

EKOLOGI LAUT

Penulis :

Ani Rahmawati

Muh Azril

Tri Ari Setyastuti

Sri Magfirah Hs

Cahyo Wijayanto

Mudasir Zainuddin

Anisa Aulia Sabilah

EKOLOGI LAUT

**Ani Rahmawati
Muh Azril
Tri Ari Setyastuti
Sri Magfirah Hs
Cahyo Wijayanto
Mudasir Zainuddin
Anisa Aulia Sabilah**



GET PRESS INDONESIA

EKOLOGI LAUT

Penulis :

Ani Rahmawati
Muh Azril
Tri Ari Setyastuti
Sri Magfirah Hs
Cahyo Wijayanto
Mudasir Zainuddin
Anisa Aulia Sabilah

ISBN 978-623-125-581-5

Editor : Mila Sari., S.ST, M.Si

Penyunting : Rantika Maida Sahara., S.Tr.Kes

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Januari 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Ekologi Laut ini.

Buku Ini Membahas Konsep Ekologi Laut, Daerah Penyebaran Dan Distribusi Mangrove, Faktor Lingkungan Untuk Pertumbuhan Mangrove, Zona Biogeografi Utama Laut, Mengenal Ekosistem Terumbu Karang, Faktor - Faktor Yang Berperan Dalam Ekosistem Terumbu Karang, Fungsi Dan Peranan Padang Lamun.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 KONSEP EKOLOGI LAUT	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Komponen-komponen Ekologi Laut	3
1.2.1 Komponen Biotik.....	3
1.2.2 Komponen Abiotik.....	8
1.3 Tipe-tipe Ekosistem Laut	9
1.4 Dinamika Populasi dalam Ekologi Laut	15
1.4.1 Faktor-faktor yang Memengaruhi Dinamika Populasi Laut	16
1.4.2 Dampak Aktivitas Manusia pada Dinamika Populasi Laut	19
1.5 Tekanan Ekologis dan Dampaknya pada Ekosistem Laut	21
1.6 Manajemen Ekologi Laut.....	25
1.6.1 Pengelolaan berbasis ekosistem (<i>Ecosystem-Based Management</i>).....	25
1.6.2 Peran kebijakan dalam pelestarian ekosistem laut.	26
1.6.3 Strategi mitigasi kerusakan ekosistem laut.	28
DAFTAR PUSTAKA.....	30
BAB 2 DAERAH PENYEBARAN DAN DISTRIBUSI MANGROVE	45
2.1 Pendahuluan.....	45
2.1.1 Pengertian Mangrove.....	45
2.1.2 Pentingnya Mangrove dan Ekosistem Pesisir.....	46
2.2 Sebaran Mangrove di Dunia	47
2.2.1 Wilayah Tropis dan Subtropis	48
2.2.2 Wilayah Barat dan Timur	49
2.3 Penyebaran Mangrove di Indonesia	50
2.3.1 Luas dan Keberagaman Mangrove di Indonesia.....	51
2.3.2 Daerah Utama Penyebaran dan Perbandingan Sebaran di Wilayah Barat, Tengah dan Timur Indonesia.....	57

2.3.3 Laju Penurunan Luas Areal Mangrove Indonesia....	65
2.3.4 Penyebab Penurunan Luas Mangrove	66
DAFTAR PUSTAKA	67
BAB 3 FAKTOR LINGKUNGAN PERTUMBUHAN	
MANGROVE.....	69
3.1 Pendahuluan	69
3.2 Faktor Lingkungan Pertumbuhan Mangrove	70
3.2.1 Faktor Fisik.....	71
3.2.2 Faktor Kimia	77
3.2.3 Faktor Biologi.....	79
3.3 Interaksi Faktor Lingkungan untuk Pertumbuhan Mangrove	81
DAFTAR PUSTAKA	83
BAB 4 ZONA BIOGEOGRAFI UTAMA LAUT.....	85
4.1 Pendahuluan	85
4.2 Klasifikasi Zona Biogeografi Utama Laut.....	86
4.3 Zona Pesisir (Litoral).....	87
4.4 Zona Perairan Terbuka (Pelagik).....	90
4.4.1 Zona Epipelagik	91
4.4.2 Zona Mesopelagik.....	92
4.4.3 Zona Batipelagik.....	93
4.4.4 Zona Abyssopelagik.....	94
4.4.4 Zona Hadalpelagik.....	96
4.5 Zona Dasar Laut (Bentik).....	97
DAFTAR PUSTAKA	100
BAB 5 MENGENAL EKOSISTEM TERUMBU KARANG	101
5.1 Ekosistem Terumbu Karang.....	101
5.2 Struktur Terumbu Karang	104
5.2.1 Polip Karang.....	105
5.2.2 Zooxanthellae.....	106
5.2.3 Struktur Fisik dari Kerangka Kalsium Karbonat.....	107
5.2.4 Jenis dan Keanekaragaman Organisme Karang.....	107
5.2.5 Jenis-jenis Formasi Terumbu Karang	109
5.2.6 Hubungan Simbiosis Ekosistem Terumbu Karang	112
5.3 Peran Ekosistem Terumbu Karang.....	113
5.3.1 Peran Ekologis	113
5.3.2 Peran Ekonomi.....	114

DAFTAR PUSTAKA.....	116
BAB 6 FAKTOR- FAKTOR YANG BERPERAN DALAM EKOSISTEM TERUMBU KARANG	117
6.1 Pendahuluan.....	117
6.2 Kualitas Air	118
6.2.1 Cahaya.....	119
6.2.2 Kedalaman.....	119
6.2.3 Sedimentasi	120
6.2.4 Suhu.....	121
6.2.5 Salinitas	122
6.2.6 pH	122
6.2.7 Arus	122
6.2.8 Substrat.....	123
6.3 Pencemaran	123
6.3.1 Limbah Domestik	123
6.3.2 Limbah Industri.....	124
6.3.3 Limbah Pertanian.....	125
6.4 Aktivitas Manusia	125
6.5 Perubahan Iklim	126
DAFTAR PUSTAKA.....	127
BAB 7 FUNGSI DAN PERANAN PADANG LAMUN	133
7.1 Sebagai Habitat dan Tempat Berlindung.....	133
7.1.1 Tempat Berlindung bagi Spesies Laut.....	133
7.1.2 Habitat Beragam bagi Organisme Laut.....	133
7.1.3 Fungsi Sebagai "Nursery Ground"	134
7.2 Sebagai Sumber Makanan.....	134
7.2.1 Sumber Makanan Langsung.....	135
7.2.2 Sumber Makanan Tidak Langsung.....	135
7.3 Sebagai Penahan Sedimen.....	136
7.3.1 Stabilisasi Sedimen Dasar Laut	136
7.3.2 Pengendapan Partikel dan Penyaringan	136
7.3.3 Pembentukan dan Pemeliharaan Habitat Pesisir	137
7.3.4 Perlindungan Terhadap Dampak Bencana Alam	137
7.4 Sebagai Penyerap Karbon.....	138
7.4.1 Proses Fotosintesis.....	138
7.4.2 Penyerapan Karbon di Sedimen.....	138
7.4.3 Mitigasi Gas Rumah Kaca.....	139

7.4.4 Peran dalam Siklus Karbon Global.....	139
7.5 Sebagai Perlindungan Pesisir	139
7.5.1 Menyerap Energi Gelombang	140
7.5.2 Mengurangi Erosi Pantai	140
7.5.3 Pengurangan Abrasi.....	140
7.5.4 Perlindungan dari Dampak Tsunami dan Gelombang Pasang.....	141
7.5.5 Pengurangan Kerusakan Infrastruktur Pesisir.....	141
7.5.6 Pemeliharaan Keseimbangan Ekosistem Pesisir	141
7.6 Sebagai Penyeimbang Ekosistem.....	142
7.6.1 Mendukung Keanekaragaman Hayati	142
7.6.2 Siklus Nutrisi.....	143
7.6.3 Stabilisasi Sedimen dan Kualitas Air.....	143
7.6.4 Jaring-Jaring Makanan	143
7.6.5 Penyerap Karbon (<i>Blue Carbon</i>)	144
7.6.6 Perlindungan Terhadap Badai dan Tsunami.....	144
7.6.7 Penunjang Ekosistem Terumbu Karang dan Mangrove.....	144
DAFTAR PUSTAKA	146
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Siklus karbon yang diterjemahkan dan disederhanakan oleh IPCC, 2013	6
Gambar 1.2. Proses dan siklus nitrogen	7
Gambar 1.3. Siklus fosfor	8
Gambar 2.1. Distribusi Mangrove di Dunia	48
Gambar 2.2. Enam wilayah biogeografi menurut Duke	50
Gambar 2.3. Diagram lingkaran proporsi mangrove eksisting berdasarkan tingkat kerapatan....	52
Gambar 2.4. Diagram lingkaran proporsi mangrove eksisting berdasarkan tingkat kerapatan Urutan peringkat provinsi yang memiliki luasan mangrove lebat (atas), sedang (tengah), dan jarang (bawah) dari yang terbesar hingga terkecil.....	53
Gambar 2.5. Diagram lingkaran proporsi potensi habitat mangrove berdasarkan kondisi penutupan lahannya	54
Gambar 2.6. Peta Mangrove Nasional Tahun 2023	57
Gambar 2.7. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Papua Barat Tahun 2021	59
Gambar 2.8. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Papua Tahun 2021	60
Gambar 2.9. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2021	61
Gambar 2.10. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Kalimantan Utara Tahun 2021	62
Gambar 2.11. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Riau Tahun 2021	64

Gambar 2.12. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Sumatera Selatan Tahun 2021	65
Gambar 2.13. Perbandingan luas mangrove asal dan yang tersisa di Indonesia (1986-1990)	66
Gambar 3.1. Ciri khas mangrove	70
Gambar 3.2. Faktor Lingkungan untuk pertumbuhan mangrove	71
Gambar 4.1. Klasifikasi Zona Biogeografi Utama Laut.....	87
Gambar 4.2. Zona-zona dalam gradien dari tempat berlindung yang ekstrem (kanan) ke paparan gelombang yang kuat (kiri).....	88
Gambar 4.3. Pembagian Zona Lautan Terbuka (pelagik).....	90
Gambar 4.4. Organisme yang berinteraksi dengan zona Batipelagik adalah ikan viper Sloane, yang bermigrasi ke permukaan air pada malam hari dari lokasinya di zona Batipelagik	94
Gambar 5.1. Ekosistem Terumbu Karang.....	102
Gambar 5.2. Perbedaan a. Hardcoral dan b. Softcoral.....	108
Gambar 5.3. (1)Fringing Reef, (2)Barrier Reef, (3)atol.....	111
Gambar 6.1. Kondisi Terumbu Karang di Bawah Laut sebagai sebuah ekosistem yang ada di Pulau Pannabungan Kepulauan Spermonde.....	117
Gambar 6.2. Pembiasan cahaya pada berbagai kedalaman laut.	120
Gambar 6.3. Sampah di dasar perairan Pulau Barrang Lompo Kep. Spermonde Prov. Sulawesi Selatan	124

BAB 1

KONSEP EKOLOGI LAUT

Oleh Ani Rahmawati

1.1 Pendahuluan

Ekologi laut mencakup tentang bagaimana organisme hidup berinteraksi dengan lingkungan perairan. Ekologi laut merupakan cabang ilmu ekologi yang fokus pada studi mengenai interaksi antara makhluk hidup di laut dengan lingkungan abiotiknya, serta hubungan antara sesama organisme laut (Nybakken and Bertness, 2004). Kajian ekologi laut sangat penting dalam memahami bagaimana ekosistem laut berfungsi dan bagaimana organisme laut beradaptasi dengan perubahan lingkungannya. Ilmu ini semakin relevan dalam konteks tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan perlunya pengelolaan sumber daya laut secara berkelanjutan.

Ekologi laut tidak hanya berfokus pada organisme individu, tetapi juga mencakup interaksi antarspesies dan antara spesies dengan lingkungan fisik mereka, seperti air, substrat, dan iklim (McIntyre, 1996; Coll *et al.*, 2012). Lingkup kajian ekologi laut sangat luas, mencakup berbagai jenis ekosistem, dari terumbu karang dan mangrove hingga wilayah pesisir dan laut dalam. Pada ekosistem laut, keberlangsungan hidup dan kinerja berbagai spesies sangat bergantung pada interaksi dengan makhluk lain dalam komunitas tersebut (Doney *et al.*, 2012a). Ekosistem laut memiliki ciri khasnya sendiri yang memengaruhi keanekaragaman hayati serta jasa ekosistem yang mereka tawarkan. Sebagai contoh, ekosistem mangrove menyediakan habitat vital bagi spesies ikan dan burung serta memainkan peran penting dalam melindungi garis pantai dari erosi (Zurba dan Cahyani, 2022). Studi ekologi laut membantu mengidentifikasi proses-proses penting seperti siklus nutrisi, rantai makanan, dan dinamika populasi yang mendukung kelestarian ekosistem laut (Nybakken and Bertness, 2004). Studi ekologi laut juga mengungkapkan bahwa ekosistem laut menyediakan beragam

manfaat, seperti sumber makanan, perlindungan terhadap bencana alam, dan penyimpanan karbon, yang semuanya penting untuk kesejahteraan manusia (Shi *et al.*, 2009; Townsend *et al.*, 2018).

Hubungan saling ketergantungan ini memungkinkan ekosistem laut untuk menyediakan berbagai fungsi penting bagi manusia, seperti produksi pangan, siklus nutrisi, dan pengendalian iklim. Namun, keseimbangan ekosistem laut yang rentan semakin terancam oleh tekanan aktivitas manusia, terutama perubahan iklim global (Wernberg *et al.*, 2024). Peningkatan kadar karbon dioksida di atmosfer, serta perubahan suhu, kimia, dan pola sirkulasi laut, secara drastis dapat mengubah struktur dan fungsi komunitas laut di seluruh dunia (Wernberg *et al.*, 2024). Perubahan dalam kelimpahan dan distribusi organisme kunci ini dapat memicu efek domino yang mengubah komunitas ekologis dan mengancam layanan penting yang disediakan bagi manusia (Doney *et al.*, 2012a). Oleh karena itu, penting untuk memahami dinamika kompleks ekosistem laut dan peran penting spesies fondasi guna merancang strategi pengelolaan yang efektif dan menjaga keberlanjutan jangka panjang sumber daya laut kita (Doney *et al.*, 2012; Wernberg *et al.*, 2024).

Dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan tekanan akibat aktivitas manusia, ekologi laut juga menyoroti pentingnya menjaga kesehatan ekosistem serta strategi pengelolaan yang efektif. Penilaian terhadap kondisi ekosistem laut, seperti yang dilakukan di Taman Nasional, menekankan perlunya pemantauan dan pengelolaan berkelanjutan untuk menjaga fungsi ekosistem serta keanekaragaman hayatinya (Zhang and Wang, 2023; Zheng and You, 2013). Dengan meningkatnya ancaman seperti polusi dan eksploitasi ikan berlebihan, pendekatan pengelolaan sumber daya laut yang berlandaskan ekosistem menjadi semakin penting untuk menjamin kelestarian jangka panjang (Douvere, 2008; Kirkman *et al.*, 2021). Kajian dalam bidang ekologi laut tidak hanya memperluas pemahaman ilmiah tentang ekosistem laut, tetapi juga memberikan dasar bagi kebijakan serta praktik pengelolaan yang lebih baik untuk menjaga dan memanfaatkan sumber daya laut secara berkelanjutan (Hyder *et al.*, 2015; Marasco *et al.*, 2007).

1.2 Komponen-komponen Ekologi Laut

Elemen-elemen ekologi laut, baik biotik (organisme hidup) maupun abiotik (faktor non hidup), saling berinteraksi untuk menciptakan ekosistem yang dinamis dan kompleks. Ekosistem laut terdiri dari berbagai elemen yang berinteraksi untuk menjaga keseimbangan ekologisnya. Elemen-elemen ini dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok utama yaitu komponen biotik dan komponen abiotik. Komponen biotik mencakup semua organisme hidup dalam ekosistem, sedangkan komponen abiotik mencakup unsur fisik dan kimia yang memengaruhi kehidupan di laut.

1.2.1 Komponen Biotik

Komponen biotik di dalam ekosistem laut mencakup makhluk hidup yang berperan dalam rantai makanan laut. Setiap organisme memiliki peran tertentu dalam menjaga keseimbangan ekosistem melalui interaksi seperti predasi, kompetisi, dan simbiosis. Komponen biotik meliputi produsen (fitoplankton), konsumen (ikan, mamalia laut), dan dekomposer (bakteri).

1. Produsen Primer

Produsen primer dalam ekosistem laut meliputi fitoplankton, alga, dan tanaman lamun. Organisme tersebut menggunakan energi matahari untuk melakukan fotosintesis, yang menghasilkan oksigen dan zat organik yang diperlukan oleh organisme lain dalam ekosistem. Fitoplankton merupakan dasar rantai makanan laut, yang menjadi sumber energi bagi konsumen primer, seperti zooplankton dan herbivora laut, yang kemudian mendukung jaringan makanan laut yang lebih kompleks (Behrenfeld *et al.*, 2006).

2. Konsumen

Konsumen dalam ekosistem laut mencakup organisme herbivora, karnivora, dan omnivora. Zooplankton sebagai konsumen primer mengonsumsi fitoplankton, sedangkan ikan kecil, ubur-ubur, dan invertebrata lainnya menjadi pemangsa zooplankton. Konsumen sekunder dan tersier antara lain ikan karnivora, mamalia laut seperti lumba-lumba, serta predator besar seperti hiu (Pauly *et al.*, 1998).

3. Pengurai (Dekomposer)

Pengurai, seperti bakteri dan jamur laut, memiliki peran kunci dalam memecah bahan organik dari organisme yang telah mati. Mereka mendaur ulang bahan organik menjadi nutrisi yang kemudian dapat digunakan kembali oleh produsen utama dalam siklus nutrisi. Proses dekomposisi ini esensial untuk menjaga keseimbangan dan produktivitas ekosistem laut (Fenchel, 1988).

Interaksi antarorganisme laut, seperti predasi, kompetisi, dan simbiosis, merupakan komponen kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut yang kompleks. Di dalam ekosistem terumbu karang, interaksi ini melibatkan berbagai spesies yang memiliki hubungan saling ketergantungan. Sebagai contohnya, predasi terjadi ketika predator (seperti ikan karnivora) memangsa ikan herbivora atau organisme yang lebih kecil yang berperan penting dalam mengontrol populasi dan mempertahankan stabilitas ekosistem (Nursid *et al.*, 2005; Supriyadi *et al.*, 2017). Kompetisi di sisi lain, terjadi antarspesies yang bersaing untuk mendapatkan sumber daya terbatas, seperti ruang dan makanan, yang berdampak pada komposisi komunitas dalam ekosistem tersebut (Akbar *et al.*, 2024; Valentino *et al.*, 2022).

Sementara itu, simbiosis menggambarkan hubungan yang saling menguntungkan antara organisme, seperti yang terlihat dalam interaksi antara karang lunak dan bakteri simbiotik yang mampu menghasilkan senyawa bioaktif dengan sifat antibakteri (Asih dan Kartika, 2021). Hubungan ini tidak hanya memperkuat kondisi kesehatan karang tetapi juga meningkatkan keanekaragaman hayati dalam ekosistem tersebut (Warsidah *et al.*, 2023). Sebagai contohnya, bakteri yang hidup bersama spons laut dapat memproduksi berbagai senyawa bioaktif yang bermanfaat. Hal tersebut menunjukkan pentingnya interaksi ini dalam menjaga kehidupan laut (Warsidah *et al.*, 2023; Asih dan Kartika, 2021).

Ekosistem mangrove juga mencerminkan hubungan kompleks antara organisme laut dan terestrial. Dalam ekosistem mangrove, interaksi antara laut, perairan payau, dan daratan menciptakan lingkungan dengan keanekaragaman hayati yang tinggi (Akbar *et al.*, 2024; Valentino *et al.*, 2022). Makrozoobentos merupakan

komponen penting yang berkontribusi pada proses ekosistem seperti dekomposisi dan penyediaan makanan bagi spesies lain (Wahab *et al.*, 2018; Moningkey *et al.*, 2017). Selain itu, ekosistem lamun juga berfungsi sebagai habitat bagi berbagai spesies ikan dan organisme lainnya, yang menggambarkan hubungan simbiosis yang erat dalam ekosistem pesisir (Miftahuddin, 2020); (Harjuna *et al.*, 2020).

Pada tingkat paling dasar, produksi primer di lautan didominasi oleh fitoplankton, yang bertindak sebagai produsen utama dalam rantai makanan laut. Fitoplankton memanfaatkan energi matahari untuk melakukan fotosintesis dan menghasilkan biomassa, yang menjadi sumber makanan bagi organisme lain seperti zooplankton dan ikan kecil (Mattei and Scardi, 2021); (Ping *et al.*, 2023). Data menunjukkan bahwa produksi primer laut berkontribusi sekitar 50% terhadap total produktivitas global dan sekitar 98% dari biomassa autotrofik di ekosistem laut (Ping *et al.*, 2023). Proses ini tidak hanya mendukung rantai makanan, tetapi juga berperan dalam menyerap CO₂, yang penting untuk pengaturan iklim global (Mattei and Scardi, 2021).

Siklus nutrisi di laut adalah proses alami yang mengatur pergerakan dan pertukaran nutrisi penting antara berbagai komponen ekosistem laut, baik yang hidup maupun yang tidak hidup. Siklus nutrisi dan rantai makanan di lautan merupakan dua elemen yang saling berkaitan dan krusial bagi ekosistem laut. Siklus nutrisi melibatkan proses pengolahan dan peredaran nutrisi yang dibutuhkan untuk menopang kehidupan laut, sedangkan rantai makanan menggambarkan hubungan kompleks antara pemangsa dan mangsanya dalam ekosistem ini. Nutrien-nutrien penting seperti nitrogen, fosfor, karbon, dan silikat sangat diperlukan oleh organisme untuk tumbuh dan bertahan hidup.

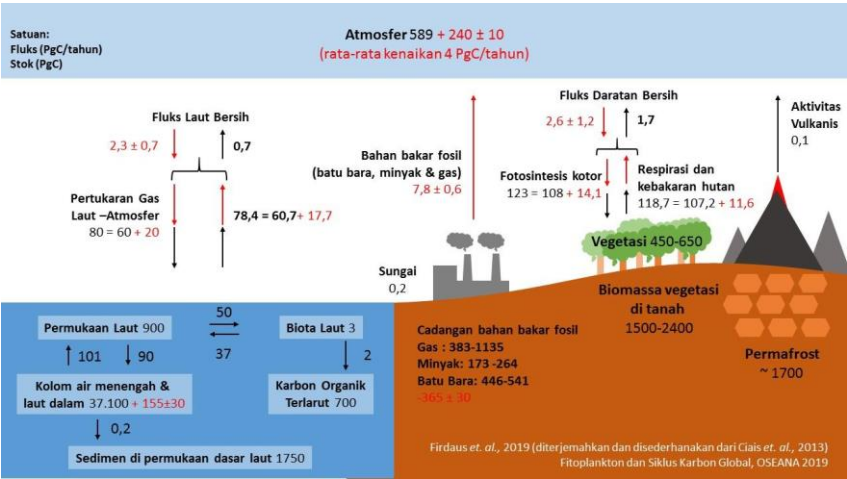
Rantai makanan di lautan terdiri dari beberapa tingkatan trofik, dari produsen primer hingga predator puncak. Pada setiap tingkatan, energi dan nutrisi berpindah melalui interaksi antar organisme. Sebagai contoh, zooplankton yang memakan fitoplankton menjadi makanan bagi ikan kecil, yang kemudian dimangsa oleh ikan besar dan mamalia laut (Kwak and Park, 2020); (Dunne *et al.*, 2004). Namun, aktivitas manusia seperti overfishing

telah menyebabkan penurunan tingkat trofik di beberapa ekosistem laut, yang mengurangi produksi primer yang diperlukan untuk menopang populasi ikan (Essington *et al.*, 2006). Penelitian menunjukkan bahwa banyak ekosistem laut besar mengalami penurunan rata-rata sebesar 0,42 tingkatan trofik akibat penangkapan ikan berlebih (Essington *et al.*, 2006).

1. Siklus Karbon

Karbon merupakan unsur dasar bagi kehidupan. Di lautan, karbon masuk ke dalam ekosistem melalui penyerapan karbon dioksida (CO₂) oleh fitoplankton, yang melakukan fotosintesis. Dalam proses ini, mereka menggunakan energi matahari untuk menghasilkan zat organik yang menjadi sumber energi bagi makhluk lain.

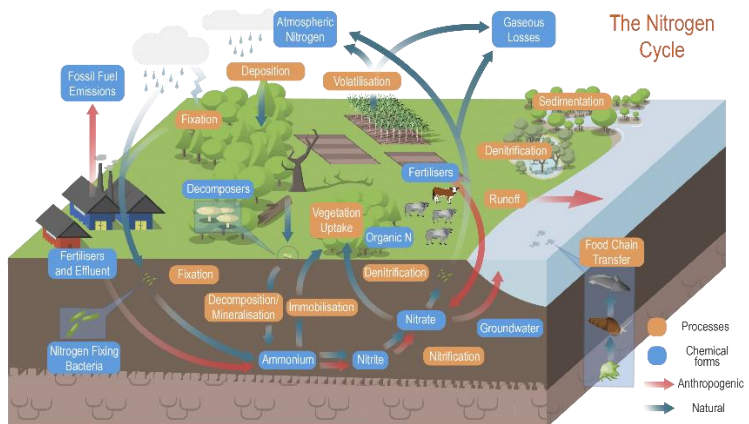
Selain itu, karbon juga tersimpan dalam organisme laut dan dilepaskan kembali ke lingkungan melalui proses dekomposisi ketika organisme tersebut mati. Di kedalaman laut, karbon dapat disimpan dalam waktu yang lama sebelum akhirnya kembali ke permukaan melalui proses alami seperti *upwelling*, di mana air kaya nutrien dari dasar laut naik ke permukaan (Gambar 1.1).



Gambar 1.1. Siklus karbon yang diterjemahkan dan disederhanakan oleh IPCC, 2013
(Sumber : Firdaus dan Wijayanti, 2019)

2. Siklus Nitrogen

Nitrogen adalah elemen kunci bagi organisme laut karena terlibat dalam pembentukan protein dan DNA. Siklus nitrogen di laut melibatkan berbagai bentuk nitrogen, termasuk nitrat (NO_3^-), amonium (NH_4^+), dan gas nitrogen (N_2). Organisme seperti fitoplankton mengambil nitrogen dalam bentuk nitrat atau amonia untuk mendukung pertumbuhannya. Ketika organisme mati, nitrogen dari tubuh mereka diurai oleh bakteri menjadi amonia dalam proses amonifikasi, dan kemudian diubah menjadi nitrat melalui nitrifikasi. Siklus nitrogen juga mencakup proses denitrifikasi, di mana bakteri di lingkungan dengan oksigen rendah mengubah nitrat kembali menjadi gas nitrogen, yang dilepaskan ke atmosfer (Gambar 1.2).



Gambar 1.2. Proses dan siklus nitrogen

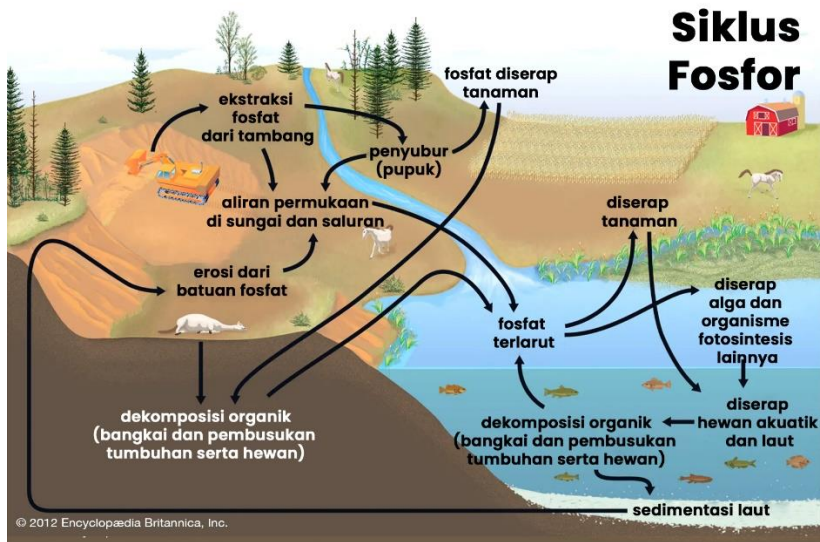
(Sumber:

<https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/ecology/processes-systems/nitrogen-concept-model/processes.html>)

3. Siklus Fosfor

Fosfor di lautan umumnya berbentuk fosfat (PO_4^{3-}) dan memainkan peran vital dalam pembentukan DNA, ATP (molekul penyimpan energi), dan fosfolipid di membran sel. Fosfor beredar lebih lambat karena tidak memiliki fase gas seperti karbon dan nitrogen, sehingga pergerakan fosfor lebih

banyak dikendalikan oleh proses fisik, seperti pelarutan batuan di dasar laut dan pergerakan sedimen. Organisme laut menyerap fosfat untuk pertumbuhan, dan saat organisme mati, fosfat dilepaskan kembali ke lingkungan melalui dekomposisi. Fosfat yang tidak terpakai dapat tersimpan di dasar laut dalam jangka waktu lama sebelum dimanfaatkan lagi (Gambar 1.3).



Gambar 1.3. Siklus fosfor

(Sumber: <https://www.seputargeografi.com/2023/09/proses-kompleks-siklus-biogeokimia-di.html>)

1.2.2 Komponen Abiotik

Komponen abiotik dalam ekosistem laut meliputi unsur-unsur lingkungan fisik dan kimia yang menciptakan kondisi tempat organisme laut hidup. Unsur-unsur ini memengaruhi distribusi dan kehidupan organisme serta berperan dalam dinamika ekosistem secara keseluruhan.

1. Suhu air laut

Suhu air laut sangat memengaruhi metabolisme, pertumbuhan, dan distribusi organisme laut. Setiap spesies memiliki toleransi terhadap suhu tertentu, dan perubahan suhu laut, baik karena fenomena alam seperti El Niño

maupun akibat perubahan iklim, dapat menyebabkan pergeseran dalam distribusi spesies serta mengubah dinamika ekosistem (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2022).

2. Salinitas (kadar garam)

Salinitas adalah kandungan garam yang terlarut dalam air laut dan merupakan faktor penting bagi kehidupan laut. Banyak organisme laut memiliki batas toleransi yang sangat ketat terhadap perubahan salinitas. Perubahan signifikan pada salinitas, seperti yang terjadi di muara atau setelah badai besar, dapat memengaruhi fisiologi organisme laut dan mengubah interaksi antara spesies (Smyth and Elliott, 2016).

3. Nutrien

Nutrien seperti nitrogen, fosfor, dan silikat sangat penting bagi pertumbuhan organisme fotosintetik seperti fitoplankton. Ketersediaan nutrien di laut dikendalikan oleh proses *upwelling*, di mana air yang kaya nutrien naik dari dasar laut ke permukaan. Ketidakseimbangan nutrien, seperti akibat polusi, dapat menyebabkan ledakan alga yang dapat mengganggu ekosistem (Cloern, 2001).

4. Cahaya matahari

Cahaya sangat penting bagi produsen utama di laut, seperti fitoplankton, yang menggunakan energi matahari untuk fotosintesis. Cahaya menembus laut hingga kedalaman tertentu (zona fotik), dan di luar zona ini, organisme laut harus beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang gelap (Kirk, 2011).

1.3 Tipe-tipe Ekosistem Laut

Ekosistem laut adalah lingkungan yang sangat luas dan kompleks, dengan berbagai tipe habitat yang mendukung kehidupan berbagai spesies laut. Ekosistem laut adalah sistem yang sangat kompleks dan beragam, terdiri dari berbagai tipe habitat yang masing-masing memiliki ciri khas dan fungsi penting dalam menjaga keseimbangan ekologi. Ekosistem-ekosistem ini juga menyediakan berbagai jasa bagi kehidupan laut dan manusia. Jenis-jenis ekosistem laut meliputi terumbu karang, lamun, mangrove,

muara (estuari), dan lautan terbuka. Masing-masing ekosistem memiliki peran tersendiri dalam menjaga keseimbangan ekologis, menyediakan sumber daya yang dimanfaatkan oleh manusia, memberikan kontribusi terhadap keanekaragaman hayati, serta perlindungan lingkungan. Setiap jenis ekosistem memiliki karakteristik tersendiri, dipengaruhi oleh faktor fisik, kimia, dan biologis.

1. Ekosistem Terumbu Karang

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem laut paling produktif dengan tingkat keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Terumbu karang sering disebut sebagai "hutan hujan laut" karena tingginya keanekaragaman hayati dan produktivitas yang dimiliki. Struktur terumbu dibentuk oleh polip karang, organisme kecil yang menghasilkan kalsium karbonat. Ekosistem terumbu karang ini menjadi habitat penting bagi berbagai spesies laut (ikan, invertebrata, dan alga) dan memberikan jasa ekosistem, seperti perlindungan pesisir, dukungan bagi wisata, serta perikanan (Chen *et al.*, 2024; Sato *et al.*, 2021).

Terumbu karang memiliki ciri utama menjadi habitat lebih dari 25% spesies laut, memiliki hubungan simbiosis dengan zooxanthellae, alga yang membantu fotosintesis dan menyediakan nutrisi bagi karang, serta melindungi pantai dari erosi dengan menahan gelombang laut. Ekosistem terumbu karang berfungsi sebagai pelindung pantai dari erosi dan mendukung kehidupan masyarakat pesisir melalui kegiatan wisata dan perikanan (Ampou *et al.*, 2018; (Koba *et al.*, 2017).

Ekosistem ini sangat rentan terhadap berbagai ancaman, seperti perubahan iklim, pencemaran laut, dan praktik penangkapan ikan yang merusak. Pemanasan global dan kenaikan suhu laut yang menyebabkan pemutihan karang. Pencemaran perairan laut dan penangkapan ikan yang tidak terkontrol juga merusak ekosistem terumbu karang (Hoegh-Guldberg, 1999). Penelitian mengungkapkan bahwa pemutihan terumbu karang, yang disebabkan oleh kenaikan suhu air laut, telah menjadi masalah serius yang mengancam kelangsungan hidup ekosistem tersebut (Koba *et al.*, 2017). Kesehatan

terumbu karang sangat berpengaruh terhadap stabilitas ekosistem laut secara keseluruhan, menjadikan konservasi terumbu karang sebagai prioritas utama (Chen *et al.*, 2024).

2. Ekosistem Lamun

Ekosistem lamun adalah ekosistem laut yang terdiri dari tumbuhan lamun (tumbuhan berbunga) yang tumbuh di dasar laut dangkal. Ekosistem lamun dapat ditemukan di sepanjang pesisir pantai dan laut dangkal di seluruh dunia. Lamun berfungsi sebagai habitat penting (sebagai tempat berlindung dan berkembang biak) bagi berbagai spesies laut, termasuk ikan, moluska, dan penyu.

Ekosistem lamun berfungsi sebagai area pemijahan bagi ikan dan invertebrata, serta menyediakan tempat berlindung dari predator. Selain itu, ekosistem lamun berperan dalam menyaring air laut, membantu dalam siklus karbon dengan menyerap dan menyimpan karbon dioksida dalam sedimen, yang dapat membantu dalam mitigasi perubahan iklim (Septiani *et al.*, 2022; Putra *et al.*, 2023). Ekosistem lamun memiliki peran penting dalam menjaga kualitas air dengan menstabilkan sedimen dan menyerap nutrisi berlebih. Keberlangsungan ekosistem lamun dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, dan kedalaman perairan (Harjuna *et al.*, 2020); (Nor *et al.*, 2024).

Ekosistem lamun terancam oleh pencemaran, pembangunan pesisir, penangkapan ikan dengan jaring dasar, dan perubahan iklim yang meningkatkan suhu laut. Hilangnya lamun dapat mengganggu rantai makanan laut dan mempercepat erosi pantai. Oleh karena itu, pemantauan serta pengelolaan ekosistem ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem laut dan berkontribusi besar dalam mitigasi perubahan iklim (Orth *et al.*, 2006; Unsworth and Butterworth, 2021; Buonocore *et al.*, 2021).

3. Ekosistem Mangrove

Mangrove tumbuh di kawasan pesisir tropis dan subtropis. Ekosistem mangrove terdiri dari pohon-pohon yang mampu

hidup di daerah dengan kadar garam tinggi dan terpengaruh oleh pasang surut. Pohon-pohon mangrove tumbuh di wilayah yang tergenang air laut saat pasang. Mangrove berfungsi sebagai zona transisi antara daratan dan lautan, menjadi habitat bagi berbagai spesies hewan (ikan, burung, dan invertebrata). Ekosistem mangrove ini juga berperan penting dalam menyimpan karbon dalam jumlah besar (Alongi, 2002). Akar mangrove dapat membantu mencegah erosi dengan menstabilkan sedimen. Ekosistem mangrove sangat penting dalam melindungi garis pantai dari erosi, menyediakan tempat tinggal bagi berbagai spesies, dan berfungsi sebagai penyaring polutan dari air laut (Supriyadi *et al.*, 2017; Prasenja *et al.*, 2017).

Ekosistem mangrove memiliki hubungan erat dengan kesehatan ekosistem laut lainnya, seperti terumbu karang dan lamun (Supriyadi *et al.*, 2017). Ekosistem mangrove sangat penting dalam melindungi pesisir dan menyediakan habitat bagi spesies darat maupun laut, memperkuat peranannya dalam menjaga keanekaragaman hayati dan ketahanan ekosistem (Chen *et al.*, 2021); (Vassilopoulos and Koundouri, 2017). Penebangan pohon mangrove untuk perkebunan dan pembangunan infrastruktur dapat mengancam kelestariannya. Pencemaran dan perubahan iklim juga berdampak buruk pada mangrove. Meski demikian, hutan mangrove juga terancam oleh konversi lahan untuk kepentingan pertanian dan pembangunan, sehingga perlindungan terhadap ekosistem ini sangat diperlukan.

4. Ekosistem Estuari

Estuari tempat bertemunya air tawar dengan air asin. Ekosistem estuaria merupakan lingkungan yang dinamis dan kompleks, yang menyediakan habitat penting bagi berbagai spesies air seperti ikan, kerang, dan organisme laut lainnya. Ekosistem ini dikenal dengan ciri transisinya, di mana air tawar dari sungai bercampur dengan air asin dari laut, menciptakan kondisi ekologi yang unik yang mendukung tingginya keanekaragaman hayati dan produktivitas. Kesehatan dan

fungsi ekosistem estuari dipengaruhi oleh sejumlah faktor, seperti kualitas habitat, kebersihan air, dan dampak dari aktivitas manusia. adalah ekosistem produktif yang berjasa dalam siklus nutrisi, dan habitat bagi berbagai spesies (Palumbi *et al.*, 2009). Ekosistem estuari ini berfungsi sebagai zona transisi yang sangat penting bagi siklus hidup berbagai organisme laut, termasuk spesies ikan yang memiliki nilai komersial tinggi (Vassilopoulos and Koundouri, 2017); (Palumbi *et al.*, 2009).

