin dkk., 2001; Cannicci dkk., 2008; Arceo-Carranza dkk., 2021).

7.23 Fungsi *Nursery Ground*, *Feeding Ground*, dan *Breeding Ground*

Sebagai ***nursery ground***, mangrove menyediakan lingkungan yang aman dan produktif bagi fase juvenil berbagai organisme akuatik. Kompleksitas akar, kedalaman perairan yang relatif dangkal, serta kondisi hidrografi seperti salinitas dan oksigen terlarut yang sesuai dapat meningkatkan peluang hidup larva dan juvenil ikan, udang, maupun krustasea lainnya. Banyak spesies memanfaatkan mangrove hanya pada fase awal kehidupannya sebelum berpindah ke lamun, terumbu karang, atau perairan yang lebih terbuka, sehingga mangrove berfungsi sebagai area pembesaran yang krusial bagi keberhasilan rekrutmen populasi (Nagelkerken, 2009).

Sebagai ***feeding ground***, mangrove menopang jaring makanan melalui produksi serasah daun, detritus, mikroalga, fitoplankton, epibion, serta bahan organik yang

masuk dari habitat sekitarnya. Kombinasi sumber pakan ini mendukung ikan juvenil, udang, moluska, dan berbagai konsumen antara, termasuk kepiting yang berperan besar dalam mendaur ulang bahan organik dan mempercepat perpindahan energi dalam ekosistem. Oleh karena itu, fungsi makan di mangrove tidak hanya bersandar pada satu sumber karbon, tetapi pada jejaring trofik yang kompleks dan sangat dipengaruhi oleh kondisi geomorfologi, kualitas habitat, dan konektivitas dengan ekosistem sekitarnya (Arceo-Carranza dkk., 2021).

Sebagai ***breeding ground***, mangrove dimanfaatkan oleh sejumlah ikan, burung, dan krustasea sebagai lokasi pemijahan, bertelur, bersarang, atau menjalani fase reproduktif penting lainnya. Keberhasilan fungsi ini ditentukan oleh kombinasi kompleksitas struktur habitat, kondisi salinitas dan pasang surut, serta tingkat gangguan manusia dan predasi. Dengan demikian, *nursery ground*, *feeding ground*, dan *breeding ground* merupakan tiga fungsi yang saling berhubungan dan menjelaskan mengapa mangrove sangat penting dalam mempertahankan dinamika populasi dan keberlanjutan komunitas biota pesisir (Emata, 2003; Martínez & Rodrigues, 1999; Chaves & Bouchereau, 2000; Hermansen dkk., 2017; Asiah dkk., 2025).

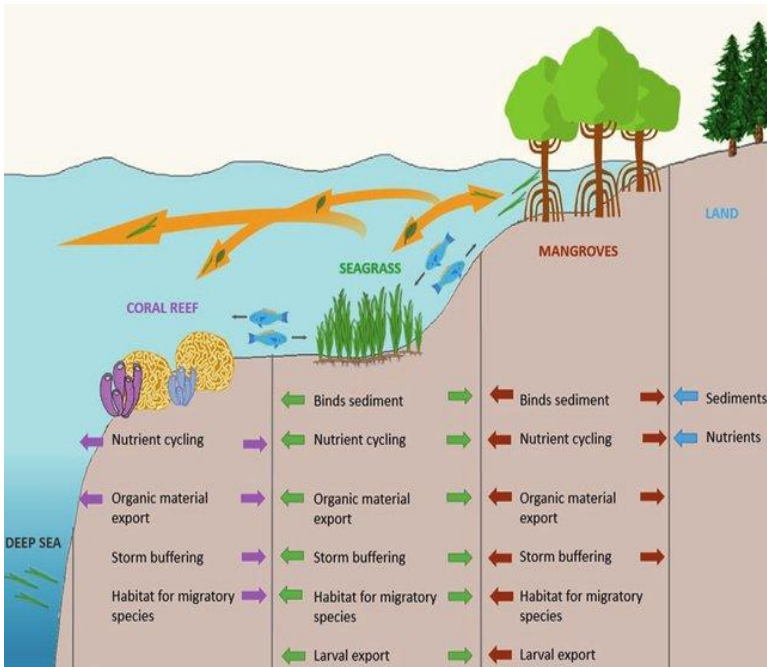
7.2.4 Konektivitas Ekologis Mangrove dengan Ekosistem Pesisir Lainnya

Mangrove memiliki konektivitas ekologis yang kuat dengan lamun, terumbu karang, estuari, *mudflat*, dan perairan pesisir lainnya melalui aliran pasang surut, perpindahan organisme, serta pertukaran sedimen, bahan organik, dan nutrien. Melalui proses outwelling dan retensi sedimen, mangrove dapat memasok atau memodifikasi fluks karbon dan hara yang kemudian memengaruhi produktivitas habitat tetangganya. Dalam bentang pesisir

tropis, hubungan ini menjadikan mangrove bukan habitat yang berdiri sendiri, tetapi bagian dari sistem pesisir yang saling bergantung secara biofisik (Akhand dkk., 2021)

Konektivitas tersebut juga dimediasi oleh fauna bergerak seperti ikan, kepiting, moluska, dan burung. Banyak ikan juvenil menggunakan mangrove sebagai habitat awal sebelum bermigrasi ke lamun atau terumbu karang, sementara burung dapat mentransfer nutrisi antarlokasi dan memperluas konektivitas pada skala lanskap. Pada sisi lain, struktur akar mangrove memodifikasi hidrodinamika lokal, memperlambat arus, menahan sedimen, dan menciptakan kondisi yang mendukung komunitas benthik di habitat yang bersebelahan. Karena itu, konektivitas mangrove bekerja sekaligus melalui jalur trofik, hidrodinamik, dan pergerakan biota (Mumby, 2006; van der Stocken dkk., 2019).

Dalam konteks pengelolaan, menjaga konektivitas ekologis berarti mempertahankan konfigurasi bentang pesisir secara utuh, bukan hanya melindungi tegakan mangrove secara parsial. Fragmentasi habitat, perubahan morfologi estuari, pencemaran, dan tekanan pembangunan pesisir dapat memutus aliran organisme maupun nutrisi yang menopang fungsi ekosistem. Oleh sebab itu, konservasi mangrove perlu diposisikan dalam kerangka pengelolaan terpadu pesisir agar fungsi konektivitas dengan lamun, terumbu karang, estuari, dan habitat lain tetap terjaga (van der Stocken dkk., 2019; Carlson dkk., 2021; Wang dkk., 2025; Lee dkk., 2022).



Gambar 7. 3 Keterkaitan Antar Ekosistem di Sepanjang Bentang Laut Tropis

Sumber : Earp, Prinz, & Andskog (2018)

7.3 Manfaat Mangrove bagi Lingkungan dan Kehidupan Manusia

7.3.1 Peran Mangrove dalam Penyimpanan Karbon Biru (*Blue Carbon*)

Mangrove merupakan salah satu penyimpan karbon biru paling penting di wilayah pesisir karena mampu menyerap CO_2 melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, serta sedimen anoksik yang memperlambat dekomposisi bahan organik. Kapasitas ini menjadikan

mangrove sebagai penyerap karbon jangka panjang yang sangat efisien, terutama karena karbon tidak hanya tersimpan pada pohon, tetapi juga terakumulasi dalam tanah dan sedimen yang relatif stabil dalam jangka waktu lama (Alongi, 2020 ; Choudhary dkk., 2024).

Besarnya stok karbon mangrove dipengaruhi oleh struktur tegakan, umur hutan, komposisi spesies, konektivitas hidrologis, serta kondisi lingkungan seperti pasang surut, salinitas, tekstur tanah, dan ketersediaan nutrisi. Tegakan yang lebih beragam dan restorasi multi-spesies umumnya menunjukkan kapasitas penyimpanan karbon yang lebih tinggi dibandingkan monokultur, sedangkan gangguan antropogenik seperti konversi lahan, urbanisasi, dan pencemaran dapat menurunkan stok karbon secara nyata. Karena itu, konservasi mangrove yang masih utuh tetap menjadi strategi paling efektif untuk mencegah emisi, sementara restorasi berperan penting dalam memulihkan kembali stok karbon dan fungsi ekosistem pada kawasan yang telah terdegradasi (Li dkk., 2025; Arifanti dkk., 2022).

7.3.2 Fungsi Mangrove dalam Menjaga Kualitas Air

Mangrove berfungsi sebagai penyangga alami kualitas air melalui kombinasi proses fisik, kimia, dan biologis. Sistem akar dan sedimen mangrove menyaring partikel tersuspensi, menahan sedimen, serta mengurangi pergerakan polutan ke perairan pesisir yang lebih terbuka. Pada saat yang sama, proses biogeokimia di sedimen mangrove membantu mengubah, menahan, atau mengurangi beban nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, sehingga menekan risiko eutrofikasi dan menjaga kestabilan kualitas perairan di sekitarnya (Kristensen dkk., 2017)

Selain itu, mangrove juga berperan sebagai sistem fitoremediasi alami karena akar, rizosfer, dan komunitas mikroba yang berasosiasi dengannya mampu menyerap, mengakumulasi, atau mengimobilisasi logam berat dan berbagai kontaminan lainnya. Sinergi antara tumbuhan dan mikroba ini mendukung detoksifikasi, menjaga stabilitas sedimen, dan mengurangi bioavailabilitas polutan dalam kolom air. Sebaliknya, degradasi mangrove dapat memicu remobilisasi logam berat, memperburuk kualitas air, dan menurunkan fungsi ekologis pesisir secara keseluruhan, sehingga perlindungan dan rehabilitasi mangrove sangat penting dalam menjaga kualitas perairan pesisir secara berkelanjutan (Siddique dkk., 2025; Akbar dkk., 2026)

7.3.3 Manfaat Ekonomi Bagi Masyarakat Pesisir

Bagi masyarakat pesisir, mangrove memberikan manfaat ekonomi langsung melalui dukungannya terhadap perikanan, hasil hutan bukan kayu, dan berbagai usaha berbasis sumber daya pesisir. Mangrove menopang produktivitas perikanan karena berfungsi sebagai habitat penting bagi ikan, udang, kepiting, dan kerang yang menjadi sumber pangan sekaligus sumber pendapatan rumah tangga. Selain itu, mangrove juga menyediakan madu, lilin, tanin, bahan pangan, dan produk turunan lain yang bernilai ekonomi, terutama bagi rumah tangga yang sangat bergantung pada sumber daya lokal untuk mempertahankan penghidupannya (Yamamoto, 2023; Nobu dkk., 2025; Das dkk., 2022).

Di luar manfaat langsung tersebut, mangrove juga menghasilkan manfaat ekonomi tidak langsung melalui perlindungan pantai, pengurangan risiko bencana, penyerapan karbon, dan peningkatan ketahanan ekonomi jangka panjang. Ekowisata mangrove dan skema pengelolaan berbasis komunitas turut membuka peluang

diversifikasi pendapatan, sekaligus memperkuat distribusi manfaat yang lebih adil bila didukung tata kelola yang baik. Sebaliknya, degradasi mangrove dapat menurunkan pendapatan rumah tangga, memperlemah ketahanan pangan, dan meningkatkan kerentanan sosial-ekonomi masyarakat pesisir, sehingga pengelolaan berbasis komunitas, pendekatan sosial-ekologi, dan inovasi ekonomi sirkular menjadi penting dalam optimalisasi manfaat mangrove (Tinh dkk., 2021; Utami dkk., 2022; Datta dkk., 2012; Du dkk., 2025).

7.3.4 Potensi Mangrove untuk Pendidikan, Penelitian, dan Ekowisata

Mangrove memiliki potensi besar sebagai ruang pendidikan dan penelitian karena menyediakan laboratorium alam yang memungkinkan pembelajaran berbasis pengalaman, observasi langsung, dan integrasi antara sains dengan pengetahuan lokal. Program pendidikan lingkungan berbasis mangrove terbukti meningkatkan literasi ekologis, sikap konservasi, dan keterhubungan peserta didik dengan alam, terutama ketika pembelajaran dilakukan melalui kegiatan lapangan, media interaktif, serta pendekatan yang melibatkan komunitas setempat. Dalam konteks penelitian, ekosistem mangrove juga menjadi arena penting bagi kajian interdisipliner yang mencakup ekologi, jasa ekosistem, perubahan iklim, pemetaan spasial, dan dinamika sosial-ekologi (Kamaludin dkk., 2022).

Mangrove juga berpotensi dikembangkan sebagai ekowisata berkelanjutan yang memadukan konservasi, pendidikan publik, dan pemberdayaan ekonomi masyarakat. Model ekowisata berbasis komunitas dapat meningkatkan pendapatan lokal, memperluas kesadaran konservasi, dan memperkuat rasa memiliki terhadap ekosistem, terutama bila disertai pengaturan daya dukung,

pembagian manfaat yang adil, promosi digital yang tepat, dan tata kelola kolaboratif lintas pemangku kepentingan. Dengan demikian, pendidikan, penelitian, dan ekowisata di kawasan mangrove sebaiknya dipandang sebagai satu kesatuan yang saling memperkuat dalam mendukung konservasi dan pembangunan pesisir yang berkelanjutan (Blanton dkk., 2024; Faubiany dkk., 2024; Ahmad & Suratman, 2021).

7.3.5 Nilai Sosial dan Budaya Mangrove

Nilai sosial dan budaya mangrove melampaui fungsi ekologis dan ekonominya karena ekosistem ini sering menjadi bagian dari identitas, memori kolektif, dan sistem pengetahuan lokal masyarakat pesisir. Di berbagai komunitas, mangrove hadir dalam bentuk tradisi lisan, ritual, larangan adat, hingga praktik pengelolaan berbasis kearifan lokal yang mengatur hubungan manusia dengan ruang pesisir. Kehadiran nilai-nilai tersebut menjadikan mangrove bukan sekadar sumber daya alam, tetapi juga ruang hidup yang mengandung makna sosial, spiritual, dan historis bagi komunitas setempat (Quevedo dkk., 2020)

Keterikatan masyarakat terhadap mangrove juga berpengaruh pada kohesi sosial, rasa aman, kesejahteraan psikologis, dan partisipasi dalam konservasi. Namun, manfaat sosial-budaya ini tidak selalu terdistribusi secara setara karena masih terdapat hambatan partisipasi bagi kelompok rentan, termasuk perempuan dan komunitas yang termarginalkan dalam tata kelola. Oleh sebab itu, pengelolaan mangrove yang berkelanjutan perlu mengakui nilai sosial dan budaya, mengintegrasikan pengetahuan lokal ke dalam kebijakan, serta memperkuat model pengelolaan berbasis komunitas yang inklusif dan adil (Fadilah dkk., 2025; Damastuti & De Groot, 2017).

7.4 Pengelolaan Berkelanjutan dan Konservasi Mangrove

7.4.1 Ancaman dan Degradasi Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove menghadapi tekanan yang sangat besar, terutama dari aktivitas manusia seperti konversi lahan untuk akuakultur dan pertanian, pembangunan infrastruktur pesisir, penebangan, serta pencemaran dari limbah domestik dan industri. Di Asia Tenggara, perubahan penggunaan lahan untuk tambak dan pembangunan pesisir menjadi pendorong utama hilangnya tutupan mangrove, karena proses tersebut tidak hanya mengurangi luas habitat, tetapi juga memecah lanskap mangrove menjadi fragmen-fragmen kecil yang lebih rentan terhadap gangguan lanjutan (Goldberg dkk., 2020). Seperti yang terjadi di wilayah Jawa Timur, dimana deforestasi dan pertumbuhan penduduk menjadi *Antropic impact* bagi mangrove yang berada di pesisir Surabaya (Rudianto dkk., 2020; Sumarmi dkk., 2021) Polusi logam berat dan limbah cair juga memperburuk kondisi ekologis mangrove melalui penurunan kualitas air dan sedimen, gangguan fisiologis tumbuhan, serta peningkatan risiko bioakumulasi dalam jejaring makanan pesisir (Mahmudi dkk., 2021; Qian dkk., 2025).

Selain tekanan antropogenik, mangrove juga menghadapi ancaman alami dan iklim seperti erosi pantai, badai tropis, perubahan pola hidrologi, dan kenaikan muka laut. Ancaman-ancaman ini menjadi lebih serius ketika ruang migrasi mangrove ke arah darat terhambat oleh tanggul, jalan, permukiman, atau infrastruktur pesisir lainnya. Dalam kondisi demikian, kemampuan mangrove untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan muka laut dan dinamika sedimen menjadi semakin terbatas, sehingga risiko kehilangan habitat dan penurunan kapasitas

sekuestrasi karbon meningkat (Ashton, 2022; Lovelock dkk., 2015; Ghosh dkk., 2019; Qiao dkk., 2025).

Degradasi mangrove pada akhirnya tercermin pada menurunnya kesehatan ekosistem, berubahnya struktur komunitas, serta meningkatnya kerentanan spesies-spesies yang memiliki sebaran sempit atau kebutuhan habitat yang spesifik. Fragmentasi habitat, pencemaran, dan gangguan hidrologi menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati, melemahkan fungsi penyangga pesisir, dan menurunkan daya pulih ekosistem terhadap gangguan berikutnya. Karena itu, ancaman terhadap mangrove perlu dipahami sebagai tekanan yang bersifat multifaktor dan saling memperkuat, bukan sebagai gangguan tunggal yang berdiri sendiri (Polidoro dkk., 2010; Siddique dkk., 2025; Schwenke & Helfer, 2021).

7.4.2 Dampak Hilangnya Fungsi Mangrove

Hilangnya fungsi mangrove menimbulkan dampak ekologis yang segera terasa pada penurunan keanekaragaman hayati dan melemahnya fungsi habitat pesisir. Mangrove merupakan tempat asuhan, mencari makan, dan berlindung bagi berbagai biota, sehingga degradasinya akan mengurangi kualitas habitat bagi ikan, udang, kepiting, burung, dan organisme lain yang bergantung pada ekosistem ini. Penurunan fungsi tersebut kemudian diikuti oleh turunnya produktivitas perikanan dan menurunnya kontribusi mangrove terhadap ketahanan pangan komunitas pesisir (Bimrah dkk., 2022; Huber dkk., 2023; Ickowitz dkk., 2023).