Salah satu faktor kunci dalam ekosistem estuaria adalah pentingnya kualitas habitat untuk menunjang kehidupan ikan dan kerang. Penelitian menunjukkan bahwa habitat tertentu, seperti padang lamun, rawa asin, dan terumbu tiram, menjadi tempat yang penting bagi perkembangan ikan muda dan invertebrata, sehingga meningkatkan kelangsungan hidup dan pertumbuhannya (zu Ermgassen *et al.*, 2021; Smith *et al.*, 2010; Schulz *et al.*, 2020). Upaya restorasi habitat ini terbukti dapat meningkatkan produksi ikan dan keanekaragaman hayati, yang menegaskan perlunya perlindungan dan pemulihan habitat dalam pengelolaan estuaria (Schulz *et al.*, 2020; Lewis *et al.*, 2021). Selain itu, kesesuaian habitat dari segi ruang juga memengaruhi kemampuan ikan untuk mencari makan, sehingga penilaian habitat yang memperhatikan karakter dinamis dan statis menjadi penting (Smith and Nobriga, 2023; Feyrer *et al.*, 2021).

Aktivitas manusia, seperti urbanisasi, pencemaran, dan kerusakan habitat, semakin mengancam integritas ekologi estuaria. Tekanan-tekanan ini menyebabkan perubahan besar pada kualitas air dan struktur habitat, yang berdampak pada penyebaran dan jumlah spesies di ekosistem ini (Kennish, 2002; Freedman *et al.*, 2017). Misalnya, peningkatan nutrisi dan bahan kimia dalam air dapat merusak kualitas air, sedangkan hilangnya habitat alami mengurangi ketersediaan sumber daya yang dibutuhkan organisme air (Kennish, 2002). Oleh karena itu, strategi pengelolaan yang tepat sangat diperlukan untuk mengurangi dampak-dampak ini dan meningkatkan ketahanan ekosistem estuaria. Pendekatan pengelolaan adaptif yang

melibatkan riset ilmiah serta partisipasi pemangku kepentingan dianggap efektif untuk mendukung restorasi dan menjaga kelestarian habitat penting ini (Littles *et al.*, 2022).

Selain itu, perubahan iklim juga menghadirkan tantangan tambahan bagi ekosistem estuaria. Perubahan pola hujan dan kenaikan permukaan laut dapat mengubah kadar salinitas dan ketersediaan habitat, yang semakin mempersulit upaya konservasi (Levinton *et al.*, 2011). Memahami dinamika khusus dari ekosistem estuaria, termasuk variasi musiman dan respons spesies terhadap perubahan lingkungan, sangat penting untuk merancang strategi pengelolaan dan konservasi yang lebih efektif (Molina *et al.*, 2020). Oleh karena itu, pemantauan dan penelitian berkelanjutan dibutuhkan untuk memperkuat upaya restorasi serta meningkatkan ketahanan ekosistem estuari menghadapi dalam tantangan tersebut.

5. Ekosistem Laut Terbuka

Laut terbuka, atau zona pelagis, mencakup wilayah laut yang jauh dari pantai dan merupakan sebagian besar dari permukaan lautan dunia. Di wilayah ini, kehidupan tersebar dari permukaan hingga kedalaman yang sangat dalam. Meskipun masih sedikit yang dapat dipahami, memainkan peran penting dalam siklus biogeokimia global dan mendukung keanekaragaman hayati yang berkontribusi pada kesehatan planet secara keseluruhan (Murillas-Maza *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2023; Block *et al.*, 2011).

Zona permukaan (epipelagis) dihuni oleh fitoplankton, zooplankton, ikan pelagis, dan mamalia laut. Ekosistem laut terbuka berperan penting dalam siklus karbon global, terutama melalui fotosintesis oleh fitoplankton. Banyak spesies seperti ikan tuna, hiu, dan paus melakukan migrasi besar-besaran melintasi samudra.

Ekosistem laut terbuka mendapatkan antara lain overfishing, polusi, dan perubahan iklim memengaruhi kesehatan ekosistem laut terbuka. Laut terbuka sering kali sulit diatur karena kurangnya batas wilayah yang jelas.

1.4 Dinamika Populasi dalam Ekologi Laut

Dinamika Populasi dalam Ekologi Laut mengkaji perubahan jumlah organisme laut di suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu, serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Faktor-faktor tersebut mencakup interaksi antara makhluk hidup di laut, kondisi lingkungan, serta dampak aktivitas manusia. Pemahaman mengenai dinamika populasi sangat penting dalam upaya pengelolaan sumber daya laut yang berkelanjutan.

Dinamika populasi dalam ekologi laut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti aktivitas manusia, perubahan iklim, dan interaksi ekologi. Hubungan antara faktor-faktor ini membentuk struktur serta fungsi ekosistem laut, yang berdampak besar pada keanekaragaman hayati dan pengelolaan sumber daya alam.

Pertumbuhan populasi manusia telah berkontribusi terhadap penurunan sumber daya laut, terutama di wilayah Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). Peningkatan populasi manusia memiliki hubungan langsung dengan meningkatnya tangkapan ikan, yang dapat menyebabkan terjadinya *overfishing* dan kerusakan ekologi (Ding *et al.*, 2017). Hal ini menunjukkan pentingnya pengelolaan sumber daya yang memperhatikan perubahan demografi dan kesehatan ekosistem.

Perubahan iklim semakin mempersulit dinamika ekosistem laut. Fenomena cuaca ekstrem dan perubahan suhu serta komposisi kimia laut memengaruhi distribusi spesies dan struktur komunitas ekologi. Fenomena cuaca ekstrem dapat mempersempit area migrasi spesies yang menjadi kunci pembentuk habitat, yang sangat penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem (Smale and Wernberg, 2013). Peningkatan kadar CO₂, pemanasan, dan pengasaman laut yang menyertainya mendorong perubahan dalam distribusi serta interaksi antarspesies laut, yang berpotensi mengubah struktur komunitas dan bahkan menyebabkan kerusakan ekosistem (Doney *et al.*, 2012). Respons spesies laut terhadap perubahan ini tidak bersifat seragam, variasi respons tergantung pada karakteristik spesies dan kondisi ekologi masing-masing (Poloczanska *et al.*, 2016).

Perubahan iklim juga memengaruhi dinamika populasi organisme laut. Respons fisiologis terhadap perubahan kondisi laut

dapat memicu penurunan populasi atau mengganggu kesuksesan reproduksi, terutama pada spesies yang lebih rentan seperti karang dan burung laut (Poloczanska *et al.*, 2016; Paleczny *et al.*, 2015). Penurunan populasi burung laut, menjadi tanda penting dari perubahan ekologi, mencerminkan kondisi kesehatan ekosistem laut serta tekanan yang diakibatkan oleh perubahan iklim dan overfishing (Paleczny *et al.*, 2015).

Aspek sosio-ekonomi dalam pengelolaan sumber daya laut juga tidak boleh diabaikan. Perkembangan pesisir dan tekanan yang diakibatkan pada ekosistem laut menjadi penyumbang besar dalam degradasi lingkungan (de Andres and Barragan, 2015). Oleh karena itu, strategi pengelolaan yang efektif harus menggabungkan pemahaman ekologi dengan pertimbangan sosio-ekonomi untuk mendorong praktik berkelanjutan yang melindungi keanekaragaman hayati laut dan mendukung kesejahteraan manusia.

1.4.1 Faktor-faktor yang Memengaruhi Dinamika Populasi Laut

1. Reproduksi dan Kelangsungan Hidup

Dinamika populasi dalam ekologi laut berkaitan dengan tingkat reproduksi dan kelangsungan hidup berbagai spesies. Banyak organisme laut bereproduksi dengan menghasilkan keturunan dalam jumlah besar, meskipun tingkat kelangsungan hidupnya rendah. Sebagai contohnya, ikan pelagis kecil seperti sarden dan anchovy dapat memproduksi ribuan hingga puluhan ribu telur dalam sekali bertelur. Meskipun produksi telur mereka sangat tinggi, hanya sebagian kecil larva yang mampu bertahan hingga mencapai usia dewasa.

Kelangsungan hidup larva dan ikan muda sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk risiko pemangsaan, perubahan suhu, ketersediaan nutrisi, dan pola arus laut. Pada tahap awal kehidupannya, ikan-ikan kecil ini sangat rentan terhadap predator alami seperti ikan yang lebih besar, burung laut, dan mamalia laut. Selain itu, kondisi lingkungan yang berubah-ubah, seperti fluktuasi suhu air dan kadar oksigen, dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan mereka. Strategi menghasilkan banyak telur memungkinkan spesies ini

untuk meningkatkan kemungkinan sebagian kecil keturunannya berhasil bertahan hidup dan melanjutkan siklus reproduksi (Stearns, 1992; Jamieson, 2009).

Di sisi lain, beberapa spesies, terutama mamalia laut seperti paus dan anjing laut, memiliki cara reproduksi yang berbeda. Mereka cenderung menghasilkan hanya sedikit keturunan dalam setiap siklus reproduksi, namun mengalokasikan banyak energi dan sumber daya untuk meningkatkan peluang kelangsungan hidup anak-anaknya. Sebagai contoh, paus betina merawat anaknya dalam jangka waktu yang panjang, sering kali selama beberapa tahun, sambil mengajarkan keterampilan penting seperti cara mencari makan dan menghindari predator. Anjing laut juga memperlihatkan perilaku serupa; induknya memberikan perhatian penuh kepada anaknya, termasuk menyusui dengan susu yang kaya lemak untuk memastikan pertumbuhan yang optimal. Selain itu, induk anjing laut secara aktif melindungi anaknya dari bahaya dengan terus mengawasi mereka.

Pendekatan reproduksi ini berfokus pada kualitas keturunan daripada kuantitas, dengan tujuan utama untuk memaksimalkan tingkat kelangsungan hidup anak-anak mereka. Dengan cara ini, meskipun jumlah keturunan yang dihasilkan relatif sedikit, mamalia laut dapat memastikan bahwa sebagian besar dari anak-anaknya bertahan dan tumbuh hingga mencapai kedewasaan, yang akhirnya mendukung keberlanjutan populasi spesies tersebut (Stearns, 1992; Jamieson, 2009).

2. Interaksi Antarspesies: Pemangsaan, Kompetisi, dan Simbiosis

Interaksi antarspesies berperan penting dalam memengaruhi dinamika populasi di ekosistem laut. Salah satu bentuk interaksi tersebut adalah pemangsaan, di mana satu spesies berburu dan memakan spesies lain, yang dapat memengaruhi jumlah populasi baik dari mangsa maupun predator (Connell, 1983). Sebagai contoh, hiu, yang berfungsi sebagai predator puncak, memiliki peran penting dalam

menjaga keseimbangan ekosistem dengan mengendalikan jumlah populasi mangsanya.

Selain itu, terdapat juga kompetisi, yang terjadi ketika spesies bersaing untuk mendapatkan sumber daya terbatas, seperti makanan atau tempat tinggal. Kompetisi ini dapat menekan pertumbuhan populasi suatu spesies, sementara spesies lain yang lebih kompetitif mungkin mengalami peningkatan jumlah (Connell, 1983); (Paine, 1966).

Simbiosis adalah bentuk interaksi lain di mana kedua spesies mendapatkan manfaat. Contoh dari hubungan mutualisme ini adalah interaksi antara ikan badut dan anemon laut, di mana keduanya saling memberi perlindungan dan menyediakan tempat berlindung satu sama lain (Paine, 1966; Connell, 1983).

3. Migrasi dan Dispersi

Migrasi adalah faktor penting dalam dinamika populasi laut, di mana banyak spesies melakukan perjalanan jarak jauh untuk menemukan habitat yang cocok dengan kebutuhan hidup mereka. Misalnya, ikan tuna melakukan migrasi antara lokasi pemijahan dan area mencari makan. Perpindahan ini memungkinkan spesies tersebut untuk menyesuaikan diri dengan perubahan musim dan variasi kondisi lingkungan (Cowen and Sponaugle, 2009; Block *et al.*, 2001).

Selain migrasi, proses dispersi larva juga berperan signifikan. Larva dari beberapa spesies laut, seperti ikan dan karang, dapat terbawa oleh arus laut ke daerah yang baru, yang membantu memperluas jangkauan spesies serta memulihkan habitat yang terganggu (Cowen and Sponaugle, 2009); (Block *et al.*, 2001).

4. Fluktuasi Lingkungan

Variasi kondisi lingkungan, termasuk perubahan suhu, salinitas, dan ketersediaan nutrisi, dapat memengaruhi jumlah serta penyebaran biota laut. Contohnya, fenomena seperti El Nino dan La Nina menyebabkan perubahan suhu air laut, yang selanjutnya memengaruhi ketersediaan sumber makanan dan

tempat hidup bagi beberapa spesies. Perubahan iklim global, seperti peningkatan suhu dan pengasaman air laut, juga membawa dampak jangka panjang. Pengasaman laut, misalnya, dapat menghambat kemampuan terumbu karang dan organisme bercangkang dalam membentuk kalsium karbonat, yang akhirnya berdampak negatif pada kelangsungan populasi mereka (IPCC, 2022); (Doney *et al.*, 2012).

1.4.2 Dampak Aktivitas Manusia pada Dinamika Populasi Laut

1. Penangkapan Ikan Berlebihan (*Overfishing*)

Salah satu isu utama yang sangat memengaruhi dinamika populasi di ekosistem laut adalah penangkapan ikan berlebihan atau *overfishing*. Praktik ini terjadi ketika jumlah ikan yang ditangkap melebihi kemampuan spesies untuk berkembang biak dan memulihkan populasinya secara alami. *Overfishing* tidak hanya mengurangi jumlah spesies yang menjadi target penangkapan, tetapi juga berdampak serius pada predator puncak seperti tuna dan hiu, yang populasinya dapat menurun drastis (Pauly *et al.*, 1998; Myers and Worm, 2003; Jackson *et al.*, 2001; Dulvy *et al.*, 2014).

Hilangnya predator puncak mengganggu keseimbangan ekosistem laut, karena spesies ini berperan penting dalam mengendalikan jumlah populasi mangsa. Tanpa kehadiran predator yang cukup, populasi hewan mangsa, seperti ikan kecil dan invertebrata, dapat berkembang biak tanpa kontrol, menyebabkan ledakan populasi yang mengarah pada ketidakseimbangan rantai makanan. Kondisi ini dapat berdampak negatif pada seluruh ekosistem, termasuk menurunkan kualitas habitat dan mengganggu dinamika trofik, karena spesies mangsa yang berlebihan dapat mengurangi jumlah makanan dan habitat bagi organisme lain (Pauly *et al.*, 1998; Jackson *et al.*, 2001).

Selain itu, penangkapan ikan berlebihan dapat memicu efek berantai di seluruh rantai makanan, yang dikenal sebagai *trophic cascade*, di mana perubahan populasi pada satu tingkat trofik menyebabkan reaksi beruntun yang memengaruhi spesies lain, baik di atas maupun di bawahnya dalam rantai

makanan (Estes). Misalnya, jika hiu sebagai predator puncak berkurang, populasi spesies mangsanya, seperti ikan herbivora, bisa meningkat. Hal ini pada gilirannya dapat menyebabkan penurunan vegetasi laut, seperti lamun atau alga, karena tekanan konsumsi yang lebih tinggi (Pauly *et al.*, 1998; Jackson *et al.*, 2001).

2. Pencemaran dan Kerusakan Habitat

Pencemaran laut, termasuk pencemaran nutrisi yang berasal dari aktivitas pertanian, pembuangan limbah industri, dan limpasan perkotaan, dapat secara signifikan menurunkan kualitas air serta merusak habitat laut. Peningkatan kadar nutrisi seperti nitrogen dan fosfor di perairan sering kali menyebabkan eutrofikasi, sebuah kondisi di mana ledakan pertumbuhan alga terjadi (Diaz and Rosenberg, 2008; Smith *et al.*, 1999). Alga yang berkembang biak secara masif kemudian mati dan terurai, mengonsumsi oksigen yang terlarut dalam air. Proses ini dapat mengakibatkan penurunan drastis kadar oksigen dan menciptakan zona mati (*dead zone*), yaitu area perairan yang kekurangan oksigen dan tidak dapat mendukung kehidupan sebagian besar organisme laut. Fenomena ini telah diamati di banyak perairan pesisir di seluruh dunia dan terus meningkat akibat aktivitas manusia yang semakin intensif (Diaz and Rosenberg, 2008).

Selain itu, kerusakan habitat tidak hanya disebabkan oleh pencemaran, tetapi juga oleh berbagai kegiatan manusia lainnya. Pembangunan pesisir seperti reklamasi lahan, konstruksi pelabuhan, dan aktivitas pariwisata dapat menyebabkan hilangnya habitat alami yang kritis (Halpern *et al.*, 2008). Penambangan dasar laut, yang bertujuan untuk mengambil mineral berharga, juga berdampak pada ekosistem benthik dengan menghancurkan substrat dan memicu sedimentasi yang menghalangi sinar matahari mencapai dasar laut. Hal ini berisiko bagi ekosistem yang sensitif seperti terumbu karang, lamun, dan mangrove, yang bergantung pada sinar matahari untuk proses fotosintesis (Caldeira and Wickett, 2003; Erftemeijer and Robin Lewis, 2006).

Lebih jauh lagi, pengasaman laut akibat peningkatan penyerapan karbon dioksida (CO_2) oleh laut berdampak negatif pada kemampuan organisme yang membangun kalsium karbonat, seperti terumbu karang dan moluska, untuk membentuk dan memelihara cangkang atau struktur keras lainnya. Pengasaman ini memperlambat pertumbuhan terumbu karang dan menyebabkan kerusakan pada struktur yang menjadi tempat tinggal bagi banyak spesies laut. Kondisi ini juga memperburuk ketahanan ekosistem pesisir terhadap ancaman lain, seperti pemanasan global dan kenaikan permukaan laut (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007).

1.5 Tekanan Ekologis dan Dampaknya pada Ekosistem Laut

Ekosistem laut mengalami beragam tekanan ekologis yang memengaruhi keseimbangan, struktur, dan fungsi alaminya. Tekanan-tekanan ini berasal dari berbagai faktor, baik yang disebabkan oleh alam maupun akibat aktivitas manusia, seperti perubahan iklim, pencemaran, dan eksploitasi sumber daya laut secara berlebihan. Kombinasi dari berbagai tekanan tersebut dapat melemahkan ketahanan ekosistem, mengancam keanekaragaman spesies, serta mengganggu proses penting yang mendukung kelangsungan fungsi ekosistem laut.

1. Dampak perubahan iklim

Perubahan iklim merupakan salah satu ancaman ekologis terbesar yang dihadapi ekosistem laut. Kenaikan suhu air laut akibat pemanasan global berdampak pada berbagai jenis organisme, termasuk terumbu karang, ikan, dan plankton. Pemanasan ini dapat menyebabkan **pemutihan karang** (*coral bleaching*), suatu kondisi di mana karang kehilangan alga simbiotik yang menyediakan nutrisi esensial, membuatnya lebih rentan terhadap penyakit dan kematian (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007). Perubahan suhu juga dapat memengaruhi pola distribusi spesies laut, karena banyak organisme bergerak ke wilayah dengan suhu yang lebih sesuai, sehingga mengubah komposisi komunitas dalam ekosistem.

Selain itu, pengasaman laut akibat peningkatan penyerapan karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer mengakibatkan turunnya nilai pH air laut. Keadaan ini menghambat kemampuan organisme seperti moluska dan karang untuk membentuk kalsium karbonat, yang diperlukan untuk pertumbuhan cangkang dan struktur keras lainnya (Caldeira and Wickett, 2003). Akibatnya, penurunan kemampuan ini tidak hanya mengancam kelangsungan hidup spesies tertentu, tetapi juga memengaruhi keseimbangan rantai makanan secara keseluruhan.

2. Pencemaran Laut

Polusi laut mencakup berbagai jenis pencemaran, seperti limbah plastik, tumpahan minyak, dan kelebihan nutrisi. Salah satu masalah utama yang ditimbulkan oleh kelebihan nutrisi adalah eutrofikasi, yang terjadi akibat tingginya kadar nitrogen dan fosfor yang mengalir ke perairan dari limpasan pertanian dan limbah industri. Kondisi ini mendorong pertumbuhan alga secara masif, yang kemudian mati dan mengalami dekomposisi, menyerap oksigen dalam air dan menyebabkan terbentuknya zona mati, yaitu area yang tidak mampu mendukung kehidupan laut (Diaz and Rosenberg, 2008). Selain itu, mikroplastik dan zat pencemar kimia seperti logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh organisme laut, yang pada akhirnya merusak fungsi reproduksi dan menurunkan kesehatan ekosistem secara keseluruhan.

3. Eksploitasi Berlebih

Eksploitasi sumber daya laut yang berlebihan, seperti penangkapan ikan berlebihan (*overfishing*), sangat memengaruhi keseimbangan ekosistem laut. Penangkapan spesies predator puncak seperti tuna dan hiu menyebabkan penurunan populasi yang signifikan, yang kemudian mengganggu keseimbangan rantai makanan laut (Pauly *et al.*, 1998). Hilangnya predator puncak dapat menyebabkan

ledakan populasi spesies mangsa, yang pada gilirannya merusak ekosistem lain seperti padang lamun dan terumbu karang karena peningkatan tekanan konsumsi.

Selain itu, kegiatan penangkapan ikan yang tidak selektif, seperti penggunaan pukat dasar, menyebabkan kerusakan habitat bentik dengan menghancurkan substrat dan mengganggu organisme bentik yang berfungsi penting dalam siklus nutrisi dan filtrasi air (Watling and Norse, 1998). Dampak jangka panjang dari eksploitasi berlebihan dapat mengurangi keanekaragaman hayati, membuat ekosistem laut menjadi lebih rentan terhadap gangguan lain.

Kemampuan ekosistem laut untuk menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan menjadi semakin penting seiring meningkatnya dampak dari perubahan iklim. Perubahan tersebut memengaruhi bukan hanya spesies secara individu, tetapi juga struktur dan fungsi keseluruhan ekosistem laut. Biota laut menyesuaikan diri melalui berbagai mekanisme, termasuk evolusi, perubahan perilaku, dan penyesuaian habitat (Baltar *et al.*, 2019; Doney *et al.*, 2012).

Salah satu bentuk adaptasi terjadi melalui perubahan fisiologis dan genetik pada organisme laut. Spesies di lautan menunjukkan kemampuan untuk beradaptasi baik secara fenotipik maupun genotipik terhadap perubahan kondisi lingkungan, meskipun bukti mengenai adaptasi evolusi jangka panjang masih terbatas (Poloczanska *et al.*, 2016; Bernhardt and Leslie, 2013). Sebagai contoh, organisme dengan siklus hidup cepat dan populasi besar, seperti mikroba laut, memiliki potensi adaptasi yang lebih tinggi terhadap perubahan iklim (Schmidt, 2017). Di samping itu, hubungan simbiosis antara spesies turut berperan dalam mendukung kemampuan organisme untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang mengalami perubahan (Apprill, 2020).

Adaptasi juga tercermin dalam strategi pengelolaan sumber daya laut oleh masyarakat lokal yang mengandalkan ekosistem laut. Studi di Vietnam mengungkapkan bahwa

strategi adaptasi berbasis pengetahuan lokal sangat penting untuk meningkatkan ketahanan komunitas terhadap stresor akibat perubahan iklim (Huynh *et al.*, 2021). Dengan mengombinasikan pengetahuan tradisional dan sains modern, masyarakat dapat menyusun rencana adaptasi yang lebih efektif untuk melindungi ekosistem laut dan memastikan mata pencaharian mereka tetap terjaga (Abdalah, 2023).

Selain itu, *Marine Protected Areas* (MPA) menjadi alat penting dalam membantu ekosistem laut beradaptasi. Dengan mempertimbangkan variasi lokal dalam kondisi lingkungan, MPA menyediakan tempat perlindungan bagi spesies yang terancam dan memperkuat ketahanan ekosistem terhadap dampak perubahan iklim (Woodson *et al.*, 2019; Roberts *et al.*, 2017). MPA tidak hanya berfungsi untuk konservasi spesies, tetapi juga berkontribusi dalam mitigasi dampak perubahan iklim dengan cara meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon dan mengurangi ketidakpastian dalam pengelolaan sumber daya (Roberts *et al.*, 2017).

4. Pembangunan Pesisir dan Degradasi Habitat

Kegiatan pembangunan di kawasan pesisir, seperti reklamasi lahan, konstruksi pelabuhan, dan pengembangan pariwisata, turut menambah tekanan terhadap ekosistem laut. Pembangunan di pesisir sering kali mengakibatkan hilangnya habitat alami, termasuk hutan mangrove dan terumbu karang, yang memiliki peran penting sebagai pelindung pantai dari gelombang dan penyaring alami polutan. Kerusakan habitat ini berdampak negatif pada kemampuan ekosistem pesisir untuk menyediakan jasa ekosistem penting, seperti perlindungan pantai dan dukungan bagi sektor perikanan (Halpern *et al.*, 2008).

Selain itu, aktivitas penambangan di dasar laut yang bertujuan untuk mengambil mineral berharga juga menimbulkan kerusakan habitat, terutama di area laut dalam. Kegiatan ini tidak hanya merusak ekosistem benthik,

tetapi juga meningkatkan jumlah sedimen yang mengendap, mengurangi penetrasi cahaya matahari, dan mengganggu proses fotosintesis organisme yang bergantung pada cahaya untuk kelangsungan hidupnya.

1.6 Manajemen Ekologi Laut

1.6.1 Pengelolaan berbasis ekosistem (*Ecosystem-Based Management*).

Pengelolaan berbasis ekosistem (EBM) adalah pendekatan yang menyatukan berbagai aspek untuk mengelola sumber daya laut, dengan menekankan hubungan antara sistem ekologi, sosial, dan ekonomi. Pendekatan mendukung pengelolaan perikanan yang berkelanjutan dan menjaga kelestarian ekosistem laut. Prinsip dasar EBM adalah bahwa aktivitas manusia dan ekosistem alami saling terkait, sehingga diperlukan pandangan yang menyeluruh untuk mengelola sumber daya laut, dengan mempertimbangkan dampak kumulatif dari berbagai kegiatan manusia terhadap ekosistem laut (Ballance and Whitty, 2010; Hattam *et al.*, 2015).

Dalam pengelolaan perikanan, EBM diterapkan melalui **Pendekatan Ekosistem untuk Pengelolaan Perikanan (EAFM)**, yang telah terbukti membantu keberlanjutan stok ikan dan pelestarian habitat laut. EAFM menggunakan berbagai indikator di enam aspek utama: sumber daya ikan, habitat dan ekosistem, metode penangkapan ikan, aspek sosial, faktor ekonomi, dan kelembagaan (Wahid *et al.*, 2019; Yanti *et al.*, 2021; Dharmawan *et al.*, 2022). Pendekatan ini memungkinkan penilaian yang komprehensif terhadap praktik pengelolaan perikanan, sehingga memudahkan identifikasi area yang memerlukan rehabilitasi serta pengembangan rekomendasi yang sesuai (Wahid *et al.*, 2019; Yanti *et al.*, 2021). Contohnya penerapan indikator EAFM dapat meningkatkan pengelolaan sumber daya kepiting dan sektor perikanan lainnya, dengan menyeimbangkan pertimbangan ekologi dan sosio-ekonomi (Yanti *et al.*, 2021; Dharmawan *et al.*, 2022).

Keterlibatan pemangku kepentingan juga menjadi elemen penting dalam keberhasilan implementasi EBM. Pelibatan

masyarakat lokal dan nelayan dalam proses pengambilan keputusan dapat menumbuhkan rasa tanggung jawab dan kepemilikan terhadap pengelolaan sumber daya laut (Bryhn *et al.*, 2020; Thiault *et al.*, 2017). Pendekatan partisipatif ini tidak hanya memperkuat relevansi strategi pengelolaan, tetapi juga meningkatkan kepatuhan dan efektivitas dengan menyelaraskan tujuan pengelolaan dengan kebutuhan dan pengetahuan masyarakat setempat (Bryhn *et al.*, 2020; Thiault *et al.*, 2017). Selain itu, penggabungan data sosio-ekonomi dengan penilaian ekologi dapat mendukung pengembangan strategi pengelolaan yang efektif dan adil (Bryhn *et al.*, 2020; Thiault *et al.*, 2017; Culhane *et al.*, 2020).

Tekanan dari perubahan iklim dan aktivitas manusia pada ekosistem laut menunjukkan pentingnya segera menerapkan EBM. Penelitian mengungkapkan bahwa perubahan iklim memengaruhi keanekaragaman hayati laut serta jasa ekosistem secara signifikan, sehingga diperlukan strategi pengelolaan yang adaptif untuk menanggapi perubahan tersebut (Rocha *et al.*, 2015; Islam *et al.*, 2020). Sebagai contoh, pergeseran pola migrasi ikan dan siklus reproduksi akibat perubahan kondisi lingkungan menegaskan pentingnya kerangka kerja pengelolaan yang fleksibel dan mampu menyesuaikan dengan variabilitas ini (Rocha *et al.*, 2015; Islam *et al.*, 2020).

1.6.2 Peran kebijakan dalam pelestarian ekosistem laut.

Peran kebijakan pemerintah sangat krusial dalam menjaga kelestarian ekosistem laut, yang mencakup berbagai aspek seperti pengelolaan sumber daya, perlindungan habitat, dan peningkatan kesadaran masyarakat. Ekosistem laut seperti lamun, mangrove, dan terumbu karang berperan sebagai habitat bagi berbagai spesies serta memiliki jasa ekosistem penting, seperti penyerapan karbon dan perlindungan terhadap bencana alam (Rahman *et al.*, 2021; Harjuna *et al.*, 2020; Supriyadi *et al.*, 2017). Namun, aktivitas manusia dan perubahan iklim menyebabkan degradasi ekosistem, sehingga diperlukan intervensi kebijakan yang tepat untuk memastikan keberlanjutannya (Rahman *et al.*, 2021; Harjuna, 2020).

Salah satu langkah kebijakan yang dapat diambil adalah memperkuat regulasi terkait konservasi ekosistem mangrove dan lamun. Mangrove berfungsi sebagai pelindung garis pantai dan menyediakan habitat bagi banyak spesies laut, menjadikannya komponen penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir (Permana dan Andhikawati, 2023). Program penanaman mangrove dan edukasi terhadap masyarakat mengenai pentingnya ekosistem pesisir dapat meningkatkan keterlibatan masyarakat dalam usaha pelestarian lingkungan (Damayani *et al.*, 2023); (Oprasmani *et al.*, 2020). Di samping itu, pemanfaatan teknologi seperti **eDNA** untuk pemantauan keanekaragaman hayati dapat membantu upaya pengelolaan dan perlindungan spesies yang terancam punah di kawasan konservasi laut (Subhan *et al.*, 2023); (Lestariningsih *et al.*, 2023).

Kebijakan yang mendorong pengembangan **ekonomi biru** juga dapat berperan dalam menjaga kelestarian ekosistem laut. Dengan melibatkan masyarakat lokal dalam pengelolaan sumber daya laut secara berkelanjutan, kebijakan ini tidak hanya meningkatkan kesejahteraan ekonomi tetapi juga membangun kesadaran terhadap masyarakat tentang pentingnya melestarikan lingkungan. (Muliatie, 2023); (Putri *et al.*, 2023). Sebagai contoh, program restorasi terumbu karang yang melibatkan masyarakat tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga memperbaiki kondisi ekosistem yang mengalami kerusakan (Putra *et al.*, 2023).

Secara keseluruhan, kebijakan yang terpadu dan melibatkan partisipasi masyarakat sangat diperlukan untuk memastikan keberlanjutan ekosistem laut. Hal ini meliputi penguatan regulasi, peningkatan kapasitas masyarakat, serta penerapan teknologi modern dalam pemantauan dan pengelolaan sumber daya laut (Rendra P.A dan Juniarto, 2024); (Supriyadi *et al.*, 2017). Kebijakan yang tepat dapat menciptakan sinergi antara konservasi lingkungan dan pembangunan ekonomi, yang pada akhirnya akan mendukung keberlanjutan ekosistem laut di Indonesia.

1.6.3 Strategi mitigasi kerusakan ekosistem laut.

Strategi untuk mengurangi terjadinya kerusakan ekosistem laut menjadi semakin penting di tengah berbagai ancaman yang dihadapi oleh ekosistem seperti terumbu karang, mangrove, dan lamun. Kerusakan tersebut umumnya disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia, termasuk praktik penangkapan ikan yang merusak, pencemaran, serta dampak perubahan iklim.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melalui pendidikan dan peningkatan literasi masyarakat tentang pentingnya ekosistem laut. Rendahnya kesadaran masyarakat tentang pentingnya literasi kelautan turut berkontribusi terhadap degradasi ekosistem. Oleh karena itu, program pendidikan yang fokus pada pemahaman ekosistem laut dan penerapan praktik konservasi dapat membantu membentuk generasi yang lebih bertanggung jawab dalam pemanfaatan sumber daya kelautan (Kautsari *et al.*, 2022).

Selain edukasi, penerapan konsep **ekonomi biru** juga menjadi salah satu strategi utama untuk mengurangi kerusakan ekosistem laut. Konsep ini menekankan pemanfaatan sumber daya kelautan secara berkelanjutan, sejalan dengan tujuan ***Sustainable Development Goals (SDGs)*** nomor 14 tentang menjaga kehidupan di bawah laut (Aprilia and Mulyanie, 2023). Melalui pengintegrasian ekonomi biru dalam kebijakan pengelolaan sumber daya laut, diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan tetap melestarikan ekosistem (Aprilia and Mulyanie, 2023).

Marine Spatial Planning (MSP) atau perencanaan ruang laut juga menjadi pendekatan yang efektif untuk pengelolaan ruang laut secara berkelanjutan. MSP memungkinkan perencanaan yang lebih baik dalam penggunaan ruang laut, membantu mengurangi konflik antar kepentingan dan melindungi wilayah yang sensitif secara ekologis (Ramadhan dan Salim, 2019). Penerapan MSP di kawasan konservasi laut dapat menjaga keanekaragaman hayati, mempertahankan fungsi ekosistem, dan meningkatkan resiliensi terhadap dampak perubahan iklim (Ramadhan dan Salim, 2019).

Konservasi laut melalui penetapan area perlindungan adalah langkah penting untuk mempertahankan proses ekologis yang vital, keanekaragaman genetik, serta menjamin penggunaan sumber daya secara berkelanjutan (Buhari *et al.*, 2021). Sebagai contoh, kawasan konservasi berpotensi besar dalam melindungi terumbu karang dan spesies laut lainnya (Salanggon *et al.*, 2022). Pengelolaan yang efektif dan pemantauan berkala terhadap kondisi ekosistem sangat penting untuk memastikan keberhasilan upaya konservasi tersebut (Salanggon *et al.*, 2022).

Selain itu, upaya mengatasi pencemaran, terutama yang disebabkan oleh mikroplastik, juga harus menjadi prioritas dalam strategi mitigasi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik di ekosistem terumbu karang dapat mengancam kesehatan terumbu serta spesies yang hidup di dalamnya (Muchlissin *et al.*, 2020). Oleh karena itu, penting menjaga kesehatan ekosistem laut dengan mengurangi limbah plastik dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak pencemaran (Wahyudin dan Afriansyah, 2020). Strategi untuk mengatasi kerusakan ekosistem laut perlu dilakukan dengan pendekatan multidimensi, termasuk pendidikan, penerapan ekonomi biru, perencanaan ruang laut, konservasi, dan pengurangan pencemaran. Dengan menggabungkan berbagai pendekatan ini, diharapkan keberlanjutan ekosistem laut di Indonesia dapat tercapai dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalah, A. (2023) 'Impact Analysis of Climate Change on Marine Fisheries Productivity in Indonesian Waters in 2023: A Review of Resource Availability and Adaptation Strategies', *Journal Siplieria Sciences*, 4(3), pp. 8–15. Available at: <https://doi.org/10.48173/jss.v4i3.225>.
- Akbar, F., Nurrahman, Y.A. and Idiawati, N. (2024) 'STRUKTUR KOMUNITAS GASTROPODA DI KAWASAN MANGROVE DESA MENGKALANG JAMBU KABUPATEN KUBU RAYA KALIMANTAN BARAT', *Jurnal Perikanan*, 14(1), pp. 225–235. Available at: <https://doi.org/10.29303/jp.v14i1.781>.
- Alongi, D.M. (2002) 'Present state and future of the world's mangrove forests', *Environmental Conservation*, 29(3), pp. 331–349. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>.
- Ampou, E.E. et al. (2018) 'BENTHIC HABITAT ON CORAL REEF ECOSYSTEM IN MENJANGAN ISLAND', *Jurnal Kelautan Nasional*, 13(3). Available at: <https://doi.org/10.15578/jkn.v13i3.6655>.
- de Andres, M. and Barragan, J.M. (2015) 'Development of coastal cities and agglomerations: pressure and impacts on coastal and marine ecosystems', in *Coastal Cities and their Sustainable Future*. WIT Press, pp. 63–71. Available at: <https://doi.org/10.2495/CC150061>.
- Apprill, A. (2020) 'The Role of Symbioses in the Adaptation and Stress Responses of Marine Organisms', *Annual Review of Marine Science*, 12(1), pp. 291–314. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010641>.
- Aprilia and Mulyanie, E. (2023) 'Implementasi Konsep Blue Economy di Indonesia sebagai Upaya Mewujudkan Sustainable Development Goals (SDGs) 14: Life Below Water', *Jurnal Ilmiah Samudra Akuatika*, 7(2), pp. 40–48. Available at: <https://doi.org/10.33059/jisa.v7i2.9116>.
- Asih, E.N.N. and Kartika, A.G.D. (2021) 'Potensi dan Karakteristik Bakteri Simbion Karang Lunak *Sinularia* sp. sebagai Anti Bakteri *Escherichia coli* dari Perairan Pulau Gili Labak

- Madura Indonesia', *Journal of Marine Research*, 10(3), pp. 355–362. Available at: <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.30689>.
- Ballance, L.T. and Whitty, T. (2010) 'Ecosystem-Based Management for the Oceans', *Restoration Ecology*, 18(5), pp. 780–781. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00732.x>.
- Baltar, F. *et al.* (2019) 'Towards Integrating Evolution, Metabolism, and Climate Change Studies of Marine Ecosystems', *Trends in Ecology & Evolution*, 34(11), pp. 1022–1033. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.07.003>.
- Behrenfeld, M.J. *et al.* (2006) 'Climate-driven trends in contemporary ocean productivity', *Nature*, 444(7120), pp. 752–755. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature05317>.
- Bernhardt, J.R. and Leslie, H.M. (2013) 'Resilience to Climate Change in Coastal Marine Ecosystems', *Annual Review of Marine Science*, 5(1), pp. 371–392. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172411>.
- Block, B.A. *et al.* (2001) 'Migratory Movements, Depth Preferences, and Thermal Biology of Atlantic Bluefin Tuna', *Science*, 293(5533), pp. 1310–1314. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1061197>.
- Block, B.A. *et al.* (2011) 'Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean', *Nature*, 475(7354), pp. 86–90. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature10082>.
- Bryhn, A. *et al.* (2020) 'A Model for Disentangling Dependencies and Impacts among Human Activities and Marine Ecosystem Services', *Environmental Management*, 65(5), pp. 575–586. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01260-1>.
- Buhari, N. *et al.* (2021) 'Kondisi Terkini Presentase Tutupan Terumbu Pada Masa Pandemi Covid-19 di Gili Air, Taman Wisata Perairan Gili Matra, Nusa Tenggara Barat', *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 7(2), pp. 238–247. Available at: <https://doi.org/10.29303/jstl.v7i2.276>.

- Buonocore, E. *et al.* (2021) 'Trends and Evolution in the Concept of Marine Ecosystem Services: An Overview', *Water*, 13(15), p. 2060. Available at: <https://doi.org/10.3390/w13152060>.
- Caldeira, K. and Wickett, M.E. (2003) 'Anthropogenic carbon and ocean pH', *Nature*, 425(6956), pp. 365–365. Available at: <https://doi.org/10.1038/425365a>.
- Chen, D. *et al.* (2021) 'Long Time-Series Mapping and Change Detection of Coastal Zone Land Use Based on Google Earth Engine and Multi-Source Data Fusion', *Remote Sensing*, 14(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs14010001>.
- Chen, F. *et al.* (2024) 'Protection pattern and driving mechanism of typical marine ecosystems: a case study of China-ASEAN countries', *Frontiers in Marine Science*, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1378188>.
- Cloern, J. (2001) 'Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem', *Marine Ecology Progress Series*, 210, pp. 223–253. Available at: <https://doi.org/10.3354/meps210223>.
- Coll, M. *et al.* (2012) 'The Mediterranean Sea under siege: Spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves', *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), pp. 465–480. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00697.x>.
- Connell, J.H. (1983) 'On the Prevalence and Relative Importance of Interspecific Competition: Evidence from Field Experiments', *The American Naturalist*, 122(5), pp. 661–696. Available at: <https://doi.org/10.1086/284165>.
- Cowen, R.K. and Sponaugle, S. (2009) 'Larval Dispersal and Marine Population Connectivity', *Annual Review of Marine Science*, 1(1), pp. 443–466. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163757>.
- Culhane, F.E., Robinson, L.A. and Lillebø, A.I. (2020) 'Approaches for Estimating the Supply of Ecosystem Services: Concepts for Ecosystem-Based Management in Coastal and Marine Environments', in *Ecosystem-Based Management, Ecosystem Services and Aquatic Biodiversity*. Cham: Springer

- International Publishing, pp. 105–126. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-45843-0_6.
- Damayani, W.N. *et al.* (2023) 'PARTISIPASI MASYARAKAT DALAM UPAYA PELESTARIAN EKOSISTEM MANGROVE DI DESA BAGAN PERCUT KECAMATAN PERCUT SEI TUAN KABUPATEN DELI SERDANG, SUMATERA UTARA', *Jurnal Samudra Geografi*, 6(1), pp. 73–79. Available at: <https://doi.org/10.33059/jsg.v6i1.6586>.
- Dharmawan, R., Suherman, A. and Mudzakir, A.K. (2022) 'ANALYSIS OF SURFACE GILLNET FISHING GEAR AT BAGAN SIAPI-API WATERS, INDONESIA USING EAFM INDICATORS', *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 13(2), pp. 183–193. Available at: <https://doi.org/10.29244/jmf.v13i2.40979>.
- Diaz, R.J. and Rosenberg, R. (2008) 'Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems', *Science*, 321(5891), pp. 926–929. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1156401>.
- Ding, Q. *et al.* (2017) 'Effects of economics and demographics on global fisheries sustainability', *Conservation Biology*, 31(4), pp. 799–808. Available at: <https://doi.org/10.1111/cobi.12873>.
- Doney, S.C. *et al.* (2012) 'Climate Change Impacts on Marine Ecosystems', *Annual Review of Marine Science*, 4(1), pp. 11–37. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>.
- Douve, F. (2008) 'The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management', *Marine Policy*, 32(5), pp. 762–771. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.021>.
- Dulvy, N.K. *et al.* (2014) 'Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays', *eLife*, 2014(3). Available at: <https://doi.org/10.7554/elife.00590>.
- Dunne, J., Williams, R. and Martinez, N. (2004) 'Network structure and robustness of marine food webs', *Marine Ecology Progress Series*, 273, pp. 291–302. Available at: <https://doi.org/10.3354/meps273291>.

- Erftemeijer, P.L.A. and Robin Lewis, R.R. (2006) 'Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review', *Marine Pollution Bulletin*, 52(12), pp. 1553–1572. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.09.006>.
- Essington, T.E., Beaudreau, A.H. and Wiedenmann, J. (2006) 'Fishing through marine food webs', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(9), pp. 3171–3175. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.0510964103>.
- Fenchel, T. (1988) 'MARINE PLANKTON FOOD CHAINS', *Annual Review of Ecology and Systematics*, 19(1), pp. 19–38. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.19.110188.000315>.
- Feyrer, F. *et al.* (2021) 'Disentangling Stationary and Dynamic Estuarine Fish Habitat to Inform Conservation: Species-Specific Responses to Physical Habitat and Water Quality in San Francisco Estuary', *Marine and Coastal Fisheries*, 13(5), pp. 548–563. Available at: <https://doi.org/10.1002/mcf2.10183>.
- Firdaus, M.R. and Wijayanti, L.A.S. (2019) 'FITOPLANKTON DAN SIKLUS KARBON GLOBAL', *OSEANA*, 44(2), pp. 35–48. Available at: <https://doi.org/10.14203/oseana.2019.Vol.44No.2.39>.
- Freedman, R. *et al.* (2017) 'Does Estuary Restoration Design Alter the Fine Scale Movements of Gray Smoothhounds *Mustelus californicus* in Southern California?', *Bulletin, Southern California Academy of Sciences*, 116(2), pp. 88–97. Available at: <https://doi.org/10.3160/soca-116-02-88-97.1>.
- Halpern, B.S. *et al.* (2008) 'A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems', *Science*, 319(5865), pp. 948–952. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1149345>.
- Harjuna, R.A., Riniatsih, I. and Suryono, C.A. (2020) 'Kondisi Padang Lamun di Pulau Panjang dan Pulau Lima, Banten', *Journal of Tropical Marine Science*, 3(2), pp. 89–93. Available at: <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v3i2.1928>.
- Hattam, C. *et al.* (2015) 'Marine ecosystem services: Linking indicators to their classification', *Ecological Indicators*, 49, pp.

- 61–75. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.026>.
- Hoegh-Guldberg, O. (1999) 'Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs', *Marine and Freshwater Research*, 50(8), pp. 839–866. Available at:
<https://doi.org/10.1071/MF99078>.
- Hoegh-Guldberg, O. *et al.* (2007) 'Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification', *Science*, 318(5857), pp. 1737–1742. Available at:
<https://doi.org/10.1126/science.1152509>.
- Huynh, P.T.A. *et al.* (2021) 'Adaptive livelihood strategies among small-scale fishing households to climate change-related stressors in Central Coast Vietnam', *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 13(4/5), pp. 492–510. Available at: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-04-2020-0034>.
- Hyder, K. *et al.* (2015) 'Making modelling count - increasing the contribution of shelf-seas community and ecosystem models to policy development and management', *Marine Policy*, 61, pp. 291–302. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.07.015>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2022) *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by H.O. Pörtner *et al.* Cambridge University Press. Available at:
<https://doi.org/10.1017/9781009157964>.
- Islam, M.M. *et al.* (2020) 'Climate Change Impacts on a Tropical Fishery Ecosystem: Implications and Societal Responses', *Sustainability*, 12(19), p. 7970. Available at:
<https://doi.org/10.3390/su12197970>.
- Jackson, J.B.C. *et al.* (2001) 'Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems', *Science*, 293(5530), pp. 629–637. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1059199>.
- Jamieson, B.G.M. (2009) *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes)*. New Hampshire, United

- States of America: Science Publishers. Available at: <https://doi.org/10.13140/2.1.2048.0643>.
- Kautsari, N., Rhismanda, A. and Abdillah, D. (2022) 'LITERASI LAUT UNTUK ANAK-ANAK PESISIR PRAJAK SEBAGAI UPAYA MEMBENTUK GENERASI YANG BERTANGGUNG JAWAB TERHADAP PEMANFAATAN LAUT', *Jurnal Pengembangan Masyarakat Lokal*, 5(1), pp. 06–13. Available at: <https://doi.org/10.58406/jpml.v5i1.921>.
- Kennish, M.J. (2002) 'Environmental threats and environmental future of estuaries', *Environmental Conservation*, 29(1), pp. 78–107. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0376892902000061>.
- Kirk, J.T.O. (2011) *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Third. Cambridge, New York: Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139168212>.
- Kirkman, S.P. *et al.* (2021) 'Evaluating the evidence for ecological effectiveness of South Africa's marine protected areas', *African Journal of Marine Science*. National Inquiry Services Centre Ltd, pp. 389–412. Available at: <https://doi.org/10.2989/1814232X.2021.1962975>.
- Koba, C.E., Montolalu, C. and Rindengan, A. (2017) 'Aplikasi Penentuan Tingkat Kesehatan Terumbu Karang Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor dan Curve Fitting Berbasis Pengolahan Citra Digital', *d'CARTESIAN*, 6(1), p. 17. Available at: <https://doi.org/10.35799/dc.6.1.2017.15836>.
- Kwak, I.-S. and Park, Y.-S. (2020) 'Food Chains and Food Webs in Aquatic Ecosystems', *Applied Sciences*, 10(14), p. 5012. Available at: <https://doi.org/10.3390/app10145012>.
- Lestariningsih, W.A., Himawan, M.R. and Wisnubroto, A. (2023) 'PENYADARTAHUAN TERHADAP KEBERLANJUTAN BIOTA LAUT MELALUI DISEMINASI PERLINDUNGAN HIU PAUS DI WILAYAH PERAIRAN BATANG, JAWA TENGAH', *Jurnal Abdi Insani*, 10(4), pp. 2977–2984. Available at: <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v10i4.1304>.
- Levinton, J. *et al.* (2011) 'Climate Change, Precipitation and Impacts on an Estuarine Refuge from Disease', *PLoS ONE*. Edited by

- J.M. Roberts, 6(4), p. e18849. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018849>.
- Lewis, D.M. *et al.* (2021) 'A resident fish guild as a higher trophic level indicator of oyster reef restoration success', *Sustainability (Switzerland)*, 13(23). Available at: <https://doi.org/10.3390/su132313004>.
- Littles, C. *et al.* (2022) 'Adaptive management of large-scale ecosystem restoration: increasing certainty of habitat outcomes in the Columbia River Estuary, U.S.A.', *Restoration Ecology*, 30(8). Available at: <https://doi.org/10.1111/rec.13634>.
- Marasco, R.J. *et al.* (2007) 'Ecosystem-based fisheries management: some practical suggestions', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64(6), pp. 928–939. Available at: <https://doi.org/10.1139/f07-062>.
- Mattei, F. and Scardi, M. (2021) 'Collection and analysis of a global marine phytoplankton primary-production dataset', *Earth System Science Data*, 13(10), pp. 4967–4985. Available at: <https://doi.org/10.5194/essd-13-4967-2021>.
- McIntyre, A.D. (1996) 'Understanding marine biodiversity', *Fisheries Research*, 27(1–3), pp. 137–139. Available at: [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(96\)84674-1](https://doi.org/10.1016/0165-7836(96)84674-1).
- Miftahuddin, M.F. (2020) 'Artikel Pengaruh Lamun Terhadap Kehidupan Ikan di Perairan Pulau Pramuka, Kep. Seribu', *JURNAL GEOGRAFI Geografi dan Pengajarannya*, 18(1), p. 27. Available at: <https://doi.org/10.26740/jggp.v18n1.p27-42>.
- Molina, A., Duque, G. and Cogua, P. (2020) 'Influences of environmental conditions in the fish assemblage structure of a tropical estuary', *Marine Biodiversity*, 50(1), p. 5. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12526-019-01023-0>.
- Moningkey, R.D., Lumingas, L.J.L. and Rembet, U.N.W.J. (2017) 'Macrozoobenthic community structure in subtidal soft-bottom area along the coast of Lembah Island -North Sulawesi', *JURNAL ILMIAH PLATAX*, 5(2), p. 105. Available at: <https://doi.org/10.35800/jip.5.2.2017.15531>.
- Muchlissin, S.I. *et al.* (2020) 'Kelimpahan Mikroplastik Pada Sedimen Ekosistem Terumbu di Taman Nasional Laut Karimunjawa',

- Jurnal Kelautan Tropis*, 24(1), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i1.9865>.
- Muliatie, Y.E., Suwondo, A.J. and Sujani, S. (2023) 'PKM RECOVERY ECONOMY KELOMPOK UMKM SUKOLILO BERBASIS SUSTAINABILITY OF BLUE ECONOMY RESOURCE', *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat dan Corporate Social Responsibility (PKM-CSR)*, 6, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.37695/pkmcsr.v6i0.2029>.
- Murillas-Maza, A. *et al.* (2011) 'The value of open ocean ecosystems: A case study for the Spanish exclusive economic zone', *Natural Resources Forum*, 35(2), pp. 122–133. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2011.01383.x>.
- Myers, R.A. and Worm, B. (2003) 'Rapid worldwide depletion of predatory fish communities', *Nature*, 423(6937), pp. 280–283. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature01610>.
- Nor, M., Salim, D. and Hamdani, H. (2024) 'STATUS DAN DISTRIBUSI SPASIAL PADANG LAMUN DI PERAIRAN TANJUNG SINGKAI KABUPATEN KOTABARU KALIMANTAN SELATAN', *Marine Coastal and Small Islands Journal - Jurnal Ilmu Kelautan*, 4(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.20527/m.v4i1.11777>.
- Nursid, M. *et al.* (2005) 'HUBUNGAN ANTARA KEBERADAAN DURI DENGAN TOKSISITAS KARANG LUNAK DAN SPONGE', *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 11(8), pp. 83–92. Available at: <https://doi.org/10.15578/jppi.11.8.2005.83-92>.
- Nybakken, J.W. and Bertness, M.D. (2004) *Marine Biology: an Ecological Approach*. 6th edn. San Fransisco: Pearson Education, Inc., Publishing as Benjamin Cummings.
- Oprasmani, E., Amelia, T. and Muhartati, E. (2020) 'Membangun Masyarakat Peduli Lingkungan Pesisir Melalui Edukasi Kepada Masyarakat Kota Tanjungpinang Terkait Pelestarian Daerah Pesisir', *To Maega : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), pp. 66–73. Available at: <https://doi.org/10.35914/tomaega.v3i2.372>.
- Orth, R.J. *et al.* (2006) 'A Global Crisis for Seagrass Ecosystems', *BioScience*, 56, pp. 987–996. Available at:

- [https://doi.org/https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[987:AGCFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[987:AGCFSE]2.0.CO;2).
- Paine, R.T. (1966) 'Food Web Complexity and Species Diversity', *The American Naturalist*, 100(910), pp. 65–75. Available at: <https://doi.org/10.1086/282400>.
- Paleczny, M. *et al.* (2015) 'Population Trend of the World's Monitored Seabirds, 1950-2010', *PLOS ONE*. Edited by M. Krkosek, 10(6), p. e0129342. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129342>.
- Palumbi, S.R. *et al.* (2009) 'Managing for ocean biodiversity to sustain marine ecosystem services', *Frontiers in Ecology and the Environment*, pp. 204–211. Available at: <https://doi.org/10.1890/070135>.
- Pauly, D. *et al.* (1998) 'Fishing Down Marine Food Webs', *Science*, 279(5352), pp. 860–863. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2895035> (Accessed: 4 October 2024).
- Permana, R. and Andhikawati, A. (2023) 'Penanaman Bibit Mangrove di Kawasan Tanjung Cemara Kabupaten Pangandaran sebagai Upaya Perlindungan Wilayah Pesisir', *Farmers : Journal of Community Services*, 4(1), p. 11. Available at: <https://doi.org/10.24198/fjcs.v4i1.45067>.
- Ping, B. *et al.* (2023) 'Oceanic Primary Production Estimation Based On Machine Learning', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128(5). Available at: <https://doi.org/10.1029/2022JC018980>.
- Poloczanska, E.S. *et al.* (2016) 'Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans', *Frontiers in Marine Science*, 3(MAY). Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00062>.
- Prasenja, Y., Alamsyah, A.T. and Bengen, D.G. (2017) 'SUSTAINABILITY ANALYSIS OF MANGROVE ECOSYSTEM FOR ECOFISHERYTURISM IN SIDOARJO LUMPUR ISLAND', *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), pp. 255–264. Available at: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i1.17940>.
- Putra, R.D. *et al.* (2023) 'Pemetaan Luasan Ekosistem Lamun Menggunakan Citra Sentinel 2A Tahun 2018 Dan Tahun

- 2020 Di Perairan Desa Pengudang, Pulau Bintan', *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3), pp. 403–412. Available at: <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i3.52800>.
- Putri, P.I.D. *et al.* (2023) 'Indonesia Coral Reef Garden Sanur Bali: Pemulihan Ekonomi Nasional melalui Restorasi Terumbu Karang', *International Journal of Community Service Learning*, 7(2), pp. 168–177. Available at: <https://doi.org/10.23887/ijcsl.v7i2.56525>.
- Rahman, I. *et al.* (2021) 'Keanekaragaman Jenis Lamun Di Perairan Gili Gede, Lombok Barat', *Journal of Marine Research*, 10(4), pp. 581–588. Available at: <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i4.32282>.
- Ramadhan, A. and Salim, W.A. (2019) 'MENCAPAI KEBERLANJUTAN EKOSISTEM LAUT MELALUI MARINE SPATIAL PLANNING (MSP): MUNGKINKAH?', *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 9(1), p. 11. Available at: <https://doi.org/10.15578/jksekp.v9i1.7420>.
- Rendra P.A, A. and Juniarto, D. (2024) 'PERAN HUKUM DALAM KEBIJAKAN PERLINDUNGAN TERUMBUH KARANG', *Riset Sains dan Teknologi Kelautan*, 7(1), pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.62012/sensistek.v7i1.31605>.
- Roberts, C.M. *et al.* (2017) 'Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(24), pp. 6167–6175. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1701262114>.
- Rocha, J. *et al.* (2015) 'Marine regime shifts: drivers and impacts on ecosystems services', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1659), p. 20130273. Available at: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0273>.
- Salanggon, A.M. *et al.* (2022) 'Kondisi Terumbu Karang di Kawasan Konservasi Perairan Morowali', *Jurnal Kelautan Nasional*, 17(3), p. 209. Available at: <https://doi.org/10.15578/jkn.v17i3.10950>.
- Sato, M., Nakamura, Y. and Hori, M. (2021) 'Potential stocks of reef fish-based ecosystem services in the Kuroshio Current region: Their relationship with latitude and biodiversity',

- Population Ecology*, 63(1), pp. 75–91. Available at: <https://doi.org/10.1002/1438-390X.12061>.
- Schmidt, D.N. (2017) 'Determining climate change impacts on ecosystems: the role of palaeontology', *Palaeontology*. Edited by A. Smith, 61(1), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1111/pala.12335>.
- Schulz, K. *et al.* (2020) 'Coastal wetland restoration improves habitat for juvenile sportfish in Tampa Bay, Florida, USA', *Restoration Ecology*, 28(5), pp. 1283–1295. Available at: <https://doi.org/10.1111/rec.13215>.
- Septiani, S., Akhrianti, I. and Pamungkas, A. (2022) 'Pemanfaatan Citra Sentinel 2A Untuk Pemetaan Sebaran Ekosistem Lamun Di Perairan Pulau Panjang, Bangka Tengah', *Journal of Tropical Marine Science*, 5(2), pp. 131–139. Available at: <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v5i2.3010>.
- Shi, H. *et al.* (2009) 'Sensitivity and uncertainty analysis of regional marine ecosystem services value', *Journal of Ocean University of China*, 8(2), pp. 150–154. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11802-009-0150-5>.
- Smale, D.A. and Wernberg, T. (2013) 'Extreme climatic event drives range contraction of a habitat-forming species', *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1754), p. 20122829. Available at: <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2829>.
- Smith, L.M. *et al.* (2010) 'The areal extent of brown shrimp habitat suitability in Mobile Bay, Alabama, USA: targeting vegetated habitat restoration', *Environmental Monitoring and Assessment*, 171(1–4), pp. 611–620. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1303-0>.
- Smith, V.H., Tilman, G.D. and Nekola, J.C. (1999) 'Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems', *Environmental Pollution*, 100(1–3), pp. 179–196. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3).
- Smith, W.E. and Nobriga, M.L. (2023) 'A bioenergetics-based index of habitat suitability: Spatial dynamics of foraging constraints and food limitation for a rare estuarine fish', *Transactions of*

- the American Fisheries Society*, 152(5), pp. 650–671. Available at: <https://doi.org/10.1002/tafs.10427>.
- Smyth, K. and Elliott, M. (2016) 'Effects of changing salinity on the ecology of the marine environment', in M. Solan and N. Whiteley (eds) *Stressors in the Marine Environment*. Oxford: Oxford University Press, pp. 161–174. Available at: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198718826.003.0009>.
- Stearns, S.C. (1992) 'THE EVOLUTION OF LIFE HISTORIES', in. Oxford: Oxford University Press.
- Subhan, B., H. E. Setiamarga, D. and Arafat, D. (2023) 'eDNA sebagai metode untuk pemantauan biodiversitas di Kawasan Konservasi Laut Indonesia secara efektif dan efisien', *Policy Brief Pertanian, Kelautan, dan Biosains Tropika*, 5(3). Available at: <https://doi.org/10.29244/Agro-Maritim.050323>.
- Supriyadi, I.H. *et al.* (2017) 'KONDISI TERUMBU KARANG, LAMUN DAN MANGROVE DI SUAKA ALAM PERAIRAN KABUPATEN RAJA AMPAT PROVINSI PAPUA BARAT', *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 23(4), pp. 241–252. Available at: <https://doi.org/10.15578/jppi.23.4.2017.241-252>.
- Thiault, L. *et al.* (2017) 'Combining participatory and socioeconomic approaches to map fishing effort in small-scale fisheries', *PLOS ONE*. Edited by S.C.A. Ferse, 12(5), p. e0176862. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176862>.
- Townsend, M. *et al.* (2018) 'The Challenge of Implementing the Marine Ecosystem Service Concept', *Frontiers in Marine Science*, 5(OCT). Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00359>.
- Unsworth, R.K.F. and Butterworth, E.G. (2021) 'Seagrass Meadows Provide a Significant Resource in Support of Avifauna', *Diversity*, 13(8), p. 363. Available at: <https://doi.org/10.3390/d13080363>.
- Valentino, N. *et al.* (2022) 'KARAKTERISTIK STRUKTUR KOMUNITAS MAKROZOOBENTOS DI PERAIRAN EKOSISTEM MANGROVE GILI LAWANG, LOMBOK TIMUR',

- Jurnal Belantara*, 5(1), pp. 119–130. Available at: <https://doi.org/10.29303/jbl.v5i1.888>.
- Vassilopoulos, A. and Koundouri, P. (2017) *Valuation of Marine Ecosystems, Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press. Available at: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.529>.
- Wahab, I., Madduppa, H. and Kwaroe, M. (2018) 'PERBANDINGAN KELIMPAHAN MAKROZOOBENTOS DI EKOSISTEM LAMUN PADA SAAT BULAN PURNAMA DAN PERBANI DI PULAU PANGGANG KEPULAUAN SERIBU JAKARTA', *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), pp. 217–229. Available at: <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.18974>.
- Wahid, N.I., Noviyanti, R. and Riani, E. (2019) 'PENGELOLAAN PERIKANAN PELAGIS BESAR DENGAN PENDEKATAN EKOSISTEM DI KABUPATEN MAMUJU UTARA SULAWESI BARAT', *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, 20(1), pp. 30–44. Available at: <https://doi.org/10.33830/jmst.v20i1.86.2019>.
- Wahyudin, G.D. and Afriansyah, A. (2020) 'Penanggulangan Pencemaran Sampah Plastik Di Laut Berdasarkan Hukum Internasional', *Jurnal IUS Kajian Hukum dan Keadilan*, 8(3), p. 529. Available at: <https://doi.org/10.29303/ius.v8i3.773>.
- Warsidah, W. *et al.* (2023) 'Fraksinasi dan Potensi Antioksidan dari Ekstrak Protein Kasar dari Spons Haliclona sp Asal Perairan Spermonde Sulawesi Selatan', *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 15(2), pp. 76–82. Available at: <https://doi.org/10.22437/jisic.v15i2.25557>.
- Watling, L. and Norse, E.A. (1998) 'Disturbance of the Seabed by Mobile Fishing Gear: A Comparison to Forest Clearcutting', *Conservation Biology*, 12(6), pp. 1180–1197. Available at: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1998.0120061180.x>.
- Wernberg, T. *et al.* (2024) 'Impacts of Climate Change on Marine Foundation Species', *Annual Review of Marine Science*, 16, pp. 247–282. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-042023>.

- Woodson, C.B. *et al.* (2019) 'Harnessing marine microclimates for climate change adaptation and marine conservation', *Conservation Letters*, 12(2). Available at: <https://doi.org/10.1111/conl.12609>.
- Yanti, D. *et al.* (2021) 'Fishery Management for Crab Resources Using an Ecosystem Approach', in *Proceedings of the First International Conference on Economics, Business and Social Humanities, ICONESBS 2020, November 4-5, 2020, Madiun, Indonesia*. EAI. Available at: <https://doi.org/10.4108/eai.4-11-2020.2304633>.
- Zhang, C. and Wang, M. (2023) 'Health diagnosis of coastal zone ecosystem: China's case', *Frontiers in Public Health*, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1038761>.
- Zhang, K. *et al.* (2023) 'Editorial: Impact of extreme climate events on marine ecosystems: Adaptation and challenges', *Frontiers in Marine Science*, 10. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1187357>.
- Zheng, T. and You, X.-Y. (2013) 'Assessment of marine ecosystem health of Tianjin Offshore, China', *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 42(4), pp. 442–450. Available at: <https://doi.org/10.2478/s13545-013-0100-0>.
- zu Ermgassen, P.S.E. *et al.* (2021) 'Estimating and Applying Fish and Invertebrate Density and Production Enhancement from Seagrass, Salt Marsh Edge, and Oyster Reef Nursery Habitats in the Gulf of Mexico', *Estuaries and Coasts*, 44(6), pp. 1588–1603. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12237-021-00935-0>.
- Zurba, N. and Cahyani, W.S. (2022) 'Pengelolaan Potensi Ekonomi dan Strategi Kebijakan pada Ekosistem Mangrove di Kuala Langsa Aceh', *Media Agribisnis*, 6(2), pp. 262–271. Available at: <https://doi.org/10.35326/agribisnis.v6i2.2843>.

BAB 2

DAERAH PENYEBARAN DAN DISTRIBUSI MANGROVE

Oleh Muh. Azril

2.1 Pendahuluan

2.1.1 Pengertian Mangrove

Istilah "mangrove" banyak ditafsarkan dalam berbagai perspektif oleh para ahli. Tomlinson (1986) dan Wightman (1989) *dalam* (Noor et al., 1999) menyebutkan bahwa mangrove baik sebagai spesies tumbuhan yang menghuni zona pasang surut maupun sebagai komunitas ekologis. Selain itu, mangrove atau sering juga disebut bakau digambarkan sebagai formasi vegetatif yang melambangkan daerah litoral di sepanjang pantai lingkungan tropis dan subtropis yang terlindung. Menurut Soerianegara (1987) *dalam* (Noor et al., 1999), hutan mangrove digambarkan sebagai ekosistem hutan yang sebagian besar tumbuh subur di substrat lumpur aluvial di dalam zona pesisir dan muara sungai yang dapat dipengaruhi oleh kekuatan pasang surut laut, terdiri dari spesies pohon seperti *Aicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Lumnitzera*, *Excoecaria*, *Xylocarpus*, *Aegiceras*, *Scyphyphora*, dan *Nypa*.

Secara umum hutan mangrove didefinisikan sebagai suatu jenis hutan yang terdapat berbagai jenis tumbuhan yang memiliki kemampuan penyesuaian atau adaptasi terhadap perubahan salinitas (kadar garam), tipe tanah, pasang-surut air laut, serta hempasan gelombang angin laut. Hutan mangrove dapat tumbuh dengan baik di daerah sepanjang pesisir pantai, muara sungai, bahkan juga di rawa gambut (Purnomo & Permatasari, 2021).

Zona hutan mangrove terbentuk akibat dari pengaruh pasang surut air laut, dimana pada bagian yang selalu tergenang oleh air laut dapat ditemukan jenis mangrove *Avicennia* spp. dan *Sonneratia* spp. dengan media tumbuh pasir. Sedangkan pada area substrat

berlumpur bagian depan didominasi jenis mangrove *Rhizophora* spp. Adapun wilayah pesisir yang tergenang oleh pasang sedang ditemukan jenis-jenis *Rhizophora* atau yang dikenal juga sebagai bakau (Noor et al., 1999).

2.1.2 Pentingnya Mangrove dan Ekosistem Pesisir

Hutan mangrove menawarkan begitu banyak manfaat bagi kehidupan umat manusia. Mangrove merupakan ekosistem yang sangat produktif yang menghasilkan berbagai produk baik secara langsung maupun tidak langsung. Contohnya seperti kayu bakar, bahan bangunan, keperluan dalam rumah tangga kertas, kulit, obat-obatan dan berperan penting bagi sektor perikanan. Mangrove juga menjadi habitat bagi biota-biota perairan sebagai tempat pemijahan (*spawning ground*), tempat pemeliharaan (*nursery ground*), dan tempat mencari makan (*feeding ground*). Berbagai jenis udang penaeid di Indonesia, Kakap (*Lates calcarifer*), kepiting mangrove (*Scylla serrata*) serta ikan salmon (*Polynemus sheridani*) merupakan jenis biota perairan yang sangat bergantung kepada habitat mangrove secara langsung (Griffin, 1985 dalam Noor et al., 1999). Tentu dengan ekosistem mangrove yang lestari mampu meningkatkan produktivitas biota perairan yang dapat dimanfaatkan oleh manusia (Purnomo & Permatasari, 2021).

Peranan penting ekosistem mangrove lainnya yaitu sebagai media penahan gelombang air laut (tsunami), angin kencang dan badai bagi kawasan pesisir, pemukiman, dan bangunan serta lahan pertanian. Karakter mangrove dengan sistem perakarannya yang kuat juga mampu mencegah intrusi air laut sehingga kualitas air tanah di daratan tetap terjaga, dapat meningkatkan dan menstabilkan substrat lumpur, memperlambat arus, dan vegetasi mangrove mampu memerangkap sedimen (Davies and Claridge, 1993 dan Othman, 1994 dalam Noor et al., 1999; Purnomo & Permatasari, 2021).

Daerah pesisir dan laut merupakan ekosistem yang saling terkait. Keanekaragaman hutan Indonesia secara signifikan berkontribusi terhadap pelestarian ekosistem lingkungan global, di antaranya adalah hutan bakau. Secara global, hutan mangrove hanya mewakili 0,4% dari total luas hutan. Namun

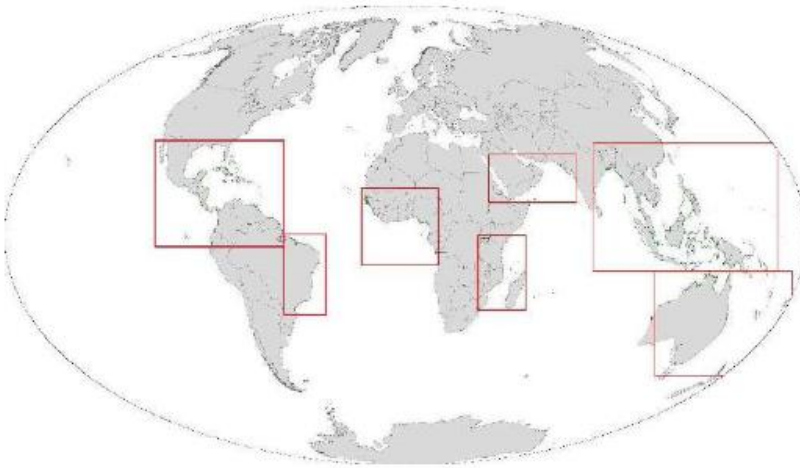
demikian, hutan-hutan ini memiliki fungsi penting sebagai penyerap karbon dan reservoir, dengan perkiraan mulai dari lebih dari 4 gigaton/tahun hingga 112 gigaton/tahun. Sayangnya, sebagian besar masyarakat belum mendapatkan informasi mengenai fungsi penting hutan bakau ini (Rahim & Baderan, 2017).

Seperti dicatat oleh Ilmiliyana et al., (2012) *dalam* Rahim & Baderan, (2017), tegakan mangrove *Rhizophora stylosa* di Sampang, Madura, telah menunjukkan kapasitas yang mengesankan untuk menyerap karbon, sebesar 751.581 ton CO₂/ha, dengan total biomassa 196.855 ton/ha. Selain itu, nilai intrinsik hutan bakau dapat dimanfaatkan untuk kemajuan ekowisata. Sama pentingnya, ekosistem mangrove berfungsi sebagai habitat bagi berbagai spesies karakteristik fauna (Purnomo & Permatasari, 2021).

Ekosistem mangrove adalah lingkungan yang khas, karena mengintegrasikan ekosistem darat dan laut, sehingga menjadi habitat beragam biota darat dan akuatik. Kondisi unik tersebut, menghadirkan peluang menarik dalam sektor pendidikan dan penelitian, dengan fokus pada faktor biofisik dan sosial-ekonomi untuk memfasilitasi pengelolaan sumber daya hayati yang berkelanjutan di wilayah pesisir (Rahim & Baderan, 2017).

2.2 Sebaran Mangrove di Dunia

Mangrove sebagian besar tumbuh subur di daerah yang terletak di antara garis lintang 30° utara dan selatan khatulistiwa, meskipun vegetasi seperti itu sebagian besar tidak ada di banyak pulau di Samudra Pasifik (Spalding et al., 1997 *dalam* Djamaluddin, 2018). Di belahan bumi utara, distribusi mangrove terbatas pada lokasi seperti Bermuda (32°20' LU) dan Jepang (31°22' LU). Sebaliknya, di selatan, populasi bakau meluas hingga Australia Selatan (38°45' LS) dan Selandia Baru (38°03' LS). Gambar 2.1 menggambarkan distribusi global sebaran mangrove (Djamaluddin, 2018).



Gambar 2.1. Distribusi Mangrove di Dunia
(Sumber: Nasa, 2010 *dalam* Djamaluddin, 2018)

2.2.1 Wilayah Tropis dan Subtropis

Setiap spesies mangrove memiliki ambang toleransi fisiologis tertentu mengenai suhu rendah, sebagaimana dibuktikan oleh batas distribusi vegetasi tersebut ke daerah kutub. Akibatnya, distribusi global bakau sangat dibatasi oleh faktor terkait suhu (Duke dkk., 1998 *dalam* Djamaluddin, 2018).

Distribusi mangrove yang luas hanya terjadi di daerah di mana suhu udara tidak kurang dari 20°C selama musim terdingin, dan di mana variasi suhu musiman tidak melebihi 10°C (Walsh, 1974; Chapman, 1975 *dalam* Djamaluddin, 2018). Blasko (1984) *dalam* Djamaluddin, (2018), melakukan analisis menyeluruh tentang korelasi antara distribusi mangrove dan variabel iklim, khususnya berfokus pada curah hujan dan suhu. Temuannya mengungkapkan bahwa wilayah tempat mangrove berada dapat dikategorikan menjadi empat kelompok utama, yaitu:

1. Daerah panas, di mana sekitar 90% hutan bakau dunia berada, mencakup wilayah yang membentang dari Meksiko selatan ke Kolombia, Karibia, Brasil utara, dan Asia Tenggara hingga Queensland utara di Australia.

2. Daerah *Sub-humid*/sub-lembab, di mana hutan bakau hadir secara sporadis, termasuk wilayah di Afrika Timur, Queensland Selatan, Meksiko, dan Venezuela.
3. Daerah *Semi-arid*/semi kering, di mana keberadaan bakau sangat jarang, biasanya ditemukan di dekat muara sungai, seperti di Delta Indus (Pakistan), Gujarat (India), Australia Barat, dan Wilayah Utara.
4. Daerah *Arid*/kering, di mana hutan bakau hampir tidak ada, hanya ditemukan di mana curah hujan musim dingin terjadi, sebagaimana ditemukan di sepanjang Pantai Laut Merah, termasuk lokasi di Ethiopia dan Mesir, Gurun Persia, dan Gurun California.

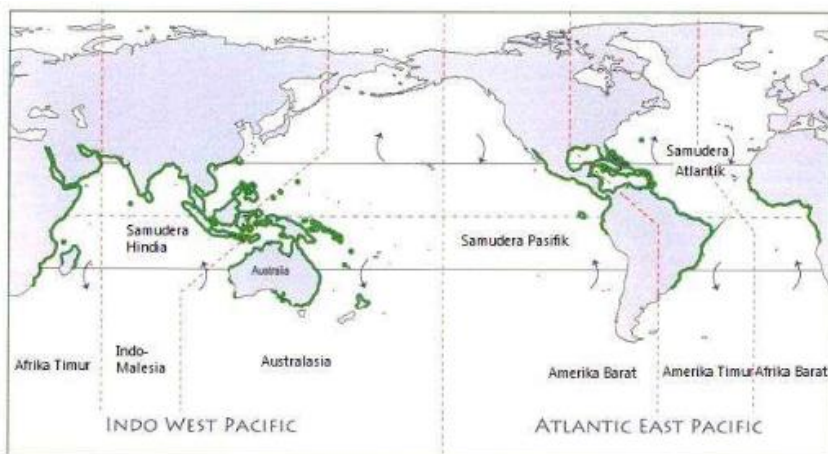
2.2.2 Wilayah Barat dan Timur

Sesuai temuan Tomlinson (1986) sebagaimana dikutip *dalam* Djamaluddin (2018), ada dua klasifikasi utama yang integral dari keanekaragaman mangrove, yaitu klasifikasi wilayah Barat dan Timur. Kelompok Barat, juga disebut sebagai Pasifik Timur Atlantik (*Atlantic East Pacific*) atau disingkat AEP, mencakup hutan bakau yang terletak di sepanjang pantai Afrika dan Amerika, termasuk Atlantik, Karibia, dan Gurun Mesiko, serta Pantai Barat Pasifik Amerika. Sebaliknya, kelompok Timur, diidentifikasi sebagai Indo-Pasifik Barat (*Indo-Pacific West*) atau disingkat IWP, termasuk hutan bakau di wilayah Indo-Pasifik dan terbatas pada Ujung Timur dan Barat benua Afrika. Berdasarkan analisis ada dan tidak adanya hutan bakau, Duke (1992) *dalam* Djamaluddin, (2018) mengkategorikan distribusi global bakau menjadi enam wilayah biogeografi yang berbeda, yaitu:

1. Amerika Bagian Barat dan Pasifik Bagian Barat,
2. Amerika Bagian Timur dan Karibia,
3. Afrika Bagian Barat,
4. Afrika Bagian Timur dan Madagaskar,
5. Indo-Malesia dan Asia,
6. Australia dan Pasifik Bagian Barat.

Wilayah biogeografi 1, 2, dan 3 termasuk dalam klasifikasi AEP, sedangkan tiga wilayah lainnya termasuk dalam klasifikasi

IWP. Secara umum, keanekaragaman spesies mangrove di IWP empat kali lipat lebih besar daripada wilayah AEP. Sampai saat ini, dokumentasi komprehensif spesies mangrove di keenam wilayah biogeografi terus ditambah, salah satunya dapat dilihat dalam Duke et al. (1998) sebagaimana dirujuk dalam *dalam* Djamaluddin, (2018). Representasi kartografi distribusi bakau di enam wilayah biogeografi diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Enam wilayah biogeografi menurut Duke
(Sumber: Duke, 2002 *dalam* Djamaluddin, (2018))

2.3 Penyebaran Mangrove di Indonesia

Indonesia menyediakan lingkungan yang ideal bagi berkembangbiakan mangrove, yang disebabkan oleh pertemuan faktor iklim, geologi, dan oseanografi. Akibatnya, selama habitat yang sesuai tersedia untuk vegetasi mangrove di dalam zona intertidal, mangrove ini akan tumbuh subur dan membentuk ekosistem. Luasnya cakupan mangrove di lokasi tertentu ditentukan oleh ketersediaan dan besarnya habitat pertumbuhan yang sesuai. Di sepanjang garis pantai Indonesia, mangrove ini diamati tumbuh subur, membentuk hutan pesisir yang luas di berbagai topografi pesisir, termasuk teluk (misalnya, Teluk Tomini di Pulau Sulawesi), delta di pertemuan sungai penting (misalnya, Delta Mahakam di pantai timur Kalimantan), garis pantai yang landai (misalnya, pantai

timur Pulau Sumatera), dan laguna (misalnya, Laguna Segara Anakan) di Cilacap). Di daerah pesisir lainnya, baik di daratan pulau-pulau yang lebih besar maupun di dalam kelompok pulau yang lebih kecil, tumbuhan ini dapat ditemukan dalam distribusi sporadis, membentuk komunitas yang relatif kecil (Djamaluddin, 2018).