Dari sisi fisik dan iklim, hilangnya mangrove berarti melemahnya perlindungan alami pantai dari erosi, banjir pesisir, gelombang badai, dan abrasi. Berkurangnya vegetasi mangrove meningkatkan keterpaparan wilayah pesisir terhadap kerusakan infrastruktur dan kerugian

ekonomi, terutama di lokasi yang rawan badai dan kenaikan muka laut. Pada saat yang sama, deforestasi dan kematian mangrove juga menyebabkan hilangnya cadangan karbon biru dan meningkatnya emisi karbon dari biomassa serta sedimen, sehingga kontribusi mangrove terhadap mitigasi perubahan iklim ikut menurun (Adame dkk., 2021).

Dampak sosial-ekonomi dari hilangnya fungsi mangrove sangat nyata bagi masyarakat lokal yang menggantungkan hidup pada jasa ekosistem pesisir. Penurunan hasil perikanan, berkurangnya perlindungan pantai, dan melemahnya jasa budaya maupun wisata akan meningkatkan kerentanan ekonomi rumah tangga, mempersempit pilihan mata pencaharian, dan dalam beberapa kasus memicu konflik pemanfaatan ruang pesisir. Oleh karena itu, hilangnya fungsi mangrove bukan hanya persoalan lingkungan, tetapi juga persoalan kesejahteraan, keadilan sosial, dan keberlanjutan komunitas pesisir dalam jangka panjang (Yamamoto, 2023).

7.4.3 Prinsip Pengelolaan dan Pemanfaatan Berkelanjutan

Prinsip dasar pengelolaan dan pemanfaatan berkelanjutan menuntut keseimbangan antara tujuan ekologis, sosial, dan ekonomi. Dalam konteks mangrove, prinsip ini berarti bahwa pemanfaatan sumber daya harus menjaga fungsi lindung, produktivitas ekosistem, dan keberlanjutan manfaat bagi masyarakat pesisir. Pengelolaan berkelanjutan tidak cukup hanya bertumpu pada perlindungan vegetasi, tetapi juga harus memperhatikan tata kelola, kepemimpinan, partisipasi masyarakat, dan kapasitas kelembagaan agar keputusan yang diambil dapat diterapkan secara konsisten (Sajjad dkk., 2024).

Pengelolaan berkelanjutan juga mensyaratkan keterlibatan pemangku kepentingan secara nyata, mulai dari masyarakat lokal, pemerintah, akademisi, hingga pelaku usaha. Pendekatan partisipatif, transparansi informasi, dan dialog dua arah menjadi penting untuk menyelaraskan kepentingan konservasi dengan kebutuhan penghidupan masyarakat. Dalam kerangka ini, pengambilan keputusan tidak cukup hanya berbasis standar manajemen, tetapi juga harus mempertimbangkan legitimasi sosial, akuntabilitas, dan pengungkapan isu-isu yang benar-benar material bagi wilayah kelola (Bellucci dkk., 2019; Ngu & Amran, 2018; Olsen, 2022).

Agar dapat diterapkan secara konsisten, pengelolaan berkelanjutan memerlukan dukungan kelembagaan, kepemimpinan, pembiayaan, dan budaya organisasi yang mendukung perubahan. Banyak inisiatif berkelanjutan gagal bukan karena konsepnya lemah, tetapi karena terbentur keterbatasan kapasitas, lemahnya komitmen pimpinan, resistensi kelembagaan, dan kurangnya investasi untuk inovasi hijau maupun sistem pemantauan. Karena itu, prinsip keberlanjutan harus diikuti oleh penguatan tata kelola, peningkatan kapasitas, dan mekanisme evaluasi yang adaptif agar pemanfaatan mangrove benar-benar berjalan secara bertanggung jawab dan berkesinambungan (Gupta dkk., 2020; Ikram dkk., 2020; Fry & Egel, 2021; Sajjad dkk., 2024).

7.4.4 Konservasi dan Rehabilitasi Mangrove

Konservasi dan rehabilitasi mangrove yang efektif harus dimulai dari pemahaman bahwa keberhasilan restorasi tidak ditentukan oleh jumlah bibit yang ditanam, tetapi oleh kecocokan antara kondisi lokasi, hidrologi, sedimen, dan spesies yang digunakan. Restorasi hidrologi—misalnya dengan membuka kembali aliran pasang surut pada tambak terlantar—sering kali menjadi

langkah paling mendasar karena mampu memulihkan proses ekologis yang menjadi prasyarat regenerasi mangrove. Dalam banyak kasus, pendekatan berbasis pemulihan hidrologi dan pemilihan spesies yang sesuai lokasi terbukti lebih efektif dibanding penanaman massal yang tidak didukung diagnosis ekologi yang memadai (López-Portillo dkk., 2017; Djamaluddin dkk., 2019; Sidik dkk., 2025).

Dibandingkan penanaman monospesifik, regenerasi alami dan rehabilitasi berbasis multi-spesies cenderung menghasilkan struktur tegakan yang lebih baik, keanekaragaman lebih tinggi, dan daya pulih ekosistem yang lebih kuat. Penanaman langsung tetap dapat dilakukan, tetapi perlu mempertimbangkan pasokan propagul, elevasi substrat, lama genangan, serta kompatibilitas spesies dengan kondisi biofisik setempat. Dengan kata lain, rehabilitasi mangrove harus bersifat site-specific, adaptif, dan dipantau dalam jangka panjang agar tidak berhenti pada keberhasilan tanam awal saja, melainkan benar-benar mengarah pada pemulihan fungsi ekosistem (Gerona & Salmo, 2022; Wiharyanto dkk., 2025; Djamaluddin dkk., 2023).

Keberlanjutan konservasi dan rehabilitasi sangat dipengaruhi oleh tata kelola dan keterlibatan komunitas. Model *co-management* dan *community-based management* umumnya lebih berhasil karena menggabungkan kepentingan ekologis dengan kebutuhan lokal, sekaligus membuka ruang bagi pengetahuan tradisional, insentif ekonomi, dan pengawasan sosial. Penggunaan teknologi seperti penginderaan jauh, NDVI, dan sensor lapangan juga semakin penting untuk memantau dinamika vegetasi, keberhasilan restorasi, serta perubahan kondisi lingkungan secara lebih cepat dan objektif. Dengan demikian, konservasi dan rehabilitasi mangrove perlu ditempatkan sebagai proses sosial-ekologis yang

menggabungkan sains, kebijakan, partisipasi masyarakat, dan pemantauan adaptif dalam satu kerangka kerja yang utuh (Ahmed dkk., 2023)

Pembahasan pada subbab ini menunjukkan bahwa mangrove memiliki posisi yang sangat strategis dalam sistem pesisir karena menjalankan fungsi yang saling terhubung, mulai dari menjaga stabilitas garis pantai, menopang keanekaragaman hayati, menyediakan manfaat lingkungan dan ekonomi, hingga mendukung ketahanan sosial masyarakat pesisir. Hilangnya mangrove tidak hanya mengurangi fungsi ekologis dan jasa ekosistem, tetapi juga meningkatkan kerentanan pesisir terhadap gangguan fisik, perubahan iklim, dan tekanan sosial-ekonomi.

Oleh karena itu, pengelolaan mangrove perlu diarahkan pada pendekatan yang terpadu, berbasis sains, adaptif terhadap kondisi lokal, serta melibatkan masyarakat sebagai aktor utama. Konservasi, rehabilitasi hidrologi, pemanfaatan berkelanjutan, dan penguatan tata kelola partisipatif menjadi landasan penting untuk memastikan bahwa mangrove tetap berfungsi sebagai infrastruktur ekologis yang menopang keberlanjutan wilayah pesisir dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adame, M.F., Connolly, R.M., Turschwell, M.P., dkk. 2021. Future carbon emissions from global mangrove forest loss. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/gcb.15571
- Ahmad, Y., & Suratman, M.N. 2021. The Roles of Mangroves in Sustainable Tourism Development. Dalam *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management*.
- Ahmed, J., Kathambi, B., Kibugi, R. 2023. Policy perspective on governance standards setting using community participation for sustainable mangrove management in Lamu, Kenya. *International Journal of Conservation Science*.
- Akbar, S.A., Jalil, Z., Octavina, C., dkk. 2026. Harnessing mangrove phytoremediation for coastal heavy metal pollution: A chemical environmental perspective. *Maritime Technology and Research*.
- Akhand, A., Watanabe, K., Chanda, A., dkk. 2021. Lateral carbon fluxes and CO₂ evasion from a subtropical mangrove-seagrass-coral continuum. *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142190
- Alongi, D.M. 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Alongi, D.M. 2020. Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation. *Sci*, 2(3), 67.
- Arceo-Carranza, D., Chiappa-Carrara, X., Chávez-López, R. and Yanez-Arenas, C. 2021. Mangroves as Feeding and Breeding Grounds. Dalam *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management*. doi: 10.1007/978-981-16-2494-0_3

- Arifanti, V.B., Kauffman, J.B., Subarno, J.B., dkk. 2022. Contributions of mangrove conservation and restoration to climate change mitigation in Indonesia. *Global Change Biology*, 28, 6329–6344.
- Ashton, E.C. 2022. Threats to mangroves and conservation strategies. Dalam *Mangroves: Biodiversity, Livelihoods and Conservation*. doi: 10.1007/978-981-19-0519-3_10
- Asiah, N., Ulhusna, F.A., Syafrianti, D., dkk. 2025. Breeding Sites Characteristics, Fecundity, and Gonad Maturity Levels of *Scylla* sp. in Mangrove Area, Kuala Batee District Southwest Aceh, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/1476/1/012094
- Bellucci, M., Simoni, L., Acuti, D., & Manetti, G. 2019. Stakeholder engagement and dialogic accounting: Empirical evidence in sustainability reporting. *Accounting, Auditing and Accountability Journal*. doi: 10.1108/AAAJ-09-2017-3158
- Bimrah, K., Dasgupta, R., Hashimoto, S., dkk. 2022. Ecosystem services of mangroves: A systematic review and synthesis of contemporary scientific literature. *Sustainability*. doi: 10.3390/su141912051
- Blanton, A., Ewane, E.B., McTavish, F., dkk. 2024. Ecotourism and mangrove conservation in Southeast Asia: Current trends and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 367, 121529.
- Cannicci, S., Burrows, D., Fratini, S., dkk. 2008. Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*. doi: 10.1016/j.aquabot.2008.01.009
- Carlson, R.R., Evans, L.J., Foo, S.A., dkk. 2021. Synergistic benefits of conserving land-sea ecosystems. *Global Ecology and Conservation*. doi: 10.1016/j.gecco.2021.e01684.

- Chaves, P. and Bouchereau, J.-L. 2000. Use of mangrove habitat for reproductive activity by the fish assemblage in the Guaratuba Bay, Brazil. *Oceanologica Acta*. doi: 10.1016/S0399-1784(00)00130-4
- Choudhary, B., Dhar, V., & Pawase, A.S. 2024. Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives. *Journal of Sea Research*, 197, 102504.
- 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., De Groot, R., Debrot, A.O. and Silvius, M.J. 2022. Effectiveness of community-based mangrove management for biodiversity conservation: A case study from Central Java, Indonesia. *Trees, Forests and People*. doi: 10.1016/j.tfp.2022.100202
- Das, S.C., Das, S., & Tah, J. 2022. Mangrove Forests and People's Livelihoods. Dalam *Mangroves: Biodiversity, Livelihoods and Conservation*.
- Datta, D., Chattopadhyay, R.N., & Guha, P. 2012. Community based mangrove management: A review on status and sustainability. *Journal of Environmental Management*, 107, 84–95.
- Djamaluddin, R., Brown, B., & Lewis, R.R. 2019. The practice of hydrological restoration to rehabilitate abandoned shrimp ponds in Bunaken National Park, North Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. doi: 10.13057/biodiv/d200119

- Djamaluddin, R., Fusi, M., Djabar, B., dkk. 2023. Point of (no) return? Vegetation structure and diversity of restored mangroves in Sulawesi, Indonesia, 14–16 years on. *Restoration Ecology*. doi: 10.1111/rec.13963
- Du, Y., Lin, L., & Su, J. 2025. Applying the social-ecological systems (SES) framework for sustainable mangrove management: A case study of Quanzhou Bay, China. *Ocean and Coastal Management*, 258, 107860.
- Earp, H., Prinz, N. & Andskog, M., 2018. For a World Without Boundaries: Connectivity Between Marine Tropical Ecosystems in Times of Change, doi: 10.1007/978-3-319-93284-2_9.
- Emata, A.C. 2003. Reproductive performance in induced and spontaneous spawning of the mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus*: A potential candidate species for sustainable aquaculture. *Aquaculture Research*. doi: 10.1046/j.1365-2109.2003.00892.x
- Fadilah, R., Kusmana, C., Sutjahjo, S.H., dkk. 2025. Mangroves as Economic Pillars: Exploring the Nexus between Ecosystem Health and Livelihoods in Tanakeke Island, South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi: 10.1088/1755-1315/1506/1/012020
- Faubiany, V., Rahmania, R., Suharti, S., dkk. 2024. The suitability and carrying capacity analysis of the mangrove ecosystem to support ecotourism in the Paljaya mangrove restoration and learning center, Bekasi Regency, Indonesia. *BIO Web of Conferences*, 89, 05001.
- Fry, L.W., & Egel, E. 2021. Global leadership for sustainability. *Sustainability*. doi: 10.3390/su13116360

- Gerona, M.E.B., & Salmo, S.G. 2022. A systematic review of mangrove restoration studies in Southeast Asia: Challenges and opportunities for the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Frontiers in Marine Science*. doi: 10.3389/fmars.2022.987737
- Ghosh, M.K., Kumar, L., & Langat, P. 2019. Geospatial modelling of the inundation levels in the Sundarbans mangrove forests due to the impact of sea level rise and identification of affected species and regions. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. doi: 10.1080/19475705.2018.1564373
- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. 2020. Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/gcb.15275
- Gupta, H., Kusi-Sarpong, S., & Rezaei, J. 2020. Barriers and overcoming strategies to supply chain sustainability innovation. *Resources, Conservation and Recycling*. doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104819
- Hermansen, T.D., Minchinton, T.E. & Ayre, D.J. 2017. Habitat fragmentation leads to reduced pollinator visitation, fruit production and recruitment in urban mangrove forests. *Oecologia*. doi: 10.1007/s00442-017-3941-1
- Holguin, G., Vázquez, P. & Bashan, Y. 2001. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. *Biology and Fertility of Soils*. <https://doi.org/10.1007/s003740000319>
- Horstman, E.M., Dohmen-Janssen, C.M., Narra, P.M.F., dkk. 2014. Wave attenuation in mangroves: A quantitative approach to field observations. *Coastal Engineering*.

- Huber, L.C., Sainge, M.N., Feka, Z.N., dkk. 2023. Human-driven degradation impacts on mangroves in southern Sierra Leone. *Trees, Forests and People*. doi: 10.1016/j.tfp.2023.100445
- Huynh, L.T.M., Su, J., Wang, Q., dkk. 2024. Meta-analysis indicates better climate adaptation and mitigation performance of hybrid engineering-natural coastal defence measures. *Nature Communications*.
- Ickowitz, A., Lo, M.G.Y., Nurhasan, M., dkk. 2023. Quantifying the contribution of mangroves to local fish consumption in Indonesia: A cross-sectional spatial analysis. *The Lancet Planetary Health*. doi: 10.1016/S2542-5196(23)00196-1
- Ikram, M., Sroufe, R., & Zhang, Q. 2020. Prioritizing and overcoming barriers to integrated management system implementation using AHP and G-TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120121
- Jayson-Quashigah, P.-N., Staneva, J., Chen, W., & Djath, B. 2025. Assessing the role of mangroves in shoreline stabilisation through a What-If modelling framework. *Discover Applied Sciences*.
- Jordan, P., & Fröhle, P. 2022. Bridging the gap between coastal engineering and nature conservation? A review of coastal ecosystems as nature-based solutions for coastal protection. *Journal of Coastal Conservation*.
- Kamaludin, M., Aziz, A.A., Wan Ibrahim, W.N., dkk. 2022. Effectiveness of a conservation education program among school students on the importance of mangrove ecosystems in Setiu Wetlands, Malaysia. *Applied Environmental Education & Communication*, 21(4), 358–372.