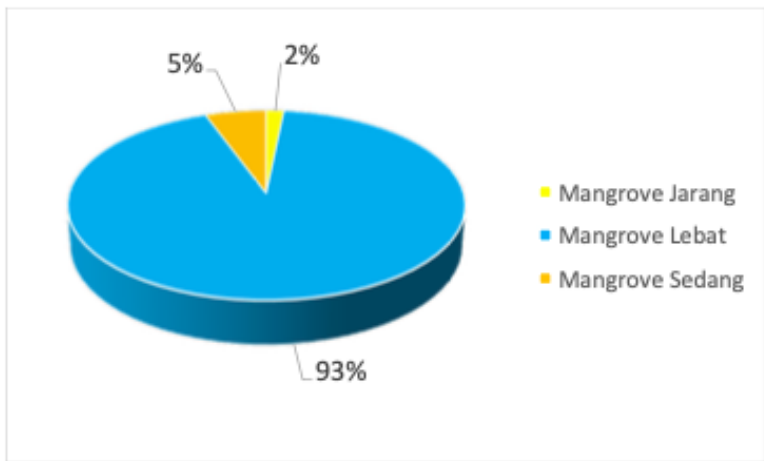
2.3.1 Luas dan Keberagaman Mangrove di Indonesia

Pada tahun 2010, dilaporkan bahwa luas habitat mangrove di Indonesia merupakan sekitar 60% (setara dengan 3,06 juta hektar) dari total luas bakau 5,1 juta hektar di wilayah Asia Tenggara. Kawasan ini sejalan dengan perkiraan yang dikeluarkan oleh Pusat Survei Sumber Daya Alam Laut (PSSDAL), Bakosurtanal, yang menunjukkan 3,244 juta hektar berdasarkan data citra yang dikumpulkan antara tahun 2006 dan 2009 (Djamaluddin, 2018). Menurut Peta Mangrove Nasional yang dirilis oleh Direktorat Konservasi Tanah dan Air, Direktorat Jenderal PDASRH, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, kawasan mangrove di Indonesia tercatat sebesar 3.364.080 hektar pada tahun 2021, dengan potensi luas habitat mangrove sebesar 756.183 hektar. Terdapat tiga kelompok kenampakan (fitur) mangrove saat ini (eksisting) yang digunakan yaitu mangrove lebat, mangrove sedang, dan mangrove jarang (Ditjen PDASRH, 2021).

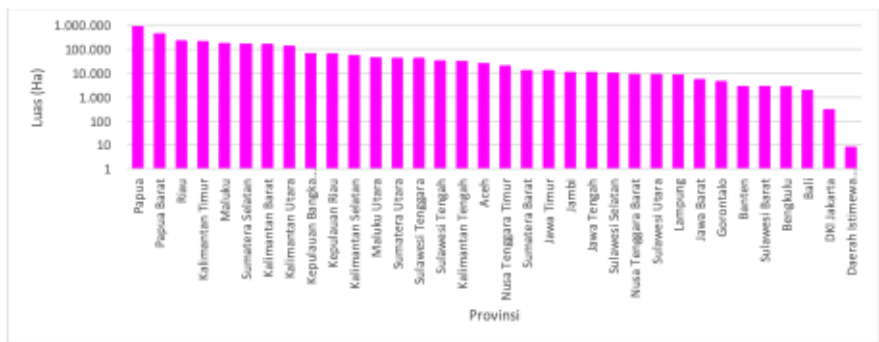
1. Mangrove lebat: Suatu tipe hutan (komunitas vegetasi khas) yang tumbuh di daerah pasang surut (terutama di pantai yang terlindung, laguna, muara sungai) yang tergenang pada saat pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitas tumbuhannya bertoleransi terhadap garam, dengan persentase kerapatan tajuk >70%.
2. Mangrove sedang: Suatu tipe hutan (komunitas vegetasi khas) yang tumbuh di daerah pasang surut (terutama di pantai yang terlindung, laguna, muara sungai) yang tergenang pada saat pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitas tumbuhannya bertoleransi terhadap garam, dengan persentase kerapatan tajuk 30 - 70%.
3. Mangrove jarang: Suatu tipe hutan (komunitas vegetasi khas) yang tumbuh di daerah pasang surut (terutama di pantai yang terlindung, laguna, muara sungai) yang tergenang pada

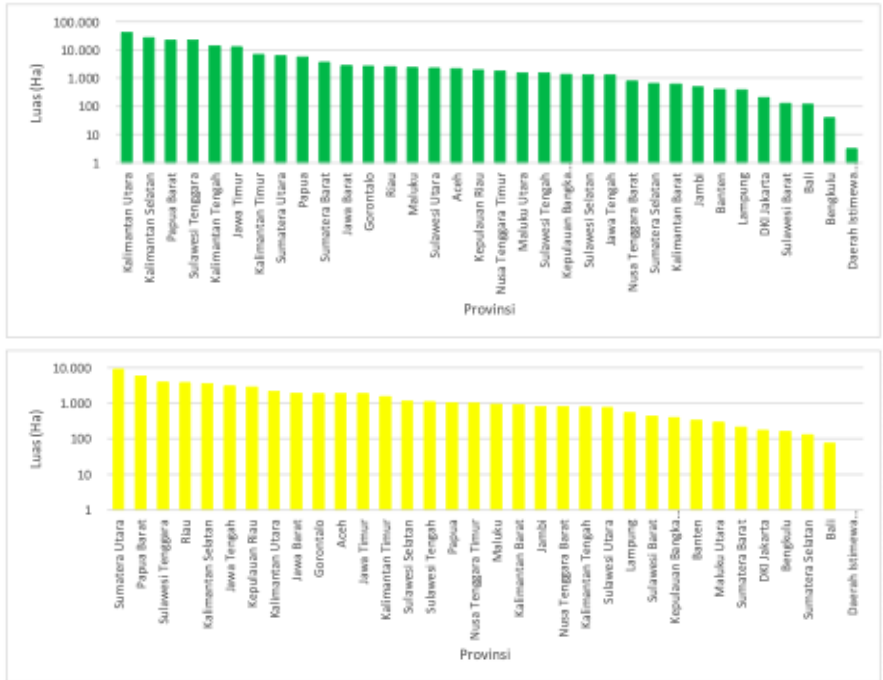
saat pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitas tumbuhannya bertoleransi terhadap garam, dengan persentase kerapatan tajuk <30%.

Dari total luas mangrove Indonesia sebesar 3.364.080 Ha, luas mangrove berdasarkan klasifikasi tersebut dirincikan sebagai berikut: mangrove lebat dengan luas 3.121.240 Ha (92,78%), mangrove sedang sebesar 188.366 Ha (5,60%), dan mangrove jarang seluas 54.474 Ha (1,62%) (Ditjen PDASRH, 2021), seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3. Diagram lingkaran proporsi mangrove eksisting berdasarkan tingkat kerapatan
(Sumber:Ditjen PDASRH, 2021)





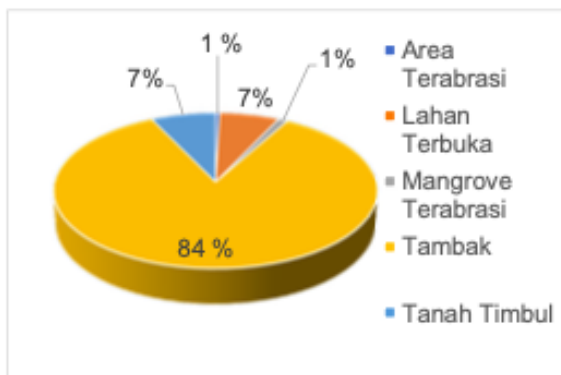
Gambar 2.4. Diagram lingkaran proporsi mangrove eksisting berdasarkan tingkat kerapatan Urutan peringkat provinsi yang memiliki luasan mangrove lebat (atas), sedang (tengah), dan jarang (bawah) dari yang terbesar hingga terkecil (Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)

Adapun luas potensi habitat mangrove dikelompokkan berdasarkan kelompok kanampakan (fitur) potensi habitat mangrove yang meliputi:

1. Area Terabrasi: Bagian habitat mangrove yang sebelumnya tidak ditumbuhi mangrove, yang hilang dikarenakan proses marin berupa pengikisan karena tenaga gelombang atau arus laut.
2. Mangrove terabrasi: Bagian habitat mangrove yang sebelumnya ditumbuhi mangrove, yang hilang dikarenakan proses marin berupa pengikisan karena tenaga gelombang atau arus laut.

3. Lahan Terbuka: Lahan tanpa tutupan vegetasi baik alamiah maupun non alamiah dan berasosiasi dengan ekosistem mangrove (di daerah pantai atau sekitar muara sungai yang terpengaruh pasang surut).
4. Tambak: Lahan yang dibangun untuk tujuan budidaya perikanan atau penggaraman, yang dialiri/diisikan dengan payau/laut, dimana sebelumnya diidentifikasi sebagai ekosistem mangrove.
5. Tanah Timbul (akresi): Lahan tanpa tutupan vegetasi, berupa endapan lumpur yang terjadi secara alamiah karena proses marin atau fluvio-marin, dan berada dihabitat mangrove.

Potensi habitat mangrove di Indonesia, total luasnya adalah 756.183 Ha yang terdiri dari berbagai kondisi tutupan lahan yaitu area terabrasi (4.129 Ha), lahan terbuka (55.889 Ha), mangrove terabrasi (8.200 Ha), tambak (631.802 Ha) dan tanah timbul (56.162 Ha). Diantara berbagai kondisi tutupan lahan tersebut, yang dominan adalah tambak sebesar lebih kurang 84% dari potensi habitat mangrove, disusul oleh tanah timbul sebesar 7% seperti yang terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Diagram lingkaran proporsi potensi habitat mangrove berdasarkan kondisi penutupan lahannya
(Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)

Pada tahun 2023, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mengeluarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6636 Tahun 2024 tentang Peta Mangrove Nasional Tahun 2023. Berdasarkan data dalam Keputusan tersebut, data luasan mangrove eksisting menurut provinsi yang tertuang meningkat jika dibandingkan data Peta Mangrove Nasional Tahun 2021 dari 3.364.080 Ha menjadi 3.442.614 Ha dan luas potensi habitat mangrove dari 756.183 Ha menjadi 777.636 Ha, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1, dan peta sebaran mangrove di Indonesia pada Gambar 2.6.

Tabel 2.1. Data Luas Mangrove dan Potensi Habitat Mangrove Tahun 2023

No	Provinsi	Luas (Ha)	
		Mangrove Eksisting	Potensi Habitat Mangrove
1	Aceh	30.137	18.126
2	Sumatera Utara	59.765	24.458
3	Sumatera Barat	16.638	977
4	Riau	231.038	13.431
5	Kepulauan Riau	66.939	5.183
6	Kepulauan Bangka Belitung	66.583	9.594
7	Bengkulu	2.757	1.823
8	Jambi	12.434	667
9	Sumatera Selatan	171.265	48.021
10	Lampung	10.096	346
11	Banten	3.787	11.027
12	DKI Jakarta	613	39
13	Jawa Barat	12.205	39.305
14	Jawa Tengah	14.339	43.140
15	Daerah Istimewa Yogyakarta	15	12
16	Jawa Timur	30.888	43.173
17	Bali	2.287	237
18	Nusa Tenggara Barat	11.130	4.182

No	Provinsi	Luas (Ha)	
		Mangrove Eksisting	Potensi Habitat Mangrove
19	Nusa Tenggara Timur	22.997	4.230
20	Kalimantan Barat	162.219	14.025
21	Kalimantan Tengah	46.574	18.470
22	Kalimantan Selatan	81.765	31.638
23	Kalimantan Timur	240.005	112.972
24	Kalimantan Utara	203.926	135.421
25	Sulawesi Utara	11.987	1.371
26	Gorontalo	9.277	13.837
27	Sulawesi Tengah	36.340	12.142
28	Sulawesi Barat	3.526	2.523
29	Sulawesi Selatan	11.067	124.604
30	Sulawesi Tenggara	65.000	28.609
31	Maluku Utara	47.750	852
32	Maluku	187.125	408
33	Papua Barat	326.035	804
34	Papua	162.242	2.863
35	Papua Barat Daya	154.119	3.669
36	Papua Tengah	282.504	3.143
37	Papua Selatan	645.238	2.307
Total		3.442.614	777.636

Sumber: (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024)



Gambar 2.6. Peta Mangrove Nasional Tahun 2023
(Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024)

2.3.2 Daerah Utama Penyebaran dan Perbandingan Sebaran di Wilayah Barat, Tengah dan Timur Indonesia

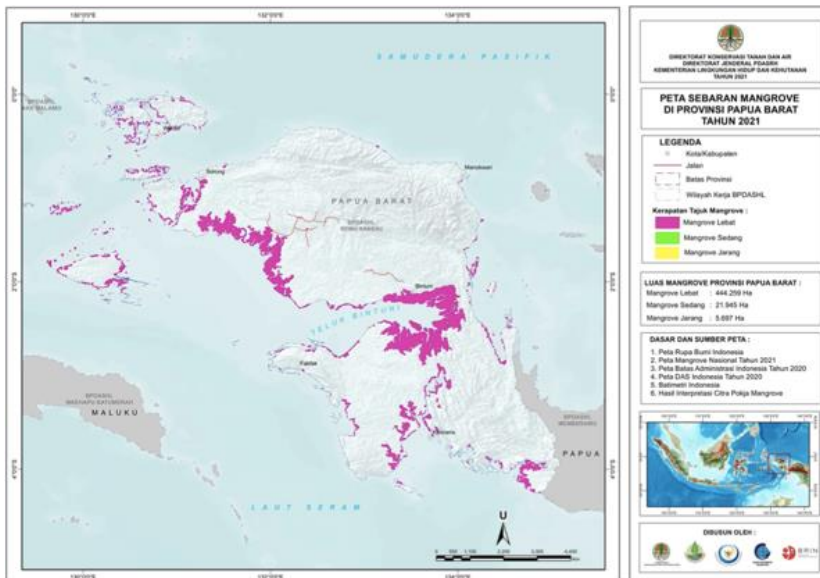
Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 2.1 bahwa kawasan mangrove terluas di Indonesia berada di Pulau Papua dengan luasan mencapai 1.570.138 Ha (45,6%) dari total luasan mangrove di Indonesia. Luasan mangrove terbesar kedua sebesar 734.489 ha (21,3%) berada di pesisir Pulau Kalimantan, dan ketiga sebesar 667.650 ha (19,4%) berada di pesisir Pulau Sumatera ((Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024).

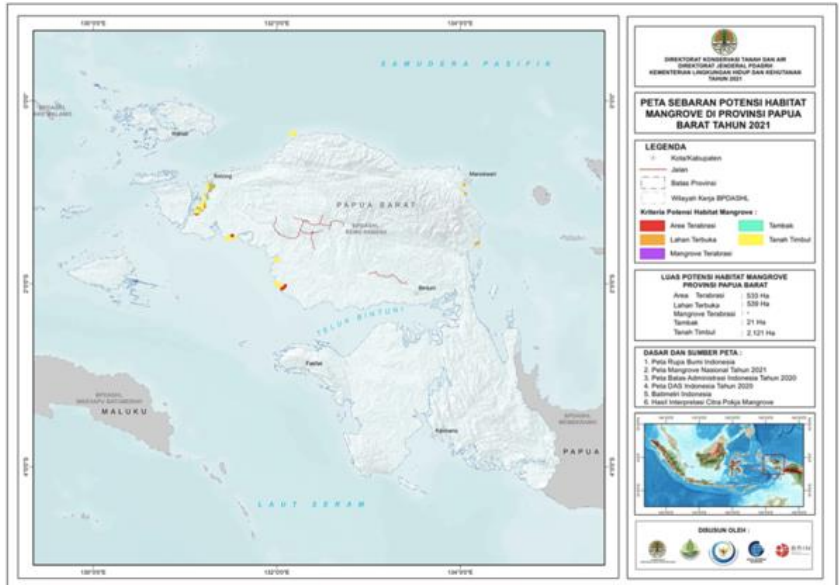
Berikut ini disajikan peta mangrove terluas di Indoneisa yang tersebar di tiga pulau berdasarkan Peta Mangrove Nasional Direktorat Konservasi Tanah dan Air, Ditjen PDASRH, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2021:

1. Pulau Papua (Bagian Timur)

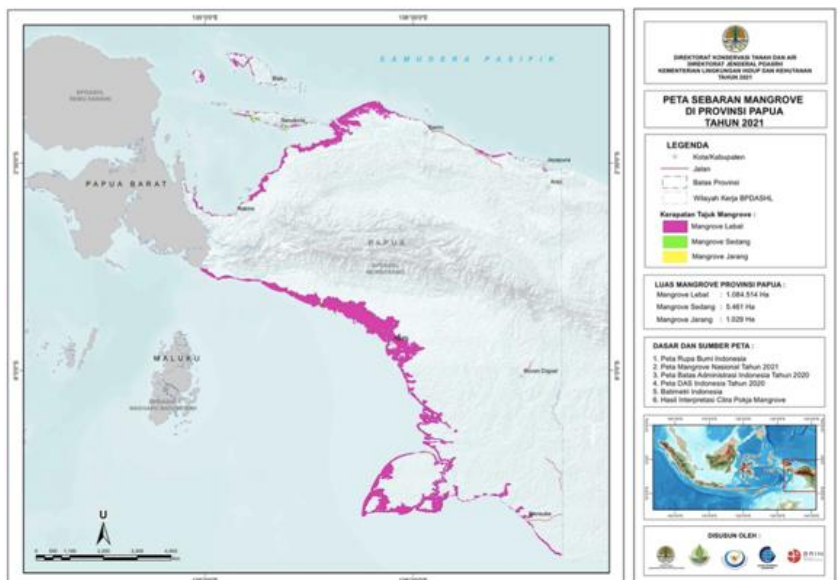
Sebelum terjadi pemekaran pada tahun 2022, pulau papua hanya terdiri dari dua provinis yaitu Papua dan Papua Barat. Total luas mangrove eksisting di Pulau Papua seluas 1.562.906 Ha dan luas potensi habitat mangrove seluas 11.534 Ha.

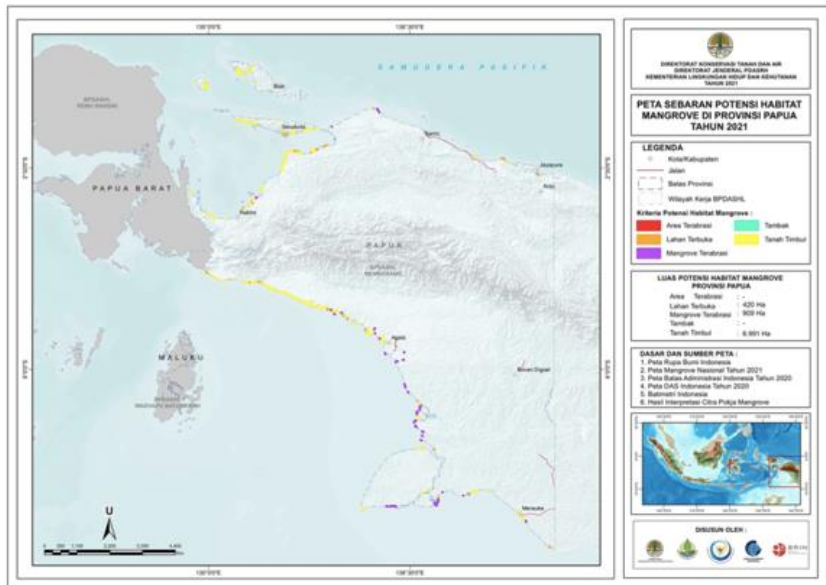
Provinsi Papua Barat memiliki luas mangrove eksisting seluas 471.902 Ha yang terdiri dari 444.259 Ha mangrove lebat, 21.945 Ha mangrove sedang, dan 5.697 Ha mangrove jarang. Adapun luas potensi habitat mangrovenya sebesar 3.214 Ha yang terdiri dari 533 Ha area terabrasi, 539 Ha lahan terbuka, 0 Ha mangrove terabrasi, 21 Ha tambak, dan 2.121 Ha tanah timbul (Gambar 2.7). Provinsi Papua memiliki luas mangrova eksisting seluas 1.091.004 Ha terdiri dari 1.084.514 Ha mangrove lebat, 5.461 Ha mangrove sedang, dan 1.029 Ha mangrove jarang. Adapun luas potensi habitat mangrovenya sebesar 8.320 Ha yang terdiri dari 0 Ha area terabrasi, 420 Ha lahan terbuka, 909 Ha mangrove terabrasi, 0 Ha tambak, dan 6.991 Ha tanah timbul (Gambar 2.8).





Gambar 2.7. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Papua Barat Tahun 2021
(Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)





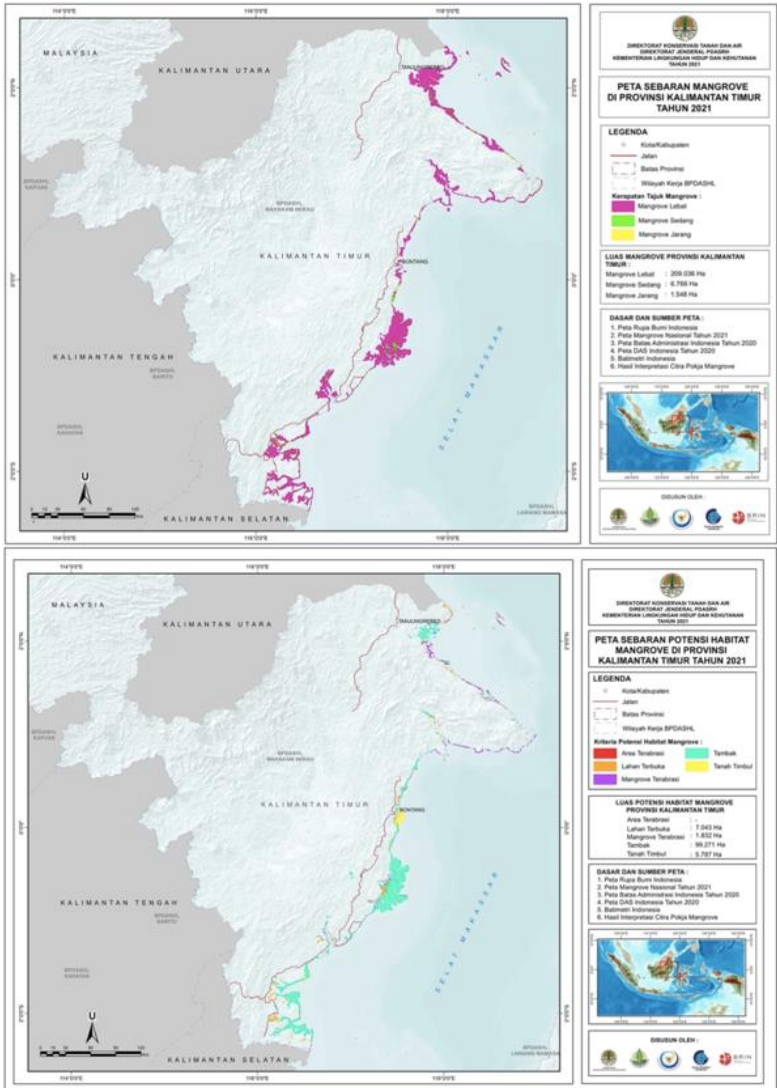
Gambar 2.8. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Papua Tahun 2021
(Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)

2. Pulau Kalimantan (Bagian Tengah)

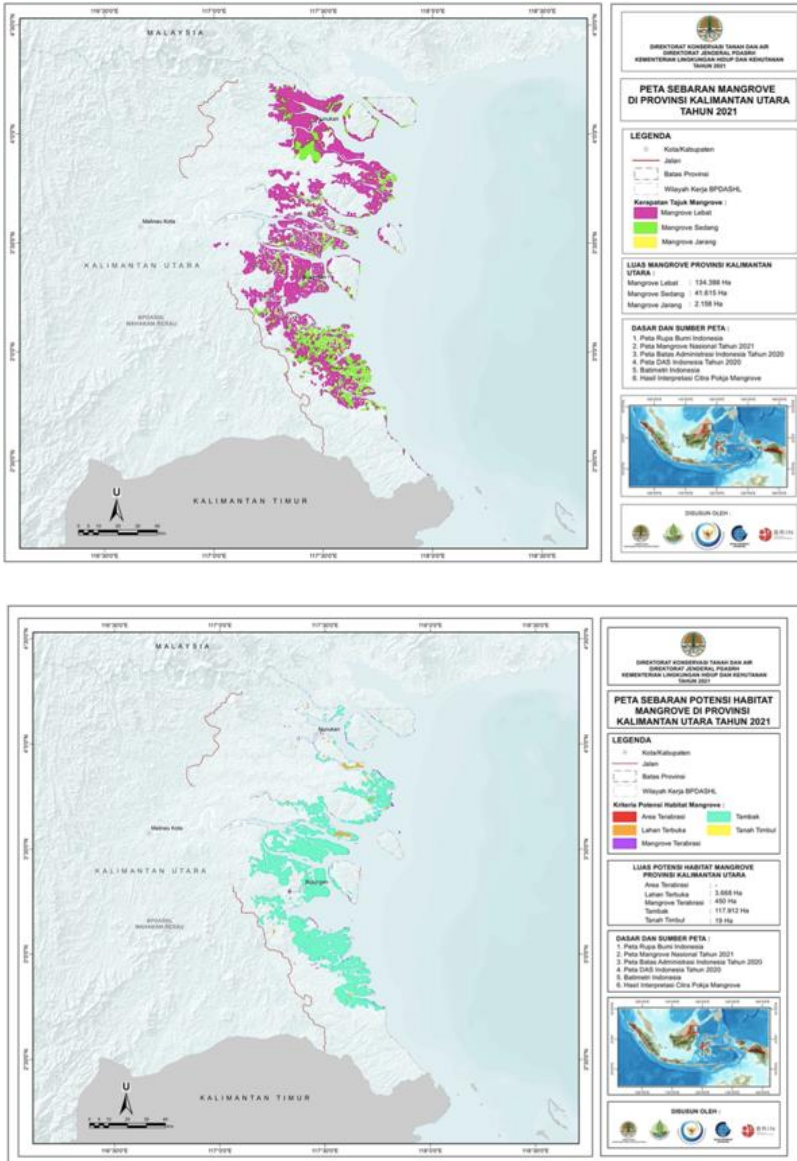
Pulau Kalimantan merupakan pulau yang memiliki luas mangrove terbesar kedua setelah Pulau Papua yang meliputi lima provinsi. Total luas mangrove eksisting di Pulau Kalimantan seluas 688.034 Ha dan luas potensi habitat mangrove seluas 290.042 Ha. Dari lima provinsi di Pulau Kalimantan, dua provinsi dengan mangrove terluas yakni Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara.

Provinsi Kalimantan Timur memiliki luas mangrove eksisting seluas 217.350 Ha yang terdiri dari 209.036 Ha mangrove lebat, 6.766 Ha mangrove sedang, dan 1.548 Ha mangrove jarang. Adapun luas potensi habitat mangrovenya sebesar 113.933 Ha yang terdiri dari 0 Ha area terabrasi, 7.043 Ha lahan terbuka, 1.832 Ha mangrove terabrasi, 99.271 Ha tambak, dan 5,787 Ha tanah timbul (Gambar 2.9). Provinsi Kalimantan Utara memiliki luas mangrova eksisting seluas 178.161 Ha terdiri dari 134.388 Ha mangrove lebat, 41.615 Ha mangrove sedang, dan

2.158 Ha mangrove jarang. Adapun luas potensi habitat mangrovenya sebesar 122.049 Ha yang terdiri dari 0 Ha area terabrasi, 3.668 Ha lahan terbuka, 450 Ha mangrove terabrasi, 117.912 Ha tambak, dan 19 Ha tanah timbul (Gambar 2.10).



Gambar 2.9. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2021 (Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)

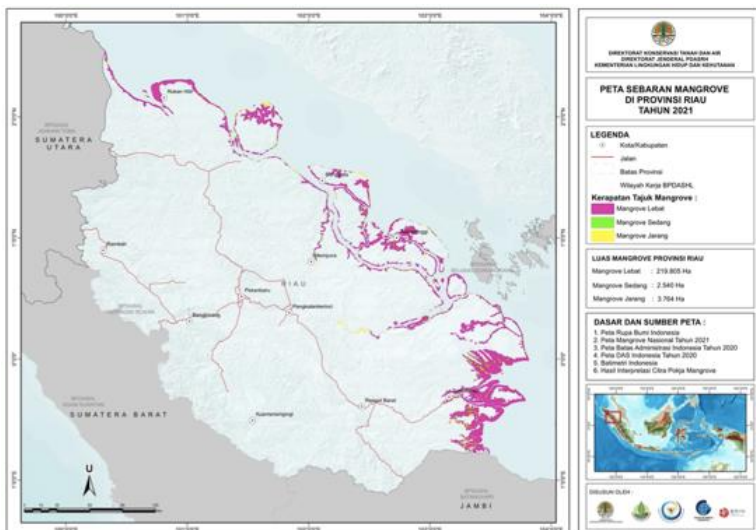


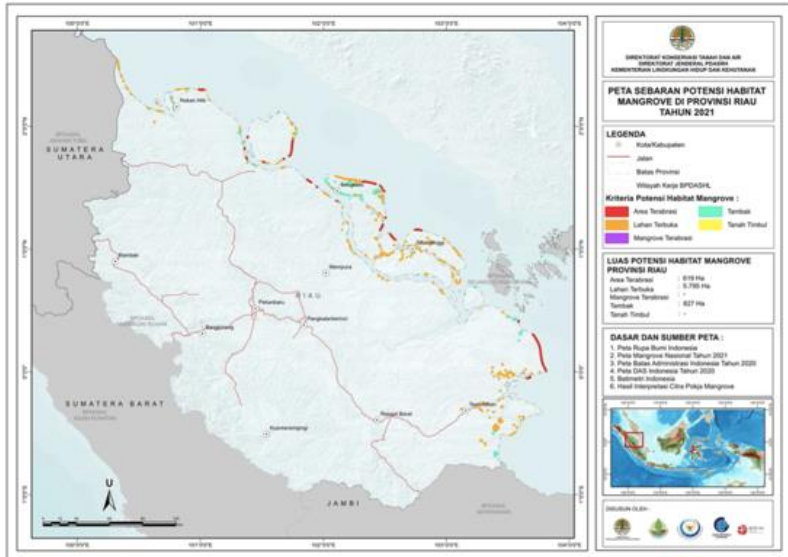
Gambar 2.10. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Kalimantan Utara Tahun 2021
(Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)

3. Pulau Sumatera (Bagian Barat)

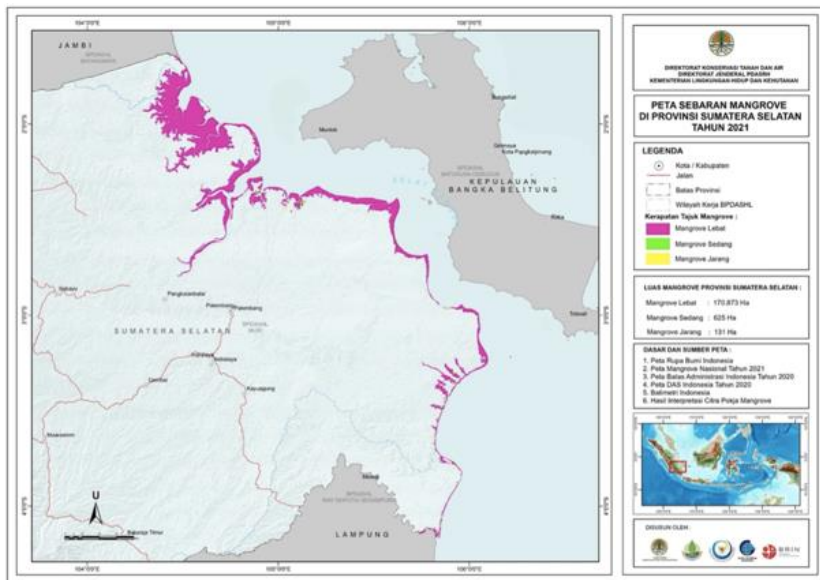
Pulau Sumatera merupakan pulau yang memiliki luas mangrove terbesar ketiga setelah Pulau Papua dan Pulau Kalimantan yang meliputi 10 provinsi mulai dari Naggorah Aceh Darussalam hingga Lampung. Total luas mangrove eksisting di Pulau Sumatera seluas 660.445 Ha dan luas potensi habitat mangrove seluas 118.549 Ha. Dari 10 provinsi di Pulau Sumatera, dua provinsi dengan mangrove terluas adalah Riau dan Sumatera Selatan.

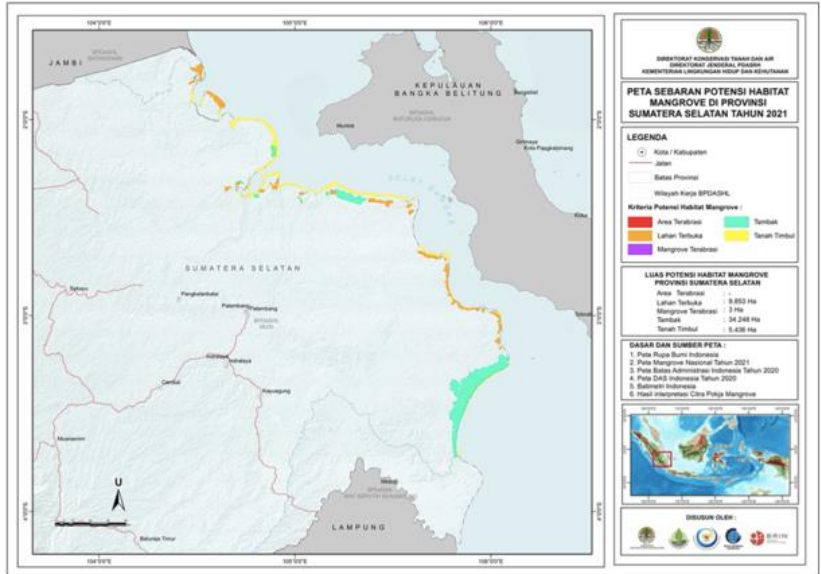
Provinsi Riau memiliki luas mangrove eksisting seluas 226.109 Ha yang terdiri dari 219.805 Ha mangrove lebat, 2.540 Ha mangrove sedang, dan 3.764 Ha mangrove jarang. Adapun luas potensi habitat mangrovenya sebesar 7.241 Ha yang terdiri dari 619 Ha area terabrasi, 5.795 Ha lahan terbuka, 0 Ha mangrove terabrasi, 827 Ha tambak, dan 0 Ha tanah timbul (Gambar 2.11). Provinsi Sumatera Selatan memiliki luas mangrova eksisting seluas 178.161 Ha terdiri dari 171.629 Ha mangrove lebat, 625 Ha mangrove sedang, dan 131 Ha mangrove jarang. Adapun luas potensi habitat mangrovenya sebesar 49.540 Ha yang terdiri dari 0 Ha area terabrasi, 9.853 Ha lahan terbuka, 3 Ha mangrove terabrasi, 34.248Ha tambak, dan 5.436 Ha tanah timbul (Gambar 2.12).





Gambar 2.11. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Riau Tahun 2021
(Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)





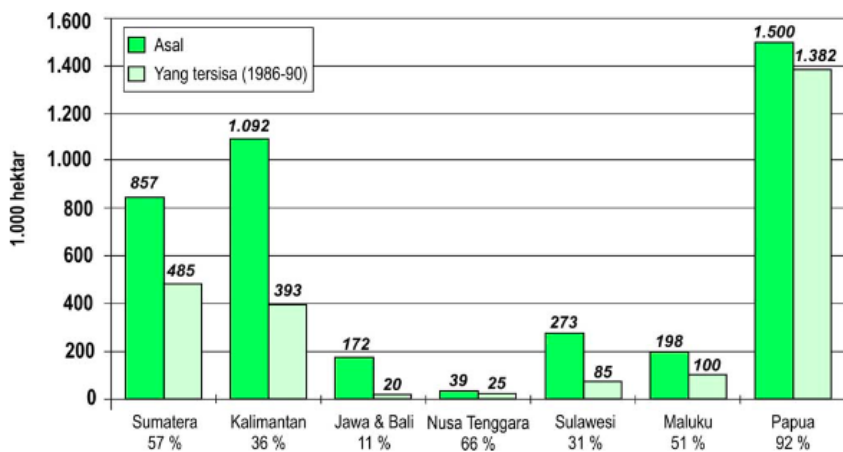
Gambar 2.12. Peta Mangrove Eksisting dan Potensi Habitat Mangrove Provinsi Sumatera Selatan Tahun 2021
(Sumber: Ditjen PDASRH, 2021)

2.3.3 Laju Penurunan Luas Areal Mangrove Indonesia

Saat ini, tren global terkait peningkatan degradasi ekosistem mangrove yang disebabkan oleh pemanfaatan sumber daya yang tidak berkelanjutan dan akibat alih fungsi lahan secara massif terus meningkat (Aksornkoae, 1993 *dalam* Noor et al., 1999). Fenomena ini juga dapat diamati di Indonesia. Data mengenai perkiraan luas mangrove di Indonesia menunjukkan variabilitas yang cukup besar, sehingga sulit untuk memastikan tingkat penurunan luas mangrove secara tepat. Menurut data yang disajikan oleh Noor et al., (1999), diindikasikan bahwa hamparan asli hutan mangrove di Indonesia selama periode 1985 hingga 1989 sekitar 4,13 juta hektar.

Dari perkiraan tersebut, sisa luas hutan bakau pada tahun 1990 tercatat hanya 2,49 juta hektar, atau mengalami degradasi mencapai 60%. Di dalam kawasan mangrove yang masih eksis, tercatat bahwa 58% terletak di Papua, sementara hanya 11% bertahan di Jawa. Sejalan dengan itu, tingkat hilangnya mangrove hingga tahun 1990 menunjukkan variabilitas yang signifikan, mulai dari hampir 10% di Papua hingga mendekati 100% di Jawa Timur.

Berdasarkan perhitungan yang diberikan, jika dianggap dapat diterima bahwa perkiraan luas bakau yang tersisa di Indonesia sekitar 2,49 juta hektar (1987-1990), ini akan menyiratkan bahwa pada akhir tahun 1980-an, Indonesia telah mengalami kerugian sekitar 40% dari luas bakau (Noor et al., 1999).



Gambar 2.13. Perbandingan luas mangrove asal dan yang tersisa di Indonesia (1986-1990)
(Sumber: Noor et al., 1999)

2.3.4 Penyebab Penurunan Luas Mangrove

Konversi dan degradasi hutan mangrove bukan merupakan fenomena yang baru terjadi beberapa dekade terakhir saja. Kegiatan pembangunan utama yang berkontribusi paling signifikan terhadap pengurangan area mangrove di Indonesia meliputi pemanenan kayu secara komersial dan alih fungsi lahan untuk keperluan pertanian, khususnya untuk pertanian seperti padi dan kelapa. Pada tahun 1990, area yang dipantau untuk budidaya perikanan adalah sekitar 269.000 hektar, yang kemudian meningkat menjadi 750.000 hektar pada 2002/2003. Lebih lanjut, data tahun 1985 menunjukkan bahwa 877.200 hektar areal bakau dialokasikan dalam konsesi pengelolaan hutan untuk ekstraksi kayu (Dep. Kehutanan & FAG, 1990 *dalam* Noor et al., 1999).

DAFTAR PUSTAKA

- Ditjen PDASRH, D. K. T. dan A. (2021). *Peta Mangrove Nasional Tahun 2021*. Direktorat Konservasi Tanah dan Air, Ditken PDASRH, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Djamaluddin, R. (2018). *Mangrove: Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi*. Unsrat Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6636 Tahun 2024 Tentang Peta Mangrove Nasional Tahun 2023*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (with Wetlands International). (1999). *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. Ditjen PHKA.
- Purnomo, S., & Permatasari, D. P. (2021). *KEANEKARAGAMAN HAYATI KAWASAN MANGROVE PENGARENGAN*. Yayasan Kanopi Indonesia.
- Rahim, S., & Baderan, D. W. K. (2017). *HUTAN MANGROVE DAN PEMANFAATANNYA*. DEEPUBLISH.

BAB 3

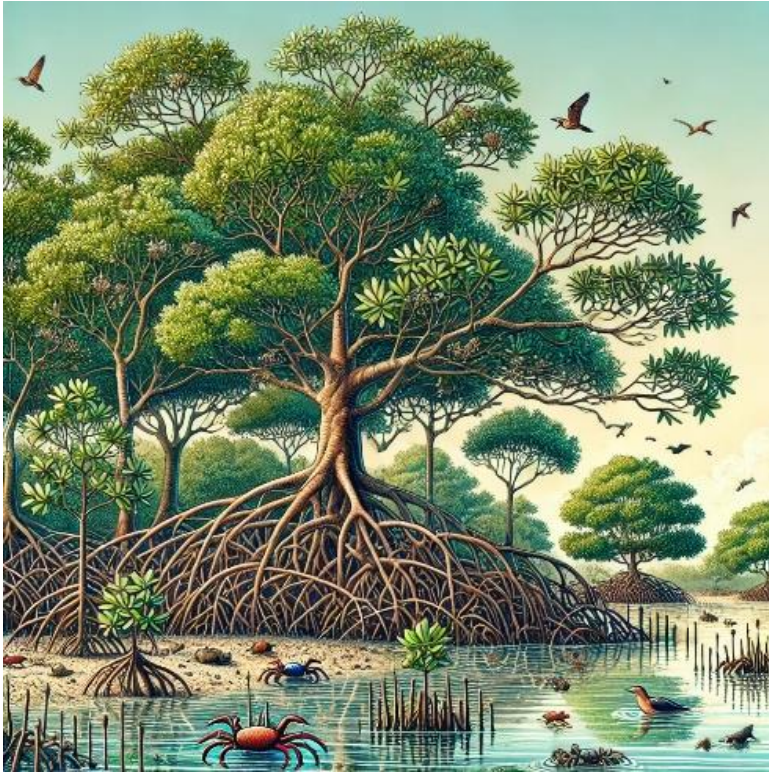
FAKTOR LINGKUNGAN PERTUMBUHAN MANGROVE

Oleh Tri Ari Setyastuti

3.1 Pendahuluan

Mangrove adalah ekosistem yang sangat penting dan memiliki berbagai fungsi bagi keberlangsungan lingkungan, serta kebutuhan manusia. Definisi mangrove menurut Macnae (1968), mangrove berasal dari Bahasa Portugis “mangue” dan Bahasa Inggris “grove”. Menurut Tomlinson (1986), mangrove adalah tumbuhan atau tumbuhan yang dapat diklasifikasikan dalam bentuk komunitas, baik yang asli maupun eksotis. Adapun menurut definisi UNESCO (1986), mangrove adalah komunitas tumbuhan pasang-surut khas daerah pasang surut di pesisir wilayah tropika dan sub-tropika, terutama di pantai yang dilindungi.

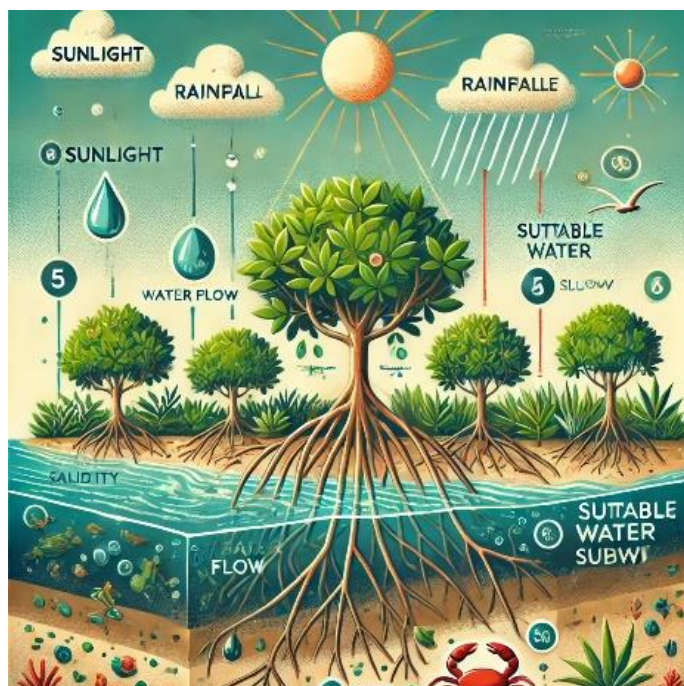
Fungsi mangrove secara umum antara lain ekologis; fungsi ekonomis; fungsi sosial budaya, dan fungsi lainnya, yaitu mengatur siklus hidrologi dan sebagai sumber zat oksigen. Tumbuhan mangrove secara umum teradaptasi tumbuh di lingkungan dengan kandungan salinitas tinggi dan sering tergenang air, yang mana salinitas sendiri adalah kandungan garam yang terlarut dalam volume per satuan kuantitas air. Mangrove adalah tumbuhan unik yang hidup di daerah pasang surut dengan karakteristik khusus, yaitu: (a) *pneumatophera*, (b) akar tunjang, (c) daun selalu hijau, (d) hidup di daerah pasang surut, dan (e) adaptasi salinitas.



Gambar 3.1. Ciri khas mangrove

3.2 Faktor Lingkungan Pertumbuhan Mangrove

Ekosistem mangrove dapat mencapai potensi maksimal di daerah pantai yang berlumpur yang relatif tenang dan terlindung dari pengaruh ombak tinggi dan eksistensinya ditentukan oleh adanya aliran air tawar yang bercampur dengan air laut. Menurut Samangan (1971), kebanyakan mangrove adalah tumbuh-tumbuhan yang kurang lebih semak, mempunyai warna hijau sepanjang musim, dan tumbuh subur di daerah berlumpur yang pengaruhnya dijangkau oleh pasang-surut. Jadi, komposisi mangrove mempunyai batas yang khas, dan batas itu disebabkan oleh atau berhubungan dengan efek selektif dari tanah, salinitas, jumlah hari atau lamanya penggenangan, kedalaman penggenangan dan hardness arus pasang-surut.



Gambar 3.2. Faktor Lingkungan untuk pertumbuhan mangrove

Tumbuhan mangrove merupakan vegetasi dengan faktor lingkungan fisik, kimia, dan biologis yang sangat kompleks. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mangrove antara lain :

3.2.1 Faktor Fisik

1. Pasang surut dan arus laut

Pasang surut dan arus laut membawa nutrisi dari laut ke daratan, mendukung kesuburan tanah dari area mangrove, dan membantu distribusi bibit. Aliran yang cukup mencegah akumulasi senyawa toksik di sekitar akar mangrove. Selama surut, bahan organik hutan mangrove terbawa ke perairan mendukung ekosistem di sekitarnya.

Pasang surut sangat penting dalam mempengaruhi pertumbuhan mangrove. Beberapa pengaruhnya diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Pasokan nutrisi dan sedimen dimana pasang surut membantu mangrove menerima sebagian besar nutrisi

dan sedimen. Ini sangat membantu dalam penyediaan nutrisi mangrove pada area salinitas yang tinggi.

- b. Perubahan pasang surut yang rutin membantu melakukan genangan dan drainase di sekitar mangrove. Ini juga membantu akar mangrove mendapatkan cukup oksigen.
- c. Saluran pasang surut juga mempengaruhi distribusi sedimen ke hutan mangrove. Sedimen yang terbawa oleh pasang surut meningkatkan pertumbuhan mangrove dengan memperkuat substrat tempat mereka tumbuh.
- d. Siklus pasang surut juga berdampak pada kanopi hutan mangrove. Periode siklus pasang yang Panjang dapat mempengaruhi tutupan kanopi mangrove dan Kesehatan ekosistemnya secara keseluruhan.

2. Suhu

Menurut Aksornkoe (1993), suhu merupakan faktor penting dalam proses fisiologi tumbuhan seperti fotosintesis dan respirasi. Diperkirakan suhu rata-rata di daerah tropis merupakan habitat terbaik bagi tumbuhan mangrove.

Mikroorganisme mempunyai batasan suhu tertentu untuk bertahan terhadap kegiatan fisiologisnya. Respon bakteri terhadap suhu berbeda-beda, umumnya mempunyai batasan suhu optimum 27–36°C. Oleh karena itu, suhu perairan berpengaruh terhadap penguraian daun mangrove dengan asumsi bahwa serasah daun mangrove sebagai dasar metabolisme.

Hutchings dan Saenger (1987) menyatakan bahwa *Avicennia marina* yang ada di Australia memproduksi daun baru pada suhu 18–20°C, jika suhunya lebih tinggi maka laju produksi daun baru akan lebih rendah. Selain itu, laju tertinggi produksi dari daun *Rhizophora* spp., *Ceriops* spp., *Exocoecaria* spp., dan *Lumnitzera* spp adalah pada suhu 26–28°C. Adapun laju tertinggi produksi daun *Bruguiera* spp. adalah 27°C.

3. Tanah

Tanah berperan penting dalam menyokong akar mangrove serta menyediakan nutrisi yang diperlukan. Tekstur dan struktur tanah, seperti lumpur dan pasir, memiliki dampak

signifikan terhadap stabilitas dan ketersediaan nutrisi tanah yang esensial bagi pertumbuhan mangrove yang optimal.

Jenis substrat tanah yang mendukung pertumbuhan mangrove mencakup:

- a. Substrat Berlumpur
Sebagian besar mangrove dapat tumbuh dengan baik pada substrat berlumpur karena substrat ini kaya akan bahan organik dan mampu mempertahankan kelembaban yang dibutuhkan oleh akar mangrove.
- b. Substrat Berpasir
Meskipun kurang stabil dan memiliki sedikit kandungan bahan organik, beberapa jenis mangrove mampu tumbuh pada substrat berpasir. Substrat berpasir cocok untuk mangrove yang tersebar di daerah dengan ombak kuat.
- c. Substrat Lumpur Berpasir
Gabungan antara lumpur dan pasir memberikan keseimbangan antara stabilitas dan aerasi yang diperlukan untuk pertumbuhan akar mangrove. Substrat ini sering ditemukan di ekosistem mangrove yang terletak di delta sungai.
- d. Substrat Batu Karang
Beberapa jenis mangrove, seperti *Avicennia* dan *Rhizophora*, mampu tumbuh pada substrat batu karang atau karang mati. Umumnya, jenis substrat ini hadir di pulau-pulau kecil.

Tanah di hutan mangrove, menurut Soeroyo (1993) memiliki ciri-ciri yang selalu basah, mengandung garam, oksigen sedikit, berbentuk butir-butir dan kaya bahan organik. Tanah tempat tumbuh mangrove tersebut terbentuk dari akumulasi sedimen yang berasal dari sungai, pantai atau erosi yang terbawa dari dataran tinggi sepanjang sungai atau kanal. Sebagian tanah berupa hasil akumulasi dan sedimentasi bahan-bahan koloid dan partikel. Sedimen yang terakumulasi di daerah mangrove memiliki kekhususan yang berbeda, tergantung pada sifat dasar keluarannya. Sedimen yang berasal dari sungai itu berupa tanah berlumpur, sedangkan sedimen yang berasal

dari pantai itu berupa pasir. Selain itu, degradasi dari bahan-bahan organik yang terakumulasi sepanjang waktu juga merupakan bagian dari tanah mangrove tersebut. Menurut Soerianegara (1971) **dalam** Kusmana (1996), tanah mangrove umumnya kaya akan bahan organik dan mempunyai nilai nitrogen yang tinggi, kesuburannya bergantung pada bahan alluvial yang terendap. Menurut Soeroyo (1993), pembentukan tanah mangrove dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor fisik, yang berupa transport nutrien oleh arus pasang, aliran laut, gelombang, dan arus sungai; faktor fisik-kimia, yang berupa penggabungan dari beberapa partikel oleh penggumpalan dan pengendapan; faktor biotik, yang berupa produksi dan perombakan senyawa-senyawa organik.

4. Gelombang dan Ombak

Terdapat gelombang dan ombak yang membantu mengurangi penumpukan sedimen serta memberikan stabilitas bagi bibit mangrove. Namun, ombak yang terlalu kuat dapat merusak bibit mangrove yang masih muda. Peran gelombang dan ombak pada pertumbuhan mangrove adalah sebagai berikut:

a. Perlindungan Pembibitan Mangrove

Ekosistem mangrove cenderung tumbuh di daerah pantai dengan gelombang yang lembut atau air yang damai. Keadaan ini memungkinkan bibit mangrove tumbuh tanpa tergulung oleh arus atau ombak besar.

b. Pengurangan Energi Gelombang

Mangrove mampu mengurangi energi gelombang hingga 50%, yang membantu melindungi akar dan substrat dari erosi. Hal ini menciptakan lingkungan yang lebih stabil bagi pertumbuhan mangrove di sepanjang garis pantai.

c. Kerusakan akibat Ombak Kuat

Gelombang besar atau arus kuat dapat mengangkut sedimen di sekitar akar mangrove, mengurangi daya dukung substrat, serta menghambat pertumbuhan tanaman yang baru. Mangrove yang tumbuh di daerah

dengan ombak kuat harus memiliki adaptasi khusus atau tumbuh di substrat yang lebih stabil.

d. **Distribusi Nutrien**

Gelombang kecil dan arus pasang-surut membantu mendistribusikan nutrien penting dari ekosistem mangrove ke laut, yang mendukung keseimbangan lingkungan mangrove secara keseluruhan.

Dengan demikian, kondisi gelombang yang moderat dibutuhkan oleh mangrove agar mendukung pertumbuhan tanpa menghambat regenerasi serta menjaga stabilitas substrat.

5. Fisiografi Pantai

Fisiografi pantai adalah salah satu faktor yang paling penting dalam mempengaruhi laju pertumbuhan. Ini mencakup berbagai elemen termasuk topografi pantai, bentuk garis pantai dan adanya halangan atau perlindungan alami, seperti pulau-pulau kecil atau formasi karang, yang mempengaruhi distribusi dan kelangsungan hidup mangrove. Ini adalah beberapa cara fisiografi pantai yang mempengaruhi pertumbuhan mangrove :

a. **Topografi Pantai**

Pantai yang landai dan dilindungi memungkinkan akumulasi sedimen yang diperlukan untuk pertumbuhan akar. Ketinggian dan kemiringan pantai mempengaruhi zona pertumbuhan dengan mengatur tingkat air dan kandungan nutrisi di ekosistem mangrove.

b. **Gelombang dan arus**

Pantai dengan air yang lebih tenang dan sedikit tenang lebih cocok untuk pertumbuhan mangrove, yang mencegah erosi tanaman yang mempengaruhi stabilitas.

c. **Ketersediaan sedimen**

Daerah dengan pasokan sedimen yang cukup menyediakan pasokan substrat yang stabil untuk tumbuh. Ini akan membantu sistem akar dengan kompleks.

6. Curah Hujan

Menurut Aksornkoe, 1993 jumlah, lama dan distribusi curah hujan merupakan faktor penting yang mengatur perkembangan dan penyebaran tumbuhan. Disamping itu curah hujan akan mempengaruhi faktor lingkungan lain seperti suhu udara dan air, kadar garam air permukaan dan air tanah yang pada gilirannya akan mempengaruhi kelangsungan hidup spesies mangrove. Pada umumnya tumbuhan mangrove tumbuh dengan baik pada daerah dengan curah hujan kisaran 1.500–3.000 mm/tahun. Namun demikian tumbuhan mangrove dapat juga ditemukan pada daerah dengan curah hujan 4.000 mm/tahun yang tersebar antara 8–10 bulan dalam 1 tahun. Noakes, 1951 mengemukakan bahwa iklim tempat tumbuh dan berkembang mangrove yang ideal adalah iklim tropika yang lembab dan panas tanpa ada pembagian musim tertentu, hujan bulanan rata-rata sekitar 225–300 mm. Suhu rata-rata maksimum pada siang hari mencapai 32°C dan suhu rata-rata malam hari mencapai 23°C.

Curah hujan mempunyai peran penting dalam pengembangan mangrove. Berikut adalah beberapa alasan yang menjelaskan bagaimana curah hujan berpengaruh pada ekosistem mangrove:

- a. Ketersediaan air tawar : curah hujan melembabkan ekosistem mangrove dengan sedikit air tawar dan mengurangi salinitas tanah dan air. Ini merupakan syarat tanaman mangrove karena tanaman ini membutuhkan air tawar dan air asin secara bersamaan.
- b. Nutrisi : curah hujan mengalirkan nutrisi dari daratan ke tanaman. Nutrisi ini membantu tanaman untuk tumbuh dan berkembang.
- c. Penyegaran air tanah : mencegah air hujan meresap ke tanah dan diambil oleh akar tanaman. Ini adalah penting sebab akar ini memerlukan air untuk tumbuh.
- d. Pengaturan suhu: meminimalkan suhu panas dengan air yang berkondensasi, yang membuatnya ideal untuk tanaman. Walau bagaimanapun, curah hujan yang

berlebihan atau kekurangan air mempengaruhi mangrove dengan cara yang sama. Banjir yang berkepanjangan merusak akar sementara kekeringan dapat menyebabkan stres air pada tanaman.

3.2.2 Faktor Kimia

1. Salinitas

Salinitas air tanah sebagai faktor yang sangat menentukan dalam pengaturan pertumbuhan dan keberlangsungan habitat. Salinitas air tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor pembentuk, antara lain genangan pasang, topografi, curah hujan, pasokan air tawar dan sungai, runoff daratan, serta evaporasi. Menurut Aksorkoe (1993), salinitas adalah faktor lingkungan yang sangat menentukan untuk pertumbuhan hutan mangrove, khususnya untuk laju pertumbuhan, kekuatan dan zonasi spesies mangrove. Toleransi pada salinitas bervariasi dari satu jenis mangrove ke jenis lain. Batas ambang toleransi kira-kira 36 ppm (Macnae, 1968). *Avicennia* spp. toleran terhadap salinitas sehingga ditemukan di tempat dengan salinitas antara 4-65 ppm dan *Bruguiera gymnorhiza*, di daerah dengan salinitas 10-20 ppm. Di Australia, *Avicennia marina* dapat tumbuh pada level salinitas 85 ppm, sementara *Bruguiera* spp. tidak tumbuh pada salinitas yang lebih 37 ppm (Wells 1982 **dalam** Aksorkoe, 1993).

Salinitas adalah tingkat garam di air yang sangat penting bagi pertumbuhan dan adaptasi mangrove. Spesies mangrove berbeda memiliki toleransi salinitas yang bervariasi, yang membatasi distribusi mereka dalam ekosistem mangrove. Salinitas merupakan faktor lingkungan penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan mangrove. Beberapa pengaruh utama salinitas terhadap pertumbuhan mangrove:

- a. Pengaruh pada penyerapan nutrisi: Peningkatan salinitas dapat menghambat penyerapan nutrisi esensial oleh mangrove, yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Akumulasi

garam di dalam jaringan tanaman meningkatkan osmolaritas, yang dapat merusak fisiologi tanaman.

- b. Penurunan laju fotosintesis: Fluktuasi salinitas dapat menurunkan laju fotosintesis dan memperlambat pertumbuhan mangrove, karena tanaman harus menggunakan lebih banyak energi untuk mengelola kadar garam yang tinggi.
- c. Dampak pada perkecambahan dan pertumbuhan awal: Pada tingkat salinitas rendah, mangrove cenderung menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dan tingkat perkecambahan yang lebih tinggi. Sebaliknya, tingkat salinitas yang lebih tinggi dapat memperlambat inisiasi akar dan mengurangi keberhasilan pembentukan bibit.
- d. Dominasi spesies kerdil: Peningkatan salinitas dapat menyebabkan perubahan struktur ekosistem, di mana hutan mangrove lebih didominasi oleh spesies yang tumbuh kerdil dan kurang produktif.

2. Tingkat Keasaman (pH)

Nilai pH suatu perairan mencerminkan keseimbangan antara asam dan basa dalam air. Nilai pH perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti aktivitas fotosintesis, aktivitas biologi, suhu, kandungan oksigen, serta keberadaan kation dan anion di dalamnya (Aksornkoae & Wattayakorn 1987 *dalam* Aksornkoae 1993). Rentang nilai pH di hutan mangrove adalah antara 8.0 – 9.0 (Welch *dalam* Winarno 1996). Keberadaan nilai pH yang tinggi lebih mendukung organisme pengurai dalam mendekomposisi bahan organik yang jatuh di daerah mangrove. Hal ini membuat tanah mangrove dengan nilai pH tinggi memiliki kadar karbon organik yang sejenis dengan profil tanah yang dimilikinya (Winarno 1996).

Air laut sebagai media yang berfungsi sebagai larutan penyangga mampu mencegah perubahan nilai pH yang ekstrim. Bahkan perubahan nilai pH yang kecil dapat menjadi tanda gangguan pada sistem penyangga.

3. Nutrien

Aksornkoe (1993) menegaskan bahwa nutrisi merupakan faktor penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem mangrove. Nutrisi dalam ekosistem mangrove dapat dikelompokkan menjadi dua bagian:

- a. **Nutrisi Anorganik:** penting untuk kelangsungan hidup organisme mangrove, terdiri dari N, P, K, Mg, Ca, dan Na. Sumber utama nutrisi anorganik berasal dari curah hujan, limpasan sungai, endapan, air laut, dan bahan organik yang terurai di mangrove.
- b. **Detritus Organik:** adalah bahan organik yang berasal dari bioorganik melalui proses mikrobial. Sumber utama detritus organik terbagi menjadi dua, yaitu:
 - 1) *Autochthonous*: seperti fitoplankton, diatom, bakteri, jamur, alga pada pohon atau akar, dan tumbuhan lain di hutan mangrove.
 - 2) *Allochthonous*: seperti partikel dari aliran sungai, partikel tanah dari erosi daratan, tumbuhan, dan hewan mati di daerah pesisir atau laut.

3.2.3 Faktor Biologi

Faktor biologi yang mempengaruhi pertumbuhan mangrove melibatkan berbagai interaksi dengan organisme hidup di ekosistem tersebut. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang faktor-faktor biologi utama:

1. Interaksi dengan Mikroorganisme

Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi di tanah memainkan peran penting dalam proses dekomposisi bahan organik. Mereka membantu menguraikan bahan organik menjadi nutrisi yang dapat diserap oleh akar mangrove. Selain itu, beberapa mikroorganisme juga dapat membantu mangrove dalam penyerapan nutrisi tertentu melalui hubungan simbiotik.

2. Herbivora dan Pemangsa

Hewan herbivora yang memakan daun, batang, dan akar mangrove dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Kerusakan yang disebabkan oleh herbivora dapat mengurangi kemampuan mangrove untuk fotosintesis dan

tumbuh dengan baik. Namun, pemangsa alami dari herbivora ini, seperti burung dan ikan, membantu menjaga keseimbangan populasi herbivora sehingga tidak merusak ekosistem mangrove secara berlebihan. Mangrove sering berinteraksi dengan biota laut seperti kepiting dan ikan. Biota ini membantu aerasi tanah dengan aktivitas mereka dan mendukung ekosistem mangrove secara keseluruhan

3. Polinasi dan Penyebaran Benih

Serangga, burung, dan hewan lainnya yang membantu dalam proses polinasi dan penyebaran benih sangat penting untuk regenerasi dan ekspansi hutan mangrove. Polinasi yang efektif memastikan bahwa mangrove dapat berkembang biak dan menghasilkan benih yang sehat. Penyebaran benih oleh hewan memungkinkan benih mangrove mencapai area baru yang cocok untuk pertumbuhan.

4. Kompetisi Antar Spesies

Kompetisi dengan tanaman lain untuk mendapatkan cahaya, air, dan nutrisi dapat mempengaruhi pertumbuhan mangrove. Spesies mangrove yang lebih adaptif biasanya akan lebih dominan dan mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Kompetisi ini juga dapat mempengaruhi struktur komunitas mangrove dan keanekaragaman hayati di ekosistem tersebut.

5. Hubungan Simbiotik

Hubungan simbiotik dengan organisme lain, seperti fungi mikoriza, dapat meningkatkan kemampuan mangrove untuk menyerap nutrisi dari tanah. Fungi mikoriza membantu akar mangrove dalam penyerapan fosfor dan nutrisi lainnya, yang penting untuk pertumbuhan dan kesehatan tanaman.

6. Pengaruh Aktivitas Antropogenik

Aktivitas manusia dapat berdampak positif (seperti rehabilitasi) atau negatif (seperti pencemaran), yang pada akhirnya memengaruhi keberadaan mikroorganisme dan fauna pendukung pertumbuhan mangrove.

Faktor-faktor biologi ini bekerja bersama-sama dengan faktor fisik dan kimia untuk menentukan kesehatan dan distribusi ekosistem mangrove. Interaksi yang kompleks antara berbagai organisme hidup di ekosistem mangrove menciptakan keseimbangan yang mendukung pertumbuhan dan kelestarian hutan mangrove.

3.3 Interaksi Faktor Lingkungan untuk Pertumbuhan Mangrove

Pertumbuhan mangrove dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan yang kompleks, termasuk faktor fisik, kimia, dan biologi. Mari kita telaah interaksi faktor-faktor ini:

Faktor Fisik:

1. **Suhu:** Suhu lingkungan memengaruhi laju fotosintesis dan respirasi mangrove. Suhu optimal mendukung pertumbuhan sehat, sementara suhu ekstrem dapat menyebabkan stres pada tanaman.
2. **Curah Hujan:** Curah hujan menyediakan air tawar yang membantu mengurangi salinitas di sekitar mangrove. Keseimbangan air tawar dan air asin penting bagi pertumbuhan mangrove.
3. **Kecepatan Angin:** Angin membantu penyebaran benih mangrove serta dapat memengaruhi erosi tanah di sekitar akar mangrove.

Faktor Kimia:

1. **Salinitas:** Tingkat salinitas air dan tanah mempengaruhi distribusi dan pertumbuhan mangrove. Salinitas tinggi dapat membatasi jenis mangrove yang dapat tumbuh.
2. **pH:** Derajat keasaman air dan tanah berpengaruh pada pertumbuhan mangrove. pH optimal biasanya netral hingga sedikit asam.
3. **Nutrisi:** Kandungan nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dalam tanah penting untuk fotosintesis dan pertumbuhan mangrove.

Faktor Biologi:

1. **Interaksi dengan Mikroorganisme:** Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi di tanah membantu dalam dekomposisi bahan organik dan penyediaan nutrisi.
2. **Herbivora dan Pemangsa:** Hewan herbivora dapat memakan daun dan akar mangrove, sedangkan pemangsa alami membantu mengendalikan populasi herbivora.
3. **Polinasi dan Penyebaran Benih:** Serangga, burung, dan hewan lain membantu dalam polinasi dan penyebaran benih untuk regenerasi mangrove.
4. **Kompetisi Antar Spesies:** Kompetisi dengan tanaman lain dapat mempengaruhi pertumbuhan mangrove. Spesies yang lebih adaptif biasanya lebih dominan.

Interaksi Antar Faktor:

1. **Ketersediaan Air dan Nutrisi:** Curah hujan membantu mencuci salinitas dan menyediakan air serta nutrisi.
2. **Suhu dan Aktivitas Mikroorganisme:** Suhu yang sesuai meningkatkan aktivitas mikroorganisme untuk dekomposisi bahan organik.
3. **Salinitas dan Kompetisi:** Salinitas tinggi dapat membatasi jenis mangrove, mempengaruhi kompetisi antar spesies.

Semua faktor ini saling berinteraksi secara kompleks dan dinamis, menentukan kesehatan serta distribusi ekosistem mangrove. Keseimbangan faktor-faktor tersebut penting untuk mendukung pertumbuhan dan kelestarian hutan mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksornkoe S. 1993. Ecology and Management of Mangroves. IUCN, Bangkok, Thailand.
- Ellison, Joanna. 2022. Factors Influencing Mangrove Ecosystems. University of Tasmania. Chapter.
<https://hdl.handle.net/102.100.100/533317>
<https://mediaindonesia.com/humaniora/355877/hebatnya-mangrove-mampu-redam-setengah-energi-gelombang-tsunami>.
- Hutchings, P., & Saenger, P. 1987. The Ecology of Mangroves. Queensland: University of Queensland Press.
- Kusmana, C. 1996. Nilai Ekologis Ekosistem Hutan Mangrove. Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB.
- Macnae, W. 1968. A General Account of the Fauna and Flora of Mangrove Swamps and Forests in the Indo-West-Pacific Region. *Advances in Marine Biology*, 6, 73-103.
- Noakes. 1951. Study on Growth Capability of Mangrove Forest Seedling of *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gimnorrhiza* and *Avicennia marina* Species on Various levels of Salinity. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* Vol. V, No. 1: 77-85 (1999).
- Samingan, T. 1971. Ekologi Tumbuh-tumbuhan. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Soeroyo. 1993. Pertumbuhan Mangrove dan Permasalahannya. *Buletin Ilmiah. INSTIPER*. Yogyakarta.
- Tomlinson, P. B. 1986. *The botany of mangroves*. Cambridge University Press, Cambridge. 413 pages.
- UNESCO. 1986. Mangroves of Asia and the Pacific: Status and Management : Technical Report of the UNDP/UNESCO Research and Training Pilot Programme on Mangrove Ecosystems in Asia and the Pacific (RAS/79/002).
- Winarno, F. G. 1996. Teknologi Pengolahan Rumput Laut. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta.

BAB 4

ZONA BIOGEOGRAFI UTAMA LAUT

Oleh Sri Magfirah HS

4.1 Pendahuluan

Hewan dan tumbuhan tidak tersebar merata di seluruh permukaan bumi, melainkan terkonsentrasi dalam wilayah zoologi dan botani yang berbeda, dengan luas wilayah yang ditentukan oleh kondisi fisik dan iklim. Meskipun setiap wilayah memiliki karakteristik khas, batas antarwilayah sering kali tidak jelas, sehingga terjadi percampuran populasi yang melintasi batas tersebut. Hal ini menggambarkan bahwa pengelompokan makhluk hidup bersifat dinamis dan lebih menyerupai kumpulan yang saling beririsan daripada batas-batas yang tegas (Forbes, 1859).

Pemahaman tentang pola distribusi ini menjadi inti dari biogeografi, yaitu ilmu yang mempelajari bagaimana organisme tersebar di berbagai tempat dengan memperhatikan faktor geografis, ekologi, dan oseanografi. Biogeografi mengkaji bagaimana individu, populasi, spesies, dan habitat tersebar, serta pola dan proses yang memengaruhi persebarannya. Dengan memahami jangkauan spesies, kepadatan populasi, keragaman hayati, dan tingkat isolasi, ilmu ini membantu menentukan area biogeografis, memetakan wilayah-wilayah dengan karakteristik unik, serta mempermudah klasifikasi organisme secara lebih terstruktur (Danovaro and Snelgrove, 2024).

Pengenalan terhadap kawasan biogeografis, terutama di laut, sangat krusial untuk memastikan bahwa seluruh habitat dan keanekaragaman hayati laut terlindungi dengan baik. Setiap kawasan biogeografis memiliki kumpulan flora dan fauna yang khas, yang mendukung keberlanjutan berbagai ekosistem laut. Dengan melindungi kawasan-kawasan ini, kita dapat mempertahankan variasi penting dalam populasi dan distribusi spesies, yang pada akhirnya menjaga kestabilan dan kelangsungan hidup ekosistem laut. Menyebarkan perlindungan secara merata ke seluruh kawasan

biogeografis, termasuk area-area di dalamnya, akan memperkuat daya tahan ekosistem secara keseluruhan. Langkah ini juga berperan penting dalam menjaga hubungan antarhabitat yang saling bergantung, mendukung kelangsungan proses ekologis, dan memastikan keberlanjutan keanekaragaman hayati laut (Roff, 2013).

4.2 Klasifikasi Zona Biogeografi Utama Laut

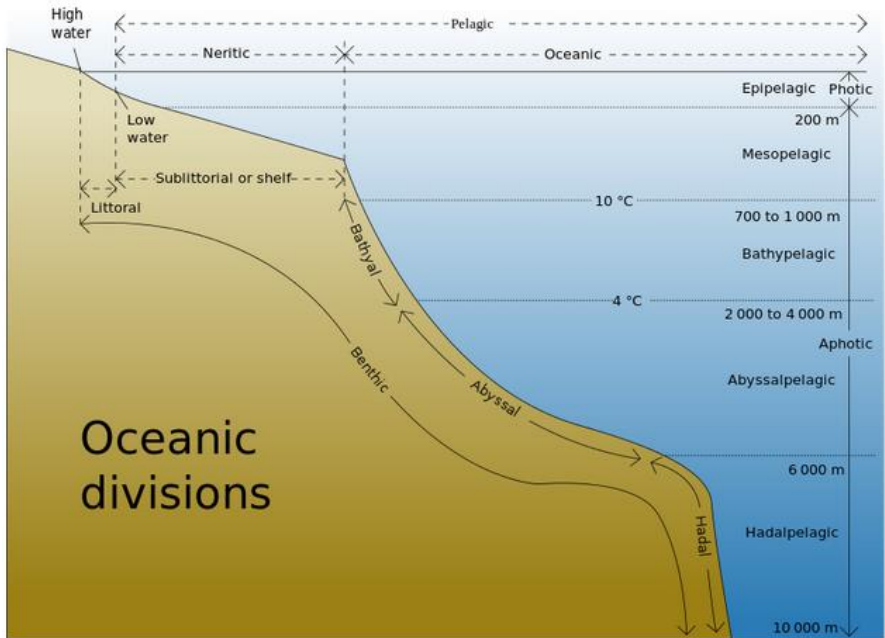
Zona biogeografi lautan dapat diklasifikasikan menjadi tiga zona utama, yaitu pesisir (litoral), perairan terbuka (pelagik), dan dasar laut (bentik), yang masing-masing memiliki karakteristik unik. Zona litoral atau daerah pesisir merupakan zona yang pertama kali diidentifikasi karena aksesibilitasnya yang relatif mudah dibandingkan dengan zona pelagik di laut dalam (Danovaro and Snelgrove, 2024).

Saat ini, para ilmuwan telah memetakan 23 kawasan biogeografi di zona litoral. Biota pesisir ini menunjukkan keanekaragaman yang tinggi, dengan pola distribusi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan. Sedangkan pada zona pelagik, telah terdapat 29 kawasan biogeografi yang telah teridentifikasi. Penelitian menunjukkan bahwa distribusi organisme pelagik sangat bervariasi, tergantung pada toleransi mereka terhadap suhu dan kondisi lingkungan lainnya. Contohnya, zooplankton dengan sifat *eurythermal* memiliki persebaran yang lebih luas, sedangkan ikan pelagik cenderung terbatas pada wilayah tertentu (Danovaro and Snelgrove, 2024).

Zona bentik, yang mencakup dasar laut, sebelumnya dianggap sebagai satu wilayah biogeografi dengan keanekaragaman rendah. Namun, penelitian terbaru mengungkapkan bahwa dasar laut memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi meskipun jumlah individu dan biomassa relatif kecil. Biogeografi lingkungan laut dalam ini merupakan cabang ilmu yang terus berkembang untuk memahami pola kompleks di ekosistem tersebut (Danovaro and Snelgrove, 2024).

Selain itu, biota di wilayah kutub menunjukkan fenomena unik dengan adanya spesies yang tersebar di kedua kutub. Hal ini dijelaskan melalui teori relik, yang menunjukkan sisa-sisa dari masa

lalu, atau teori migrasi, yang menunjukkan pergerakan spesies melalui perairan dingin. Dengan kompleksitas yang tinggi di setiap zona, penelitian biogeografi laut terus memberikan wawasan baru tentang pola dan dinamika ekosistem lautan (Danovaro and Snelgrove, 2024).



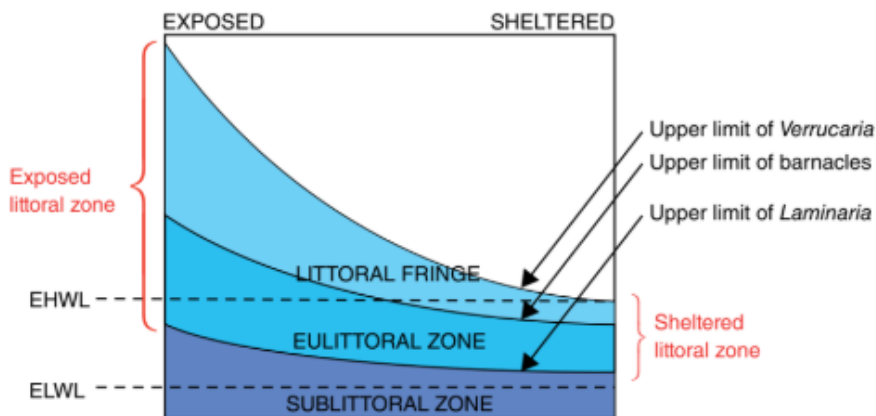
Gambar 4.1. Klasifikasi Zona Biogeografi Utama Laut
(Sumber: Geosciences LibreTexts, 2015)

4.3 Zona Pesisir (Litoral)

Zona litoral adalah istilah yang sering digunakan untuk merujuk pada daerah pasang surut dan bagian laut yang sangat dangkal (litos, litoris dalam bahasa Latin berarti "pantai"). Biasanya, istilah ini digunakan untuk menggambarkan area habitat laut, yang mencakup zona pasang surut (daerah yang terendam air atau terpapar udara secara bergantian selama siklus pasang surut) dan zona percikan di atas zona pasang surut (Salvanes *et al.*, 2018).

Zona ini memiliki karakteristik dinamis karena dipengaruhi oleh perubahan pasang surut yang terjadi secara bergantian antara terendam air dan terpapar udara. Zona litoral dapat dibagi menjadi

beberapa bagian berdasarkan jenis organisme yang hidup di sana, dengan batas antara zona litoral dan sublitoral sering kali ditentukan oleh hamparan rumput laut (Salvanes *et al.*, 2018).