- Karimi, Z., Abdi, E., Deljouei, A., dkk. 2022. Vegetation-induced soil stabilization in coastal area: An example from a natural mangrove forest. *Catena*.
- Kazemi, A., Castillo, L., & Curet, O.M. 2021. Mangrove roots model suggest an optimal porosity to prevent erosion. *Scientific Reports*.
- Krauss, K.W., Allen, J.A., & Cahoon, D.R. 2003. Differential rates of vertical accretion and elevation change among aerial root types in Micronesian mangrove forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Kristensen, E., Connolly, R.M., Otero-Pérez, X.L., dkk. 2017. Biogeochemical cycles: Global approaches and perspectives. Dalam *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services*.
- Lee, S.Y., Gareth Jones, E.B.G., Diele, K., dkk. 2017. Biodiversity. Dalam *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services*. doi: 10.1007/978-3-319-62206-4_3
- Lee, S.L., Then, A.Y.-H., Goh, H.C., dkk. 2022. Strengthened multi-stakeholder linkages in valuation studies is critical for improved decision making outcomes for valuable mangroves - The Malaysian case study. *Frontiers in Marine Science*. doi: 10.3389/fmars.2022.1033200
- Li, Z., Li, Y., & Fan, B. 2025. Diverse restored mangrove stands enhance carbon storage compared to monospecific plantation: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 578, 122446.
- Lovelock, C.E., Cahoon, D.R., Friess, D.A., dkk. 2015. The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*. doi: 10.1038/nature15538

- López-Portillo, J., Lewis, R.R., Saenger, P., dkk. 2017. Mangrove forest restoration and rehabilitation. Dalam *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services*. doi: 10.1007/978-3-319-62206-4_10
- Mahmudi, M., Adzim, A., Fitri, D.H., dkk. 2021. Performance of *Avicennia alba* and *Rhizophora mucronata* as lead bioaccumulator in Bee Jay Bakau Resort, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*. doi: 10.12911/22998993/131032
- Martínez, C. and Rodrigues, A.A.F. 1999. Breeding biology of the Scarlet Ibis on Cajual Island, northern Brazil. *Journal of Field Ornithology*.
- Mumby, P.J. 2006. Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: Algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biological Conservation*. doi: 10.1016/j.biocon.2005.09.042
- Nagelkerken, I. 2009. Evaluation of nursery function of mangroves and seagrass beds for tropical decapods and reef fishes: Patterns and underlying mechanisms. Dalam *Ecological Connectivity among Tropical Coastal Ecosystems*. doi: 10.1007/978-90-481-2406-0_10
- Nagelkerken, I., Blaber, S.J.M., Bouillon, S., dkk. 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*. doi: 10.1016/j.aquabot.2007.12.007
- Naskar, M., Tasneem, S.N., Mazumder, S., dkk. 2023. Mangroves as coastal rainforests: imminent threats, hazards, and changing status of ecosystem services. Dalam *Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters*, Second Edition. doi: 10.1016/B978-0-12-820509-9.00006-X

- Ngu, S.B., & Amran, A. 2018. Materiality disclosure in sustainability reporting: Fostering stakeholder engagement. *Strategic Direction*. doi: 10.1108/SD-01-2018-0002
- Nguyen, L.T.M., Hoang, H.T., Choi, E., & Park, P.S. 2023. Distribution of mangroves with different aerial root morphologies at accretion and erosion sites in Ca Mau Province, Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Nguyễn, H.à.T.T., & Chinh, V.D. 2025. Rehabilitation of Mangrove Ecosystem for Hai Phong Coastal Protection. *Lecture Notes in Civil Engineering*.
- Nobi, M.N., Sarker, A.H.M.R., Nath, B., dkk. 2025. Evaluating the economic value of Sundarban, Bangladesh's provisioning services with a special focus on the forest dependency of the local peoples. *Journal of Forest Research*.
- Olsen, C. 2022. An overview of key sustainability theories, regulations and S ERP for business education, business research and digital business practitioners. *Lecture Notes in Networks and Systems*. doi: 10.1007/978-3-030-93464-4_57
- Ouyang, X. & Guo, F. 2021. Patterns of mangrove productivity and support for marine fauna. *Dalam Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture*. doi: 10.1007/978-3-030-57635-6_70
- Papailiopoulou, M., Zagana, E., Pouliaris, C., & Kazakis, N. 2026. Applications of Vulnerability Assessment and Numerical Modelling for Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: An Overview. *Water*.
- Polidoro, B.A., Carpenter, K.E., Collins, L., dkk. 2010. The loss of species: Mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLoS ONE*. doi: 10.1371/journal.pone.0010095

- Pontee, N., Narayan, S., Beck, M.W., & Hosking, A.H. 2016. Nature-based solutions: Lessons from around the world. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Maritime Engineering.
- Primavera, J.H., Friess, D.A., van Lavieren, H., & Lee, S.Y. 2018. The mangrove ecosystem. Dalam World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts. doi: 10.1016/B978-0-12-805052-1.00001-2
- Purba, G.Y., Safitri, I., Sofiana, M.S.J., dkk. 2025. Indicators of Resilience: Mangrove Density and Important Value Index as Measures of Ecosystem Health – A Case Study in Desa Sarang Burung Kolam, West Kalimantan. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries.
- Qian, Y., Zhong, L., Zheng, Z., dkk. 2025. Assessing the impact of human activities on heavy metal pollution in mangrove wetland surface waters: A case study of the Zhangjiangkou Estuary. Regional Studies in Marine Science. doi: 10.1016/j.rsma.2025.104215
- Qiao, P., Chen, L., Krauss, K.W., dkk. 2025. Rising sea level reduces carbon sequestration and CO₂ and N₂O fluxes while promoting CH₄ flux from mangroves. Cell Reports Sustainability. doi: 10.1016/j.crsus.2025.100520
- Quevedo, J.M.D., Uchiyama, Y., & Kohsaka, R. 2020. Perceptions of local communities on mangrove forests, their services and management: implications for Eco-DRR and blue carbon management for Eastern Samar, Philippines. Journal of Forest Research, 25(6), 343–357.
- Raheman, N.Y., Nordin, R.M., Abdullah, M., & Noor Hassim, M.F.N. 2020. Association between root complexity of *Rhizophora apiculata* and sedimentation at Pantai Kelanang, Selangor. Malaysian Applied Biology.

- Rajpar, M.N. & Zakaria, M. 2014. Mangrove fauna of Asia. Dalam *Mangrove Ecosystems of Asia: Status, Challenges and Management Strategies*. doi: 10.1007/978-1-4614-8582-7_8
- Richards, D.R., & Friess, D.A. 2016. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *PNAS*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>
- Rudianto, R., Bengen, D.G. & Kurniawan, F. 2020. Causes and Effects of Mangrove Ecosystem Damage on Carbon Stocks and Absorption in East Java, Indonesia. *Sustainability*, 12(24), p.10319. doi: 10.3390/su122410319.
- Sajjad, A., Eweje, G., & Raziq, M.M. 2024. Sustainability leadership: An integrative review and conceptual synthesis. *Business Strategy and the Environment*. doi: 10.1002/bse.3631
- Schwenke, T., & Helfer, V. 2021. Beyond borders: The status of interdisciplinary mangrove research in the face of global and local threats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. doi: 10.1016/j.ecss.2020.107119
- Siddique, A., Al Disi, Z., Al-Ghouti, M.A., & Zouari, N. 2025. Role of mineral-forming bacteria in mangrove rhizosphere in enhancing coastal soil stability, carbon sequestration, and heavy metals removal. *Earth-Science Reviews*. doi: 10.1016/j.earscirev.2025.105151
- Sidik, F., Basyuni, M., Pradisty, N.A., dkk. 2025. Hydrological suitability for mangrove species in restored mangroves in abandoned ponds. *Aquatic Botany*. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2025.103873>
- Sumarmi, S., Purwanto, P. & Bachri, S. 2021. Spatial Analysis of Mangrove Forest Management to Reduce Air Temperature and CO2 Emissions. *Sustainability*, 13(14), p.8090. doi: 10.3390/su13148090.

- Tinh, H.T., Nguyen, T.H.H., & Mai, S.T. 2021. Ecological Valuation and Ecosystem Services of Mangroves. Dalam *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management*.
- Utami, T.N., Fattah, M., & Intyas, C.A. 2022. The System Dynamic of Mangrove Ecotourism of “Kampung Blekok” Situbondo East Java Indonesia: Economic and Ecological Dimension. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(2), 95–106.
- Wang, J., Li, Q. & Wu, G. 2025. Progress in quantitative remote sensing research of mangroves. *National Remote Sensing Bulletin*. doi: 10.11834/jrs.20255003
- Werner, A.D., Bakker, M., Post, V.E.A., dkk. 2013. Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *Advances in Water Resources*.
- Wiharyanto, D., Ilman, M., Salim, G., dkk. 2025. Post-rehabilitation dynamics of mangrove vegetation in Tarakan, North Kalimantan. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*. doi: 10.14710/ik.ijms.30.3.345-358
- Yamamoto, Y. 2023. Living under ecosystem degradation: Evidence from the mangrove–fishery linkage in Indonesia. *Journal of Environmental Economics and Management*. doi: 10.1016/j.jeem.2023.102788
- van der Stocken, T., Carroll, D., Menemenlis, D., dkk. 2019. Global-scale dispersal and connectivity in mangroves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. doi: 10.1073/pnas.1812470116
- Zanganeh, J. dkk., 2023. Investigation of Hydrokinetic Tidal Energy Harvesting Using a Mangrove-Inspired Device. *Sustainability*, 15, p.15886. doi: 10.3390/su152215886.

BAB 8

MANGROVE DAN PERUBAHAN IKLIM

Oleh Dedy Putra Wahyudi

Perubahan iklim global saat ini telah menjadi tantangan eksistensial yang ditandai dengan peningkatan suhu permukaan bumi, kenaikan muka air laut, serta pola cuaca ekstrem yang tidak menentu (Husain *et al.*, 2025). Fenomena ini dipicu secara dominan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, terutama karbon dioksida (CO₂), yang dihasilkan dari aktivitas antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil dan perubahan tata guna lahan (Sukarmen *et al.*, 2023). Dalam upaya mereduksi dampak tersebut, perhatian dunia kini beralih pada solusi berbasis alam (*nature-based solutions*/NbS), di mana ekosistem pesisir seperti mangrove diakui memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam jangka waktu lama, sebuah konsep yang dikenal sebagai karbon biru (*blue carbon*) (Sukarmen *et al.*, 2023).

Ekosistem mangrove memegang peran unik sebagai antarmuka antara daratan dan laut yang memiliki produktivitas primer sangat tinggi (Fitria, 2021). Secara global, meskipun luasannya relatif kecil, mangrove mampu menyimpan karbon 3 hingga 5 kali lebih banyak per satuan luas dibandingkan dengan hutan hujan tropis daratan (Halim *et al.*, 2023). Keunggulan ini terletak pada kemampuannya mengunci karbon tidak hanya dalam biomassa vegetasi (batang, daun, dan akar), tetapi secara

mayoritas (sekitar 70-90%) pada lapisan sedimen anaerob yang stabil selama berabad-abad (Husain *et al.*, 2025).

Indonesia menempati posisi strategis dalam peta iklim global karena merupakan rumah bagi sekitar 20% hingga 23% dari total luas mangrove dunia (World Bank, 2022). Dengan luas mencapai lebih dari 3 juta hektar, ekosistem mangrove Indonesia diperkirakan menyimpan cadangan karbon raksasa sebesar 3,0 hingga 3,4 Petagram Karbon (Pg C), yang setara dengan sekitar 17% dari total reservoir karbon biru global (Alongi *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perlindungan dan pengelolaan mangrove di Indonesia bukan hanya menjadi kepentingan nasional untuk mencapai target Nationally Determined Contributions (NDC), tetapi juga merupakan pilar krusial bagi stabilitas iklim bumi secara keseluruhan (Novita *et al.*, 2019).

Namun demikian, aset bio-geofisika yang berharga ini menghadapi tekanan berat akibat aktivitas manusia. Dalam tiga dekade terakhir, Indonesia telah kehilangan lebih dari seperempat luas hutan mangrovenya, di mana sekitar 40% hingga 70% kerusakan tersebut disebabkan oleh konversi lahan menjadi tambak budidaya (Yuniarti *et al.*, 2023). Degradasi ini tidak hanya menghilangkan kapasitas serapan karbon di masa depan, tetapi juga berisiko melepaskan simpanan karbon tua yang telah terkunci ribuan tahun kembali ke atmosfer dalam bentuk emisi GRK yang masif (Husain *et al.*, 2025). Selain tekanan manusia, perubahan iklim sendiri mengancam mangrove melalui kenaikan permukaan air laut (sea level rise) yang dapat menenggelamkan vegetasi jika ruang gerak adaptasi alamnya terhambat oleh pembangunan di daratan (Lovelock *et al.*, 2015).

8.1 Mekanisme Karbon Biru di Indonesia

8.1.1 Definisi dan Konsep Karbon Biru di Kawasan Pesisir

Terminologi karbon biru (blue carbon) merujuk pada karbon yang diserap, disimpan, dan dalam kondisi tertentu dilepaskan kembali oleh ekosistem pesisir dan laut, terutama hutan mangrove, padang lamun, dan rawa asin (Hilmi *et al.*, 2021). Konsep karbon biru berkembang sebagai bagian dari upaya mitigasi perubahan iklim karena ekosistem pesisir memiliki kemampuan alami dalam menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer melalui proses sekuestrasi karbon (McLeod *et al.*, 2011). Karbon yang terserap tersebut tidak hanya tersimpan pada biomassa tumbuhan, tetapi juga terakumulasi dalam sedimen pesisir selama ratusan hingga ribuan tahun. Oleh sebab itu, ekosistem karbon biru dipandang sebagai salah satu solusi berbasis alam (*nature-based solutions*) (Sukarmen *et al.*, 2023) yang efektif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca sekaligus menjaga keseimbangan lingkungan pesisir.

Ekosistem *blue carbon* memiliki karakteristik yang membedakannya dari ekosistem daratan. Salah satu karakteristik utamanya adalah kemampuan sekuestrasi karbon yang sangat tinggi. Ekosistem mangrove, misalnya, mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar baik pada bagian vegetasi maupun lapisan tanahnya yang kaya bahan organik. Secara rata-rata, hutan mangrove dapat menyimpan karbon 3 hingga 5 kali lebih banyak per satuan luas dibandingkan dengan hutan hujan tropis terestrial (Alongi, 2012). Tingginya kapasitas penyimpanan karbon tersebut dipengaruhi oleh kondisi tanah pesisir yang berlumpur dan miskin oksigen sehingga proses dekomposisi bahan organik berlangsung lebih lambat. Kondisi ini memungkinkan karbon tersimpan dalam jangka waktu yang sangat panjang.

Selain memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang besar, ekosistem karbon biru juga mempunyai fungsi ekologis dan ekonomis yang penting. Hutan mangrove, padang lamun, dan rawa asin berperan dalam melindungi wilayah pesisir dari abrasi, gelombang, dan intrusi air laut (Choudhary, Dhar and Pawase, 2024). Ekosistem tersebut juga menjadi habitat bagi berbagai jenis biota laut serta mendukung produktivitas perikanan pesisir. Dengan karakteristik tersebut, ekosistem karbon biru tidak hanya berfungsi sebagai penyerap karbon alami, tetapi juga sebagai penopang keberlanjutan lingkungan dan kehidupan masyarakat pesisir.

8.1.2 Dinamika Biogeokimia Sekuestrasi Karbon

Mekanisme penyimpanan karbon dalam ekosistem mangrove merupakan proses biogeokimia yang kompleks karena melibatkan interaksi antara proses biologis, fisik, dan kimia yang berlangsung secara simultan dan berkesinambungan. Proses tersebut memungkinkan ekosistem mangrove berfungsi sebagai penyerap sekaligus penyimpan karbon dalam jumlah besar pada biomassa vegetasi maupun sedimen tanahnya. Dinamika sekuestrasi karbon pada ekosistem mangrove tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas vegetasi, tetapi juga oleh kondisi hidrologi, karakteristik sedimen, aktivitas mikroorganisme, serta proses pertukaran material organik antara daratan dan perairan pesisir (Asplund *et al.*, 2021). Kombinasi faktor-faktor tersebut menjadikan mangrove sebagai salah satu ekosistem dengan kapasitas penyimpanan karbon paling efisien di wilayah tropis.

Proses sekuestrasi karbon secara biologis diawali melalui mekanisme fotosintesis yang dilakukan oleh vegetasi mangrove. Dalam proses ini, tumbuhan mangrove menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer dan mengubahnya menjadi senyawa karbon organik melalui

bantuan energi cahaya matahari (Malik *et al.*, 2020). Karbon organik yang terbentuk kemudian disimpan dalam berbagai komponen biomassa hidup, seperti batang, cabang, daun, akar, hingga struktur reproduktif seperti bunga dan buah. Sistem perakaran mangrove yang berkembang secara luas di bawah permukaan tanah juga menjadi tempat penyimpanan karbon yang signifikan (Alongi, 2014). Akumulasi biomassa tersebut menyebabkan ekosistem mangrove mampu menyerap karbon secara terus-menerus selama proses pertumbuhan vegetasi berlangsung.

Karbon yang tersimpan dalam ekosistem mangrove berasal dari dua sumber utama, yaitu sumber autochthonous dan allochthonous (Zhang *et al.*, 2024). Sumber autochthonous merupakan karbon yang berasal dari dalam ekosistem itu sendiri, seperti serasah daun, ranting, akar mati, dan nekromassa tumbuhan mangrove yang mengalami pelapukan (Bansal *et al.*, 2023). Material organik tersebut kemudian terdeposisi ke dalam sedimen dan menjadi cadangan karbon jangka panjang. Sementara itu, sumber allochthonous berasal dari luar ekosistem mangrove, seperti material organik yang terbawa melalui aliran sungai, limpasan permukaan, maupun pasang surut air laut (Williamson and Gattuso, 2022). Proses transportasi sedimen dari wilayah daratan menuju kawasan pesisir menyebabkan ekosistem mangrove berfungsi sebagai perangkap alami bagi partikel sedimen dan bahan organik yang kaya karbon. Dengan demikian, cadangan karbon pada ekosistem mangrove terbentuk melalui kombinasi antara produksi organik internal dan suplai material eksternal.

Efektivitas penyimpanan karbon pada ekosistem mangrove juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik sistem perakarannya. Mangrove memiliki struktur akar yang kompleks, seperti akar tunjang (stilt roots), akar

napas (pneumatophores), dan akar lutut (knee roots) (Muhammad-Nor *et al.*, 2019), yang berfungsi sebagai penopang vegetasi sekaligus pengatur dinamika hidrologi kawasan pesisir. Struktur perakaran tersebut mampu memperlambat kecepatan arus air pasang surut sehingga berperan sebagai “rem hidrolik” alami. Perlambatan arus menyebabkan partikel sedimen halus dan bahan organik tersuspensi lebih mudah mengendap di sekitar kawasan mangrove (Chaudhuri, Chaudhuri and Ghosh, 2019). Akumulasi sedimen yang berlangsung secara terus-menerus ini menyebabkan terbentuknya lapisan tanah yang kaya bahan organik dan karbon. Oleh karena itu, sistem perakaran mangrove memiliki kontribusi penting dalam meningkatkan kapasitas penyerapan dan penyimpanan karbon pada ekosistem pesisir.