Gambar 4.2. Zona-zona dalam gradien dari tempat berlindung yang ekstrem (kanan) ke paparan gelombang yang kuat (kiri)
(Sumber: Salvanes *et al.*, 2018)

Rentang pasang surut bervariasi di setiap lokasi, dipengaruhi oleh siklus bulan, posisi matahari, serta faktor lain seperti angin dan tekanan udara. Pasang surut terbesar terjadi pada bulan purnama dan bulan baru (pasang surut musim semi), sementara pada bulan setengah penuh terjadi pasang surut perbani. Perubahan ini memengaruhi permukaan air secara lokal dan dapat menghasilkan variasi yang signifikan di sepanjang pantai, tergantung pada topografi dan kondisi cuaca (Salvanes *et al.*, 2018).

Meskipun zona pesisir lebih mudah diakses daripada sebagian besar lingkungan laut, penelitian di area ini tetap memiliki tantangan tersendiri. Peneliti perlu memperhatikan perubahan pasang surut dan keselamatan, terutama saat mengakses pantai yang curam atau terbuka, di mana gelombang besar yang berbahaya bisa terjadi (Salvanes *et al.*, 2018).

Zona pasang surut (atau pesisir) dibatasi oleh tanda pasang surut tertinggi dan terendah. Di daerah dengan rentang pasang surut yang besar, zona pasang surut yang luas dipengaruhi oleh

fluktuasi suhu dan salinitas yang signifikan. Ikan blenni, ikan gobi, dan ikan clinid adalah ikan pesisir yang paling umum di daerah kami. Pola warna ikan kecil yang cenderung tidak banyak bergerak ini bervariasi dan menyatu dengan bebatuan yang ditutupi alga di wilayah tersebut. Zona pasang surut juga sangat produktif, dengan populasi hewan invertebrata yang melimpah (moluska, krustasea, cacing, bulu babi, dll.). Hewan-hewan invertebrata ini menjadi sumber makanan bagi banyak ikan muda yang menggunakan kolam pasang surut sebagai 'daerah pembibitan'. Fakta bahwa zona pasang surut tunduk pada aksi gelombang menjadikannya habitat yang bergolak di beberapa daerah. Ikan clingfish sangat cocok dengan lingkungan ini, dengan sirip perut berdaging yang dimodifikasi menyatu untuk membentuk cakram penghisap kuat yang berguna sebagai jangkar di ombak berbatu yang disapu gelombang (Heemstra and Heemstra, 2004).

Zona sublittoral, yang terletak di kedalaman sekitar 30 meter di bawah permukaan laut yang jernih, merupakan bagian dari wilayah pesisir dan landas kontinen yang memiliki peran penting dalam ekosistem laut. Di area ini, rumput laut dan alga besar tumbuh subur di dasar laut berbatu, sementara di kedalaman lebih dalam, organisme seperti spons, anemon, karang, bulu babi, dan moluska mendominasi. Keanekaragaman hayati yang tinggi di zona ini, serta produktivitas bahan makanan dan kepadatan invertebrata, menjadikannya sebagai tempat yang sangat penting bagi ekosistem pesisir. Banyak invertebrata kecil yang ditemukan di hamparan rumput laut ini menjadi makanan bagi ikan dan organisme yang lebih besar. Zona ini juga berfungsi sebagai habitat dan tempat pembibitan bagi berbagai spesies ikan dan invertebrata (Salvanes *et al.*, 2018).

Wilayah pesisir dan landas kontinen adalah area yang paling banyak dieksploitasi oleh manusia, karena mereka menyediakan sebagian besar tangkapan ikan global dan memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Dengan skala spasial yang lebih kecil dan lebih mudah diprediksi dibandingkan dengan sistem pelagis, wilayah ini lebih mudah untuk dikelola secara politis. Keberadaan zona sublittoral yang kaya akan sumber daya dan produktivitas yang tinggi di wilayah ini menjadikannya sangat

penting dalam mendukung kehidupan banyak spesies laut dan sebagai sumber daya utama dalam industri perikanan global. Oleh karena itu, penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem di zona pesisir dan landas kontinen untuk mendukung kelangsungan hidup spesies laut dan meminimalkan dampak negatif dari eksploitasi berlebihan (Ladle and Whittaker, 2011; Salvanes *et al.*, 2018).

4.4 Zona Perairan Terbuka (Pelagik)

Zona pelagik, yang juga dikenal sebagai perairan terbuka, merujuk pada perairan samudra yang tidak bersentuhan langsung dengan pantai maupun dasar laut. Zona ini terbagi ke dalam beberapa lapisan vertikal berdasarkan faktor-faktor seperti intensitas cahaya matahari yang masuk. Meskipun sering disebut sebagai "gurun laut" karena sumber dayanya yang terbatas, lautan terbuka tetap menjadi habitat bagi beragam jenis organisme (Geosciences LibreTexts, 2015).



Gambar 4.3. Pembagian Zona Lautan Terbuka (pelagik)
(Sumber: Geosciences LibreTexts, 2015)

4.4.1 Zona Epipelagik

Zona epipelagik adalah lapisan laut paling atas, mulai dari permukaan hingga kedalaman sekitar 200 meter. Di zona ini, sinar matahari masih dapat menembus air, memungkinkan proses fotosintesis yang mendukung kehidupan fitoplankton, alga, dan berbagai organisme laut lainnya. Zona ini sangat penting karena menjadi habitat bagi banyak spesies ikan dan hewan laut yang bergantung pada cahaya untuk tumbuh dan berkembang. Selain itu, suhu di zona epipelagik lebih hangat dibandingkan dengan lapisan laut yang lebih dalam karena paparan langsung sinar matahari (Geosciences LibreTexts, 2015).

Sebagai tempat utama berlangsungnya fotosintesis, zona epipelagik berperan penting dalam rantai makanan ekosistem laut. Di wilayah seperti Laut Bering dan sekitar Kepulauan Kuril, zona ini mendukung keberadaan berbagai organisme, termasuk cumi-cumi dari genus *G. kamtschaticus* dan *G. madokai*. Pada musim panas, *G. kamtschaticus* mendominasi lapisan epipelagik, terutama pada tahap individu muda yang memanfaatkan sumber daya melimpah di kawasan tersebut. Sementara itu, *G. madokai* juga sering ditemukan di zona epipelagik pada tahap muda, tetapi spesies ini menunjukkan adaptasi dengan bermigrasi secara vertikal ke kedalaman mesopelagik dan batipelagik seiring bertambahnya usia (Gebruk *et al.*, 1997).

Produktivitas tinggi zona epipelagik tidak hanya terlihat di Laut Bering dan Kepulauan Kuril. Daerah upwelling seperti lepas pantai Namibia, Western Cape, California, dan Peru juga merupakan lokasi yang sangat kaya nutrisi. Proses upwelling membawa nutrisi dari lapisan laut yang lebih dalam ke permukaan, memicu ledakan populasi fitoplankton yang menjadi sumber makanan utama bagi zooplankton, ikan planktonik, dan predator besar seperti tuna, hiu, dan ikan layar (Heemstra and Heemstra, 2004).

Pada malam hari, interaksi antara zona semakin terlihat ketika ikan dari lapisan mesopelagik bermigrasi ke zona epipelagik untuk mencari makan. Perilaku ini menunjukkan keterhubungan ekosistem laut di berbagai zona, dengan zona epipelagik sebagai pusat produktivitas utama yang mendukung kehidupan berbagai

spesies laut di sepanjang rantai trofik (Heemstra and Heemstra, 2004).

4.4.2 Zona Mesopelagik

Zona mesopelagik, yang terletak di bawah zona epipelagik dengan kedalaman antara 200 hingga 1.000 meter, merupakan wilayah laut terbuka yang menjadi rumah bagi berbagai spesies unik. Tidak ada batas fisik yang terlihat antara kedua zona ini, tetapi perbedaan kondisi lingkungan sangat signifikan. Diperkirakan sekitar 90% dari biomassa ikan global terdapat di zona ini (Broad, 2015), menjadikannya rumah bagi berbagai jenis ikan dan perilaku yang sangat beragam. Populasi organisme di zona ini begitu besar sehingga para peneliti hidroakustik selama Perang Dunia II tidak dapat menembus zona ini akibat tingginya biomassa organisme yang memiliki kantung udara (Geosciences LibreTexts, 2015).

Meskipun beberapa spesies dari zona epipelagik masih dapat ditemukan, zona mesopelagik memiliki komunitas besar ikan laut dalam kecil hingga sedang, seperti ikan lentera (Famili *Myctophidae*), barakudina (Famili *Paralepididae*), hatchetfish, lanternfish, barreleye fish, dan bristlemouth fish (Shields, 2017). Namun, zona ini juga menjadi habitat bagi hiu megamouth (*Megachasma pelagios*), yang berukuran sangat besar dengan panjang mencapai 13–18 kaki. Hiu ini adalah pemakan saringan besar yang berenang dengan mulut terbuka untuk mengumpulkan makanan (Oceana)(Heemstra and Heemstra, 2004; Geosciences LibreTexts, 2015).

Cahaya matahari di zona ini sangat redup, sehingga sering disebut sebagai zona senja. Kondisi ini mendorong munculnya adaptasi khusus, seperti bioluminesensia pada organisme untuk menarik mangsa, komunikasi, atau perlindungan dari predator. Mata ikan di zona ini cenderung lebih besar dan mengarah ke atas, memungkinkan mereka mendeteksi siluet mangsa di atasnya. Selain itu, zona mesopelagik mengandung termoklin, lapisan di mana suhu menurun tajam seiring bertambahnya kedalaman. Lapisan transisi ini menjadi pembeda yang penting, dengan kekuatan dan kedalamannya bervariasi tergantung musim dan lokasi, terutama sangat kuat di daerah tropis tetapi hampir hilang di wilayah kutub

selama musim dingin. Adaptasi ini menunjukkan betapa pentingnya kondisi lingkungan di zona mesopelagik dalam membentuk karakteristik komunitas biota laut dalamnya (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023).

4.4.3 Zona Batipelagik

Kedalaman antara 1.000–4.000 meter (3.300–13.100 kaki) termasuk dalam zona batipelagik, yang dikenal sebagai zona "tengah malam" karena kegelapannya yang abadi. Pada kedalaman ini, tidak ada cahaya yang mampu menembus air laut, sehingga tidak memungkinkan adanya produksi primer. Satu-satunya sumber cahaya berasal dari bioluminesensia, yaitu kemampuan hewan untuk bercahaya dalam gelap akibat pelepasan energi dari reaksi kimia dalam bentuk cahaya (Geosciences LibreTexts, 2015).

Berbeda dengan zona mesopelagik, suhu di zona batipelagik bersifat konstan dan tetap berada di sekitar 39°F (4°C), hanya sedikit lebih hangat dari titik beku air tawar. Lingkungan ini juga stabil karena tidak dipengaruhi oleh arus laut. Namun, tekanan di zona ini sangat ekstrem, mencapai lebih dari 5.850 pon per inci persegi pada kedalaman 4.000 meter (13.100 kaki), membuatnya tampak tidak layak untuk kehidupan. Meski demikian, telah ditemukan berbagai organisme bertubuh lunak dan beberapa ikan bertulang yang hidup di zona ini (OceanScape). Bahkan, kehidupan laut di zona batipelagik memiliki massa hingga 10 kali lebih besar dari yang diperkirakan (Geosciences LibreTexts, 2015; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023).

Meskipun tekanan ekstrem dan minimnya sumber daya menjadi tantangan besar, organisme batipelagik mengandalkan adaptasi unik untuk bertahan hidup. Sebagian besar ikan batipelagik, misalnya, memanfaatkan materi organik yang jatuh dari zona di atasnya. Namun, banyak di antara mereka juga memanfaatkan strategi migrasi ontogenetik, di mana tahap larva mereka menghabiskan waktu di zona yang lebih dangkal sebelum kembali ke zona batipelagik. Contohnya, ikan sikloton (*Cyclothone atraria*, *C. braueri*, *C. acclinidens*) menghabiskan tahap telur dan larvanya di zona epipelagik, sedangkan larva *Anoplogaster cornuta*

berkembang di zona mesopelagik sebelum bermigrasi ke kedalaman lebih besar (Gebruk *et al.*, 1997)).

Strategi serupa juga ditemukan pada banyak sefalopoda laut dalam, seperti cumi-cumi mesopelagik dan batipelagik dari famili *Cranchiidae*. Sementara itu, pada gurita, individu dewasa cenderung hidup di kedalaman yang lebih dalam dibandingkan larva dan juvenilnya. Beberapa spesies gurita pelagis, seperti *Argonauta spp.*, bahkan bertelur di dekat permukaan, meskipun larva dan juvenilnya ditemukan pada kedalaman 500–1.000 meter. Adaptasi ini menunjukkan bahwa kehidupan di zona batipelagik sangat bergantung pada dinamika antarzona untuk mendukung siklus hidup mereka (Gebruk *et al.*, 1997).



Gambar 4.4. Organisme yang berinteraksi dengan zona Batipelagik adalah ikan viper Sloane, yang bermigrasi ke permukaan air pada malam hari dari lokasinya di zona Batipelagik.
(Sumber: Geosciences LibreTexts, 2015)

4.4.4 Zona Abyssopelagik

Zona Abyssopelagik, atau zona abyssal, terletak pada kedalaman laut antara 4.000 hingga 6.000 meter. Di kedalaman ini, lautan sangat gelap, suhunya hampir beku, dan tekanannya sangat tinggi, menciptakan kondisi ekstrem yang hanya dapat ditoleransi oleh beberapa organisme laut. Nama "abyssopelagik" berasal dari

kata Yunani *abyss*, yang berarti "tanpa dasar," karena pada awalnya para ilmuwan mengira zona ini tidak memiliki dasar laut yang jelas. Namun, dengan kemajuan teknologi pemetaan dasar laut, kini diketahui bahwa zona abyssopelagik mencakup sekitar tiga perempat dari luas dasar laut dunia (Geosciences LibreTexts, 2015; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023).

Kehidupan di zona abyssopelagik sangat bergantung pada detritus, yaitu sisa-sisa organisme yang tenggelam dari lapisan laut yang lebih tinggi, yang menjadi sumber utama makanan bagi banyak makhluk di sini. Berbeda dengan zona epipelagik yang mengandalkan fotosintesis, zona abyssopelagik memiliki ekosistem yang lebih sederhana dan unik, dengan organisme yang telah beradaptasi dengan tekanan tinggi, suhu dingin, dan ketiadaan cahaya. Beberapa adaptasi yang dimiliki makhluk hidup di zona ini termasuk laju metabolisme yang sangat lambat, tubuh yang fleksibel, mulut besar, serta kemampuan untuk menghasilkan cahaya sendiri melalui bioluminesensi. Walaupun banyak spesies di zona ini memiliki ciri-ciri khusus, beberapa di antaranya juga ditemukan di zona laut yang lebih dangkal (Geosciences LibreTexts, 2015).

Meskipun kehidupan di zona abyssopelagik tampak terbatas, sebenarnya ada banyak jenis organisme yang berkembang di sana. Beberapa spesies, seperti *krustasea*, *polychaeta*, dan hewan bergelatin, hanya dapat ditemukan di zona abyssopelagik, sementara beberapa spesies lainnya juga dapat ditemukan di zona laut yang lebih dangkal. Penelitian menunjukkan bahwa beberapa hewan bergelatin, seperti medusa, tidak ditemukan hidup di zona abyssopelagik dan batipelagik pada waktu yang bersamaan, meskipun sebelumnya sempat diprediksi hal tersebut mungkin terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun batas antara zona-zona ini tidak selalu jelas, ada perubahan signifikan pada fauna di kedalaman sekitar 2.500 hingga 3.000 meter, yang menandai transisi antara komunitas laut dalam dan zona lainnya (Gebruk *et al.*, 1997).

Adaptasi lain yang menarik dari makhluk laut di zona abyssopelagik adalah kemampuan mereka untuk membentuk mikro-agregasi, yaitu kelompok kecil individu yang memudahkan

mereka berinteraksi dan berkembang biak. Mikro-agregasi ini ditemukan pada beberapa spesies, seperti amphipoda *Cyphocaris richardi*, polychaete *Flota sp.*, dan isopoda *Eurycope murrei*. Meskipun jumlah individu spesies di zona ini cenderung sedikit, mereka mampu membentuk kelompok-kelompok kecil yang mendukung kelangsungan hidup mereka (Gebruk *et al.*, 1997).

Secara keseluruhan, zona abyssopelagik adalah ekosistem yang unik dengan berbagai adaptasi biologis yang luar biasa. Kehidupan di zona ini sangat bergantung pada sisa-sisa organisme dari lapisan atas laut, tetapi kompleksitas distribusi dan interaksi antara spesies menunjukkan dinamika ekosistem laut dalam yang menarik. Zona abyssopelagik tetap menjadi area eksplorasi ilmiah yang penuh tantangan karena kesulitan akses dan kurangnya data yang tersedia, namun potensi untuk mengungkapkan keanekaragaman hayati laut dalam tetap menjadi daya tarik utama bagi para ilmuwan.

4.4.4 Zona Hadalpelagik

Zona hadalpelagik adalah bagian terdalam dari lautan, yang terletak mulai dari kedalaman 6.000 meter (19.700 kaki) hingga mencapai kedalaman 10.994 meter (36.070 kaki) di Palung Mariana, yang berada di lepas pantai Jepang. Suhu di zona ini sangat dingin, hanya sedikit di atas titik beku, dan tekanan air yang sangat tinggi, mencapai lebih dari 8 ton per inci persegi akibat berat air yang berada di atasnya. Meskipun kondisi yang sangat ekstrem, kehidupan tetap ada di kedalaman ini. Pada tahun 2005, mikroorganisme bersel tunggal bernama foraminifera, sejenis plankton, ditemukan di Palung Challenger Deep, bagian terdalam dari Palung Mariana yang terletak di barat daya Guam. Selain itu, ikan *Abyssobrotula galathea* ditemukan di Palung Puerto Rico pada kedalaman 8.372 meter (27.460 kaki), yang merupakan ikan yang ditemukan pada kedalaman terbesar. Temuan ini menunjukkan bahwa kehidupan laut memiliki kemampuan luar biasa untuk bertahan dan beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang sangat ekstrem di kedalaman lautan (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023).

4.5 Zona Dasar Laut (Bentik)

Berbeda dengan zona lainnya, zona bentik (berasal dari bahasa Yunani: *benthikos* yang berarti "dasar laut") tidak ditentukan oleh kedalamannya, melainkan oleh tubuh air itu sendiri. Zona bentik adalah lapisan terendah dari lautan yang mencakup permukaan sedimen dan lapisan air tepat di atasnya, dimulai dari garis pantai hingga ke bagian terdalam dasar laut. Karena luasnya yang sangat besar, sulit untuk menggeneralisasi karakteristik fisik zona ini, tetapi aspek yang paling penting dan menonjol terletak pada sifat ekologisnya (Geosciences LibreTexts, 2015).

Di dasar laut, para ahli biologi kelautan membagi kehidupan menjadi empat zona utama berdasarkan kedalamannya. Zona pertama adalah **zona landas kontinen**, yang dimulai dari batas air pasang rendah hingga kedalaman sekitar 200 meter. Zona ini mencakup dasar laut di sekitar pantai hingga tepi landas kontinen. Selanjutnya, terdapat **zona batial**, yang berada lebih dalam dari zona landas kontinen, dimulai sekitar 200 meter dan berakhir di kedalaman yang bervariasi tergantung lokasi dan suhu air. Di bawahnya adalah **zona abisal**, yang mencakup dasar laut yang lebih dalam, dan terakhir adalah **zona hadal**, yang meliputi palung laut dalam pada kedalaman lebih dari 6,5 kilometer (Cox and Moore, 2010).

Batas antara zona-zona ini tidaklah kaku, melainkan berubah secara bertahap. Kedalaman transisi antara zona batial dan zona abisal sangat dipengaruhi oleh suhu. Di daerah yang lebih dingin, seperti Arktik, transisi ini terjadi pada kedalaman yang lebih dangkal, sekitar 400 meter. Namun, di daerah tropis yang lebih hangat, kedalaman transisi ini bisa mencapai 900 meter. Perbedaan ini dikenal sebagai "prinsip perendaman ekuatorial," yang diperkenalkan oleh zoolog Swedia Sven Ekman. Di kedalaman sekitar 900 meter, suhu air umumnya turun hingga 4°C, dan semakin dalam, suhu bisa mencapai 1–2,5°C (Cox and Moore, 2010).

Zona bentik menjadi rumah bagi berbagai kehidupan laut yang disebut sebagai "bentos" atau penghuni dasar laut. Dari semua spesies laut, 98% di antaranya dapat ditemukan di dasar laut, menjadikan zona bentik sebagai pusat keanekaragaman hayati lautan. Sebagian besar organisme di zona ini adalah pemakan

bangkai atau detritivor, yaitu organisme yang memakan material organik mati. Organisme benthik yang hidup di dalam dasar laut, seperti kerang atau makro-invertebrata, disebut "infauna". Organisme yang menetap atau bergerak di atas dasar laut, seperti polip atau bintang laut, disebut "epifauna". Sementara itu, organisme seperti udang dan ikan sebelah yang bergerak bebas di air tepat di atas zona benthik, tetapi tetap tinggal di dasar laut, disebut "nektonbentos" (Geosciences LibreTexts, 2015).

Dasar laut di semua zona ini dipenuhi lumpur dan endapan organik yang berasal dari sisa-sisa organisme yang hidup di perairan atas, seperti plankton. Sisa fitoplankton, yang dikenal sebagai fitodetritus, sering menyatu membentuk partikel besar yang disebut salju laut. Partikel-partikel ini turun ke dasar laut seperti hujan salju, menjadi sumber makanan bagi hewan yang hidup di atas atau di dalam sedimen. Daur ulang bahan organik ini berlangsung sangat intens. Sebagai contoh, di Cekungan Santa Catalina, California, lapisan sedimen setebal 10 cm dapat sepenuhnya dimakan dan diolah oleh cacing setiap 70 tahun (Cox and Moore, 2010).

Fauna di setiap zona laut mencerminkan adaptasi terhadap kondisi lingkungan spesifiknya. Di landas kontinen, lingkungan yang kaya cahaya mendukung ekosistem yang produktif. Sebaliknya, fauna zona abisal dan hadal harus bertahan dalam lingkungan tanpa cahaya, tekanan tinggi, dan ketersediaan energi yang rendah. Mereka bergantung pada materi organik yang jatuh dari lapisan atas, seperti fitodetritus. Zona batial, sebagai peralihan, menunjukkan perubahan bertahap dalam komposisi fauna, dari yang menyerupai landas kontinen hingga mendekati fauna abisal (Cox and Moore, 2010).

Zona hadal, yang terletak di palung laut terdalam pada kedalaman 6000–11000 meter, mencakup tiga subzona utama: (i) zona transisi atas (6000–7000 m), (ii) zona komunitas khas palung (7000–8500 m), dan (iii) zona dasar palung (>8500 m). Zona ini mencakup habitat yang paling ekstrem dan tidak ramah. Fauna hadal cenderung sangat jarang dan memiliki tingkat endemisme tinggi. Sekitar 68% spesies, 10% genus, dan satu famili di zona hadal bersifat endemik, dengan rentang vertikal terbatas pada 1500–2000

meter. Distribusi fauna hadal sering terbatas pada petak-petak isolasi di sepanjang palung laut dalam, memungkinkan terjadinya variasi komunitas yang unik di setiap subzona (Cox and Moore, 2010).

Penelitian mendalam mengungkapkan bahwa di zona hadal, struktur dan fungsi ekosistem ditentukan oleh komunitas spesies yang khas dan dominan. Pergantian spesies ini mencerminkan adaptasi terhadap tekanan lingkungan yang ekstrem, seperti rendahnya suhu, tingginya tekanan air, dan terbatasnya makanan. Perubahan fauna yang stabil dengan bertambahnya kedalaman mencerminkan kemampuan adaptasi spesifik dari masing-masing spesies (Cox and Moore, 2010).

Meski telah ada upaya sistematis untuk memahami biogeografi dasar laut dalam melalui laporan UNESCO, sebagian besar klasifikasi habitat perairan dalam masih didasarkan pada karakteristik fisik seperti batimetri, suhu dasar, salinitas, oksigen, dan aliran bahan organik. Namun, kurangnya data tentang distribusi spesies membatasi kemampuan kita untuk memvalidasi klasifikasi ini. Estimasi saat ini menunjukkan bahwa hanya 0,0001% dasar laut dalam yang telah dijelajahi secara mendalam. Karena itu, klasifikasi yang lebih realistis harus mempertimbangkan aspek taksonomi spesies dan distribusi fauna yang lebih akurat (Cox and Moore, 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Cox, C.B. and Moore, P.D. (2010) *Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach*. John Wiley & Sons.
- Danovaro, R. and Snelgrove, P. (2024) *Marine Biology: Comparative Ecology of Planet Ocean*. John Wiley & Sons.
- Forbes, E. (1859) *The Natural History of the European Seas*. J. Van Voorst.
- Gebruk, A.V. et al. (1997) *The Biogeography of the Oceans*. Academic Press.
- Geosciences LibreTexts (2015) 12.1: Zones of Marine Environments, *Geosciences LibreTexts*. Available at: [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Oceanography/Oceanography_\(Hill\)/12%3AMarine_Environments/12.1%3AZones_of_Marine_Environments](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Oceanography/Oceanography_(Hill)/12%3AMarine_Environments/12.1%3AZones_of_Marine_Environments) (Accessed: 20 November 2024).
- Heemstra, P.C. and Heemstra, E. (2004) *Coastal Fishes of Southern Africa*. NISC (PTY) LTD.
- Ladle, R.J. and Whittaker, R.J. (2011) *Conservation Biogeography*. John Wiley & Sons.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2023) *Layers of the Ocean*. Available at: <https://www.noaa.gov/jetstream/ocean/layers-of-ocean> (Accessed: 20 November 2024).
- Roff, J. (2013) *Marine Conservation Ecology*. Routledge.
- Salvanes, A.G.V. et al. (2018) *Marine Ecological Field Methods: A Guide for Marine Biologists and Fisheries Scientists*. John Wiley & Sons.

BAB 5

MENGENAL EKOSISTEM TERUMBU KARANG

Oleh Cahyo Wijayanto

5.1 Ekosistem Terumbu Karang

Terumbu Karang adalah ekosistem dengan keanekaragaman tertinggi yang terletak di laut tropis. Terumbu karang umumnya hidup di perairan dangkal. Luas terumbu karang di Indonesia saat ini diperkirakan seluas 2,53 juta hektare (ha). Indonesia juga menjadi surga bagi terumbu karang, karena memiliki keanekaragaman karang terbanyak di dunia. Letaknya juga dikenal dengan istilah Segitiga Terumbu Karang adalah istilah geografis untuk perairan di Indonesia, Malaysia, Papua Nugini, Filipina, Kepulauan Solomon dan Timor Leste yang kaya akan terumbu karang.

Terumbu maupun karang sering disalah artikan oleh kalangan umum. Terumbu (*reef*) merupakan endapan batu kapur, utamanya penyusunnya adalah karbonat kalsium (CaCO_3). Sedangkan karang (*coral*) disebut juga batu karang atau *stony coral*, yang merupakan hewan dari ordo *Scleractinia* yang mampu menyereksi CaCO_3 (limestone). Jenis hewan karang tunggal biasanya disebut polip. Terumbu dihasilkan oleh hewan yang berasosiasi dengan karang dan biota lain yang menyekresi kapur (algae berkapur atau moluska) (Nybakken dan Berness, 2005).

Terumbu karang merupakan ekosistem bawah laut yang terdiri dari sekumpulan hewan karang yang bersimbiosis dengan *Zooxanthellae*. Terbentuk berdasarkan struktur yang cukup kompleks dibentuk oleh akumulasi struktur yang dibentuk dari kalsium karbonat dengan dibantu oleh hewan laut kecil yang disebut polip karang. Karang sebenarnya terbentuk melalui simbiosis mutualisme antara polip dan alga *Zooxanthellae*, sehingga saling menguntungkan. *Zooxanthellae* menerima nutrisi penting dari

karang (polip) dan menyediakan hingga 95% keluaran fotosintesis (energi dan nutrisi) ke polip. Struktur tentakel karang juga digunakan untuk memperoleh makanan dari air dan nutrisi dengan cara memasukkannya ke dalam mulut. Oleh karena itu, karang termasuk hewan karena tidak dapat membuat makanannya sendiri.



Gambar 5.1. Ekosistem Terumbu Karang
(Sumber : Dokumentasi survey Ekosistem Pulau Lara)

Kondisi laut yang beragam. Ekosistem ini juga menjadi rumah bagi ratusan jenis ikan yang menggantungkan siklus hidupnya pada terumbu karang. Ekosistem terumbu karang merupakan habitat yang sangat ideal bagi berbagai biota laut. Terumbu karang memberikan nilai ekonomi yang tinggi karena berfungsi sebagai fasilitas penyimpanan makanan yang produktif bagi perikanan dan tempat pemijahan, pemijahan, dan mencari makan bagi berbagai organisme laut. Secara fisik, terumbu karang berperan sebagai pemecah gelombang, pelindung pantai dari badai, dan mempunyai nilai estetika yang tinggi bagi pengembangan wisata bahari. Terlebih lagi, ekosistem terumbu karang merupakan sistem kehidupan polimorfik khas daerah tropis, dengan produktivitas dan keanekaragaman yang tinggi, serta siklus energi yang sangat efisien, unik, dan indah (Nontji, 1984; Nybakken dan Berness, 2005).

Terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat kaya akan keanekaragaman hayati. Diperkirakan lebih dari 25% spesies

laut hidup di terumbu karang meskipun ekosistem ini hanya mencakup kurang dari 1% permukaan laut dunia. Terumbu karang menyediakan habitat, tempat pemijahan, dan perlindungan bagi ribuan spesies ikan, moluska, krustasea, serta invertebrata lainnya. Terumbu karang juga berperan dalam siklus nutrisi laut dengan menjaga keseimbangan antara unsur seperti nitrogen dan fosfor. Selain itu, interaksi antara karang dan zooxanthellae membantu dalam proses fotosintesis yang berkontribusi pada produksi primer di laut.

Kondisi fisik maupun fisiologi terumbu karang yang cukup kompleks mampu memberikan andil bagi keanekaragaman maupun produktivitas biologinya. Banyaknya lubang-lubang dan celah yang ada pada terumbu karang mampu memberikan tempat tinggal, perlindungan tempat mencari makan, dan berkembang biak bagi ikan. Biota yang berasosiasi di sekitar terumbu karang merupakan komunitas yang meliputi kumpulan maupun kelompok dari berbagai tropik level. Masing-masing biota dalam suatu komunitas ini mempunyai ketergantungan yang erat antara satu dengan lainnya serta saling bersimbiosis maupun berasosiasi satu dengan yang lainnya (Nybakken dan Berness, 2005).

Terumbu karang berkontribusi besar sebagai pelindung pantai dari abrasi dengan menyerap kekuatan ombak dan mengurangi dampak erosi. Struktur keras dari terumbu karang bertindak sebagai penghalang alami yang memecah energi ombak sebelum mencapai daratan. Hal ini sangat penting bagi daerah pesisir yang padat penduduk, di mana terumbu karang menjadi benteng utama melindungi permukiman dan lahan pertanian dari kerusakan akibat gelombang besar dan badai tropis. Terumbu karang juga memberikan sumbangsih dari segi nilai ekonomi. Sektor perikanan dan pariwisata dari jasa ekosistem terumbu karang memainkan peran yang sangat besar. Perikanan yang terkait dengan ekosistem terumbu karang menjadi sumber penghidupan bagi jutaan orang, terutama masyarakat pesisir yang mengandalkan ikan dan hasil laut lainnya sebagai makanan dan pendapatan (Spalding dkk, 2001).

Terumbu karang memiliki potensi besar dalam berbagai pengembangan lainnya saat ini termasuk obat-obatan dan sektor

pariwisata. Banyak organisme yang hidup di terumbu karang, seperti spons dan alga, mengandung senyawa bioaktif yang dapat digunakan dalam pengobatan berbagai penyakit, termasuk kanker, infeksi, dan penyakit inflamasi. Riset terbaru terus menemukan potensi farmakologis dari organisme laut yang hidup di terumbu karang. Bagi masyarakat pesisir, terumbu karang tidak hanya menyediakan sumber daya alam yang penting tetapi juga memiliki makna budaya. Banyak tradisi dan budaya lokal yang terhubung dengan laut dan ekosistem terumbu karang, termasuk dalam hal makanan, ritual, dan kepercayaan. Terumbu karang mendukung mata pencaharian dan stabilitas sosial di daerah pesisir. Pariwisata berbasis laut, seperti snorkeling dan penyelaman (diving), juga sangat bergantung pada kelestarian terumbu karang. Lokasi seperti Raja Ampat dan Bunaken menjadi destinasi populer yang menarik wisatawan dari seluruh dunia karena keindahan terumbu karangnya, sehingga memberikan pemasukan besar bagi perekonomian lokal (Cesar dan Pet-Soede, 2003).

5.2 Struktur Terumbu Karang

Struktur terumbu karang adalah hasil dari interaksi antara komponen biologis dan fisik yang kompleks dan dinamis. Struktur ini terbentuk dari koloni karang yang membangun kerangka kalsium karbonat, yang menyediakan dasar bagi ekosistem kaya keanekaragaman hayati. Terumbu karang terdiri dari berbagai jenis, seperti terumbu tepi, terumbu penghalang, dan atol, yang masing-masing memiliki karakteristik unik dalam bentuk dan lokasi geografis. Komponen biologis terumbu karang meliputi karang itu sendiri, alga, dan berbagai organisme laut lainnya yang saling berinteraksi untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Proses pembentukan terumbu karang membutuhkan waktu yang lama dan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan, seperti suhu, salinitas, dan kejernihan air, yang berkontribusi pada terbentuknya koloni karang yang matang dan stabil.

Terumbu karang adalah ekosistem laut yang kompleks dan terdiri dari berbagai komponen biologis dan fisik yang berinteraksi untuk membentuk suatu struktur yang kuat dan dinamis. Struktur ini terutama dibangun oleh organisme karang yang menghasilkan

kerangka kalsium karbonat dan didukung oleh berbagai organisme lain yang berperan dalam menjaga keseimbangan dan keberlangsungan ekosistem tersebut. Di bawah ini adalah deskripsi mengenai komponen-komponen biologis dan fisik yang menyusun terumbu karang.

5.2.1 Polip Karang

Polip karang adalah organisme kecil berbentuk silindris yang termasuk dalam kelas Anthozoa dari filum Cnidaria. Polip ini hidup berkoloni dan dikenal sebagai penyusun utama terumbu karang. Setiap polip memiliki tubuh yang terdiri dari mulut di bagian atas, dikelilingi oleh tentakel yang dilengkapi nematosista (sel penyengat khas Cnidaria). Nematosista digunakan untuk menangkap plankton, yang merupakan sumber makanan utama bagi polip karang. Proses ini memungkinkan polip karang memenuhi kebutuhan nutrisinya, meskipun sebagian besar energinya juga diperoleh melalui hubungan simbiotik dengan zooxanthellae, alga mikroskopis yang hidup di dalam jaringan polip (Nybakken dan Berness, 2005). Zooxanthellae membantu polip menghasilkan energi melalui fotosintesis, sementara polip memberikan tempat tinggal dan nutrisi bagi alga ini, seperti nitrogen dan fosfor.

Polip karang hidup berkelompok dalam unit koloni yang terhubung oleh jaringan lunak yang disebut coenosarc. Coenosarc memungkinkan transfer nutrisi antarindividu dalam koloni, menjadikan koloni sebagai satu kesatuan fungsional yang dapat bertahan dan berkembang secara kolektif. Seiring waktu, polip mensekresikan kalsium karbonat (CaCO_3) untuk membentuk kerangka keras yang menjadi dasar terumbu karang. Struktur kalsium karbonat ini terus tumbuh dari generasi ke generasi, menghasilkan formasi yang masif dan kompleks. Kerangka ini tidak hanya memberikan perlindungan bagi polip, tetapi juga menciptakan habitat bagi ribuan spesies laut lainnya, menjadikan terumbu karang pusat biodiversitas laut yang sangat penting.

Dalam proses pembentukan kerangka karang, polip menghadapi berbagai tantangan lingkungan, seperti perubahan suhu air laut dan pengasaman laut. Kondisi optimal, termasuk air yang hangat, jernih, dan kaya akan kalsium, sangat penting bagi

pertumbuhan karang yang sehat. Namun, jika lingkungan terganggu oleh aktivitas manusia seperti polusi atau perubahan iklim, kemampuan polip untuk membangun kerangka terumbu dapat terhambat, mengancam keberlangsungan ekosistem terumbu karang secara keseluruhan.

5.2.2 Zooxanthellae

Zooxanthellae adalah alga bersel satu yang hidup di dalam jaringan karang dan memiliki hubungan simbiosis mutualistik dengan inangnya. Karena sifat hidupnya, zooxanthellae disebut sebagai organisme endosimbion atau endozoik. Zooxanthellae memperoleh karbon dioksida (CO_2) dari karang, sementara karang mendapatkan zat-zat makanan dan oksigen dari hasil fotosintesis zooxanthellae. Hubungan simbiotik ini berperan besar dalam mengatur metabolisme karang dan kemampuannya membentuk kerangka serta distribusi vertikalnya.

Zooxanthellae memainkan peran krusial di ekosistem terumbu karang dengan memanfaatkan senyawa yang diekskresikan oleh polip karang, seperti karbon dioksida (CO_2), nitrogen (terutama dalam bentuk amonia), dan fosfat. Senyawa-senyawa ini digunakan oleh zooxanthellae untuk proses fotosintesis yang menghasilkan oksigen dan zat makanan bagi karang. Proses ini meningkatkan efisiensi metabolisme karang secara signifikan, memungkinkan karang untuk tumbuh dan berkembang dalam lingkungan yang kaya nutrisi. Hubungan simbiosis ini tidak hanya memberikan manfaat bagi zooxanthellae tetapi juga mendukung kelangsungan hidup karang dalam ekosistem terumbu. (Nontji, 1984).

fotosintesis, zooxanthellae juga mendukung proses kalsifikasi atau pengendapan kapur oleh polip karang. Proses ini penting untuk pembentukan kerangka terumbu karang yang kuat dan stabil. Dengan kehadiran zooxanthellae, karang hermatifik dapat mempercepat pembentukan kerangkanya, sehingga membantu mempertahankan struktur terumbu dari ancaman kerusakan. Tidak hanya itu, zooxanthellae juga meningkatkan efisiensi proses respirasi pada karang, menjadikan hubungan simbiotik ini sebagai

fondasi penting bagi kesehatan ekosistem terumbu karang secara keseluruhan.

5.2.3 Struktur Fisik dari Kerangka Kalsium Karbonat

Kerangka kalsium karbonat yang dibangun oleh polip karang adalah komponen utama dari struktur fisik terumbu karang. Struktur ini terbentuk melalui proses yang disebut biomineralisasi, di mana polip mensekresikan kalsium karbonat dalam bentuk aragonit untuk membangun dasar yang keras. Kerangka ini berfungsi sebagai fondasi yang memungkinkan terumbu tumbuh secara vertikal dan horizontal, membentuk berbagai formasi seperti terumbu tepi, terumbu penghalang, dan atol. Struktur fisik ini tidak hanya menyediakan habitat bagi polip karang, tetapi juga bagi berbagai organisme laut lainnya, termasuk ikan, moluska, krustasea, dan berbagai spesies invertebrata. Kerangka kalsium karbonat juga berperan dalam melindungi pantai dari erosi dengan meredam energi gelombang laut (Crossland DKK, 1991).

Kerangka kalsium karbonat terumbu karang juga mengalami proses yang disebut bioerosion, di mana berbagai organisme seperti ikan pemakan karang (*parrotfish*) dan spons berperan dalam mengikis struktur karang, menciptakan rongga-rongga yang menjadi tempat berlindung bagi banyak spesies. Proses ini berkontribusi pada dinamika siklus kehidupan terumbu karang dan menciptakan keanekaragaman habitat yang penting bagi ekosistem (Hutchings, 1986).

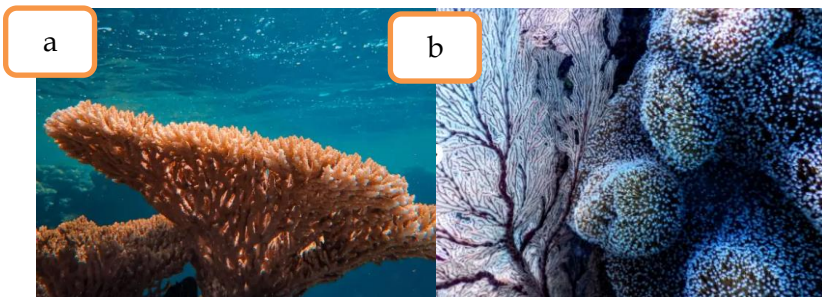
5.2.4 Jenis dan Keanekaragaman Organisme Karang

Terumbu karang adalah salah satu ekosistem paling beragam di dunia, yang dibentuk oleh berbagai jenis organisme karang. Karang merupakan hewan laut dari kelas Anthozoa dan filum Cnidaria. Mereka membentuk koloni besar yang terdiri dari polip-polip kecil yang berasosiasi dengan alga simbiotik bernama zooxanthellae. Terdapat dua jenis utama karang, secara taksonomi, soft coral termasuk kelompok Octocorallia atau Alcyonacea, sedangkan hard coral termasuk kelompok Scleractinia.

Meskipun ada banyak jenis terumbu karang, pembentukannya dimulai dengan cara yang sama. Pembentukan terumbu karang

dimulai ketika larva karang yang berenang bebas yang disebut "planula" menetap dan menempel pada substrat keras yang terletak di perairan dangkal, hangat, dan jernih (Spalding dkk, 2001). *Octocorallia* atau *Alcyonacea* (*soft coral*) adalah karang lunak yang termasuk dalam subkelas Octocorallia, ordo Alcyonacea. Karang ini tidak memiliki kerangka kalsium karbonat yang keras seperti karang keras, melainkan mengandung kerangka internal dari spikula yang fleksibel, membuatnya lebih lunak dan bergerak dengan mudah mengikuti arus laut. Soft coral sering kali berbentuk seperti kipas, pohon, atau jumbai. Soft coral tidak berkontribusi langsung terhadap pembentukan kerangka terumbu karang, tetapi mereka menyediakan habitat bagi berbagai spesies laut kecil dan menambahkan kompleksitas pada ekosistem terumbu.

Hard Coral (Scleractinia) Hard coral, juga dikenal sebagai karang batu, adalah pembangun terumbu utama dalam ekosistem terumbu karang. Mereka termasuk dalam ordo Scleractinia dan memiliki kerangka kalsium karbonat yang keras, yang memberikan struktur dan bentuk terumbu karang. Kerangka ini berfungsi untuk melindungi polip karang yang kecil dan rapuh serta menyediakan substrat bagi karang baru untuk tumbuh, sehingga membentuk terumbu yang besar dan kompleks. Hard coral dapat berupa karang cabang, karang meja, atau karang otak, dengan berbagai bentuk dan ukuran yang semuanya membantu dalam menciptakan habitat bagi banyak spesies laut.



Gambar 5.2. Perbedaan a. Hardcoral dan b. Softcoral
(Sumber : Dokumentasi Rob Elgar, Divemaster and Marine Conservationist, in Environmental Management)

Keanekaragaman organisme karang sangat penting untuk ekosistem terumbu karena menyediakan habitat yang kompleks bagi ribuan spesies lainnya. Terdapat lebih dari 800 spesies karang yang telah teridentifikasi, dan keanekaragaman ini berkontribusi pada daya tahan ekosistem terhadap gangguan lingkungan. Karang juga memfasilitasi interaksi antara berbagai organisme seperti ikan, moluska, dan krustasea, yang bergantung pada karang untuk tempat tinggal dan makanan. Sebagai "hutan tropis laut," terumbu karang mendukung hingga 25% dari semua spesies laut, meskipun mereka hanya menutupi kurang dari 1% dasar laut di dunia (Veron, 2008)

Faktor-faktor lingkungan, seperti suhu, salinitas, dan ketersediaan cahaya, memainkan peran penting dalam menentukan distribusi spesies karang. Di antara spesies karang yang paling umum adalah *Acropora* dan *Porites*, yang sering ditemukan di perairan tropis yang hangat dan jernih. Keanekaragaman spesies ini menjadi kunci untuk stabilitas ekosistem terumbu karang karena interaksi ekologi yang kompleks antara berbagai jenis karang dan organisme lain memberikan resistensi terhadap perubahan lingkungan dan ancaman seperti pemutihan karang dan penyakit (Spalding dkk, 2001).

5.2.5 Jenis-jenis Formasi Terumbu Karang

Para ilmuwan secara umum sepakat pada empat klasifikasi terumbu karang yang berbeda, yaitu terumbu tepi, terumbu penghalang, dan atol. Ketiga jenis ini memiliki karakteristik dan proses pembentukan yang berbeda, meskipun semuanya merupakan ekosistem terumbu karang yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan laut. Berikut adalah tiga jenis formasi terumbu karang (Miththapala, S 2008):

1. Terumbu Tepi (*Fringing Reef*)

Terumbu tepi adalah jenis terumbu karang yang paling umum ditemukan di perairan tropis dan subtropis. Terumbu ini biasanya tumbuh berdekatan dengan pantai atau pulau dan berkembang dari garis pantai ke arah laut. Struktur terumbu tepi memiliki kedalaman dangkal, sehingga memungkinkan karang menerima cahaya matahari yang cukup untuk mendukung proses simbiosis dengan *zooxanthellae*. Interaksi

ini menjadi kunci utama bagi pertumbuhan polip karang dan pembentukan kerangka kalsium karbonat.

Karena letaknya yang dekat dengan pantai, terumbu tepi sering berperan sebagai zona transisi antara ekosistem laut dan darat. Ekosistem ini memungkinkan aliran nutrisi dan materi organik dari daratan masuk ke laut, yang kemudian dimanfaatkan oleh berbagai organisme laut, termasuk ikan dan invertebrata. Selain itu, terumbu tepi sering kali dilengkapi dengan laguna sempit atau bahkan tidak ada sama sekali, sehingga ekosistem ini memiliki hubungan yang erat dengan daratan sekitarnya, baik secara ekologis maupun ekonomi.

Namun, kedekatan terumbu tepi dengan daratan membuatnya lebih rentan terhadap ancaman manusia seperti sedimentasi, polusi, dan penangkapan ikan berlebih. Oleh karena itu, pengelolaan yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk menjaga keberlanjutan ekosistem ini agar tetap menjadi habitat produktif bagi keanekaragaman hayati laut.

2. Terumbu Penghalang (*Barrier Reef*)

Terumbu penghalang adalah formasi terumbu karang yang terletak lebih jauh dari pantai dibandingkan terumbu tepi. Terumbu ini dipisahkan dari daratan oleh laguna yang lebih luas dan dalam, yang sering kali menjadi jalur bagi berbagai spesies laut untuk bermigrasi. Disebut "penghalang" karena formasi ini menciptakan dinding alami antara laut terbuka dan pantai, yang berfungsi melindungi daratan dari gelombang besar dan badai.

Salah satu contoh paling terkenal adalah Great Barrier Reef di Australia, yang merupakan sistem terumbu penghalang terbesar di dunia. Great Barrier Reef tidak hanya menjadi rumah bagi ribuan spesies laut tetapi juga berperan sebagai laboratorium alam untuk penelitian ilmiah tentang perubahan iklim, biologi laut, dan ekologi global. Terumbu penghalang ini juga memiliki nilai ekonomi yang signifikan melalui pariwisata, perikanan, dan jasa lingkungan lainnya.

Namun, terumbu penghalang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, seperti kenaikan suhu air laut dan

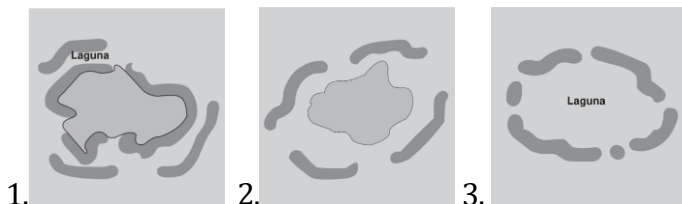
peningkatan keasaman laut akibat perubahan iklim. Faktor-faktor ini dapat menyebabkan pemutihan karang secara massal, yang mengancam keberlangsungan terumbu dan ekosistem yang bergantung padanya.

3. Atol

Atol adalah formasi terumbu karang berbentuk cincin yang mengelilingi laguna dangkal di tengahnya. Atol terbentuk melalui proses bertahap yang dimulai dari terumbu tepi yang mengelilingi sebuah pulau vulkanik. Seiring waktu, pulau vulkanik tersebut perlahan tenggelam atau mengalami erosi, sementara karang terus tumbuh ke atas untuk tetap berada di dekat permukaan air. Proses ini akhirnya menghasilkan struktur melingkar yang membentuk laguna di tengahnya.

Atol sering ditemukan di Samudra Pasifik dan Hindia, di mana mereka menjadi habitat penting bagi berbagai spesies laut. Laguna di tengah atol sering kali menjadi tempat pemijahan dan pembesaran bagi ikan dan invertebrata. Keindahan alami atol juga menjadikannya tujuan wisata yang populer, yang memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat sekitar.

Namun, seperti jenis terumbu lainnya, atol juga menghadapi ancaman serius dari aktivitas manusia dan perubahan lingkungan. Kenaikan permukaan air laut, peningkatan suhu air, dan eksploitasi sumber daya laut dapat merusak struktur atol dan mengancam kelangsungan hidup ekosistem yang ada di dalamnya. Pengelolaan berbasis ekosistem sangat penting untuk melindungi keunikan dan fungsi ekologis atol dalam jangka panjang.



Gambar 5.3. (1)Fringing Reef, (2)Barrier Reef, (3)atol
(Sumber : IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources)

5.2.6 Hubungan Simbiosis Ekosistem Terumbu Karang

Hubungan simbiosis dan interaksi antara predator dan herbivora memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem terumbu karang. Terumbu karang adalah ekosistem yang kompleks, di mana berbagai organisme berinteraksi untuk mempertahankan kesehatan dan kelangsungan hidupnya.

Hubungan Simbiosis antara karang dan alga zooxanthellae merupakan salah satu contoh simbiosis yang paling penting dalam ekosistem terumbu karang. Zooxanthellae adalah alga mikroskopis yang hidup di dalam jaringan karang dan memberikan sebagian besar energi yang diperlukan oleh karang melalui fotosintesis. Sebagai gantinya, karang menyediakan tempat berlindung yang aman dan nutrisi berupa nitrogen dan fosfor yang diperoleh dari hasil metabolisme karang (Roth, 2014). Hubungan ini sangat penting, terutama dalam lingkungan dengan ketersediaan nutrisi yang rendah, karena membantu karang tumbuh dan membentuk struktur terumbu yang kompleks.

Selain simbiosis dengan zooxanthellae, terumbu karang juga memiliki hubungan simbiosis dengan ikan seperti ikan baronang. Ikan baronang membantu membersihkan alga yang tumbuh di permukaan karang, yang jika dibiarkan dapat menghalangi cahaya matahari dan menghambat proses fotosintesis yang dilakukan oleh zooxanthellae. Dengan membersihkan alga, ikan baronang membantu menjaga kesehatan terumbu karang, sedangkan karang menyediakan habitat bagi ikan ini untuk berlindung dari predator.

Peran Herbivora seperti ikan kakak tua (*parrotfish*) juga sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem terumbu karang. Ikan kakak tua memakan alga yang tumbuh di permukaan karang, yang memungkinkan karang untuk terus tumbuh dan mendapatkan akses yang cukup ke cahaya matahari. Dengan memakan alga yang berlebih, ikan kakak tua mencegah alga mendominasi ekosistem terumbu karang, yang dapat merusak keseimbangan ekosistem dan menghambat pertumbuhan karang baru.

Selain herbivora, predator seperti ikan kerapu juga memiliki peran yang signifikan dalam menjaga keseimbangan ekosistem terumbu karang. Predator ini membantu mengendalikan populasi

ikan kecil yang memakan larva karang atau yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Birkeland, 1997). Keberadaan predator dalam ekosistem terumbu memastikan bahwa tidak ada spesies yang tumbuh berlebihan dan merusak kesetimbangan ekologi.

Hubungan yang saling menguntungkan dan interaksi antara berbagai organisme ini menunjukkan pentingnya keragaman spesies dalam mempertahankan kesehatan dan stabilitas terumbu karang. Hilangnya salah satu dari elemen-elemen ini, misalnya akibat penangkapan ikan berlebihan, dapat mengakibatkan gangguan ekosistem yang serius dan merusak terumbu karang secara keseluruhan.

5.3 Peran Ekosistem Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang memiliki peran penting dalam mendukung keseimbangan ekologi serta memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. Dengan keanekaragaman hayati yang tinggi dan berbagai fungsi ekologisnya, ekosistem ini menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan masyarakat pesisir dan ekosistem laut secara keseluruhan. Berikut adalah penjelasan mengenai peran terumbu karang dari perspektif ekologi dan ekonomi.

5.3.1 Peran Ekologis

Ekosistem terumbu karang merupakan salah satu penopang utama keanekaragaman hayati laut. Terumbu karang menyediakan habitat bagi lebih dari 25% spesies laut, termasuk ikan, krustasea, dan moluska. Keanekaragaman organisme yang bergantung pada terumbu karang menjadikannya pusat produktivitas ekosistem laut. Selain itu, terumbu karang menyediakan sumber makanan utama bagi spesies herbivora seperti ikan pemakan alga serta karnivora seperti ikan predator, yang menjaga keseimbangan rantai makanan di ekosistem terumbu karang yang kokoh mampu menyerap energi gelombang laut sebelum mencapai pantai (Moberg dan Folke). Fungsi ini menjadikan terumbu karang sebagai pelindung alami dari abrasi, erosi, dan kerusakan infrastruktur pesisir. Dengan demikian, terumbu karang tidak hanya menjaga stabilitas garis pantai, tetapi juga melindungi wilayah pesisir dari dampak buruk perubahan iklim, seperti badai tropis dan kenaikan permukaan air laut.

Ekosistem terumbu karang berperan sebagai penyaring alami nutrisi dan limbah dalam ekosistem laut. Proses biologis dalam ekosistem terumbu karang membantu mendaur ulang nutrisi, seperti fosfat dan nitrat, yang mendukung pertumbuhan organisme laut lainnya. Kemampuan ini juga mencegah terjadinya eutrofikasi, yaitu kondisi kelebihan nutrisi yang dapat menyebabkan pertumbuhan alga berlebih dan mengganggu ekosistem pesisir.

5.3.2 Peran Ekonomi

Terumbu karang memiliki nilai ekonomi yang sangat besar, terutama dalam mendukung aktivitas perikanan, yang sangat penting bagi masyarakat pesisir. Banyak spesies ikan komersial, seperti kerapu dan kakap, memanfaatkan terumbu karang sebagai tempat pemijahan, perlindungan, dan pencarian makanan selama siklus hidupnya. Keberadaan terumbu karang yang sehat menjadi faktor utama dalam mendukung populasi ikan yang berkelanjutan, sehingga berkontribusi pada ketahanan pangan lokal. Selain itu, hasil tangkapan dari kawasan terumbu karang juga memberikan kontribusi signifikan terhadap perdagangan ikan global, yang pada gilirannya meningkatkan pendapatan masyarakat pesisir serta perekonomian secara keseluruhan (Spalding dkk, 2001).

Keindahan bawah laut terumbu karang juga menjadikannya daya tarik utama bagi wisatawan dari seluruh dunia. Destinasi-destinasi terkenal seperti Raja Ampat dan Bunaken di Indonesia menjadi contoh nyata dari potensi pariwisata yang berbasis ekosistem ini. Kegiatan seperti menyelam dan snorkeling tidak hanya memberikan pengalaman rekreasi yang unik, tetapi juga berfungsi untuk mempromosikan kesadaran global akan pentingnya pelestarian lingkungan laut. Industri pariwisata berbasis ekosistem terumbu karang memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian nasional melalui pemasukan devisa, sekaligus meningkatkan daya saing pariwisata Indonesia di tingkat global.

Industri pariwisata ini juga memberikan manfaat langsung bagi masyarakat lokal, dengan menciptakan peluang kerja di berbagai sektor. Banyak penduduk pesisir yang terlibat dalam sektor pariwisata, seperti menjadi pemandu wisata, penyedia jasa transportasi laut, dan operator fasilitas penginapan. Kehadiran

sektor pariwisata berbasis terumbu karang membantu meningkatkan taraf hidup masyarakat lokal dan mendorong pembangunan ekonomi daerah. Selain itu, wisata berbasis komunitas juga memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk mempromosikan budaya dan tradisi mereka kepada wisatawan, yang semakin memperkaya pengalaman wisatawan yang berkunjung.

Keindahan bawah laut terumbu karang juga menjad yang besar, menarik wisatawan dari seluruh dunia untuk melakukan kegiatan seperti menyelam dan snorkeling. Destinasi seperti Raja Ampat dan Bunaken di Indonesia merupakan contoh nyata potensi pariwisata berbasis ekosistem terumbu karang. Industri pariwisata ini tidak hanya memberikan pemasukan besar untuk perekonomian nasional, tetapi juga menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat.

Namun, dengan peran besar yang dimainkan terumbu karang dalam sektor perikanan dan pariwisata, pelestariannya menjadi sangat penting. Ancaman seperti perubahan iklim, pemutihan karang, dan aktivitas manusia yang merusak lingkungan laut harus segera diatasi melalui program konservasi dan edukasi masyarakat. Upaya pelestarian terumbu karang tidak hanya melindungi keanekaragaman hayati laut, tetapi juga memastikan keberlanjutan manfaat ekonomi dan sosial yang dihasilkan oleh ekosistem ini. Dengan demikian, terumbu karang dapat terus menjadi sumber kehidupan dan pendukung kesejahteraan bagi generasi mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Birkeland Charles. 1997. Symbiosis, fisheries and economic development on coral reefs. *Trends in ecology & evolution*, 12(9), 364-367.
[https://www.cell.com/trends/ecologyevolution/abstract/S0169-5347\(97\)01099-9](https://www.cell.com/trends/ecologyevolution/abstract/S0169-5347(97)01099-9)
- Cesar Herman, dkk. 2003. The economics of worldwide coral reef degradation. Arnhem: Cesar Environmental Economics Consulting (CEEC)
- Crossland Christopher, dkk. 1991. Role of coral reefs in global ocean production. *Coral reefs*, 10, 55-64.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00571824>
- Hutchings Pat. 1986. Biological destruction of coral reefs: a review. *Coral reefs*, 4, 239-252.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00298083>
- Moberg Fredrik, & Folke, Carl. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological economics*, 29(2), 215-233.
[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9)
- Nontji, A. 1984. *Biomassa dan produktivitas perairannya Teluk Jakarta serta kaitannya dengan faktor lingkungan*. Bogor: Fakultas Pascasarjana IPB.
- Nybakken James Willard., & Mark D. Bertness. 2005. *Marine biology: an ecological approach Sixth edition*. San Fransisco: Benjamin-Cummings.
- Roth, M. S. (2014). The engine of the reef: photobiology of the coral-algal symbiosis. *Frontiers in microbiology*, 5, 422.
- Spalding, M., Ravilious, C., & Green, E.P. (2001). *World Atlas of Coral Reefs*. University of California Press.
- Veron, J.E.N. (2008). *A Reef in Time: The Great Barrier Reef from Beginning to End*. Harvard University Press.

BAB 6

FAKTOR- FAKTOR YANG BERPERAN DALAM EKOSISTEM TERUMBU KARANG

Oleh Mudasir Zainuddin

6.1 Pendahuluan



Gambar 6.1. Kondisi Terumbu Karang di Bawah Laut sebagai sebuah ekosistem yang ada di Pulau Pannabungan Kepulauan Spermonde

(Sumber: Foto Koleksi Pribadi)

Salah satu ekosistem memiliki peranan yang penting namun rentan mengalami kerusakan yaitu terumbu karang, yang memiliki fungsi dan peran bagi kehidupan di Laut maupun di Pesisir (Muller *et al.*, 2012; Rani *et al.*, 2017)

Terumbu Karang memiliki peran yang begitu penting baik secara ekologi maupun secara fisik. Peran Penting Terumbu Karang secara ekologi bagi kehidupan Biota Laut lainnya yang berada

disekitarnya yaitu memiliki peran sebagai tempat perlindungan, mencari dan memberi makan (*Feed*), berkembang biak dan membesarkan anak baik untuk sementara ataupun menetap selamanya, sehingga Terumbu Karang menjadi daerah dengan tingkat biodiversitas hayati biota laut yang tinggi (Gudang Biota Laut)(Zainuddin, 2012; Kadarusman et al., 2019; Nurdin et al., 2019).

Terumbu karang sebagai sebuah ekosistem memiliki peran dan fungsi, baik secara fisik bagi kehidupan manusia seperti memiliki peran sebagai penahan abrasi pantai di mana Ekosistem terumbu karang berfungsi sebagai pemecah gelombang. Selain sebagai pemecah gelombang terumbu karang juga memiliki peran sebagai *barrier* untuk menahan tsunami yang datang. Selain yang disebutkan diatas Ekosistem Terumbu Karang juga memiliki fungsi lain seperti sebagai sumber bahan obat, pariwisata (Snorkling dan Diving), daerah penangkapan dan sebagai sumber pendapatan bagi masyarakat pesisir (Depi Nurcahyani, Gede Astawa Karang and Karim, 2018; Frias-Torres, Montoya-Maya and Shah, 2019; Zurba, 2019; Ali Subhan, 2020)

Terumbu karang sebagai sebuah Ekosistem memiliki peran yang begitu penting seperti yang dibahas diatas tadi namun juga memiliki faktor-faktor pembatas atau yang berpengaruh bagi kelangsungan hidup bagi terumbu karang seperti Kualitas Air, pencemaran, aktivitas manusia, dan perubahan Iklim.

6.2 Kualitas Air

Kelestarian Terumbu Karang sangat penting untuk dijaga keberlangsungan hidupnya oleh karena itu, penting untuk mengetahui faktor pembatas yang berpengaruh terhadap kondisi lingkungan khususnya kualitas perairan yang dibutuhkan untuk tumbuh dan berkembang. Adapun faktor pembatas atau kualitas air yang dibutuhkan bagi terumbu karang untuk tumbuh dan berkembang yaitu, cahaya, kedalaman, sedimentasi, suhu, salinitas, pH, arus, dan substrat (Kleypas, McManu and Mene, 1999; Zainuddin, 2012, 2021; Maryam *et al.*, 2023)

6.2.1 Cahaya

Cahaya memiliki peran penting dalam pertumbuhan dan perkembangan terumbu karang di mana dalam hal ini cahaya berperan penting dalam proses fotosintesis bagi simbion karang (*Zooxanthellae*). Hasil dari reaksi bio-kimia (fotosintesis) dimanfaatkan oleh hewan (Polip) karang digunakan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi karang. Peran cahaya sangat penting bagi kelangsungan terumbu karang, hal ini dikarenakan 70-90% kebutuhan terumbu karang ditopang oleh hasil fotosintesis yang dihasilkan oleh *Zooxanthellae* (Simbion Karang), di mana kebutuhan akan intensitas cahaya untuk tumbuh dan berkembang berada diantara 200 hingga 700 f.c (*Foot candela*) atau sekitar 15-20% intensitas cahaya dipermukaan (Zainuddin, 2012; Akbar Alamanda, Yulianto and Muhaemin, 2018; Mulyani, Purnomo and Supriharyono, 2020)

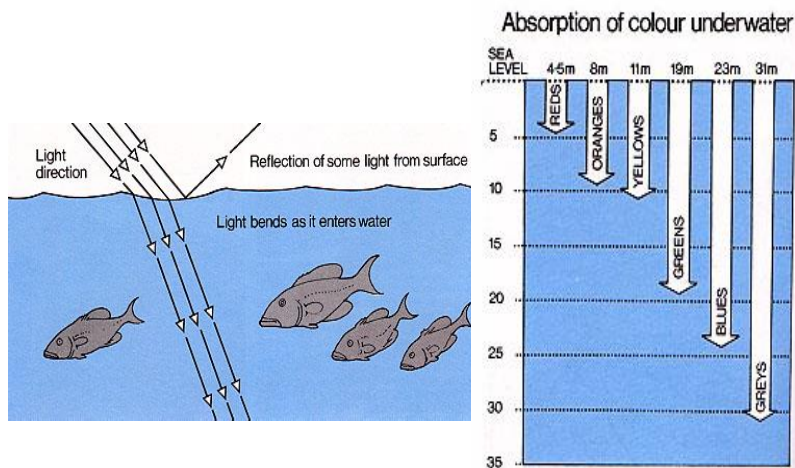
6.2.2 Kedalaman

Sebaran terumbu karang sangat dipengaruhi oleh kedalaman laut, hal ini disebabkan semakin dalam sebuah perairan keragaman spesies terumbu karang semakin berkurang, Keragaman terumbu karang banyak hidup, tumbuh dan berkembang pada kedalaman kurang dari 25 meter. Semakin dalam sebuah perairan laut keragaman karang semakin rendah namun beberapa spesies karang dapat hidup dan bertahan pada kedalaman pada kedalaman yang lebih dalam dari 25 meter, sehingga beberapa kasus spesies karang tertentu mendominasi dasar perairan yang lebih dalam tersebut (Muhlis, 2019)

Kedalaman laut akan berpengaruh terhadap kehadiran intensitas cahaya yang masuk ke dasar perairan dalam hal ini menunjukkan semakin dalam dasar perairan maka intensitas cahaya semakin sedikit, hal ini dipengaruhi oleh kemampuan cahaya dalam menembus kedalaman laut. Sebagai mana kita ketahui bahwa intensitas cahaya berpengaruh terhadap densitas *zooxanthellae* serta proses fotosintesis yang akan berdampak pada hasil fotosintesis yang dihasilkan, yang mana kita ketahui bahwa 70-90% *zooxanthellae* menopang kehidupan hewan karang (Lakastri,

Purnomo and Muskananfol, 2018; Mulyani, Purnomo and Supriharyono, 2020)

Seperti yang disebutkan tadi bahwa semakin dalam sebuah perairan laut semakin rendah intensitas cahaya yang ada, hal ini dipengaruhi kemampuan panjang gelombang cahaya untuk menembus kedalaman air laut. Intensitas cahaya merah memiliki frekuensi gelombang cahaya yang panjang sehingga sangat sulit untuk menembus kedalaman air laut yang mana cahaya merah hanya mampu menembus kedalaman laut hingga maksimal 5 meter. Sehingga lebih dari 5 meter warna merah tidak akan terlihat lagi kecuali dengan bantuan cahaya buatan seperti sumber cahaya buatan. (Zainuddin, no date)



Gambar 6.2. Pembiasan cahaya pada berbagai kedalaman laut.
(Sumber; PPT Fisika Penyelaman dan Tabel Selam ADS International)

6.2.3 Sedimentasi

Faktor yang berpengaruh lainnya yang berpengaruh terhadap persebaran ekosistem terumbu karang yaitu sedimentasi di mana sedimen ini dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan sehingga menyebabkan kerusakan hingga kematian bagi ekosistem terumbu karang. Sebagaimana kita ketahui bahwa sedimen yang terlarut dalam sebuah perairan akan berpengaruh terhadap intensitas cahaya, sehingga akan berdampak terhadap proses

fotosintesis yang terjadi pada simbion karang (*Zooxhantellae*). Semakin tinggi tingkat sedimentasi pada suatu perairan maka tingkat kematian bagi hewan karang akan semakin tinggi pula sehingga sedimentasi memiliki peran penting bagi keberlangsungan terumbu karang (Suryanti, Supriharyono and Anggoro, 2019; Zainuddin *et al.*, 2022)

Sedimentasi memiliki dampak yang cukup besar bagi hewan karang (Polip Karang) dikarenakan mampu menutup polip karang yang mengakibatkan karang menjadi stres dan jika terjadi secara terus menerus atau berkelanjutan akan mengakibatkan kematian bagi karang. Terumbu karang memiliki kemampuan untuk bertahan pada sedimentasi namun terbatas pada jumlah sedimen yang terlarut dengan standar sedimentasi sebesar 5 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Namun ada beberapa jenis atau kelompok karang yang mampu bertahan dan beradaptasi pada kondisi dengan sedimentasi yang tinggi atau kondisi ekstrim seperti kelompok karang *Porites lutea*, *Porites lobata*, *Montastrea sp.*, *Favites sp.*, dan dari Genus *Galaxea* (Perry and Larcombe, 2003; Goodkin *et al.*, 2011; Zainuddin *et al.*, 2022)

6.2.4 Suhu

Suhu berperan penting terhadap keberlangsungan terumbu karang sebagai ekosistem, dimana dalam hal ini suhu memiliki peran sebagai faktor pembatas atas keberadaan karang. Secara umum terumbu karang ditemukan pada daerah dengan kondisi suhu berkisar antara 16-36 °C, dan terumbu karang mampu berkembang pada suhu berkisar 26-28 °C dan beberapa literatur menjelaskan bahwa karang tumbuh optimum pada suhu yang memiliki kisaran 25-29 °C. Suhu diluar kisaran tersebut dapat di tolerir oleh terumbu karang namun untuk beberapa waktu saja seperti ketika suhu diatas 36 °C terumbu karang masih mampu bertahan namun beberapa saat saja demikian pun sebaliknya jika suhu berada dibawah 20 °C mampu bertahan selama beberapa waktu. (Akbar Alamanda, Yulianto and Muhaemin, 2018; Zurba, 2019; Maryam *et al.*, 2023; Rajabson, Rachmayani and Sarasvati, 2023)

6.2.5 Salinitas

Faktor pembatas yang juga memiliki peran yang penting yaitu salinitas, yang mana menunjang keberlangsungan atas pertumbuhan serta mempengaruhi perkembangan hewan (polip) karang. Hewan (Polip) karang sebagai pembentuk terumbu dapat mengalami pertumbuhan yang baik dan akan mengalami perkembangan yang sangat baik pada daerah pesisir dengan salinitas berkisar antara 30-36 ppt (*Part per thausad*), namun yang perlu diperhatikan disini bahwa terumbu karang sebagai biota laut sejati hanya dapat bertumbuh dan mengalami perkembangan yang baik pada daerah dengan salinitas normal, berkisar antara 32 hingga 35 ppt. Dalam beberapa kasus ditemukan beberapa terumbu karang yang hidup dan bertahan pada kondisi salinitas air laut diatas normal seperti yang ditemukan pada kawasan perairan yang berada di Daerah Timur tengah dengan kondisi Salinitas 42 ppt (Smith, 2003; Akbar Alamanda, Yulianto and Muhaemin, 2018; Muhlis, 2019; Zainuddin *et al.*, 2022)

6.2.6 pH

pH singkatan dari *Potential of Hydrogen* yang merupakan derajat atau tingkat keasaman untuk menyatakan atau mengukur tingkat keasaman dan kebasahan dalam suatu larutan. pH dalam hal ini berperan penting sebagai faktor pembatas atas keberadaan ekosistem terumbu karang di mana pH normal air laut memiliki kisaran antara 7 hingga 8.5. Ketika terjadi kenaikan keasaman air laut maka terumbu karang akan mengalami kenaikan atau kematian yang mengakibatkan struktur rangka kapur karang akan menjadi rapuh (Aini *et al.*, 2013; Septiyawati *et al.*, 2017; Varabih and Fitri, 2024)

6.2.7 Arus

Arus merupakan faktor yang berpengaruh terhadap keberadaan ekosistem terumbu karang, bentuk pertumbuhan (*Life form*) serta jumlah baik dari jenis maupun kuantitas. Pemahaman terkait pola arus, kecepatan arus, dan arah arus penting untuk diketahui sehingga pengaruh sebaran dan pertukaran unsur-unsur hara (*Nutrient*), suspensi terlarut, berbagai macam material fisika-

kimia hingga biologi(Yusuf *et al.*, 2012; Budi Prasetyawan *et al.*, 2014; Al Tanto *et al.*, 2023)

6.2.8 Substrat

Terumbu karang khususnya dari kelompok karang *Hermatipik* (Penghasil rangka kapur) hanya dapat melekat pada substrat yang keras, solid dan kokoh. Substrat dasar sebuah perairan yang dibutuhkan bagi hewan (polip) karang dapat berupa benda-benda yang terbenam didasar perairan laut seperti besi, kayu, batu, kayu hingga karang yang sudah mati dapat menjadi substrat bagi *Planula* hewan karang. Namun perlu kita ketahui bahwa ketahanan dari spesies atau jenis karang berbeda-beda terhadap substrat (Prameliasari, Munasik and Wijayanti, 2012; Tanamal, Tuhumury and Sangaji, 2019; Maryam *et al.*, 2023)

6.3 Pencemaran

Salah satu faktor yang saat ini menjadi hambatan dan kendala yang dihadapi oleh ekosistem terumbu karang yaitu pencemaran yang marak terjadi baik secara langsung, disengaja, tidak langsung maupun tidak disengaja. Pencemaran yang terjadi saat ini akibat ulah manusia sendiri. Berdasarkan sumbernya pencemaran di Laut tergolong kedalam Limbah rumah tangga (Domestik), limbah dari Industri dan limbah dari atau hasil pertanian (Santoso, 2013; Pratama, Kurniawan and Ilhamdy, 2020; Ninta Br Sitepu, 2024).

6.3.1 Limbah Domestik

Limbah domestik (rumah tangga) menjadi salah satu yang menyebabkan terhambat dan rusaknya terumbu karang (ekosistem). Limbah domestik yang menjadi pencemar di Laut dapat berupa bahan organik maupun anorganik dan dapat pula berbentuk cair, padat, maupun gas yang masuk kedalam badan air yang terbawa hingga ke Laut. Limbah domestik yang terbawa kedalam air laut dapat membawa bakteri, parasit maupun virus yang berdampak bagi kehidupan biota laut lainnya jika kondisi tersebut terus menerus terjadi (Peningkatan). Limbah domestik yang umum ditemukan di Laut berupa kotoran manusia dan hewan, sementara limbah domestik anorganik dapat berupa detergen,

sampo dan lainnya yang sifatnya cair. Limbah domestik padat yang menjadi pencemar di Laut dapat berupa sampah plastik, botol, besi, kaca dan lainnya yang saat ini juga dikenal dengan istilah *marine debris*. Ketika pencemaran limbah domestik terus-menerus terjadi dan lingkungan sampai pada titik jenuh, maka akan berdampak pada produktivitas primer sehingga ekosistem terumbu karang yang berada didalamnya akan mengalami penurunan, kerusakan hingga hilangnya ekosistem tersebut (Anwariani, 2019; Pratama, Kurniawan and Ilhamdy, 2020; Ninta Br Sitepu, 2024)



Gambar 6.3. Sampah di dasar perairan Pulau Barrang Lompo Kep. Spermonde Prov. Sulawesi Selatan
(Sumber; Foto Koleksi Pribadi)

6.3.2 Limbah Industri

Industri menjadi salah satu penyumbang atas kerusakan lingkungan khususnya ekosistem terumbu karang, di mana limbah industri yang terbuang baik disengaja ataupun tidak disengaja terbawa hingga ke Laut dapat berupa logam berat, sedimen, dan bahan berbahaya dan beracun (*Toxic*). Limbah Industri tambang yang berupa tailing sering terbuang ke dasar Laut yang mana pada dasarnya mengendap didasar perairan namun karena perubahan arus dan gelombang mengakibatkan limbah berupa tailing tersebut terangkat dan terbawa sehingga memberikan dampak negatif bagi ekosistem disekitarnya seperti ekosistem terumbu karang. Limbah industri yang terserap atau masuk kedalam tubuh

organisme akan berdampak bagi organisme tersebut dan terus mengalami penumpukan atau akumulatif sehingga akan mempengaruhi rantai makan yang lambat laut akan mengalami kerusakan hingga kematian dan efek jangka panjang bisa saja mengakibatkan kepunahan suatu spesies hingga ekosistem (Santoso, 2013)

6.3.3 Limbah Pertanian

Pertanian juga menjadi salah satu penyumbang pencemaran di Laut, yang mana kita ketahui bahwa pemupukan yang berlebihan pada lahan pertanian membuat tanah menjadi jenuh, dan sebagian dari sisa pupuk, pestisida yang terbawa oleh air masuk kedalam tanah, kemudian air tanah ini masuk kedalam badan air seperti sungai yang bermuara ke laut, yang selanjutnya terbawa arus. Pupuk dan pestisida tersebut ketika melebihi ambang batas toleransi dari ekosistem terumbu karang akan mengakibatkan stres hingga kematian bagi biota didalamnya. Dampak lain terhadap ekosistem terumbu karang khususnya hewan (Polip) karang jika kondisi ini terus menerus terjadi dapat menyebabkan penyakit karang hingga terjadi pemutihan (*Bleaching*), dan ketika kondisi ini berlangsung secara terus-menerus (Jangka waktu yang berkepanjangan) maka akan menyebabkan kematian pada karang. (Santoso, 2013; Nabil Arifin and Nasruddin, 2022)

6.4 Aktivitas Manusia

Rusaknya ekosistem terumbu karang saat ini juga banyak dipicu atau diperparah oleh aktivitas manusia. Adapun aktivitas manusia yang dimaksud seperti aktivitas yang tidak ramah lingkungan, pengelolaan sampah, aktivitas tambang, pembangunan di daerah pesisir yang tidak ramah lingkungan, eksploitasi yang berlebihan, industri minyak di Laut dan sebagainya. Selain yang disebut, aktivitas pariwisata menjadi salah satu penyebab dan penyumbang atas kerusakan yang terjadi terhadap ekosistem terumbu karang. Aktivitas manusia menjadi pengrusak ekosistem terumbu karang yang sifatnya permanen dan berefek jangka panjang dan permanen. Aktivitas manusia seperti penggunaan alat tangkap yang merusak seperti pukat harimau, penggunaan bahan

peledak, penggunaan bius/ bahan kimia (sianida), penambangan batu karang (Karang hidup), penyetruman dan aktivitas berbahaya lainnya. (Jubaedah and Anas, 2019; Nabil Arifin and Nasruddin, 2022; Ginting, 2023)

6.5 Perubahan Iklim

Kerusakan terhadap ekosistem terumbu karang yang terjadi saat ini juga banyak dipicu atau diperparah oleh perubahan iklim. Perubahan iklim menjadi salah satu penyebab alami rusaknya terumbu karang sehingga ekosistem mengalami masalah. Terjadinya Kenaikan atau naiknya level air permukaan Laut merupakan akibat dari perubahan iklim. Perubahan iklim juga menyebabkan karang memutih atau pemutihan karang (*Bleaching*) dan hantaman fisik yang terjadi karena gelombang air Laut yang besar dan kuat (Romahon, 2014; Dewi *et al.*, 2023)

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, M. *et al.* (2013) *PROFIL KANDUNGAN NITRAT DAN FOSFAT PADA POLIP KARANG Acropora sp. DI PULAU MENJANGAN KECIL TAMAN NASIONAL KARIMUNJAWA, DIPONEGORO JOURNAL OF MAQUARES*. Available at: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>.
- Akbar Alamanda, R., Yulianto, H. and Muhaemin, M. (2018) *EFEKTIVITAS INTENSITAS CAHAYA KAITANNYA DENGAN GRADASI WARNA PADA TERUMBU KARANG Zoanthus sp.* Bandar Lampung.
- Ali Subhan, M. (2020) *LAJU PERTUMBUHAN TERUMBU KARANG Acropora loripes MENGGUNAKAN METODE TRANSPLANTASI MODUL RANGKA SPIDER DI PERAIRAN DESA LES KABUPATEN BULELENG, BALI MUHAMMAD*.
- Anwariani, D. (2019) 'Pengaruh Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Sungai', *Journal Teknik Lingkungan*, 9(6).
- Budi Prasetyawan, I. *et al.* (2014) *STUDI ARUS LAUT DAN SEDIMEN DASAR DALAM HUBUNGANNYA DENGAN KONDISI TERUMBU KARANG DI PERAIRAN PULAU PARANG KEPULAUAN KARIMUNJAWA JEPARA JAWA TENGAH*. Available at: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose.50275Telp/Fax>.
- Depi Nurcahyani, L.P.A., Gede Astawa Karang, I.W. and Karim, W. (2018) 'Laju Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Transplantasi Karang Acropora secale di Pantai Serangan dan Pantai Geger, Bali', 4, pp. 297–303.
- Dewi, K.V.C. *et al.* (2023) 'Dampak Perubahan Iklim dan Aktivitas Manusia terhadap Kerusakan Ekosistem Terumbu Karang dan Biota Laut di Sekitarnya', *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 3(1). Available at: <https://doi.org/10.36312/pjipst.v3i1.138>.
- Frias-Torres, S., Montoya-Maya, P. and Shah, N. (2019) *Coral Reef Restoration Toolkit: A Field-Oriented Guide Developed in the Seychelles Islands*. Available at: <https://doi.org/10.31230/osf.io/8eua9>.