Selain dipengaruhi oleh proses sedimentasi, stabilitas penyimpanan karbon dalam ekosistem mangrove juga ditentukan oleh kondisi tanah yang bersifat anaerob. Sebagian besar tanah mangrove mengalami genangan air secara permanen maupun periodik sehingga kandungan oksigen di dalam tanah menjadi sangat rendah. Kondisi anaerob tersebut menghambat aktivitas mikroorganisme dekomposer dalam menguraikan bahan organik (Lacroix *et al.*, 2019). Akibatnya, laju dekomposisi berlangsung jauh lebih lambat dibandingkan pada ekosistem daratan yang memiliki kondisi aerob. Hambatan proses dekomposisi ini memungkinkan karbon organik tetap tersimpan dalam sedimen untuk jangka waktu yang sangat panjang, bahkan mencapai ratusan hingga ribuan tahun. Karakteristik inilah yang menjadikan sedimen mangrove sebagai salah satu penyimpan karbon jangka panjang paling efektif di lingkungan pesisir.

Secara keseluruhan, dinamika biogeokimia sekuestrasi karbon pada ekosistem mangrove menunjukkan bahwa kemampuan penyimpanan karbon

tidak hanya bergantung pada pertumbuhan vegetasi, tetapi juga pada interaksi antara proses biologis, sedimentasi, hidrologi, dan kondisi kimia tanah (Donato *et al.*, 2012). Integrasi berbagai proses tersebut menyebabkan ekosistem mangrove memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap, mengakumulasi, dan mempertahankan karbon dalam jangka panjang. Dengan demikian, keberadaan ekosistem mangrove memiliki peran strategis dalam mitigasi perubahan iklim global sekaligus menjaga stabilitas ekologi wilayah pesisir.

8.1.3 Kompartemen Karbon: Biomassa vs. Sedimen

Stok karbon dalam ekosistem mangrove tersimpan dalam beberapa kompartemen utama yang saling terhubung, yaitu biomassa di atas tanah (aboveground biomass), biomassa di bawah tanah (belowground biomass), dan sedimen atau tanah mangrove. Ketiga kompartemen tersebut memiliki karakteristik serta kapasitas penyimpanan karbon yang berbeda-beda. Distribusi karbon pada ekosistem mangrove menunjukkan pola yang sangat kontras, di mana sebagian besar cadangan karbon justru tersimpan di dalam sedimen tanah dibandingkan pada biomassa vegetasi. Kondisi ini menjadi salah satu karakteristik utama yang membedakan ekosistem mangrove dari sebagian besar ekosistem hutan daratan.

Kompartemen pertama adalah biomassa di atas tanah (aboveground biomass atau AGB), yaitu seluruh bagian vegetasi mangrove yang berada di atas permukaan tanah. Komponen ini mencakup batang, cabang, daun, bunga, dan buah yang secara aktif berperan dalam proses fotosintesis. Melalui proses tersebut, vegetasi mangrove menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon organik yang tersimpan dalam jaringan tumbuhan. Besarnya cadangan karbon pada biomassa di

atas tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis vegetasi, umur tegakan, tingkat kerapatan hutan, serta kondisi lingkungan tempat mangrove tumbuh. Hutan mangrove yang memiliki struktur tegakan rapat dan pohon berdiameter besar umumnya menyimpan karbon biomassa yang lebih tinggi dibandingkan kawasan mangrove yang terdegradasi.

Kompartemen kedua adalah biomassa di bawah tanah (belowground biomass atau BGB), yang terutama terdiri atas sistem perakaran mangrove yang tertanam di dalam substrat tanah. Sistem akar mangrove berkembang secara kompleks dan luas untuk mendukung adaptasi terhadap kondisi pesisir yang berlumpur, tergenang, dan memiliki kadar garam tinggi. Selain berfungsi sebagai penopang vegetasi, akar mangrove juga berperan penting dalam penyimpanan karbon organik. Karbon yang tersimpan pada biomassa bawah tanah berasal dari pertumbuhan akar, akumulasi jaringan mati, serta proses deposisi bahan organik di sekitar sistem perakaran. Dalam banyak kasus, biomassa bawah tanah menyimpan karbon dalam jumlah yang signifikan karena sebagian besar struktur akar tertanam secara permanen di dalam sedimen dan mengalami dekomposisi yang relatif lambat.

Meskipun kedua kompartemen biomassa tersebut memiliki kontribusi penting dalam siklus karbon, reservoir karbon terbesar pada ekosistem mangrove sesungguhnya berada pada kompartemen sedimen atau tanah. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sekitar 70% hingga 90% dari total stok karbon mangrove tersimpan di dalam lapisan sedimen, bahkan hingga kedalaman lebih dari satu meter (Tahir *et al.*, 2023). Tingginya cadangan karbon pada sedimen disebabkan oleh akumulasi bahan organik yang berlangsung secara terus-menerus selama ratusan hingga ribuan tahun. Material organik tersebut berasal dari serasah vegetasi mangrove, akar mati, organisme

mikroskopis, serta sedimen kaya karbon yang terbawa oleh aliran sungai maupun pasang surut laut. Dalam kondisi tanah yang anaerob atau miskin oksigen, proses dekomposisi berlangsung sangat lambat sehingga karbon organik dapat tersimpan dalam jangka waktu yang panjang dan relatif stabil.

Dominasi sedimen sebagai kompartemen utama penyimpanan karbon menjadikan ekosistem mangrove sangat penting dalam mitigasi perubahan iklim jangka panjang. Berbeda dengan karbon pada biomassa vegetasi yang relatif lebih rentan hilang akibat penebangan atau gangguan alam, karbon yang tersimpan di dalam sedimen cenderung lebih stabil selama lapisan tanah tersebut tidak terganggu. Namun, ketika terjadi konversi lahan, pengerukan, pengeringan, atau kerusakan ekosistem mangrove, sedimen yang sebelumnya tertutup air dapat terekspos oksigen. Kondisi ini memicu oksidasi bahan organik dan pelepasan karbon ke atmosfer dalam bentuk gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO_2). Oleh karena itu, perlindungan terhadap sedimen mangrove menjadi aspek yang sangat penting dalam upaya konservasi karbon biru.

Dengan demikian, pemahaman mengenai kompartemen karbon dalam ekosistem mangrove menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan karbon tidak hanya bergantung pada vegetasi yang terlihat di permukaan, tetapi juga pada cadangan karbon yang tersimpan di bawah tanah. Sedimen mangrove berfungsi sebagai reservoir karbon jangka panjang yang memiliki kontribusi besar terhadap stabilitas iklim global. Keberadaan ketiga kompartemen tersebut memperlihatkan bahwa ekosistem mangrove merupakan sistem penyimpanan karbon yang kompleks dan memiliki nilai strategis dalam mendukung mitigasi perubahan iklim serta pengelolaan lingkungan pesisir secara berkelanjutan.

8.1.4 Potensi Cadangan Karbon Nasional dan Regional

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi cadangan karbon biru terbesar di dunia, terutama yang berasal dari ekosistem mangrove. Besarnya luas kawasan mangrove yang tersebar di berbagai wilayah pesisir menyebabkan kapasitas penyimpanan karbon Indonesia berada pada tingkat yang sangat tinggi dibandingkan negara-negara lain. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa rata-rata stok karbon ekosistem mangrove di Indonesia mencapai diatas $1.000 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Husain *et al.*, 2025). Nilai tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan rata-rata stok karbon mangrove global yang berada pada kisaran 956 Mg C ha^{-1} (Suffa Azzahra *et al.*, 2020). Tingginya nilai stok karbon tersebut menunjukkan bahwa ekosistem mangrove Indonesia memiliki kapasitas luar biasa dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam jangka panjang.

Secara keseluruhan, total cadangan karbon mangrove di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 3,0 hingga 3,4 Petagram Karbon (Pg C) (Trialaksita *et al.*, 2025). Jumlah tersebut menjadikan Indonesia sebagai salah satu penyimpan karbon pesisir terbesar di tingkat global. Sebagian besar cadangan karbon tersebut tersimpan di dalam sedimen mangrove yang kaya bahan organik dan memiliki kondisi anaerob, sehingga karbon dapat bertahan selama ratusan hingga ribuan tahun. Besarnya kapasitas penyimpanan karbon ini tidak hanya memberikan kontribusi penting terhadap mitigasi perubahan iklim global, tetapi juga memperlihatkan nilai strategis ekosistem mangrove dalam mendukung target pengurangan emisi gas rumah kaca nasional.

Meskipun demikian, distribusi stok karbon mangrove di Indonesia menunjukkan variasi yang cukup signifikan antarwilayah. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh

berbagai faktor, seperti tipe substrat, struktur dan kerapatan vegetasi, tingkat sedimentasi, kondisi hidrologi, serta intensitas gangguan manusia. Wilayah yang memiliki hutan mangrove primer dengan tingkat gangguan rendah umumnya mempunyai stok karbon lebih tinggi dibandingkan kawasan yang telah mengalami degradasi atau konversi lahan. Selain itu, kondisi geomorfologi pesisir dan suplai sedimen dari daerah aliran sungai juga turut memengaruhi kemampuan suatu kawasan mangrove dalam mengakumulasi karbon.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengidentifikasi besarnya stok karbon pada ekosistem mangrove di berbagai wilayah tropis, baik pada skala global maupun regional di Indonesia. Secara umum, sedimen merupakan kompartemen penyimpanan karbon utama dalam ekosistem mangrove. Adapun perbandingan hasil penelitian terkait stok karbon ekosistem mangrove disajikan pada Tabel 8.1:

Tabel 8. 1 Stok Karbon Ekosistem Mangrove

No.	Peneliti	Lokasi	Stok Karbon Total (Mg C ha ⁻¹)	Kompartemen Dominan
1	Donato <i>et al.</i> (2011)	Asia Tenggara & Pasifik	990–1200	Sedimen
2	Kauffman & Donato (2012)	Indo-Pasifik	800–1050	Sedimen
3	Alongi (2014)	Global Tropis	750–1000	Sedimen
4	Murdiyarso <i>et al.</i> (2015)	Indonesia	950–1100	Sedimen

No.	Peneliti	Lokasi	Stok Karbon Total (Mg C ha ⁻¹)	Kompartemen Dominan
5	Suryono <i>et al.</i> (2018)	Bali, Indonesia	86.11–359.24	Sedimen
6	Tsani & Muhsoni (2022)	Banten, Indonesia	59.3–162.5	Sedimen
7	Easteria <i>et al.</i> (2022)	Kepulauan Seribu, Jakarta, Indonesia	70.54–634.54	Sedimen
8	Marbun <i>et al.</i> (2020)	Bolaang Mongondow, Indonesia	10.57–398.82	Sedimen
9	ZA <i>et al.</i> (2024)	Gili Petagan, Lombok, Indonesia	74.76–178.29	Sedimen
10	Haykal <i>et al.</i> (2025)	Paremas, Lombok, Indonesia	56.05–104.96	Sedimen

Sumber: (Husain *et al.*, 2025)

Berdasarkan tabel tersebut, ekosistem mangrove menunjukkan kapasitas penyimpanan karbon yang tinggi, terutama pada kawasan mangrove tropis yang masih memiliki kondisi ekologis relatif baik. Nilai stok karbon total pada skala global dan regional umumnya berada pada kisaran yang lebih besar dibandingkan beberapa kajian lokal di Indonesia. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan karbon mangrove sangat

dipengaruhi oleh karakteristik wilayah, seperti kerapatan vegetasi, umur tegakan, tipe substrat, kedalaman sedimen, kondisi hidrologi, serta tingkat gangguan manusia. Meskipun nilai stok karbon antarwilayah bervariasi, tabel tersebut memperlihatkan pola yang konsisten bahwa sedimen merupakan kompartemen dominan dalam penyimpanan karbon mangrove. Hal ini menegaskan bahwa fungsi mangrove sebagai penyimpan karbon jangka panjang tidak hanya bergantung pada vegetasi di atas permukaan, tetapi juga sangat ditentukan oleh kemampuan sedimen dalam mengakumulasi dan mempertahankan karbon organik.

8.1.5 Ancaman Konversi: dari Penyerap menjadi Sumber Emisi

Meskipun ekosistem mangrove memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang sangat besar, cadangan karbon biru yang tersimpan di dalamnya sangat rentan terhadap gangguan manusia. Kerentanan tersebut terutama disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan di wilayah pesisir, seperti konversi hutan mangrove menjadi tambak budidaya, kawasan permukiman, lahan pertanian, industri, pelabuhan, serta infrastruktur pesisir lainnya. Dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia telah mengalami kehilangan sebagian besar kawasan mangrove akibat tekanan pembangunan dan pemanfaatan ruang pesisir yang tidak terkendali (Widyaningrum, 2019). Konversi menjadi tambak, khususnya tambak udang, menjadi salah satu penyebab utama degradasi mangrove karena aktivitas ini tidak hanya menghilangkan vegetasi di atas permukaan, tetapi juga mengubah struktur tanah dan sistem hidrologi kawasan.

Ketika hutan mangrove ditebang atau dikonversi, proses sequestrasi karbon yang sebelumnya berlangsung secara alami akan mengalami gangguan bahkan dapat

terhenti. Hilangnya vegetasi mangrove menyebabkan berkurangnya kemampuan ekosistem dalam menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer melalui proses fotosintesis. Selain itu, hilangnya biomassa di atas tanah, seperti batang, cabang, dan daun, juga menyebabkan cadangan karbon yang tersimpan dalam jaringan tumbuhan ikut berkurang. Pada saat yang sama, kerusakan sistem perakaran mengurangi kemampuan ekosistem dalam menahan sedimen dan bahan organik. Akibatnya, fungsi mangrove sebagai perangkap sedimen dan penyimpan karbon jangka panjang menjadi melemah.

Dampak yang lebih serius terjadi ketika sedimen mangrove yang sebelumnya berada dalam kondisi anaerob terganggu akibat pembukaan lahan, penggalian, pengeringan, atau pembangunan saluran air. Sedimen mangrove merupakan reservoir karbon terbesar karena menyimpan bahan organik yang terakumulasi selama ratusan hingga ribuan tahun. Dalam kondisi alami yang tergenang dan miskin oksigen, bahan organik tersebut terdekomposisi secara sangat lambat sehingga karbon dapat tersimpan secara stabil. Namun, ketika sedimen tersebut dibongkar atau terekspos udara, karbon organik yang sebelumnya terkunci akan mengalami oksidasi. Proses oksidasi ini mengubah karbon organik menjadi karbon dioksida (CO_2) dan melepaskannya kembali ke atmosfer dalam jumlah besar.

Perubahan tersebut menyebabkan ekosistem mangrove yang semula berfungsi sebagai penyerap karbon (carbon sink) dapat berubah menjadi sumber emisi karbon (carbon source). Kondisi ini sangat berisiko dalam konteks perubahan iklim karena emisi yang dilepaskan dari sedimen mangrove dapat berlangsung dalam jangka waktu panjang setelah konversi lahan terjadi. Dengan demikian, kerusakan mangrove tidak hanya berdampak pada hilangnya habitat pesisir, menurunnya keanekaragaman

hayati, dan melemahnya perlindungan alami terhadap abrasi, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Semakin luas kawasan mangrove yang dikonversi, semakin besar pula potensi emisi karbon yang dilepaskan.

Oleh karena itu, perlindungan ekosistem mangrove di Indonesia menjadi agenda penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Strategi konservasi dan rehabilitasi mangrove perlu diarahkan tidak hanya untuk memulihkan tutupan vegetasi, tetapi juga untuk menjaga kestabilan sedimen sebagai kompartemen utama penyimpanan karbon. Dalam konteks kebijakan iklim, perlindungan mangrove dapat diintegrasikan ke dalam berbagai skema, seperti REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation), pengelolaan karbon biru, serta target Nationally Determined Contributions (NDC). Melalui pendekatan tersebut, mangrove tidak hanya dipandang sebagai aset ekologis, tetapi juga sebagai instrumen ekonomi karbon yang memiliki nilai strategis bagi pembangunan rendah emisi dan keberlanjutan wilayah pesisir Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D.M. (2012) "Carbon sequestration in mangrove forests," *Carbon Management*. Available at: <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>.
- Alongi, D.M. (2014) "Carbon cycling and storage in mangrove forests," *Annual Review of Marine Science*, 6. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>.
- Alongi, D.M. *et al.* (2016) "Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon," *Wetlands Ecology and Management*, 24(1). Available at: <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9446-y>.
- Asplund, M.E. *et al.* (2021) "Dynamics and fate of blue carbon in a mangrove-seagrass seascape: influence of landscape configuration and land-use change," *Landscape Ecology*, 36(5). Available at: <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01216-8>.
- Bansal, S. *et al.* (2023) "Practical Guide to Measuring Wetland Carbon Pools and Fluxes," *Wetlands*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01722-2>.
- Chaudhuri, P., Chaudhuri, S. and Ghosh, R. (2019) "The Role of Mangroves in Coastal and Estuarine Sedimentary Accretion in Southeast Asia," *Sedimentation Engineering [Working Title]*. Available at: <https://doi.org/10.5772/intechopen.85591>.

- Choudhary, B., Dhar, V. and Pawase, A.S. (2024) "Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives," *Journal of Sea Research*, 199. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102504>.
- Donato, D.C. *et al.* (2012) *Mangrove adalah salah satu hutan terkaya karbon di kawasan tropis*, CIFOR Brief.
- Fitria, A. (2021) "Ekosistem Mangrove dan Mitigasi Pemanasan Global," *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*, 2(1). Available at: <https://doi.org/10.55448/ems.v2i1.20>.
- Halim *et al*, M. (2023) "Mitigasi Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ekosistem Mangrove Pulau Kecil Di Taman Nasional Karimunjawa," *Universitas Diponegoro*. [Preprint].
- Hilmi, N. *et al.* (2021) "The Role of Blue Carbon in Climate Change Mitigation and Carbon Stock Conservation," *Frontiers in Climate*. Available at: <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.710546>.
- Husain, P. *et al.* (2025) "Karbon Biru pada Ekosistem Mangrove : Dinamika, Kapasitas Penyimpanan, dan Implikasinya terhadap Mitigasi Perubahan Iklim," *Biocaster: Jurnal Kajian Biologi*, 5(4). Available at: <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i4.877>.
- Lacroix, R.E. *et al.* (2019) "Shifting mineral and redox controls on carbon cycling in seasonally flooded mineral soils," *Biogeosciences*, 16(13). Available at: <https://doi.org/10.5194/bg-16-2573-2019>.
- Lovelock, C.E. *et al.* (2015) "The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise," *Nature*, 526(7574). Available at: <https://doi.org/10.1038/nature15538>.

- Malik, A. *et al.* (2020) "Biomass carbon stocks in the mangrove rehabilitated area of sinjai district, south sulawesi, indonesia," *Geography, Environment, Sustainability*, 13(3). Available at: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-131>.
- McLeod, E. *et al.* (2011) "A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂," *Frontiers in Ecology and the Environment*. Available at: <https://doi.org/10.1890/110004>.
- Muhammad-Nor, S.M. *et al.* (2019) "Exceptionally high mangrove root production rates in the Kelantan Delta, Malaysia; An experimental and comparative study," *Forest Ecology and Management*, 444. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.026>.
- Novita, N. *et al.* (2019) *Seberapa Besar Kontribusi Mangrove dalam Mencapai Target Pengurangan Emisi NDC Indonesia?* Available at: <https://www.ykan.or.id/content/dam/tnc/nature/en/documents/ykan/fact-sheet/itp/bahasa/FINAL-1705-FACTSHEET-REPORT-MANGROVE-IND.pdf> (Accessed: May 24, 2026).
- Suffa Azzahra, F. *et al.* (2020) "ESTIMASI SERAPAN KARBON PADA HUTAN MANGROVE DESA BEDONO, DEMAK, JAWA TENGAH." Available at: <http://jfmr.ub.ac.id>.
- Sukarmen, A. *et al.* (2023) "Community-Based Mangrove Protection to Mitigate Climate Change: A Socio-Ecological Approach," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(8). Available at: <https://doi.org/10.18280/IJSDP.180818>.

- Tahir, I. *et al.* (2023) "Simpanan karbon sedimen di bawah tegakan spesies mangrove alami dan mangrove rehabilitasi," *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 6. Available at: <https://doi.org/10.33387/jikk.v6i1.6517>.
- World Bank (2022) *The Economics of Large-scale Mangrove Conservation and Restoration in Indonesia, The Economics of Large-scale Mangrove Conservation and Restoration in Indonesia*. Available at: <https://doi.org/10.1596/37605>.
- Trialaksita, D.M. *et al.* (2025) *Standar dan Metodologi untuk Pengembangan dan Sertifikasi Proyek Karbon Biru Mangrove di Indonesia*. Bogor. Available at: <https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf/manuals/Manual-Standar-Karbon-Biru.pdf> (Accessed: May 25, 2026).
- Widyaningrum, G.L. (2019) *Lebih Dari 50% Hutan Mangrove di Indonesia Hilang, Apa Penyebabnya?*, *National Geographic Indonesia*. Available at: <https://nationalgeographic.grid.id/read/131739246/lebih-dari-50-hutan-mangrove-di-indonesia-hilang-apa-penyebabnya> (Accessed: May 25, 2026).
- Williamson, P. and Gattuso, J.P. (2022) "Carbon Removal Using Coastal Blue Carbon Ecosystems Is Uncertain and Unreliable, With Questionable Climatic Cost-Effectiveness," *Frontiers in Climate*. Available at: <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.853666>.
- Yuniarti *et al.* (2023) "Climate Change Mitigation through Mangrove Based-Blue Carbon Utilization in Balikpapan." Available at: https://doi.org/10.2991/978-2-38476-174-6_5.
- Zhang, J. *et al.* (2024) "A global assessment of mangrove soil organic carbon sources and implications for blue carbon credit," *Nature Communications* , 15(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53413-z>.

BAB 9

PENGELOLAAN DAN KONSERVASI MANGROVE

Oleh Rismawaty Rusdi

Ekosistem Mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki nilai ekologis, sosial, ekonomi, dan klimatologis yang sangat penting. Mangrove berperan sebagai pelindung habitat alami pantai dari abrasi, gelombang ekstrem, banjir rob, serta menjadi habitat pemijahan, pembesaran, dan tempat mencari makan bagi berbagai jenis ikan, krustasea, moluska, burung, reptil, dan biota pesisir lainnya (Khalasi *et al.*, 2025; Mhatre, 2024). Selain itu, mangrove juga memiliki kemampuan menyimpan karbon biru dalam jumlah besar, terutama pada biomassa bawah permukaan dan sedimen anaerob yang mampu menyimpan karbon dalam jangka panjang (Awad *et al.*, 2023; Husain *et al.*, 2025).

Secara global, luas habitat mangrove dunia pada tahun 2020 diperkirakan sekitar 147.358,99 km² berdasarkan data Global Mangrove Watch. Namun, ekosistem ini terus menghadapi tekanan akibat konversi lahan, pembangunan pesisir, ekspansi tambak, pencemaran, penebangan, sedimentasi tidak seimbang, serta dampak perubahan iklim. (Ju *et al.*, 2025) melaporkan bahwa distribusi global dan kapasitas penyimpanan karbon mangrove telah menurun drastis selama 35 tahun terakhir (1985-2020). Dimana luas hutan mangrove global menurun dari 17,35 juta hektar pada tahun 1985 (penyimpanan karbon 6,84 Pg) menjadi 12,61 juta hektar pada

tahun 2020 (penyimpanan karbon 5,72 Pg). Kerugian signifikan terjadi di Arab Saudi dan Indonesia, dengan pengurangan global sebesar 21,6% dalam luas dan 16,5% dalam stok karbon.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan dan konservasi mangrove tidak dapat dipahami hanya sebagai kegiatan penanaman bibit. Pengelolaan mangrove harus dipandang sebagai proses terpadu yang mencakup perlindungan kawasan, pemulihan fungsi ekologis, pengaturan pemanfaatan, penguatan kelembagaan, partisipasi masyarakat, pengendalian pencemaran, serta pemantauan jangka panjang (Santoso *et al.*, 2026). Pendekatan ini penting karena sebagian program rehabilitasi mangrove di berbagai tempat gagal bukan karena kurangnya jumlah bibit yang ditanam, tetapi karena tidak memperhatikan kesesuaian hidrologi, jenis substrat, zonasi ekologi, hak kelola masyarakat, serta keberlanjutan pemeliharaan pascapenanaman.

Di Indonesia, mangrove memiliki kedudukan strategis karena Indonesia merupakan salah satu negara dengan ekosistem mangrove terluas di dunia. Kementerian Lingkungan Hidup menyebutkan bahwa Indonesia memiliki sekitar 3.455.628 hektare mangrove, atau sekitar 20-25% dari total mangrove global. Pemerintah juga menyusun Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove Nasional 2026-2055 dengan pendekatan Kesatuan Lanskap Mangrove, yaitu pendekatan pengelolaan berbasis batas ekologis seperti hilir daerah aliran sungai, bukan hanya batas administratif.

Oleh karena itu, pengelolaan dan konservasi mangrove harus ditempatkan sebagai bagian dari pembangunan pesisir berkelanjutan. Bab ini membahas konsep dasar pengelolaan dan konservasi mangrove, prinsip-prinsip utama, strategi perlindungan, teknik rehabilitasi dan restorasi, peran masyarakat, pemantauan, serta tantangan pengelolaan mangrove pada era perubahan iklim.

9.1 Konsep Pengelolaan dan Konservasi Mangrove

Pengelolaan mangrove adalah proses perencanaan, pelaksanaan, pemanfaatan, pengawasan, dan evaluasi terhadap ekosistem mangrove agar fungsi ekologi, sosial, dan ekonominya tetap berlangsung secara berkelanjutan. Pengelolaan mangrove tidak hanya berkaitan dengan perlindungan pohon mangrove, tetapi juga mencakup perlindungan proses ekologis yang menopang kehidupan mangrove, seperti pasang surut, aliran air tawar, suplai sedimen, kualitas air, serta interaksi antara vegetasi, fauna, dan masyarakat pesisir (Carter *et al.*, 2015; Friess *et al.*, 2021).

Konservasi mangrove adalah upaya mempertahankan keberadaan, keanekaragaman, struktur, fungsi, dan jasa ekosistem mangrove. Konservasi dapat dilakukan melalui perlindungan kawasan yang masih baik, pemulihan kawasan yang rusak, pengaturan pemanfaatan hasil mangrove, serta penguatan kelembagaan masyarakat. Dalam prakteknya, konservasi mangrove dapat mencakup tiga pendekatan utama, yaitu:

1. Perlindungan, yaitu menjaga mangrove yang masih baik agar tidak mengalami degradasi;
2. Rehabilitasi atau restorasi, yaitu memulihkan kawasan mangrove yang telah rusak;
3. Pemanfaatan berkelanjutan, yaitu menggunakan sumber daya mangrove tanpa menurunkan kemampuan ekosistem untuk pulih dan berfungsi.

Perbedaan antara rehabilitasi dan restorasi penting untuk dipahami. Rehabilitasi umumnya bertujuan memperbaiki kondisi ekosistem yang rusak agar kembali memiliki fungsi dasar, sedangkan restorasi berupaya mengembalikan struktur, komposisi, proses ekologis, dan fungsi ekosistem semirip mungkin dengan kondisi alaminya. Dalam konteks mangrove, restorasi tidak selalu berarti menanam pohon. Pada banyak lokasi, pemulihan hidrologi pasang surut dan pengurangan

tekanan manusia dapat memicu regenerasi alami yang lebih efektif dibandingkan penanaman massal.

9.2 Prinsip-Prinsip Pengelolaan Mangrove

Pengelolaan mangrove yang baik perlu berangkat dari prinsip ilmiah dan sosial. Global Mangrove Alliance menekankan bahwa restorasi mangrove yang berhasil harus berbasis informasi terbaik, memberdayakan masyarakat, memperhatikan konteks lokal, menjaga keanekaragaman hayati, dirancang untuk keberlanjutan, serta didukung pendanaan yang berintegritas. Pedoman praktek terbaik ini juga menegaskan bahwa pendekatan penanaman satu spesies secara massal sering kali tidak cukup untuk memulihkan fungsi ekosistem mangrove.

9.1.1 Berbasis Ekosistem dan Lanskap

Mangrove tidak berdiri sendiri, tetapi keberadaannya dipengaruhi oleh daerah aliran sungai, laut, pola pasang surut, sedimentasi, penggunaan lahan di hulu, serta aktivitas masyarakat di wilayah pesisir (Amir *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pengelolaan mangrove harus menggunakan pendekatan lanskap yang menghubungkan ekosistem darat, sungai, estuari, dan laut. Pendekatan ini sejalan dengan RPPEM Nasional yang menggunakan konsep Kesatuan Lanskap Mangrove, yaitu Satuan Pengelolaan berbasis Data Ekologis. Kerangka pengelolaan mangrove berbasis lanskap secara sederhana disajikan pada Gambar 9.1.

9.1.2 Berbasis Ilmu Pengetahuan

Keputusan pengelolaan harus didasarkan pada data ekologis, sosial, dan ekonomi. Data yang diperlukan meliputi luas tutupan mangrove, jenis mangrove dominan,

tingkat kerapatan, kondisi substrat, salinitas, pasang surut, tingkat gangguan, kepemilikan atau status lahan, serta pola pemanfaatan masyarakat. Tanpa data tersebut, program konservasi berisiko salah sasaran.

9.1.3 Mengutamakan Perlindungan Mangrove yang Masih Baik

Perlindungan mangrove yang masih sehat umumnya lebih efektif dan lebih murah dibandingkan memulihkan mangrove yang telah rusak berat. Mangrove yang masih baik memiliki struktur vegetasi, bank propagul, mikroorganisme tanah, fauna benthik, dan fungsi hidrologis yang sudah terbentuk. Oleh karena itu, strategi pertama dalam konservasi adalah mencegah kerusakan sebelum terjadi



Gambar 9. 1 Kerangka Pengelolaan Mangrove berbasis Lanskap

(Sumber : Ilustrasi Konseptual Penulis yang dianimasikan oleh ChatGPT)

9.1.4 Memulihkan Proses Ekologis, Bukan Sekedar Menanam

Mangrove memerlukan kondisi lingkungan tertentu untuk tumbuh, terutama pasang surut yang sesuai, substrat yang stabil, salinitas yang toleran, serta suplai sedimen yang cukup. Apabila aliran pasang surut terputus oleh tanggul tambak, jalan, atau sedimentasi berlebih, maka penanaman bibit tidak akan berhasil dalam jangka panjang. Restorasi yang baik harus dimulai dari diagnosis penyebab kerusakan.

9.1.5 Partisipatif dan Berkeadilan

Masyarakat pesisir sering kali memiliki ketergantungan langsung terhadap mangrove sebagai sumber ikan, kepiting, kayu bakar, obat tradisional, bahan pangan, dan ruang ekonomi lokal. Oleh karena itu, konservasi mangrove harus melibatkan masyarakat sejak tahap perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, hingga pembagian manfaat. Tanpa partisipasi masyarakat, konservasi cenderung menjadi kegiatan proyek jangka pendek.

9.1.6 Adaptif terhadap Perubahan Iklim

Perubahan iklim meningkatkan resiko kenaikan muka laut, intrusi salin, perubahan pola hujan, suhu ekstrem, dan gangguan badai. Indonesia dalam dokumen *Enhanced NDC* menekankan pentingnya peningkatan kapasitas adaptif, pengurangan resiko, penguatan ketahanan, serta integrasi adaptasi perubahan iklim dalam pembangunan. Dalam konteks mangrove, prinsip ini berarti pengelolaan harus mempertimbangkan ruang migrasi mangrove ke arah daratan, perlindungan sedimen, dan konektivitas ekologis.

9.2 Strategi Pengelolaan dan Konservasi Mangrove

9.2.1 Investasi dan Pemetaan Mangrove

Langkah awal pengelolaan mangrove adalah inventarisasi. Kegiatan ini bertujuan memperoleh gambaran kondisi mangrove secara spasial dan ekologis. Inventarisasi dapat dilakukan melalui kombinasi citra satelit, drone, survei lapangan, wawancara masyarakat, dan pengukuran biofisik. Data inventarisasi minimal mencakup beberapa parameter seperti yang disajikan pada Tabel 9.1.

Tabel 9. 1 Data Inventarisasi Mangrove

Aspek yang Dinilai	Contoh Parameter
Vegetasi	Jenis mangrove, kerapatan, diameter batang, tinggi pohon, regenerasi
Lingkungan fisik	Substrat, salinitas, pasang surut, sedimentasi, abrasi
Kualitas Air	pH, suhu, oksigen terlarut, kekeruhan, bahan organik
Sosial Ekonomi	Pola pemanfaatan, konflik lahan, kelembagaan lokal
Tekanan Ekosistem	Tambak, sampah, pencemaran, penebangan, pembangunan pesisir

Inventarisasi yang baik membantu menentukan apakah suatu kawasan perlu dilindungi, direhabilitasi, dipulihkan hidrologinya, atau dikelola untuk pemanfaatan terbatas. Di Indonesia, keberadaan Peta Mangrove Nasional menjadi salah satu dasar penting untuk mengetahui kondisi eksisting dan potensi habitat mangrove di berbagai provinsi. Dokumen Peta Mangrove

Nasional Tahun 2024 telah ditetapkan melalui keputusan Menteri Kehutanan dan memuat data luas mangrove eksisting serta potensi habitat mangrove.

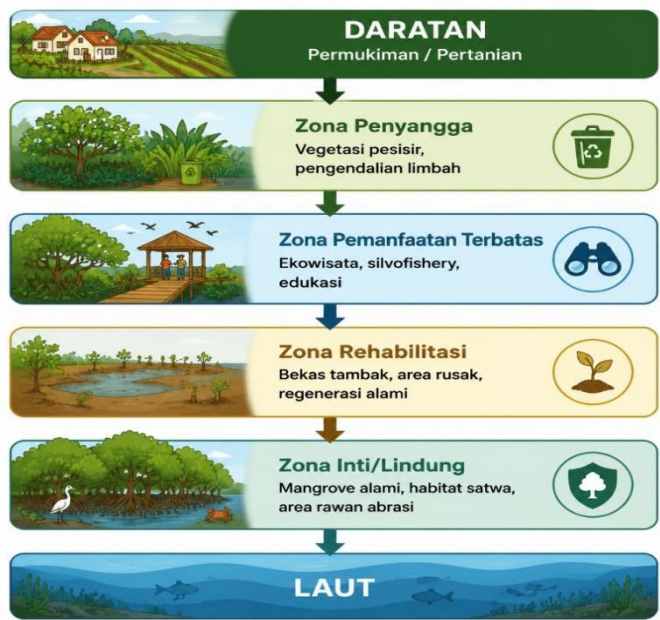
9.2.2 Zonasi Pengelolaan Mangrove

Zonasi bertujuan membagi kawasan mangrove berdasarkan fungsi ekologis dan tingkat pemanfaatannya. Zonasi membantu menghindari konflik penggunaan ruang serta memastikan bahwa kawasan paling penting secara ekologis memperoleh perlindungan yang memadai (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2025). Secara umum, zonasi mangrove dapat dibagi menjadi beberapa zona yang disajikan pada Tabel 9.2 dan contoh zonasi sederhana kawasan mangrove disajikan pada Gambar 9.2.

Tabel 9. 2 Zonasi, Fungsi dan Bentuk Pengelolaan Mangrove

Zona	Fungsi Utama	Bentuk Pengelolaan
Zona Inti/Lindung	Melindungi mangrove alami, habitat penting dan area rawan abrasi	Tidak boleh dikonversi, aktivitas terbatas untuk penelitian dan pendidikan
Zona Rehabilitasi	Memulihkan kawasan rusak atau bekas tambak	Restorasi hidrologi, regenerasi alami, penanaman selektif
Zona Pemanfaatan Terbatas	Mendukung ekonomi masyarakat tanpa merusak tutupan mangrove	Ekowisata, silvofishery, hasil hutan bukan kayu

Zona	Fungsi Utama	Bentuk Pengelolaan
Zona Penyangga	Mengurangi tekanan dari pemukiman, tambak, atau industri	Pengendalian limbah, vegetasi penyangga, edukasi masyarakat
Zona Monitoring	Area contoh untuk evaluasi ekologis	Plot permanen, pemantauan karbon, biodiversitas, kualitas air



Gambar 9. 2 Contoh Zonasi Sederhana Kawasan Mangrove

(Sumber : Ilustrasi Konseptual Penulis yang dianimasikan oleh ChatGPT)

9.3 Rehabilitasi dan Restorasi Mangrove

Rehabilitasi dan restorasi merupakan bagian penting dari konservasi mangrove, terutama pada kawasan yang telah mengalami degradasi. Namun, kegiatan ini harus dirancang secara hati-hati. Global Mangrove Alliance mencatat bahwa sebagian wilayah masih menunjukkan tingkat kegagalan restorasi hingga 80% apabila praktek ilmiah tidak diterapkan, terutama jika program hanya berfokus pada penanaman massal tanpa memperhatikan kondisi ekologis tapak.

9.3.1 Diagnosis Penyebab Kerusakan

Sebelum melakukan rehabilitasi, perlu diketahui penyebab utama kerusakan. Penyebab tersebut dapat berupa :

1. Konversi mangrove menjadi tambak
2. Perubahan aliran pasang surut
3. Abrasi atau sedimentasi ekstrem
4. Pencemaran limbah domestik dan industri
5. Penebangan kayu mangrove
6. Tekanan pembangunan pelabuhan, jalan, atau pemukiman
7. Berkurangnya suplai sedimen dari hulu
8. Konflik status lahan

Diagnosis ini penting karena tindakan pemulihan harus sesuai dengan penyebab kerusakan. Apabila kerusakan disebabkan oleh tertutupnya saluran pasang surut, maka tindakan utama adalah membuka kembali sirkulasi air, bukan langsung menanam bibit. Adapun kesalahan umum yang sering terjadi pada saat rehabilitasi mangrove dan solusi yang sebaiknya diterapkan disajikan pada Tabel 9.3.

Tabel 9. 3 Kesalahan Umum dalam Rehabilitasi Mangrove dan Solusinya

Kesalahan Umum	Dampak	Solusi Pengelolaan
Menanam tanpa survei tapak	Bibit mati karena substrat, salinitas, atau genangan tidak sesuai	Lakukan kajian biofisik sebelum memulai penanaman
Menanam satu jenis di semua lokasi	Keanekaragaman rendah dan tidak sesuai zonasi	Pilih jenis sesuai zonasi ekologis
Mengabaikan kondisi pasang surut	Bibit kekeringan atau terlalu lama tergenang	Pulihkan sirkulasi hidrologi
Fokus pada jumlah bibit, bukan fungsi ekosistem	Program terlihat besar tetapi tidak berkelanjutan	Gunakan indikator survival rate, regenerasi, fauna, dan kualitas habitat
Tidak melibatkan masyarakat	Perawatan lemah dan rawan konflik	Bentuk kelompok pengelola lokal
Tidak ada monitoring	Keberhasilan tidak dapat diukur	Buat plot permanen dan evaluasi berkala

9.3.2 Restorasi Hidrologi

Hidrologi adalah faktor kunci dalam keberhasilan restorasi mangrove. Mangrove membutuhkan frekuensi dan durasi genangan yang sesuai. Misalnya pada bekas tambak, tanggul sering menghambat masuknya air pasang sehingga tanah menjadi terlalu kering, terlalu asam, atau

terlalu padat (Tiggeloven *et al.*, 2026). Restorasi hidrologi dapat dilakukan dengan membuka tanggul tertentu, memperbaiki saluran air, atau mengembalikan pola pasang surut alami.

9.3.3 Regenerasi Alami

Regenerasi alami adalah proses pemulihan mangrove melalui pertumbuhan propagul atau anakan secara alami tanpa penanaman intensif. Pendekatan ini dapat berhasil apabila sumber propagul masih tersedia, kondisi substrat sesuai, dan tekanan manusia dapat dikendalikan. Regenerasi alami sering kali lebih murah dan menghasilkan struktur vegetasi yang lebih sesuai dengan kondisi lokal.

9.3.4 Penanaman Selektif

Penanaman bibit diperlukan apabila regenerasi alami tidak cukup, sumber propagul terbatas, atau kawasan mengalami kerusakan berat. Namun, penanaman harus memperhatikan jenis mangrove yang sesuai dengan zonasi ekologis. Jenis *Rhizophora* umumnya tumbuh baik pada substrat berlumpur yang tergenang pasang, sedangkan *Avicennia* dan *Sonneratia* lebih toleran pada area yang lebih terbuka dan dinamis. Penanaman satu jenis pada semua zona dapat menyebabkan kegagalan ekologis karena setiap jenis mangrove memiliki preferensi habitat yang berbeda.

9.3.5 Pemeliharaan dan Perlindungan Pascatanam

Setelah penanaman, bibit perlu dipantau dari gangguan ombak, hama, sampah, ternak, aktivitas manusia, serta perubahan substrat. Pemeliharaan mencakup penyulaman, pembersihan sampah, penguatan pelindung alami, dan pengawasan. Program rehabilitasi sebaiknya

tidak berhenti pada kegiatan seremonial penanaman, tetapi dilanjutkan dengan pemantauan minimal 3-5 tahun.

9.4 Konservasi Berbasis Masyarakat

Konservasi mangrove yang berhasil membutuhkan keterlibatan masyarakat pesisir. Masyarakat bukan hanya penerima manfaat, tetapi juga aktor utama yang memahami sejarah kawasan, perubahan lingkungan, lokasi rawan abrasi, jalur pasang surut, serta jenis mangrove yang sesuai dengan kondisi setempat. Konservasi berbasis masyarakat dapat dilakukan melalui:

1. Pembentukan kelompok pengelola mangrove
2. Penyusunan aturan lokal tentang larangan penebangan dan konversi
3. Pengembangan patroli masyarakat
4. Pelatihan pembibitan dan monitoring
5. Pengembangan ekowisata berbasis masyarakat
6. Penguatan usaha hasil hutan bukan kayu
7. Pendidikan lingkungan untuk sekolah dan komunitas pesisir

Partisipasi masyarakat juga penting untuk menjamin keadilan sosial. Program konservasi tidak boleh menyebabkan masyarakat kehilangan akses terhadap sumber penghidupan tanpa adanya alternatif yang layak. Oleh karena itu, konservasi harus disertai strategi ekonomi lokal yang berkelanjutan.

9.5 Pemanfaatan Mangrove Secara Berkelanjutan

Pemanfaatan mangrove secara berkelanjutan berarti menggunakan sumber daya mangrove dengan tetap mempertahankan tutupan vegetasi, keanekaragaman hayati, dan fungsi ekologisnya. Bentuk pemanfaatan berkelanjutan meliputi:

9.5.1 Silvofishery

Silvofishery adalah sistem budidaya perikanan yang mengintegrasikan tambak dengan vegetasi mangrove. Sistem ini bertujuan mempertahankan fungsi ekologis mangrove sekaligus memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat. Namun, silvofishery harus dirancang dengan proporsi vegetasi yang memadai, sirkulasi air yang baik, dan tidak membuka mangrove alami secara besar-besaran.

9.5.2 Ekowisata Mangrove

Ekowisata mangrove dapat menjadi sumber pendapatan masyarakat sekaligus sarana pendidikan lingkungan. Contoh kegiatan ekowisata meliputi jalur tracking, pengamatan burung, wisata perahu, edukasi pembibitan, dan interpretasi ekologi mangrove. Agar tidak merusak ekosistem, ekowisata perlu memperhatikan daya dukung, pengelolaan sampah, pembatasan jumlah pengunjung, dan pembagian manfaat bagi masyarakat lokal.

9.5.3 Hasil Hutan Bukan Kayu

Mangrove juga dapat mendukung produk lokal seperti madu mangrove, sirup buah mangrove, pewarna alami, olahan buah pedada, kerajinan, dan produk edukasi. Pemanfaatan ini harus dilakukan secara selektif agar tidak mengganggu regenerasi alami.

9.5.4 Jasa Ekosistem dan Karbon Biru

Mangrove memiliki potensi besar dalam skema jasa ekosistem, termasuk karbon biru. Penelitian tentang mangrove Indonesia menunjukkan bahwa mangrove merupakan penyimpanan karbon penting dan konservasinya dapat berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. (Murdiyarso *et al.*, 2015) memperkirakan

stok karbon mangrove Indonesia mencapai sekitar $1.083 \pm 378 \text{ MgC ha}^{-1}$, sehingga kehilangan mangrove dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca yang signifikan.

Meskipun demikian, pengembangan karbon biru harus dilakukan secara hati-hati. Skema karbon tidak boleh hanya berorientasi pada nilai ekonomi karbon, tetapi juga harus menjamin integritas ekologis, hak masyarakat lokal, kejelasan tenurial, transparansi pembagian manfaat, dan pemantauan jangka panjang.

9.6 Kelembagaan dan Kebijakan Pengelolaan Mangrove

Pengelolaan mangrove membutuhkan koordinasi lintas sektor karena mangrove berada pada ruang pertemuan antara kebijakan kehutanan, kelautan, perikanan, lingkungan hidup, tata ruang desa, dan pembangunan daerah. Kelemahan koordinasi sering menyebabkan tumpang tindih kewenangan, konflik pemanfaatan ruang, serta lemahnya pengawasan terhadap konversi mangrove.

Di Indonesia, kebijakan mangrove pernah diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 73 Tahun 2012 tentang Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove, meskipun status peraturan tersebut kemudian tercatat tidak berlaku lagi karena telah dicabut. Hal ini menunjukkan bahwa kebijakan mangrove mengalami perkembangan dan memerlukan instrumen baru yang lebih kuat, terpadu, dan sesuai dengan tantangan saat ini.

Penyusunan RPPEM Nasional 2026-2055 menjadi salah satu langkah penting dalam memperkuat arah pengelolaan mangrove di Indonesia. RPPEM dirancang sebagai instrumen jangka panjang yang memadukan perlindungan lingkungan, daya dukung ekosistem, kebutuhan pembangunan sosial ekonomi, serta partisipasi pemangku kepentingan. Dalam dokumen tersebut, sebagian kawasan diarahkan untuk fungsi

lindung, sedangkan sebagian lainnya dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan melalui silvofishery, ekowisata, dan bentuk pemanfaatan lain yang tetap menjaga tutupan mangrove.

9.7 Monitoring dan Evaluasi Konservasi Mangrove

Monitoring dan evaluasi diperlukan untuk mengetahui apakah program konservasi berhasil atau tidak. Keberhasilan tidak dapat diukur hanya dari jumlah bibit yang ditanam, tetapi harus dilihat dari kemampuan ekosistem untuk pulih dan berfungsi. Adapun indikator yang sering digunakan dalam monitoring konservasi mangrove disajikan pada Tabel 9.4.

Tabel 9. 4 Indikator Monitoring Konservasi Mangrove

Komponen	Indikator	Metode Pengukuran
Tutupan Vegetasi	Perubahan luas mangrove, kerapatan kanopi	Citra satelit, drone, plot lapangan
Struktur Vegetasi	Tinggi pohon, diameter, kerapatan, regenerasi	Transek dan plot permanen
Keberhasilan Tanam	Persentase hidup bibit, pertumbuhan bibit	Pengamatan berkala
Hidrologi	Frekuensi genangan, salinitas, aliran pasang surut	Pengukuran lapangan

Komponen	Indikator	Metode Pengukuran
Kualitas Air	pH, suhu, DO, kekeruhan, bahan organik	Uji kualitas air
Biodiversitas	Kepiting, ikan, burung, moluska, makrozoobenthos	Survei biota
Sosial Ekonomi	Pendapaatan masyarakat, partisipasi, konflik	Wawancara dan FGD
Tata Kelola	Aturan lokal, patroli, kelembagaan	Evaluasi dokumen dan observasi

Monitoring sebaiknya dilakukan secara berkala, misalnya setiap 3 bulan pada tahun pertama, setiap 6 bulan pada tahun kedua, dan minimal setahun sekali pada tahun-tahun berikutnya. Data monitoring harus digunakan untuk memperbaiki strategi, bukan hanya sebagai laporan administratif.

9.8 Tantangan Pengelolaan dan Konservasi Mangrove

Pengelolaan mangrove menghadapi sejumlah tantangan yang kompleks. Pertama, tekanan konversi lahan masih tinggi, terutama untuk tambak, pemukiman, industri, dan infrastruktur pesisir. Kedua, banyak kawasan mangrove berada pada status lahan yang tidak jelas sehingga menimbulkan konflik kewenangan dan pemanfaatan. Ketiga, program rehabilitasi sering kali masih berorientasi pada jumlah bibit,

bukan pemulihan fungsi ekosistem. Keempat, perubahan iklim meningkatkan resiko kenaikan muka laut, abrasi, perubahan salinitas, dan gangguan hidrologi (Arifanti *et al.*, 2022).

IUCN melalui penilaian Red List of Ecosystems menunjukkan bahwa lebih dari separuh ekosistem mangrove dunia berada dalam resiko kolaps apabila upaya konservasi tambahan tidak dilakukan. Hal ini memperkuat urgensi pengelolaan mangrove yang tidak hanya bersifat lokal, tetapi juga terhubung dengan agenda global seperti mitigasi perubahan iklim, adaptasi pesisir, perlindungan biodiversitas, dan pembangunan berkelanjutan.

Tantangan lain adalah lemahnya integrasi antara pengetahuan ilmiah dan praktek lapangan. Banyak kegiatan konservasi dilakukan secara seremonial tanpa kajian ekologis yang memadai. Padahal, mangrove adalah ekosistem yang sangat dipengaruhi oleh kondisi tapak. Oleh karena itu, setiap kegiatan pengelolaan harus didasarkan pada prinsip „tempat yang tepat, jenis yang tepar, metode yang tepat, dan kelembagaan yang tepat“

9.9 Arah Pengelolaan Mangrove Berkelanjutan

Pengelolaan mangrove pada masa depan perlu diarahkan pada pendekatan yang lebih integratif dan adaptif. Beberapa arah penting yang perlu dikembangkan adalah sebagai berikut:

1. Memperkuat perlindungan mangrove yang masih baik. Kawasan mangrove dengan tutupan baik, keanekaragaman tinggi, dan fungsi perlindungan pantai harus menjadi prioritas konservasi ketat
2. Mengembangkan restorasi ekologis berbasis hidrologi. Pemulihan mangrove harus dimulai dari pemulihan proses ekologis, terutama pasang surut dan kondisi substrat
3. Mengintegrasikan mangrove dalam perencanaan tata ruang pesisir. Mangrove harus dipandang sebagai

infrastruktur ekologis yang melindungi wilayah pesisir, bukan sebagai lahan kosong yang siap dikonversi.

4. Memperkuat masyarakat sebagai pengelola utama di tingkat tapak. Kelembagaan lokal, kearifan masyarakat, dan ekonomi pesisir berkelanjutan perlu menjadi bagian dari desain konservasi
5. Membangun sistem data dan monitoring terbuka. Data mangrove harus diperbarui secara berkala dan dapat digunakan oleh pemerintah, akademisi, masyarakat, serta pelaku konservasi
6. Menghubungkan konservasi mangrove dengan agenda perubahan iklim. Mangrove dapat mendukung mitigasi melalui penyimpanan karbon dan adaptasi melalui perlindungan pesisir. Namun, program karbon biru harus tetap menjaga prinsip keadilan sosial dan integritas ekologis.

Pengelolaan dan konservasi mangrove merupakan upaya terpadu untuk mempertahankan, memulihkan, dan memanfaatkan ekosistem mangrove secara berkelanjutan. Konservasi mangrove tidak dapat disederhanakan sebagai kegiatan menanam bibit, tetapi harus mencakup perlindungan kawasan, pemulihan hidrologi, penguatan kelembagaan, pemanfaatan berkelanjutan, monitoring, serta adaptasi terhadap perubahan iklim.

Prinsip utama pengelolaan mangrove adalah berbasis ekosistem, berbasis data ilmiah, partisipatif, berkeadilan, adaptif, dan berorientasi jangka panjang. Strategi konservasi yang efektif meliputi inventarisasi, zonasi, perlindungan kawasan, restorasi ekologis, pengembangan ekonomi masyarakat, pengendalian pencemaran, dan evaluasi berkala. Dalam konteks Indonesia, mangrove memiliki arti strategis karena luasnya yang besar, manfaatnya bagi masyarakat pesisir, serta kontribusinya terhadap agenda iklim dan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, A., Maturbongs, R. A., & Tapilatu, R. F. (2019). The impacts of coastal community activities on the existence of the Waranggui mangrove forest in South Manokwari, West Papua, Indonesia. *Indo Pacific Journal of Ocean Life*, 3(2). <https://doi.org/10.13057/oceanlife/o030202>
- Arifanti, V. B., Sidik, F., Mulyanto, B., Susilowati, A., Wahyuni, T., Subarno, Yulianti, Yuniarti, N., Aminah, A., Suita, E., Karlina, E., Suharti, S., Pratiwi, 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). <https://doi.org/10.3390/f13050695>
- Awad, A., El-Sammak, A., Elshazly, A., & El-Masry, E. A. (2023). Carbon Sequestration in mangrove sediments as Climate Change Mitigation Tool: A Case Study from the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 27(4), 707–727. www.ejabf.journals.ekb.eg
- Carter, H. N., Schmidt, S. W., & Hirons, A. C. (2015). An international assessment of mangrove management: Incorporation in integrated coastal zone management. In *Diversity* (Vol. 7, Number 2, pp. 74–104). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/d7020074>
- Domínguez-Domínguez, M., Zavala-Cruz, J., Rincón-Ramírez, J. A., & Martínez-Zurimendi, P. (2019). Management Strategies for the Conservation, Restoration and Utilization of Mangroves in Southeastern Mexico. *Wetlands*, 39(5), 907–919. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01136-z>

- Friess, D. A., Chua, S. C., Jaafar, Z., Krauss, K. W., & Yando, E. S. (2021). Mangroves and people: Impacts and interactions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107155>
- Husain, P., Ihsan, M. S., Kuswara, R. D., Ihwan, K., Risfianty, D. K., Sanuriza, I. Il, Alyaminy, I. H. A. Z., & Atika, B. N. D. (2025). Karbon Biru pada Ekosistem Mangrove: Dinamika, Kapasitas Penyimpanan, dan Implikasinya terhadap Mitigasi Perubahan Iklim. *Biocaster: Jurnal Kajian Biologi*, 5(4), 1112–1127. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i4.877>
- Ju, C., Fu, D., Lyne, V., Xiao, H., Su, F., & Yu, H. (2025). Global Declines in Mangrove Area and Carbon-Stock From 1985 to 2020. *Geophysical Research Letters*, 52(8), 1–10. <https://doi.org/10.1029/2025GL115303>
- Khalasi, B. R., Chaturvedi, P., Tandel, M. U., & Dalsaniya, B. (2025). Mangroves as Coastal Defenders: Ecosystem Services and Conservation Imperatives. *Asian Journal of Advances in Research*, 8(1), 38–42. <https://doi.org/10.56557/ajair/2025/v8i1503>
- Mhatre, M. A. (2024). Role of Mangroves as Fishery Resource: A Systematic Review. *UTTAR PRADESH JOURNAL OF ZOOLOGY*, 45(16), 35–41. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i164285>
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12), 1089–1092. <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>

- Santoso, N., Oktovianus, Rachmatullah, A., Oktavia, R. C. D., Suprajanti, D. S., & Avenzora, R. (2026). An Integrative Assessment of a Mangrove Ecosystem: Sustainability and Management in Muara Angke, Jakarta. *Sustainability (Switzerland)*, 18(464), 1–43. <https://doi.org/10.3390/su18010464>
- Tiggeloven, T., van Zelst, V., Mortensen, E., van Wesenbeeck, B. K., Worthington, T. A., Spalding, M., de Moel, H., & Ward, P. J. (2026). Mangrove restoration and coastal flood adaptation: A global perspective on the potential for hybrid coastal defenses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 123(4). <https://doi.org/10.1073/pnas.2510980123>
- Zhou, S., Deng, F., Zhang, Z., & Yu, Y. (2025). Research on Optimization of Green Development Management of Mangroves based on Sustainable Development-Take Guangdong Province as an Example. *Frontiers in Sustainable Development*, 5(8), 2025.

INDEKS

A

Abrasi, v, 151, 213

Adaptasi, iii, 54, 58, 61, 63, 65, 66, 67, 70, 72, 95, 96, 100, 108

Antropogenik, iv, 103

B

Bahan Organik, iv, 120

Benthos, 85

Biogeokimia, vi, 12, 187

Bioindikator, iv, viii, x, 112, 121, 122, 123, 125, 131, 133, 136

Biomassa, vi, 11, 190

Biota, v, 89, 157

Blue Carbon, v, 25, 161, 172, 200, 202

BOD, 112, 121, 135

C

COD, 112, 121

D

Detritus, 12, 100

Diatom, iv, 126, 127, 128

Dinamika Biologis, iv, 100

Dinamika Fisik, iii, 92

Dinamika Kimia, iv, 95

E

Ekologi Pesisir, 17

Ekosistem mangrove, 28, 29, 33, 35, 37, 53, 65, 74, 84, 86, 91, 92, 95, 96, 100, 102, 103, 109, 111, 113, 117, 118, 138, 143, 148, 166, 184, 186

Ekosistem rawa, 119

F

Fauna, iii, v, viii, 38, 39, 84, 155
 Fitoplankton, iv, viii, 126, 127, 128
 Folu Net Sink, 91
 Fosfor, 11, 12, 18
 Fotosintesis, 64

H

Habitat, v, 17, 85, 155, 176
 Hidrologi, vii, 214, 219

I

Intrusi Air Laut, v, 151

J

Jasa Ekosistem, vii, 217

K

Kawasan Konservasi, 88
 Keanekaragaman, iii, v, 27, 73, 75, 84, 88, 89, 90, 155, 214
 Keanekaragaman hayati, 27, 73
 Konservasi, v, vi, vii, x, 30, 51, 52, 141, 142, 153, 166, 169, 171, 205, 210, 216, 219, 220, 222
 Krustasea, 126
 Kualitas air, 111, 114, 115, 117, 131, 143

M

Makrozoobentos, iv, 85, 88, 109, 123, 125, 129, 137
 Mangrove, ii, iii, iv, v, vi, vii, viii, ix, x, 5, 9, 12, 22, 23, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 50, 51, 52, 54, 58, 63, 64, 65, 67, 70, 71, 72, 73, 75, 84, 86, 88, 89, 91, 93, 97, 98, 100, 106, 108, 109, 111, 113, 117, 118, 125, 132, 133, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 145, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 157, 159, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 172, 173, 174, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 188, 194, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 238
 Metabolisme, 65

Mikroorganisme, iii, 86, 120, 126

Mitigasi Perubahan Iklim, 200, 224

Moluska, v, 126, 157

N

Nitrogen, 11, 12, 18, 98

Nutrien, 97, 102, 119

O

Organisme, iv, x, 11, 14, 20, 36, 112, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 136

P

Pasang surut, 10, 40, 69, 92, 98

Pencemaran, 104, 115, 213

pH, 6, 11, 20, 67, 68, 98, 109, 111, 115, 116, 120, 128, 131, 132, 135, 210, 220

Pneumatofor, 59, 63

Propagul, 55, 102

R

Rehabilitasi, v, vi, x, 51, 52, 141, 169, 205, 211, 213, 214

Rehabilitasi Mangrove, vi, x, 169, 214

Reklamasi, 31

Rhizophora, iii, viii, ix, 9, 57, 60, 61, 62, 65, 70, 71, 75, 80, 81, 82, 86, 100, 125, 152, 153, 156, 179, 181

S

Salinitas, iii, 11, 40, 56, 62, 67, 95, 96

Sedimen, v, vi, 118, 152, 190, 192, 194, 195, 197

Sedimentasi, iii, 94

Sekuestrasi Karbon, vi, 187

Serasah, 88

Silvofishery, vii, 217

Stok Karbon, x, 108, 194

Substrat, 11, 41, 210

Suhu, 66, 68, 99

T

TSS, 112, 116, 135

V

Vegetasi, ii, 37, 42, 48, 95, 96, 100, 113, 125, 210, 219

Vegetasi mangrove, 42, 95, 96, 100, 113, 125

Vivipari, 46

GLOSARIUM

Aboveground Biomass: Biomassa atau bagian tumbuhan yang berada di atas permukaan tanah, seperti batang, cabang, daun, bunga, dan buah.

Abrasi: Pengikisan pantai oleh gelombang, arus, atau proses laut lainnya.

Abrasi: Proses pengikisan pantai atau daratan oleh gelombang, arus laut, atau angin secara terus-menerus (dapat juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia).

Adaptasi: Kemampuan makhluk hidup atau organisme menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan tertentu agar dapat bertahan hidup.

Aerasi Tanah: Proses masuknya oksigen ke dalam tanah atau substrat.

Air Payau: Air hasil campuran antara air laut dan air tawar dengan kadar garam sedang.

Akresi: Penambahan daratan akibat pengendapan sedimen secara bertahap.

Allochthonous: Bahan organik atau karbon yang berasal dari luar ekosistem mangrove, misalnya terbawa oleh aliran sungai, limpasan permukaan, atau pasang surut air laut.

Anaerob: Kondisi lingkungan yang kekurangan atau tidak memiliki oksigen.

Anaerob: Kondisi lingkungan, proses, atau organisme yang berlangsung dan hidup minim atau tanpa membutuhkan oksigen.

Antropogenik: Segala perubahan lingkungan yang disebabkan atau dihasilkan oleh aktivitas manusia.

Atmosfer: Lapisan gas yang menyelimuti bumi.

Autochthonous: Bahan organik atau karbon yang berasal dari dalam ekosistem mangrove itu sendiri, seperti serasah daun, ranting, akar mati, dan sisa tumbuhan mangrove.

Bahan Organik: Material yang berasal dari sisa makhluk hidup seperti daun, ranting, dan organisme mati.

Bakteri Anaerob: Mikroorganisme yang hidup dan berkembang tanpa membutuhkan oksigen.

Belowground Biomass: Biomassa atau bagian tumbuhan yang berada di bawah permukaan tanah, terutama sistem akar mangrove.

Benthos: Organisme yang hidup di dasar perairan, seperti kepiting, kerang, dan cacing laut.

Biofilter: Sistem alami atau organisme yang mampu menyaring polutan dan nutrisi berlebih.

Biogeokimia: Proses alam yang melibatkan interaksi antara makhluk hidup, unsur kimia, dan kondisi fisik lingkungan.

Bioindikator: Organisme yang keberadaan, kelimpahan, atau respons biologisnya digunakan untuk menunjukkan kondisi lingkungan.

Biomassa: Total bahan organik hidup yang terdapat dalam organisme pada suatu area.

Biomassa: Total massa atau bahan organik hidup yang terdapat dalam organisme pada suatu area tertentu.

Biomonitoring: Pemantauan kualitas lingkungan dengan menggunakan organisme hidup sebagai indikator.

Biota: Seluruh organisme hidup yang menempati suatu habitat atau ekosistem.

Biota: Seluruh organisme hidup yang menempati suatu habitat atau ekosistem.

Blue carbon / Karbon biru: Karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem pesisir dan laut seperti mangrove, padang lamun, dan rawa asin.

Blue Carbon: Karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem pesisir dan laut seperti mangrove, lamun, dan rawa pasang surut/asin.

BOD: Kebutuhan oksigen biologis untuk menguraikan bahan organik oleh mikroorganisme.

Buffer lingkungan: Fungsi perlindungan ekosistem dalam meredam tekanan lingkungan, seperti gelombang, pencemaran, dan erosi.

Carbon Sink: Ekosistem atau tempat yang mampu menyerap dan menyimpan karbon lebih banyak daripada karbon yang dilepaskannya.

Carbon Source: Ekosistem atau aktivitas yang melepaskan karbon ke atmosfer lebih banyak daripada karbon yang diserapnya.

Carbon Trade: Sistem perdagangan karbon untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

COD: Kebutuhan oksigen kimia untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam air.

Curah Hujan: Jumlah air hujan yang jatuh pada suatu wilayah dalam periode tertentu.

Cyanobacteria: Mikroorganisme fotosintetik yang dapat mendominasi perairan kaya nutrisi.

Dekomposisi: Proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme.

Dekomposisi: Proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme.

Denitrifikasi: Proses perubahan nitrat menjadi gas nitrogen oleh bakteri dalam kondisi anaerob.

Detoksifikasi: Proses menghilangkan atau menetralkan zat beracun dari tubuh atau lingkungan.

Detritus: Sisa atau hasil penguraian bahan organik mati yang menjadi sumber makanan bagi organisme lain dalam ekosistem.

Detritus: Sisa bahan organik dari tumbuhan atau hewan mati yang menjadi sumber energi dalam ekosistem.

Diatom: Kelompok fitoplankton berdinding sel silika yang sering digunakan sebagai bioindikator kualitas air.

Dinamika Biologis: Perubahan dan interaksi organisme hidup dalam ekosistem.

Dinamika Fisik: Perubahan kondisi fisik lingkungan seperti pasang surut, sedimentasi, dan salinitas.

Dinamika Kimia: Perubahan dan interaksi unsur-unsur kimia dalam ekosistem.

Ekologi Pesisir: Cabang ilmu yang mempelajari hubungan makhluk hidup dengan lingkungan pesisir.

Ekosistem Intertidal: Zona pesisir yang secara berkala tergenang dan terekspos akibat pasang surut.

Ekosistem mangrove: Ekosistem pesisir yang didominasi tumbuhan mangrove dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

Ekosistem Mangrove: Ekosistem pesisir yang didominasi vegetasi mangrove di daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

Ekosistem rawa: Ekosistem lahan basah yang dicirikan oleh genangan air permanen atau musiman.

Ekosistem Terrestrial: Ekosistem yang berada di daratan.

Estuari: Perairan peralihan tempat bertemunya air tawar dari darat dan air laut.

Eutrofikasi: Peningkatan nutrisi berlebih yang menyebabkan ledakan pertumbuhan alga dan penurunan kualitas air.

Eutrofikasi: Peningkatan unsur hara atau nutrisi berlebih di perairan yang menyebabkan penurunan kualitas air (seperti ledakan alga).

Faktor Abiotik: Komponen tidak hidup dalam ekosistem seperti air, cahaya, suhu, dan tanah.

Faktor Biotik: Komponen hidup dalam ekosistem seperti tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme.

Fauna: Seluruh jenis hewan yang hidup pada suatu wilayah atau habitat tertentu.

Feeding Ground: Area tempat organisme mencari dan memperoleh makanan.

Filtrasi Garam: Proses penyaringan garam oleh akar tumbuhan mangrove.

Fitoplankton: Organisme mikroskopis berfotosintesis yang berperan sebagai produsen primer di perairan.

Flushing: Proses pergantian atau pembilasan air yang membantu mengeluarkan limbah dan bahan organik.

Folu Net Sink: Program pengelolaan hutan dan lahan untuk meningkatkan penyerapan karbon dan menekan emisi gas rumah kaca.

Fosfor: Nutrien utama yang berperan dalam produktivitas perairan dan eutrofikasi.

Fotosintesis: Proses tumbuhan hijau membuat makanan sendiri dengan bantuan cahaya matahari, air, dan karbon dioksida yang menghasilkan glukosa dan oksigen.

Fotosistem II: Bagian pada proses fotosintesis yang berfungsi menangkap energi cahaya untuk memulai reaksi pemecahan air dan pembentukan energi.

Gas Rumah Kaca: Gas di atmosfer yang dapat menahan panas bumi, seperti karbon dioksida, metana, dan dinitrogen oksida, sehingga berperan dalam perubahan iklim.

Gas Rumah Kaca: Gas di atmosfer yang dapat menahan panas bumi, seperti karbon dioksida dan metana.

Habitat: Tempat hidup alami suatu organisme.

Hidrodinamika: Pergerakan air beserta gaya fisik yang memengaruhi arah dan kecepatannya.

Hidrologi: Ilmu yang mempelajari pergerakan, distribusi, dan kualitas air.

Hipersalin: Kondisi perairan dengan kadar garam yang sangat tinggi.

Hipoksia: Keadaan ketika kadar oksigen di perairan sangat rendah sehingga tidak mencukupi kebutuhan makhluk hidup.

Hipoksia: Kondisi rendahnya kadar oksigen terlarut di perairan.

Homeostasis: Kemampuan organisme menjaga kondisi tubuh tetap stabil meskipun lingkungan berubah.

Ikan estuari: Ikan yang hidup di wilayah peralihan antara air tawar dan air laut.

Intrusi Air Laut: Masuknya air laut ke daratan atau ke dalam akuifer air tawar.

Intrusi Air Laut: Masuknya air laut ke wilayah daratan atau masuk ke dalam akuifer air tanah tawar.

Ion: Atom atau molekul yang bermuatan listrik.

Jasa Ekosistem: Manfaat yang diberikan oleh ekosistem bagi kehidupan manusia dan lingkungan.

Karbon Dioksida (CO₂): Gas hasil respirasi dan pembakaran yang berperan dalam efek rumah kaca.

Kawasan Konservasi: Wilayah yang dilindungi untuk menjaga kelestarian sumber daya alam.

Keanekaragaman hayati: Variasi jenis organisme dalam suatu ekosistem.

Keanekaragaman: Variasi atau perbedaan makhluk hidup yang meliputi tingkat gen, jenis, dan ekosistem dalam suatu wilayah tertentu.

Kekeruhan: Tingkat kejernihan air yang dipengaruhi oleh partikel tersuspensi.

Konservasi: Upaya perlindungan dan pengelolaan sumber daya alam agar tetap lestari.

Konversi Lahan: Perubahan fungsi lahan dari kondisi alami menjadi penggunaan lain (misalnya tambak atau pemukiman).

Krustasea: Kelompok hewan beruas seperti kepiting, udang, dan amphipoda.

Kualitas air: Kondisi fisik, kimia, dan biologi air yang menentukan kelayakan perairan bagi kehidupan organisme.

Logam berat: Unsur logam seperti merkuri, timbal, atau kadmium yang dapat mencemari perairan dan terakumulasi dalam organisme.

Logam Berat: Unsur logam yang bersifat toksik jika terkonsentrasi tinggi, seperti merkuri dan timbal.

Makrozoobentos: Organisme dasar perairan berukuran relatif besar, seperti cacing, kerang, siput, dan krustasea.

Mangrove: Tumbuhan khas pesisir yang hidup di daerah pasang surut dan tahan terhadap salinitas tinggi.

Metabolisme: Proses kimia dalam tubuh makhluk hidup untuk mempertahankan kehidupan.

Metana: Gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pembusukan secara anaerob.

Mikroorganisme: Organisme yang berukuran sangat kecil yang hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop misalnya bakteri, fungi, dan protozoa.

Mitigasi Perubahan Iklim: Upaya mengurangi dampak perubahan iklim, termasuk pengurangan emisi karbon.

Moluska: Hewan bertubuh lunak seperti kerang dan siput.

Moluska: Kelompok hewan lunak seperti bivalvia dan gastropoda yang dapat menjadi indikator pencemaran.

Nature-Based Solutions: Pendekatan pemecahan masalah lingkungan dengan memanfaatkan proses dan ekosistem alami, misalnya konservasi dan rehabilitasi mangrove.

Netralitas Karbon: Kondisi ketika jumlah emisi karbon seimbang dengan jumlah karbon yang diserap kembali.

Nitrifikasi: Proses perubahan amonia menjadi nitrat oleh aktivitas bakteri.

Nitrogen: Unsur hara penting yang dapat memicu pertumbuhan alga jika berlebihan.

Non-Secreter: Jenis tumbuhan yang tidak mengeluarkan garam melalui daun, tetapi mengatur kadar garam dengan cara lain, misalnya menyimpan garam di jaringan tubuh.

Nursery ground: Area pembesaran bagi larva dan juvenil ikan, udang, atau organisme akuatik lainnya.

Nutrien: Unsur hara seperti nitrogen dan fosfor yang mendukung pertumbuhan organisme perairan.

Nutrien: Zat atau unsur hara yang dibutuhkan organisme untuk tumbuh dan berkembang.

Oksidasi: Proses reaksi karbon organik dengan oksigen yang dapat menyebabkan karbon terlepas kembali ke atmosfer sebagai karbon dioksida.

Oksidasi: Reaksi kimia yang melibatkan penambahan oksigen atau pelepasan elektron.

Oksigen terlarut / DO: Jumlah oksigen yang larut di dalam air dan dibutuhkan organisme akuatik untuk bernapas.

Organisme: Semua makhluk hidup yang dapat menjalankan fungsi kehidupan.

Outwelling: Perpindahan bahan organik dan nutrisi dari mangrove ke perairan sekitarnya.

Parameter biologi: Ukuran kualitas air berdasarkan keberadaan dan kondisi organisme, seperti plankton, bentos, ikan, dan mikroorganisme.

Parameter fisika-kimia: Ukuran kualitas air berdasarkan sifat fisik dan kimia, seperti suhu, pH, salinitas, DO, BOD, COD, dan nutrisi.

Pasang Surut: Naik turunnya permukaan air laut secara periodik akibat gaya gravitasi bulan dan matahari.

Pasang surut: Naik turunnya permukaan air laut secara periodik yang memengaruhi kondisi mangrove.

Pencemaran: Masuknya zat berbahaya atau polutan ke lingkungan yang menurunkan kualitas lingkungan tersebut.

Penguapan: Proses perubahan air menjadi uap akibat panas.

Perifiton: Mikroorganisme atau alga yang melekat pada permukaan substrat di perairan.

pH: Ukuran tingkat keasaman atau kebasaan air.

pH: Ukuran tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat atau air.

Pneumatofor: Akar napas pada tumbuhan mangrove yang tumbuh ke atas permukaan tanah/substrat untuk membantu pengambilan oksigen atau pertukaran gas.

Pneumatofora / Pneumatophores: Akar napas pada beberapa jenis mangrove yang tumbuh ke atas permukaan tanah untuk membantu pertukaran gas/udara.

Polutan: Bahan pencemar yang dapat menurunkan kualitas lingkungan.

Produktivitas Biologis: Kemampuan ekosistem untuk menghasilkan biomassa atau energi hayati.

Produktivitas primer: Laju pembentukan bahan organik oleh organisme fotosintetik.

Produsen primer: Organisme yang mampu menghasilkan bahan organik melalui fotosintesis, seperti fitoplankton.

Prop Root / Stilt Roots: Akar tunjang pada mangrove yang tumbuh dari batang atau cabang ke arah tanah dan berfungsi menopang serta membantu kestabilan tumbuhan.

Propagul: Bagian atau struktur reproduktif tumbuhan mangrove (biasanya berupa kecambah yang masih menempel pada induknya) yang dapat jatuh dan tumbuh menjadi individu baru.

Propagul: Struktur reproduktif mangrove yang dapat tumbuh menjadi individu baru.

Rantai makanan: Hubungan makan dan dimakan antarorganisme dalam ekosistem.

Rantai Makanan: Hubungan makan dan dimakan antarorganisme dalam suatu ekosistem.

REDD+: Skema pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan, termasuk melalui konservasi dan pengelolaan hutan secara berkelanjutan.

Reduksi Sulfat: Proses perubahan sulfat menjadi sulfida oleh bakteri anaerob.

Rehabilitasi Hidrologi: Upaya memulihkan aliran air alami agar fungsi ekosistem kembali berjalan.

Rehabilitasi Mangrove: Upaya pemulihan ekosistem mangrove yang telah rusak agar kembali berfungsi.

Rehabilitasi: Upaya pemulihan ekosistem yang telah rusak agar kembali berfungsi.

Reklamasi: Proses pengurukan atau pengubahan wilayah perairan/laut menjadi daratan baru.

Reservoir Karbon: Tempat penyimpanan karbon dalam jumlah besar, misalnya biomassa tumbuhan atau sedimen mangrove.

Restorasi: Proses memulihkan struktur, fungsi, dan proses alami ekosistem yang rusak.

Rhizophora: Salah satu genus tumbuhan mangrove utama yang memiliki karakteristik akar tunjang.

Rizosfer: Zona tanah di sekitar akar yang dipengaruhi aktivitas akar dan mikroorganisme.

Salinitas: Kadar garam terlarut dalam air, terutama penting pada ekosistem mangrove dan estuari.

Salinitas: Tingkat atau kadar garam yang terkandung dalam air atau tanah.

Sedimen: Material hasil pengendapan seperti lumpur dan pasir di dasar perairan.

Sedimen: Material padat seperti lumpur, pasir, dan bahan organik yang mengendap di dasar perairan.

Sedimentasi: Proses pengendapan lumpur, pasir, dan bahan organik di suatu wilayah secara bertahap.

Sedimentasi: Proses pengendapan partikel tanah, lumpur, pasir, atau bahan organik yang terbawa air.

Sekuestrasi Karbon: Proses penyerapan dan penyimpanan karbon dari atmosfer oleh tumbuhan, tanah, atau ekosistem (dalam biomassa atau sedimen).

Serasah: Sisa-sisa bagian tumbuhan yang jatuh ke tanah, seperti daun, ranting, bunga, dan buah.

Siklus Nutrien: Perputaran atau aliran unsur hara di dalam ekosistem.

Silvofishery: Sistem budidaya atau pengelolaan terpadu yang menggabungkan hutan mangrove dengan kegiatan perikanan atau tambak.

Silvofishery: Sistem pengelolaan terpadu antara mangrove dan kegiatan budidaya perikanan.

Stok Karbon: Jumlah karbon yang tersimpan dalam suatu ekosistem pada waktu tertentu, baik pada biomassa maupun sedimen.

Substrat: Permukaan atau dasar (seperti tanah lumpur) tempat organisme hidup dan tumbuh melekat.

Substrat: Permukaan atau dasar tempat organisme hidup dan melekat.

Suhu: Derajat panas air yang memengaruhi metabolisme, respirasi, dan aktivitas organisme akuatik.

Suhu: Tingkat panas atau dinginnya suatu zat atau lingkungan.

Sulfida: Senyawa hasil reduksi sulfat yang dapat bersifat racun bagi biota jika kadarnya terlalu tinggi.

Tegakan: Kumpulan pohon atau vegetasi yang tumbuh pada suatu area tertentu.

Terumbu Karang: Ekosistem laut dangkal yang terbentuk dari koloni hewan karang.

TSS: Total padatan tersuspensi yang berada di kolom air dan dapat memengaruhi penetrasi cahaya.

Vegetasi Mangrove: Kumpulan atau komunitas tumbuhan mangrove yang tumbuh di kawasan pesisir.

Vegetasi mangrove: Tumbuhan penyusun ekosistem mangrove, seperti *Rhizophora*, *Avicennia*, *Sonneratia*, dan *Bruguiera*.

Vegetasi: Kumpulan tumbuhan yang tumbuh dan menutupi suatu kawasan tertentu, baik secara alami maupun hasil budidaya.

Vivipari: Cara berkembang biak ketika biji atau embrio sudah mulai tumbuh saat masih menempel pada pohon induknya.

Zona Pesisir: Wilayah peralihan yang dinamis antara daratan dan lautan.

Zonasi: Pembagian area berdasarkan perbedaan kondisi lingkungan atau tipe vegetasi.

Zooplankton: Plankton hewani yang menjadi konsumen dalam rantai makanan perairan.

BIODATA PENULIS



Dr. Sahabuddin, S.Kel., M.Si

Dosen Program Studi Budidaya Perairan

Fakultas Pertanian, Peternakan dan Perikanan

Universitas Muhammadiyah Parepare

Penulis lahir di Suppa Pinrang Sulawesi Selatan tanggal 6 Juni 1982, Pendidikan Dasar ditempuh di SDN 106 Pinrang, SLTP Neg 1 Suppa, dan SMU Neg 1 Parepare. Kemudian melanjutkan pendidikan S1 Jurusan Ilmu Kelautan (Selesai 2007), S2 Ilmu Perikanan (Selesai 2014) dan S3 Ilmu Pertanian (Selesai 2020) dengan judul Disertasi “Studi Biometrik dan Variasi Genetik serta Pola Distribusi dan Konektivitas Genetik Ikan Baronang Lingkis *Siganus Canaliculatus* Park, 1797 Dalam Upaya Pelestarian Sumberdaya Genetik Di Perairan Sulawesi Selatan” di Universitas Hasanuddin.

Saat ini penulis merupakan Dosen di Universitas Muhammadiyah Parepare pada Fakultas Pertanian, Peternakan, dan Perikanan. Selain mengajar penulis merupakan Asesor Kompetensi BNSP, rutin mengikuti kegiatan seminar nasional maupun Internasional sebagai pemakalah dan juga aktif

melakukan penelitian, pengabdian kepada masyarakat dalam bentuk workshop pelatihan sebagai pembicara yang didanai baik dari LLDikti, berbagai instansi Dinas maupun dari BUMN. Hasil kajian dan pengabdian dituliskan kedalam berbagai buku, jurnal maupun menuliskan isu di media massa yang telah diterbitkan baik cetak maupun online. Dapat diakses melalui. <https://scholar.google.ca/citations?user=kuI2y8IAAAAJ&hl=en>,

e-Mail : assahab06@gmail.com

HP/Wa : 085242033443

BIODATA PENULIS



Annisa Novita Sari, S.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi Akuakultur

Fakultas Pertanian Universitas Tidar

Penulis lahir di Ponorogo pada 08 November 1986. Penulis menyelesaikan studi S1 Manajemen Sumberdaya Perairan pada tahun 2009 dan S2 Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan tahun 2013 di Universitas Brawijaya. Bidang keahlian penulis adalah Sumberdaya Perairan dan Lingkungan. Saat ini, sedang menempuh Program Doktorat di Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada dan mendapatkan beasiswa BPI dari Kemendikbudristek tahun 2023.

Tahun 2015, penulis diterima sebagai Pegawai Negeri Sipil di lingkungan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Tahun 2013 - 2020, penulis menjadi dosen di Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih. Tahun 2020 - sekarang, penulis merupakan salah satu dosen di Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Tidar, Magelang.

Mata kuliah utama yang diampu antara lain: Manajemen Kualitas Air, Manajemen Tata Lingkungan untuk Perikanan Budidaya, AMDAL, Toksikologi Perairan dan Limnologi. Beberapa publikasi dari hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat telah dilakukan oleh penulis dan sudah terafiliasi dengan google scholar. Penelitian yang dilakukan berkaitan dengan pengelolaan lingkungan dan manajemen sumber daya perairan.

Penulis telah menulis beberapa buku yang diterbitkan oleh Get Press Indonesia, di antaranya adalah Oceanografi Perikanan dan Pengelolaan Perikanan di Indonesia.

BIODATA PENULIS



Magdalin Ulaan, S.Pd., M.Si

Dosen Program Studi Teknologi Budidaya Ikan
Jurusan Teknologi Perikanan dan Kebaharian
Politeknik Negeri Nusa Utara

Penulis lahir di Taloarane, Kabupaten Kepulauan Sangihe, Provinsi Sulawesi Utara tanggal 24 April 1991. Menyelesaikan pendidikan dasar dan menengahnya di tanah kelahirannya. Pada tahun 2013 menyelesaikan program S1 di Universitas Negeri Manado pada Program Studi Pendidikan Biologi, dan melanjutkan Pendidikan S2 dengan program studi Biologi selesai tahun 2015. Saat ini penulis bekerja sebagai dosen tetap pada Program Studi Teknologi Budidaya Ikan, Jurusan Teknologi Perikanan dan Kebaharian, Politeknik Negeri Nusa Utara sejak tahun 2022 sampai dengan sekarang.

BIODATA PENULIS



Nurul Musdalifah, S.Hut., M.Hut
Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Musamus

Penulis lahir di Bulukumba, tanggal 24 Januari 2000. Saat ini, penulis merupakan dosen tetap pada Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sarjana (S1) pada Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin pada Tahun 2021, kemudian menyelesaikan pendidikan Magister (S2) pada Program Studi Magister Kehutanan, Universitas Hasanuddin pada tahun 2024. Karier sebagai dosen dimulai pada tahun 2025 sebagai Aparatur Sipil Negara (ASN-CPNS). Selain mengajar, penulis juga aktif dalam kegiatan penelitian, menulis dan melaksanakan pengabdian Masyarakat.

BIODATA PENULIS



Roni Haposan Sipayung, S.Hut., M.Sc.

Dosen Program Studi Kehutanan

Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana

Penulis lahir di Saribudolok tanggal 04 April 2026. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Kehutanan Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kehutanan Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Penulis memiliki keahlian pada bidang Ekologi Hutan dan Ekologi Perairan serta banyak melakukan penelitian yang berkaitan dengan ekosistem mangrove.

Saat ini penulis merupakan Kepala Laboratorium Ekologi Hutan, Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana periode 2024-2028. Selama ini terlibat aktif dalam penelitian ekologi hutan dan biodiversitas flora dan fauna, penyusunan UKL-UPL, dan penyusunan AMDAL. Penulis memiliki beberapa publikasi jurnal nasional baik penelitian dan pengabdian, *book chapter* serta menjadi reviewer jurnal.

BIODATA PENULIS



Tri Ari Setyastuti

Penulis menyelesaikan studi program strata dua pada ilmu pengelolaan pesisir dan lautan, Institut Pertanian Bogor. Saat ini tercatat sebagai dosen aktif pada Program Studi Teknik Penanganan Patologi Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Penulis aktif melakukan penelitian dengan konsentrasi utama mangrove dan kajian dampak pengelolaan lingkungan budidaya perikanan.

BIODATA PENULIS



Muhammad Rizki, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Palangka Raya

Saya lahir di Kotu, Enrekang, Sulawesi Selatan, pada 15 Januari 1989. Saat ini saya merupakan dosen dan peneliti pada Program Studi Biologi, FMIPA Universitas Palangka Raya. Bidang keilmuan yang saya tekuni meliputi ekologi tumbuhan, konservasi tumbuhan, dan keanekaragaman hayati, dengan perhatian pada dinamika vegetasi dan ekologi habitat pada ekosistem tropis, termasuk kawasan rawa dan lahan basah. Saya menyelesaikan pendidikan Sarjana dan Magister Biologi di Universitas Negeri Manado, dan saat ini sedang menempuh studi doktoral di IPB University. Dalam kegiatan akademik, saya mengampu mata kuliah Biosistematika Tumbuhan, Morfologi Tumbuhan, Ekologi Tumbuhan, dan Biokonservasi. Melalui kegiatan pendidikan, penelitian, dan publikasi ilmiah, saya terus berupaya berkontribusi pada pengembangan ilmu ekologi serta konservasi keanekaragaman hayati, khususnya di Kalimantan dan Sulawesi.

BIODATA PENULIS



Dedy Putra Wahyudi, S.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi Perikanan Tangkap
Fakultas Peternakan dan Perikanan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Pinrang pada 4 Agustus 1988. Penulis merupakan dosen pada Program Studi Perikanan Tangkap, Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Sulawesi Barat. Ketertarikannya pada bidang perikanan telah dibangun sejak menempuh pendidikan Sarjana di Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, kemudian dilanjutkan pada jenjang Magister di Jurusan Sistem Pemodelan Perikanan Tangkap, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Saat ini, penulis sedang melaksanakan pendidikan Doktor pada Program Studi Ilmu Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin. Dalam pengembangan keilmuan dan aktivitas akademiknya, penulis memiliki fokus studi pada sistem perikanan skala kecil, khususnya yang berkaitan dengan dinamika sumber daya, pengelolaan perikanan, serta keberlanjutan ekosistem pesisir. Pada book chapter berjudul “Ekologi Hutan Mangrove dan Rawa”, penulis berkontribusi

melalui subbab “Mangrove dan Perubahan Iklim” sebagai bentuk perhatian terhadap pentingnya ekosistem mangrove dalam mendukung keberlanjutan lingkungan, mitigasi perubahan iklim, dan kehidupan masyarakat pesisir.

BIODATA PENULIS



Rismawaty Rusdi, S.Pi, M.Si.

Dosen Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perikanan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Mulawarman

Penulis lahir di Barru, 18 Juli 1993. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 2015. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor tahun 2019. Penulis pernah bekerja sebagai Penyuluh Perikanan Bantu (PPB) Kabupaten Barru selama periode 2016-2017, pada tahun 2020-2024 penulis menjadi tenaga pengajar non-PNS di Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Peternakan, dan Perikanan, Universitas Muhammadiyah Parepare. Saat ini penulis sebagai dosen pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Perikanan, Universitas Mulawarman. Penulis aktif mengikuti seminar, publikasi artikel pada jurnal nasional, jurnal internasional, dan prosiding seminar internasional, serta

mengikuti beberapa kegiatan Hibah Penelitian dan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat. Penulis juga terdaftar sebagai anggota pada Forum Komunikasi Dosen (FKD) Indonesia.