- Ginting, J. (2023) 'ANALISIS KERUSAKAN TERUMBU KARANG DAN UPAYA PENGELOLAANNYA', *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan (JKPT)*, 1. Available at: <https://doi.org/10.15578/jkpt.v1i0.12066>.
- Goodkin, N.F. *et al.* (2011) 'Coral communities of Hong Kong: Long-lived corals in a marginal reef environment', *Marine Ecology Progress Series*, 426(March), pp. 185–196. Available at: <https://doi.org/10.3354/meps09019>.
- Jubaedah, I. and Anas, P. (2019) 'Dampak Pariwisata Bahari Terhadap Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Nusa Penida, Bali', *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, 13(1). Available at: <https://doi.org/10.33378/jppik.v13i1.124>.
- Kadarusman, K. *et al.* (2019) *Buku Besar Maritim Indonesia*. 2nd edn. Edited by S. Widjaja and K. Kadarusman. Jakarta: AMAFRAD PRESS.
- Kleypas, J.A., McManu, J.W. and Mene, L.A.B. (1999) 'Environmental limits to coral reef development: Where do we draw the line?', *American Zoologist*, 39(1), pp. 146–159. Available at: <https://doi.org/10.1093/icb/39.1.146>.
- Lakastri, L., Purnomo, P.W. and Muskananfolo, M.R. (2018) 'PENGARUH KEDALAMAN TERHADAP PRODUKTIVITAS PRIMER DAN DENSITAS ZOOXANTHELLAE PADA KARANG DOMINAN DI PULAU CEMARA KECIL, KARIMUNJAWA', *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 7(4). Available at: <https://doi.org/10.14710/marj.v7i4.22667>.
- Maryam, M. *et al.* (2023) *Analisis Pertumbuhan Hewan Karang Jenis Acropora Pada Media Transplan Gantung Dan Spider, BIOMA*.
- Muhlis (2019) 'Jurnal Biologi Tropis Pertumbuhan Kerangka Karang Acropora di Perairan Sengigi Lombok'.
- Muller, E.M. *et al.* (2012) 'Coral Health and Disease in the Spermonde Archipelago and Wakatobi, Sulawesi', *Journal of Indonesia Coral Reefs*, 1(3), pp. 147–159.
- Mulyani, M.S., Purnomo, P.W. and Supriharyono, S. (2020) 'PENGARUH BERBAGAI TEMPERATUR TERHADAP PELEPASAN DENSITAS ZOOXANTHELLAE PADA KARANG Acropora sp. DALAM SKALA LABORATORIUM', *Jurnal Pasir*

- Laut, 4(1). Available at: <https://doi.org/10.14710/jpl.2020.30525>.
- Nabil Arifin, A. and Nasruddin (2022) 'Kerusakan Lingkungan Laut Pada Ekosistem Terumbu Karang Di Kabupaten Maluku Tenggara Akibat Faktor Alam dan Aktivitas Manusia (Physico Natural Features Environmental Analysis)', *Jurnal Penelitian Multidisiplin*, 1(2), pp. 50–60. Available at: <https://journal.pbnsurabaya.co.id>.
- Ninta Br Sitepu, R. (2024) 'Analisis Dampak Limbah DOMestik Rumah Tangga Terhadap Pencemaran Lingkungan di Tanjung Balai Sumatera Utara', *JK: Jurnal Kesehatan*, 2(2), pp. 112–118.
- Nurdin, M. *et al.* (2019) 'Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan', 10(1), pp. 15–28.
- Perry, C.T. and Larcombe, P. (2003) 'Marginal and non-reef-building coral environments', *Coral Reefs*, 22(4), pp. 427–432. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00338-003-0330-5>.
- Prameliasari, R.T.A., Munasik and Wijayanti, D.P. (2012) 'Pengaruh Perbedaan Ukuran Fragmen dan Metode Transplantasi Terhadap Pertumbuhan Karang Pocillopora damicornis di Teluk Awur, Jepara', *Journal of Marine Research*, 1(1).
- Pratama, G., Kurniawan, I.D. and Ilhamdy, A.F. (2020) 'Pengendalian Pencemaran Limbah Domestik sebagai Upaya Rehabilitasi Pesisir di Desa Malangrapat, Kabupaten Bintan', *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*, 4(1). Available at: <https://doi.org/10.20961/prima.v4i1.41228>.
- Rajabson, M.H.S., Rachmayani, R. and Sarasvati, P.N. (2023) 'Kesesuaian kondisi oseanografi dalam mendukung ekosistem terumbu karang di pantai mengiat, Nusa Dua Bali', *Applied Environmental Science*, 1(1). Available at: <https://doi.org/10.61511/aes.v1i1.2023.60>.
- Rani, C. *et al.* (2017) 'KEBERHASILAN REHABILITASI TERUMBU KARANG AKIBAT PERISTIWA BLEACHING TAHUN 2016 DENGAN TEKNIK TRANSPLANTASI Successfullnes', *Spermonde*, 3, pp. 13–19.
- Romahon, A. (2014) 'Analisis Kerentanan dan Adaptasi Masyarakat Pulau Gili Labak Terhadap Perubahan Iklim Berbasis

- Ekosistem Terumbu Karang', *Konferensi dan Seminar Nasional Pusat Studi Lingkungan Hidup XXII - 2014* [Preprint], (2008).
- Santoso, R.W. (2013) 'Dampak Pencemaran Lingkungan Laut Oleh Perusahaan Pertambangan Terhadap Nelayan Tradisional', *Lex Administratum*, 1(2).
- Septiyawati, F. *et al.* (2017) 'Kajian Respon Fisiologis Organisme Karang Keras yang Hidup pada Kondisi Alam yang Marginal', pp. 1–25.
- Smith, D.J. (2003) 'Marine biodiversity and ecology of the Southeast Sulawesi'.
- Suryanti, Supriharyono and Anggoro, S. (2019) *Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu*, Semarang : UNDIP Press.
- Tanamal, Y., Tuhumury, S.F. and Sangaji, M. (2019) 'ANALISIS KESESUAIAN DAN DAYA DUKUNG DAERAH REHABILITASI LAGUNA BESAR DAN SLOPE REEF LAGUNA KIPUO, NEGERI IHAMAHU', *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 15(1). Available at: <https://doi.org/10.30598/tritonvol15issue1page21-29>.
- Al Tanto, T. *et al.* (2023) 'Hubungan Parameter Arus Laut dan Lifeform Karang pada Beberapa Pulau-Pulau Kecil di Kota Padang', *Majalah Ilmiah Globe*, 25, pp. 1–23.
- Varabih, C.A. and Fitri, D.H. (2024) 'Pengaruh pemanasan global dan pengasaman laut terhadap biota', *Journal of Oceanography and Aquatic Science*, 2(1).
- Yusuf, M. *et al.* (2012) *Karakteristik Pola Arus Dalam Kaitannya dengan Kondisi Kualitas Perairan dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Kawasan Taman Nasional Laut Karimunjawa*, *Buletin Oseanografi Marina Oktober*. Available at: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/bulomaDiterima/Received:16-07-2012>.
- Zainuddin, M. (2012) 'Penutupan Karang di Pulau Lae-lae dan Pulau Bone Batang Sulawesi Selatan', p. 89. Available at: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25456.17925>.

- Zainuddin, M. (2021) *Kajian Eko-fisiologi Terumbu Karang Porites lutea pada Habitat Terumbu Karang Marginal*. Universita Hasanuddin.
- Zainuddin, M. *et al.* (2022) 'ECO-PHYSIOLOGICAL STUDY OF PORITES LUTEA IN MARGINAL CORAL REEF HABITAT'. Available at: <https://doi.org/10.20956/jiks.v7i2.14647>.
- Zainuddin, M. (no date) 'Fisika Penyelaman dan Tabel Selam'.
- Zurba, N. (2019) 'Pengenalannya Terumbu Karang', pp. 1–7.

BAB 7

FUNGSI DAN PERANAN PADANG LAMUN

Oleh Anisa Aulia Sabilah

7.1 Sebagai Habitat dan Tempat Berlindung

Padang lamun memainkan peran yang sangat penting dalam ekosistem laut sebagai habitat dan tempat berlindung bagi berbagai jenis kehidupan laut. Berikut adalah beberapa poin utama mengenai fungsi ini:

7.1.1 Tempat Berlindung bagi Spesies Laut

1. Perlindungan dari Predator

Struktur fisik padang lamun, dengan daun-daun yang panjang dan lebat, menciptakan lingkungan yang kompleks dan memberikan tempat bagi berbagai organisme laut untuk berlindung dari predator. Ikan kecil, moluska, krustasea, dan invertebrata lainnya seringkali bersembunyi di antara daun lamun, yang membantu mereka menghindari ancaman dari ikan besar atau predator lainnya.

2. Tempat Bertelur dan Berkembang Biak

Banyak spesies ikan dan invertebrata memilih padang lamun sebagai tempat untuk bertelur dan membesarkan anak-anaknya. Lingkungan padang lamun yang terlindung menawarkan kondisi yang ideal bagi perkembangan larva dan juvenil hingga mereka cukup besar dan kuat untuk menjelajah perairan terbuka.

7.1.2 Habitat Beragam bagi Organisme Laut

1. Keanekaragaman Hayati Tinggi

Padang lamun mendukung berbagai spesies laut, mulai dari ikan, udang, kepiting, hingga penyu dan mamalia laut seperti dugong. Ekosistem ini merupakan habitat penting bagi

beberapa spesies endemik dan langka yang tidak bisa bertahan hidup di lingkungan lain.

2. Hubungan Simbiosis

Di padang lamun, banyak hubungan simbiosis terjadi antara berbagai organisme. Sebagai contoh, ikan-ikan kecil yang berlindung di padang lamun juga membantu membersihkan lamun dari parasit atau ganggang yang dapat menghambat pertumbuhannya, sehingga menciptakan ekosistem yang saling mendukung.

7.1.3 Fungsi Sebagai "Nursery Ground"

1. Area Pembibitan

Padang lamun sering disebut sebagai "nursery ground" atau tempat pembibitan bagi banyak spesies ikan dan invertebrata. Di tahap awal kehidupan mereka, hewan-hewan ini tumbuh di lingkungan lamun yang kaya akan sumber makanan, tetapi dengan risiko pemangsaan yang lebih rendah dibandingkan perairan terbuka.

2. Penting bagi Siklus Hidup Lautan

Beberapa spesies ikan laut yang bernilai ekonomis tinggi, seperti ikan kakap, barakuda, dan beberapa jenis kerapu, menghabiskan fase awal hidup mereka di padang lamun sebelum bermigrasi ke terumbu karang atau perairan laut yang lebih dalam. Padang lamun memberikan kondisi yang ideal untuk pertumbuhan mereka selama tahap kritis perkembangan ini.

Padang lamun bukan hanya habitat tempat tinggal bagi berbagai spesies laut, tetapi juga merupakan area perlindungan yang esensial untuk pertumbuhan, pembibitan, dan siklus hidup organisme laut. Peranannya sebagai habitat dan tempat berlindung menjaga kelestarian keanekaragaman hayati serta mendukung ekosistem laut yang sehat dan produktif.

7.2 Sebagai Sumber Makanan

Padang lamun memainkan peran penting dalam ekosistem laut sebagai sumber makanan langsung dan tidak langsung bagi

berbagai spesies. Berikut adalah penjelasan detail mengenai fungsi dan peranan padang lamun dalam konteks ini:

7.2.1 Sumber Makanan Langsung

1. Herbivora Laut

Beberapa spesies laut secara langsung mengonsumsi daun lamun sebagai sumber makanan utama mereka. Spesies-spesies ini termasuk:

- a. Dugong: Mamalia laut ini dikenal sebagai pemakan lamun utama. Dugong secara eksklusif memakan lamun dan sangat bergantung pada padang lamun untuk kelangsungan hidupnya.
- b. Penyu Hijau: Spesies penyu ini juga merupakan herbivora yang secara signifikan memakan lamun, terutama di masa dewasa. Padang lamun menjadi sumber nutrisi penting yang membantu penyu hijau tumbuh dan berkembang.

2. Ikan dan Invertebrata

Beberapa jenis ikan herbivora, moluska, dan krustasea juga mengonsumsi bagian dari lamun, terutama daun yang lebih muda dan lunak. Organisme-organisme ini memanfaatkan lamun sebagai bagian dari diet harian mereka.

7.2.2 Sumber Makanan Tidak Langsung

1. Mikroorganisme dan Detritus

Ketika daun lamun mati dan terurai, mereka membentuk detritus, yang menjadi makanan penting bagi berbagai spesies invertebrata kecil dan mikroorganisme. Proses dekomposisi ini menghasilkan materi organik yang kaya nutrisi, yang kemudian dikonsumsi oleh berbagai organisme laut lainnya, termasuk cacing, krustasea kecil, dan beberapa spesies ikan kecil.

2. Produktivitas Primer

Padang lamun berperan sebagai produsen primer dalam rantai makanan laut, di mana mereka melakukan fotosintesis dan menghasilkan biomassa yang mendukung seluruh ekosistem. Produktivitas tinggi ini menyediakan dasar energi yang menopang berbagai rantai makanan, termasuk yang

berhubungan dengan predator-predator yang lebih besar seperti ikan komersial dan burung laut.

Padang lamun berfungsi sebagai sumber makanan penting baik secara langsung bagi herbivora laut seperti dugong dan penyu hijau, maupun secara tidak langsung melalui detritus dan mikroorganisme. Ekosistem ini mendukung rantai makanan yang kompleks, dari organisme kecil hingga predator besar, serta berperan dalam mempertahankan siklus nutrisi yang penting bagi keseimbangan ekosistem laut.

7.3 Sebagai Penahan Sedimen

Padang lamun memainkan peranan penting dalam menjaga stabilitas ekosistem laut melalui fungsinya sebagai penahan sedimen. Berikut adalah rincian mengenai bagaimana padang lamun berperan dalam hal ini:

7.3.1 Stabilisasi Sedimen Dasar Laut

1. Akar dan Rimpang yang Kuat

Sistem akar dan rimpang (rizoma) lamun sangat efektif dalam mengikat sedimen dasar laut. Akar-akar tersebut membantu menahan partikel sedimen di tempatnya sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya erosi akibat arus laut atau gelombang. Ini menjaga integritas dasar laut dan mengurangi perpindahan sedimen ke area lain.

2. Mencegah Erosi

Dengan adanya padang lamun, sedimen tidak mudah terangkut oleh arus dan gelombang. Lamun berfungsi sebagai penghalang alami yang melindungi garis pantai dari abrasi yang disebabkan oleh ombak besar, badai, atau arus kuat. Hal ini penting terutama di daerah pesisir yang rentan terhadap erosi.

7.3.2 Pengendapan Partikel dan Penyaringan

1. Perangkap Partikel Terampai

Daun-daun lamun yang lebat memperlambat laju air yang mengalir di atasnya, yang menyebabkan partikel-partikel tersuspensi, seperti pasir, lumpur, dan material organik, mengendap di dasar. Ini mengurangi kekeruhan air di

sekitarnya dan mendukung kualitas air yang lebih baik, yang penting bagi fotosintesis lamun dan organisme lainnya di ekosistem.

2. Penyaringan Nutrien

Padang lamun membantu menyaring nutrien berlebih seperti fosfor dan nitrogen yang terbawa oleh arus dari daratan. Ini tidak hanya membantu menjaga kejernihan air, tetapi juga mencegah eutrofikasi, yang dapat merusak ekosistem laut jika nutrien terakumulasi dalam jumlah besar.

7.3.3 Pembentukan dan Pemeliharaan Habitat Pesisir

1. Pembentukan Delta dan Laguna

Dalam jangka waktu yang panjang, kemampuan lamun dalam menahan sedimen dapat membantu pembentukan fitur geomorfologis seperti delta, estuari, atau laguna di daerah pesisir. Fitur-fitur ini memberikan habitat penting bagi berbagai spesies, dari ikan hingga burung air.

2. Menjaga Stabilitas Ekosistem Lain

Dengan mengurangi erosi dan menahan sedimen, padang lamun turut menjaga stabilitas ekosistem pesisir lainnya seperti hutan mangrove dan terumbu karang. Ini membantu mempertahankan struktur dan fungsi ekosistem pesisir yang saling berkaitan.

7.3.4 Perlindungan Terhadap Dampak Bencana Alam

1. Pengurangan Dampak Tsunami dan Gelombang Badai

Dengan memperlambat aliran air dan menahan sedimen, padang lamun juga mampu mengurangi dampak gelombang besar seperti tsunami atau badai. Tanpa keberadaan lamun, gelombang besar dapat menggerus sedimen dasar laut dan memperparah kerusakan garis pantai.

Secara keseluruhan, fungsi padang lamun sebagai penahan sedimen memberikan perlindungan esensial bagi ekosistem pesisir dan memastikan stabilitas lingkungan laut, terutama di daerah pesisir yang sering terpapar oleh perubahan arus dan gelombang.

7.4 Sebagai Penyerap Karbon

Padang lamun adalah salah satu ekosistem laut yang memiliki peranan penting dalam mitigasi perubahan iklim karena kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan karbon. Ekosistem ini sering disebut sebagai penyerap "blue carbon" (karbon biru) yang berarti karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem laut dan pesisir, termasuk mangrove, rawa asin, dan padang lamun.

7.4.1 Proses Fotosintesis

1. Penyerapan Karbon di Atmosfer

Seperti tumbuhan darat, lamun melakukan fotosintesis dengan menggunakan sinar matahari, air, dan karbon dioksida (CO_2). Selama fotosintesis, lamun menyerap CO_2 dari atmosfer dan dari air laut, mengubahnya menjadi energi dan melepaskan oksigen (O_2) sebagai produk sampingan.

2. Penyimpanan Karbon dalam Biomassa

Karbon yang diserap selama fotosintesis disimpan dalam biomassa lamun, termasuk daun, batang, dan akarnya. Lamun memiliki siklus hidup yang panjang, dan karbon yang disimpan dalam biomassa dapat bertahan dalam jangka waktu lama.

7.4.2 Penyerapan Karbon di Sedimen

1. Pengendapan Karbon di Sedimen

Padang lamun memiliki sistem akar dan rimpang yang sangat kuat yang mampu menahan sedimen dasar laut. Karbon organik yang berasal dari daun, akar, dan bahan organik lainnya sering kali terkubur dalam sedimen ini. Karena kondisi anaerob (tanpa oksigen) di dasar laut, karbon yang tersimpan dalam sedimen sulit terurai, sehingga dapat disimpan selama ratusan hingga ribuan tahun.

2. Efisiensi Penyimpanan Karbon

Lamun dapat menyimpan karbon dengan lebih efisien dibandingkan dengan hutan tropis karena sedimen dasar laut yang bersifat anaerob mampu menghalangi dekomposisi karbon. Ini menjadikan padang lamun sebagai salah satu penyimpan karbon paling efektif di ekosistem laut.

7.4.3 Mitigasi Gas Rumah Kaca

1. Mengurangi CO₂ di Atmosfer

Dengan menyerap CO₂, padang lamun membantu mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, yang merupakan penyebab utama perubahan iklim global. Secara global, padang lamun menyerap sekitar 27,4 juta ton karbon dioksida setiap tahun, yang setara dengan emisi dari jutaan kendaraan bermotor.

2. Mengimbangi Emisi Karbon

Lamun berperan dalam mengimbangi emisi karbon dari aktivitas manusia, terutama di kawasan pesisir yang sering terpapar emisi dari pembangunan, industri, dan kegiatan transportasi.

7.4.4 Peran dalam Siklus Karbon Global

1. Pengelolaan Karbon di Laut

Lamun bukan hanya menyerap karbon atmosfer, tetapi juga mengelola karbon organik yang ada di dalam laut. Ini penting untuk menjaga keseimbangan karbon di ekosistem laut dan meminimalkan dampak pengasaman laut akibat kelebihan CO₂.

2. Pengurangan Dampak Perubahan Iklim

Dengan kemampuan mereka dalam menyerap dan menyimpan karbon secara jangka panjang, padang lamun membantu mengurangi dampak perubahan iklim, terutama di kawasan pesisir yang rentan terhadap kenaikan permukaan laut dan perubahan pola cuaca ekstrem.

Padang lamun memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim dengan menyerap dan menyimpan karbon dalam biomassa dan sedimen. Pelestarian dan pengelolaan yang tepat sangat penting untuk menjaga kemampuan ekosistem ini dalam menyerap karbon, yang membantu mengurangi dampak perubahan iklim global.

7.5 Sebagai Perlindungan Pesisir

Padang lamun memiliki peran yang sangat penting dalam melindungi pesisir dari berbagai ancaman alam. Berikut adalah

beberapa fungsi dan peran utama padang lamun dalam konteks perlindungan pesisir:

7.5.1 Menyerap Energi Gelombang

1. Reduksi Kekuatan Gelombang

Padang lamun bertindak sebagai penyerap alami energi gelombang laut. Ketika gelombang melewati padang lamun, daun dan batang lamun memperlambat laju aliran air dan mengurangi kekuatannya sebelum mencapai garis pantai. Ini membantu melindungi pesisir dari gelombang besar yang bisa menyebabkan erosi dan kerusakan.

2. Penting saat Badai

Pada saat terjadi badai, padang lamun dapat membantu meredam kekuatan gelombang dan mengurangi dampak yang ditimbulkan di daratan, seperti abrasi, banjir, atau kerusakan infrastruktur pesisir.

7.5.2 Mengurangi Erosi Pantai

1. Stabilisasi Sedimen

Sistem akar dan rimpang lamun menahan sedimen dasar laut, mencegah pergerakan partikel-partikel sedimen akibat arus laut dan gelombang. Dengan stabilnya sedimen, proses erosi yang sering terjadi di area pesisir dapat diminimalisir.

2. Membantu Pembentukan Pantai yang Stabil

Dengan mencegah hilangnya sedimen, padang lamun membantu mempertahankan bentuk pantai, yang penting untuk menjaga ekosistem pesisir seperti pantai pasir, mangrove, atau muara sungai.

7.5.3 Pengurangan Abrasi

1. Menahan Laju Abrasi Laut

Abrasi atau terkikisnya garis pantai oleh laut dapat menyebabkan kerusakan signifikan bagi lingkungan dan infrastruktur pesisir. Padang lamun berperan dalam menahan abrasi ini dengan menghalangi energi gelombang yang menghantam pantai secara langsung.

2. Pemulihan Alamiah

Dengan menjaga sedimen tetap stabil dan membantu akumulasi sedimen di area pesisir, padang lamun juga memungkinkan pemulihan alamiah garis pantai yang mengalami abrasi.

7.5.4 Perlindungan dari Dampak Tsunami dan Gelombang Pasang

1. Penghalang Tsunami Alami

Meskipun tidak dapat sepenuhnya menahan kekuatan tsunami, padang lamun memiliki kapasitas untuk mengurangi sebagian energi tsunami saat bergerak menuju pantai. Dengan demikian, dampak yang ditimbulkan di area pesisir bisa lebih ringan dibandingkan dengan area yang tidak memiliki perlindungan lamun.

2. Penanganan Gelombang Pasang

Selain tsunami, padang lamun juga berfungsi mengurangi efek gelombang pasang, yang dapat menyebabkan banjir di daerah pesisir.

7.5.5 Pengurangan Kerusakan Infrastruktur Pesisir

1. Perlindungan Infrastruktur

Dengan mengurangi erosi dan abrasi, padang lamun membantu melindungi infrastruktur pesisir seperti pemukiman, pelabuhan, dan fasilitas lainnya dari kerusakan. Tanpa adanya padang lamun, area pesisir akan lebih rentan terhadap kerusakan akibat gelombang, arus, dan angin laut.

2. Efisiensi Biaya Perlindungan

Padang lamun merupakan solusi alami yang bisa mengurangi biaya yang diperlukan untuk membangun dan memelihara perlindungan buatan seperti pemecah ombak atau tanggul.

7.5.6 Pemeliharaan Keseimbangan Ekosistem Pesisir

1. Menjaga Ekosistem Lain

Perlindungan pesisir yang diberikan oleh padang lamun juga bermanfaat bagi ekosistem pesisir lainnya seperti hutan

mangrove, terumbu karang, dan laguna, yang semuanya penting untuk keanekaragaman hayati dan kelangsungan hidup masyarakat pesisir.

2. Penopang Layanan Ekosistem

Dengan menjaga garis pantai dan ekosistem di sekitarnya, padang lamun mendukung berbagai layanan ekosistem penting, seperti perikanan, pariwisata, dan sumber daya alam lainnya yang mendukung kehidupan manusia.

Secara keseluruhan, padang lamun merupakan sistem alami yang efektif dalam memberikan perlindungan bagi pesisir dari ancaman erosi, abrasi, gelombang besar, hingga bencana alam seperti tsunami. Melalui stabilisasi sedimen dan reduksi energi gelombang, padang lamun berkontribusi secara signifikan terhadap pelestarian dan pemeliharaan garis pantai serta kehidupan di sekitarnya.

7.6 Sebagai Penyeimbang Ekosistem

Padang lamun memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut, terutama di perairan dangkal dan pesisir. Berikut beberapa fungsi dan peranan padang lamun yang berkontribusi terhadap keseimbangan ekosistem:

7.6.1 Mendukung Keanekaragaman Hayati

1. Habitat bagi Berbagai Spesies

Padang lamun menyediakan habitat penting bagi banyak spesies laut seperti ikan, moluska, krustasea, dan penyu. Sebagai tempat berlindung, mencari makan, dan berkembang biak, padang lamun memastikan keberlanjutan berbagai populasi organisme laut.

2. Tempat Asuhan (*Nursery Grounds*)

Banyak ikan komersial dan spesies laut lainnya menghabiskan tahap awal kehidupannya di padang lamun. Hal ini mendukung keseimbangan populasi spesies laut yang menjadi bagian dari rantai makanan lebih besar.

7.6.2 Siklus Nutrisi

1. Menyerap dan Mendaur Ulang Nutrisi

Padang lamun berfungsi sebagai penyerap nutrisi berlebih seperti nitrogen dan fosfor dari lingkungan sekitarnya. Dengan menyerap nutrisi ini, padang lamun mencegah eutrofikasi yang dapat merusak ekosistem laut lainnya seperti terumbu karang dan mangrove.

2. Daur Ulang Nutrisi

Saat lamun mati dan terurai, nutrisi yang dikandungnya dikembalikan ke ekosistem, yang membantu memperkaya tanah dan mendukung siklus makanan alami di ekosistem laut.

7.6.3 Stabilisasi Sedimen dan Kualitas Air

1. Mencegah Erosi

Sistem akar dan rimpang lamun yang padat menstabilkan sedimen dasar laut. Hal ini mencegah erosi dan abrasi yang dapat mengancam garis pantai dan ekosistem pesisir lainnya seperti hutan mangrove.

2. Meningkatkan Kualitas Air

Lamun membantu menjaga kejernihan air dengan menjebak sedimen yang tersuspensi dan mencegahnya terangkat kembali ke kolom air. Hal ini berkontribusi pada kualitas air yang lebih baik, yang penting untuk kelangsungan ekosistem lainnya seperti terumbu karang yang membutuhkan air jernih untuk fotosintesis.

7.6.4 Jaring-Jaring Makanan

1. Bagian dari Rantai Makanan

Lamun menjadi sumber makanan bagi herbivora laut seperti penyu hijau dan dugong. Selain itu, daun lamun yang mati dan bahan organik lainnya menjadi detritus yang mendukung kehidupan berbagai spesies invertebrata dan bakteri, yang pada gilirannya dimakan oleh organisme lebih besar.

2. Menghubungkan Ekosistem

Padang lamun memainkan peran penting dalam menghubungkan ekosistem pesisir, seperti terumbu karang dan

hutan mangrove. Melalui rantai makanan dan aliran energi, lamun membantu mendukung ekosistem lain dengan memberikan nutrisi dan tempat hidup.

7.6.5 Penyerap Karbon (*Blue Carbon*)

1. Mitigasi Perubahan Iklim

Lamun menyerap karbon dioksida dari atmosfer melalui proses fotosintesis, dan menyimpan karbon tersebut baik dalam biomassa lamun maupun dalam sedimen yang terakumulasi di sekitarnya. Proses ini berperan dalam mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

2. Cadangan Karbon yang Efisien

Lamun dikenal sebagai salah satu ekosistem paling efisien dalam menyimpan karbon (*blue carbon*). Karbon ini dapat tetap tersimpan dalam waktu yang lama di dalam sedimen, sehingga membantu mengurangi laju perubahan iklim global.

7.6.6 Perlindungan Terhadap Badai dan Tsunami

1. Perlindungan Alami Pesisir

Padang lamun membantu mengurangi dampak gelombang besar dan badai dengan menyerap energi gelombang. Ini berfungsi sebagai penghalang alami yang melindungi garis pantai dari kerusakan fisik akibat badai dan tsunami.

2. Mengurangi Abrasi Pantai

Dengan memperlambat kecepatan air dan menstabilkan sedimen, padang lamun berperan dalam melindungi pantai dari abrasi yang dapat menghancurkan ekosistem pesisir lainnya dan mengurangi kerugian ekonomi akibat kerusakan infrastruktur pesisir.

7.6.7 Penunjang Ekosistem Terumbu Karang dan Mangrove

1. Hubungan Simbiosis

Padang lamun sering kali ditemukan di dekat ekosistem terumbu karang dan hutan mangrove, membentuk ekosistem yang saling mendukung. Lamun membantu menjaga kualitas air

di sekitar terumbu karang dengan mengurangi sedimen, sementara mangrove melindungi lamun dari aliran sedimen yang berlebihan dari darat.

2. Saling Melengkapi dalam Menyediakan Habitat

Ketiganya (padang lamun, mangrove, dan terumbu karang) menciptakan jaringan ekosistem yang kompleks dan saling bergantung, yang mendukung keanekaragaman hayati pesisir yang sangat kaya.

Padang lamun memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut. Mereka mendukung keanekaragaman hayati, membantu dalam siklus nutrisi, menjaga kualitas air, menyediakan habitat dan makanan bagi banyak spesies, serta menyerap karbon. Ekosistem ini tidak hanya penting secara ekologis tetapi juga memberikan manfaat sosial dan ekonomi bagi manusia, khususnya masyarakat pesisir yang bergantung pada sumber daya laut.

Secara keseluruhan, padang lamun berperan penting dalam menjaga kesehatan ekosistem laut, mendukung kehidupan laut, mengurangi dampak perubahan iklim, dan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat pesisir. Padang lamun memiliki peran ekologis yang krusial dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut serta menyediakan banyak manfaat bagi manusia. Upaya konservasi perlu diperkuat untuk memastikan bahwa padang lamun terus berfungsi sebagai penopang kehidupan laut dan pesisir di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

BIODATA PENULIS



Ani Rahmawati, S.Pi, M.Si.

Dosen Program Studi Ilmu Perikanan
Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Penulis lahir di Pacitan tanggal 2 November 1986 Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Ilmu Perikanan Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan IPB dan melanjutkan S2 pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB. Saat ini penulis sedang menempuh program doktoral pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB. Penulis menekuni bidang Menulis dan aktif dalam penelitian yang terkait dengan pengelolaan pesisir, konservasi dan ekowisata perairan.

BIODATA PENULIS



Muh. Azril, S.S.T.Pi, M.Sc.

Dosen Program Studi Akuakultur
Fakultas Pertanian Universitas Tidar - Magelang

Penulis lahir di Pamol Estate (Malaysia) tanggal 17 Oktober 1991. Penulis yang kerap disapa Azril ini merupakan anak dari pasangan Deling (ayah) dan Ernawati (ibu). Istri penulis bernama Rianti Novtasari dan telah dikarunia seorang putra bernama Muhammad Mu'adz Zaidan Azril dan seorang putri bernama Maureen Noura Azril. Penulis berasal dari Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan yang kini menjadi dosen PNS pada Program Studi Akuakultur Fakultas Pertanian, Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah sejak Tahun 2022. Tahun 2013 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma VI dan meraih gelar Sarjana Sains Terapan Perikanan (S.S.T.Pi) pada Jurusan Penyuluhan Perikanan di Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta dan Tahun 2019 penulis menyelesaikan pendidikan Master dan meraih gelar *Master of Science (M.Sc) in Aquaculture and Marine Resource Management* di Wageningen University and Reserach (WUR) The Netherlands. Penulis memiliki pengalaman kerja sebagai Penyuluh Perikanan di Dinas Perikanan Kabupaten Bekasi, Jawa Barat pada Tahun 2013. Penulis juga pernah bekerja sebagai tenaga kependidikan dan asisten dosen di Sekolah Tinggi Perikanan (STP), Jakarta pada Tahun 2014-2015. Pada Tahun 2020-2021, penulis bekerja sebagai *Aqauculture Specialist* di Yayasan *World Wildlife for Fund*

(WWF) Indonesia. Pengalaman kerja penulis lainnya adalah sebagai *Manager Area* di salah satu *startup* perikanan bernama PT. Aruna Jaya Nuswantara pada Tahun 2021-2022. Sejak Tahun 2022 hingga saat ini, penulis juga menjadi bagian dari Yayasan BLUE SEED Indonesia yang fokus pada kegiatan konservasi lingkungan. Saat ini, penulis juga menjabat sebagai manager akuakultur sebuah *startup* akuakultur bernama Crustea. Publikasi yang sudah dihasilkan diterbitkan baik pada jurnal bereputasi nasional maupun internasional. Buku-buku yang berkaitan dengan bidang perikanan khususnya akuakultur juga sudah banyak dihasilkan oleh penulis.

BIODATA PENULIS



Tri Ari Setyastuti, S.P, M.Si

Dosen Program Studi Teknik Penanganan Patologi Perikanan,
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo.

Penulis lahir di Kudus tahun 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Penanganan Patologi Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Menyelesaikan TK hingga SMA di kota wali, Kudus kemudian dilanjutkan dengan menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas Pertanian Universitas Mataram pada tahun 1997 dan melanjutkan S2 pada Ilmu Pengelolaan Pesisir dan Lautan Institut Pertanian Bogor tahun 2002. Penulis menekuni bidang ekosistem pesisir dan laut dengan konsentrasi penelitian pada interaksi antara ekosistem pesisir dan budidaya perikanan yang ramah lingkungan.

BIODATA PENULIS



Sri Magfirah HS, S.Si., M.Ling.

Dosen Program Studi Teknik Lingkungana
Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa

Penulis lahir di Polmas pada 26 Januari 1996. Penulis merupakan dosen tetap di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Syekh Yusuf Al Makassar, Gowa. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, dan melanjutkan pendidikan S2 di Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup, dengan konsentrasi Teknologi Lingkungan, Universitas Hasanuddin, lulus dengan predikat *Cumlaude*. Saat ini, penulis menekuni penelitian di bidang ekologi laut dan berkomitmen untuk terus berkarya, baik melalui penelitian, pengabdian masyarakat, maupun penulisan buku, yang diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya.

BIODATA PENULIS



Cahyo Wijayanto, S.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi Ilmu Perikanan
Fakultas Pertanian, Perikanan dan Peternakan
Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Penulis lahir di Kendari 7 Juni 1994. Semasa pendidikan penulis fokus pada penelitian di bidang pesisir dan kelautan. Selama menyelesaikan S-1 di Universitas Hasanuddin penulis fokus pada tugas akhir dengan topik pengembangan wisata bahari dengan lokasi penelitian di Pulau Bokori. Penelitian S-2 penulis sewaktu menyelesaikan studi di IPB University berfokus pada evaluasi cagar kawasan konservasi sebagai upaya pengembangan kawasan konservasi yang terletak di pesisir Sulawesi Tenggara.

Saat ini penulis bekerja sebagai dosen di salah satu Perguruan Tinggi Negeri yakni Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Penulis mengajar di program studi Ilmu Perikanan, dengan fokus rumpun ilmu pada pengelolaan sumberdaya pesisir dan lautan. Ini merupakan buku pertama penulis dan menjadi cambuk semangat bagi penulis untuk berkontribusi dalam membagi ilmu melalui buku pengetahuan.

BIODATA PENULIS



Mudasir Zainuddin, S.Si., M.Si.

Dosen Prodi Ilmu Perikanan

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Wira Bhakti

Penulis dilahirkan di Pangkep Prov. SUL-SEL Pada tanggal 02 Juni 1986. Penulis merupakan salah satu dosen yang mengajar dengan status tetap pada Prodi Ilmu Perikanan Fakultas SAINTEK, Universitas Wira Bhakti. Penulis telah menempuh pendidikan pada jejang S1- Biologi dan melanjutkan S2 beberapa tahun setelahnya pada Prodi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir Terpadu (PSPT) Universitas Hasanuddin (UNHAS). Penulis menekuni bidang Biologi Laut.

Penulis menekuni bidang biologi laut sejak duduk dibangku S1 Biologi dan aktif dibidang konservasi khususnya konservasi terumbu karang sampai sekarang. Penulis juga menekuni bidang penyelaman sejak duduk di bangku S1 Biologi untuk menyokong aktivitas penelitian dan konservasi hingga saat ini. Penulis juga saat ini berprofesi sebagai instruktur selam di salah satu afiliasi selam dunia yaitu Association of Diving School (ADS) International.

BIODATA PENULIS



Anisa Aulia Sabilah, S.Kel., M.Si

Dosen Program Studi Teknik Kelautan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone

Penulis lahir di Watampone tanggal 25 Oktober 1997. Penulis adalah dosen ASN pada Program Studi Teknik Kelautan Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknologi Kelautan Institut Pertanian Bogor.

Penulis menekuni bidang pemetaan ekosistem pesisir dan laut melalui Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Kelautan. Penulis juga aktif sebagai Mentor pada beberapa kegiatan pelatihan Artificial Intelligence (AI) yang diselenggarakan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika serta Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI.