

BIOLOGI LAUT

Penulis

**Annisa Bias Cahyanurani, Tina Fransiskha C. Panjaitan,
Tarzan Purnomo, Niken Prawesti Listyaningrum,
Rr. Radipta Lailatussifa, Vicky Rizky A. Katili,
Elfa Verda Puspita, Putri Nurhanida Rizky**

ISBN 978-623-198-208-7



9 786231 982087

BIOLOGI LAUT

**Annisa Bias Cahyanurani
Tina Fransiskha C. Panjaitan
Tarzan Purnomo
Niken Prawesti Listyaningrum
Rr. Radipta Lailatussifa
Vicky Rizky A. Katili
Elfa Verda Puspita
Putri Nurhanida Rizky**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

BIOLOGI LAUT

Penulis :

Annisa Bias Cahyanurani
Tina Fransiskha C. Panjaitan
Tarzan Purnomo
Niken Prawesti Listyaningrum
Rr. Radipta Lailatussifa
Vicky Rizky A. Katili
Elfa Verda Puspita
Putri Nurhanida Rizky

ISBN : 978-623-198-208-7

Editor : Mila Sari, M.Si.

Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penyunting: Yuliatri Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Melda Yenisa, SKM.

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekuatifteknologi.co.id
Email : globaleksekuatifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, April 2023

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Biologi Laut dapat terselesaikan. Buku ini membahas tentang sejarah biologi laut, kehidupan dan lingkungan laut, daur biogeokimia laut dan produktivitas primer, invertebrata laut (porifera dan echinodermata, hewan karang dan ekosistem terumbu karang, ekosistem pantai, pelagis, dan dasar laut, cirripedia dan biogeografi biota laut, mangrove dan ekosistem mangrove.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, April 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1 SEJARAH BIOLOGI LAUT	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Pengertian Biologi Laut.....	2
1.3.1 Studi Awal Biologi Laut	3
1.3.2. Perkembangan Studi Biologi Laut	5
1.3.3 Studi Biologi Laut Modern	8
1.3.3 Studi Biologi Laut Saat Ini	12
DAFTAR PUSTAKA.....	20
BAB 2 KEHIDUPAN DAN LINGKUNGAN LAUT	21
2.1 Pendahuluan.....	21
2.2 Laut dan Fungsinya.....	22
2.2.1 Manfaat Laut Bagi Bumi.....	23
2.2.2 Manfaat Laut Bagi Kehidupan Manusia.....	23
2.3 Sumberdaya dan Biota Laut	24
2.3.1 Terumbu Karang.....	25
2.3.2 Hutan Mangrove.....	27
2.3.3 Padang Lamun	28
2.3.4 Plankton.....	30
2.3.5 Nekton.....	31
2.3.6 Bentos	33
2.4 Pelestarian Lingkungan Laut.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....	36
BAB 3 DAUR BIOGEOKIMIA LAUT DAN PRODUKTIVITAS PRIMER	41
3.1 Pendahuluan.....	41
3.2 Daur Materi di Laut.....	45
3.3 Daur Biogeokimia di Laut	48
3.3.1 Daur Karbon	48
3.3.2 Daur Oksigen.....	56
3.3.3 Daur Nitrogen.....	57
3.3.5 Daur Fosfor.....	65
3.3.6 Daur Belerang (Sulfur)	66
3.4 Produktivitas Primer Lautan.....	67
3.5 Ruang Lingkup Produktivitas Primer Lautan	71
3.5.1 Fotosintesis	71

3.5.2 Faktor-Faktor Oseanografi	72
3.6 Faktor Utama yang Mempengaruhi Produktivitas Primer di Laut.....	75
3.6.1 Intensitas Cahaya Matahari.....	75
3.6.2 Konsentrasi Nutrien.....	76
3.6.3 Suhu Perairan.....	76
3.7 Hubungan Faktor Oceanografi dan Produktivitas Primer.....	77
3.7.1 Upwelling.....	77
3.7.2 Percampuran Massa Air Secara Vertikal	78
3.7.3 Percampuran Massa Air Secara Horizontal	78
DAFTAR PUSTAKA.....	81
BAB 4 INVERTEBRATA LAUT (PORIFERA DAN ECHINODERMATA	83
4.1 Pendahuluan	83
4.2 Porifera	83
4.2.1 Ciri-ciri	83
4.2.2 Struktur Tubuh.....	84
4.2.3 Reproduksi	89
4.2.4 Klasifikasi	91
4.2.5 Peranan Porifera	92
4.3 Filum Echinodermata	93
4.3.1 Ciri-ciri	93
4.3.2 Struktur Tubuh.....	94
4.3.3 Reproduksi	95
4.3.4 Klasifikasi	97
4.3.5 Peran Echinodermata.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	102
BAB 5 HEWAN KARANG DAN EKOSISTEM TERUMBU KARANG.....	105
5.1 Pendahuluan	105
5.2 Hewan Karang.....	106
5.3 Inang Karang–Scleractinia.....	110
5.4 Simbiosis Terumbu Karang.....	111
5.5 Ekosistem Terumbu Karang.....	112
DAFTAR PUSTAKA.....	121
BAB 6 EKOSISTEM PANTAI, PELAGIS, DAN DASAR LAUT	123
6.1 Ekosistem Pantai	123
6.1.1 Ekosistem Mangrove.....	124
6.1.2 Ekosistem Lamun	126
6.1.3 Ekosistem Terumbu Karang.....	128
6.2 Ekosistem Pelagis	130
6.3 Ekosistem Dasar Laut	131

DAFTAR PUSTAKA.....	133
BAB 7 CIRRIPIEDIA DAN BIOGEOGRAFI BIOTA LAUT.....	135
7.1 Cirripedia.....	135
7.2 Morfologi dan Anatomi Cirripedia.....	136
7.3 Biogeografi	137
7.4 Biota Laut.....	138
7.5 Biogeografi Biota Laut	140
DAFTAR PUSTAKA.....	148
BAB 8 MANGROVE DAN EKOSISTEM MANGROVE	151
8.1 Pendahuluan.....	151
8.2 Definisi Mangrove	154
8.3 Asal Mangrove.....	154
8.4 Distribusi Mangrove	155
8.4 Distribusi Mangrove di Indonesia.....	158
8.5 Karakteristik Habitat.....	160
8.6 Faktor Yang Mempengaruhi Eksistensi Mangrove.....	160
8.7 Peran Ekosistem Mangrove dan Fungsinya	163
DAFTAR PUSTAKA.....	165
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Terumbu Karang.....	26
Gambar 2.2 Hutan Mangrove.....	28
Gambar 2.3 Lamun.....	29
Gambar 2.4 Plankton.....	31
Gambar 2.5 Nekton.....	32
Gambar 2.6 Bentos	34
Gambar 3.1. Pompa Fisis dan Biologis.....	51
Gambar 3.2. Peta pertukaran karbon yang melintasi permukaan laut.....	53
Gambar 3.3. Daur karbon global.....	55
Gambar 3.4. Daur oksigen	56
Gambar 3.5 Skema daur nitrogen di lautan.....	57
Gambar 3.7 Daur air	64
Gambar 3.8 Daur Fosfor	66
Gambar 3.9 Daur Sulfur	67
Gambar 4.1. Struktur Tubuh Porifera.....	85
Gambar 4.2. Proses Penangkapan Partikel Makanan	87
Gambar 4.3 Tipe Spikula. A-D tipe monaxon, E dan F tipe tetraxon, G dan H tipe polyaxon, I tipe triaxon atau hexaxon, J-M pembentukan triaxon	87
Gambar 4.4 Tipe-tipe Saluran Air pada Porifera	88
Gambar 4.5 Siklus Reproduksi Porifera.....	90
Gambar 4.6. Struktur Tubuh Echinodermata.....	94
Gambar 4.7 Morfologi dan Anatomi Crinoidea	98
Gambar 4.8. Morfologi dan Anatomi Echinodea.....	99
Gambar 4.9. Struktur Tubuh Holothuroidea.....	99
Gambar 4.10 Struktur Tubuh Asteroidea	100
Gambar 4.11 Struktur Tubuh Ophiuriudea.....	101
Gambar 5.1. Jaringan Karang dan Hewan Karang	107
Gambar 5.2. Diagram suatu polip karang di dalam calix (a) dan calix (skeletal cup) (b).....	109
Gambar 5.3. Ekosistem Terumbu Karang.....	113
Gambar 5.4. Aliran energi, material, dan nutrisi pada terumbu karang, yang terjadi sebagai empat pasang proses timbal balik.	116
Gambar 6.1. Penampang Melintang Wilayah Pesisir	124
Gambar 6.2. Ekosistem Mangrove Pulau Dorehkar, Kepulauan Ayau.....	125
Gambar 6.3. Ekosistem Lamun Pulau Reni.....	126
Gambar 6.3. Ekosistem Terumbu Karang Pulau Gag.....	130
Gambar 7.1. Morfologi Ikan	141

Gambar 7.2. Morfologi Crustacea.....	143
Gambar 7.3. morfologi Bintang Laut.....	144
Gambar 7.4. Morfologi Molusca.....	146
Gambar 7.6. Keanekaragaman spesies Famili Cypraeida	147
Gambar 8.1. Distribusi mangrove di dunia	156

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Ekspedisi Laut.....	9
Tabel 8.1. Contoh ekosistem mangrove dengan luasan yang relatif besar di wilayah teluk, delta, pantai, dan laguna.....	159

BAB 1

SEJARAH BIOLOGI LAUT

Oleh Annisa Bias Cahyanurani

1.1 Pendahuluan

Sebesar lebih dari 2/3 bagian planet kita merupakan lautan. Lautan di seluruh dunia mencakup luasan ± 361 juta km^2 atau sekitar 71% dari permukaan bumi dengan rata-rata kedalaman berkisar antara 4 – 10 km. Laut memiliki definisi yaitu kumpulan air asin dalam jumlah yang banyak dan luas yang menggenangi dan membagi daratan atas pulau dan benua. Dengan luasan yang sangat luas menjadikan lautan sebagai habitat terbesar bagi organisme. Organisme yang hidup di laut mencakup ikan, krustasea, echinodermata, beberapa jenis koral, moluska dan spons, sementara dari kelompok tumbuhan meliputi berbagai jenis algae (rumput laut), lamun (*seagrass*), mangrove, serta berbagai jenis plankton. Setiap organisme ini dipengaruhi oleh keadaan maupun sifat air laut yang ada disekitarnya sehingga organisme ini akan memiliki bentuk-bentuk yang spesifik menyesuaikan terhadap media tempat dia hidup dan pergerakannya sebagai bentuk adaptasi diri.

Lautan menjadi bagian yang tidak lepas dari kehidupan kita, lautan menyediakan makanan dan juga sumber air mengingat siklus air yaitu air hujan sebagian besar berasal dari penguapan (evaporasi) air laut. Selain itu, melalui proses fotosintesis, fitoplankton di lautan menghasilkan kurang lebih 50% dari oksigen yang kita gunakan untuk bernafas. Lautan juga merupakan sumber minyak dan gas, serta mineral yang

sangat berguna dalam kehidupan sehari-hari. Lebih lanjut manusia juga menggunakan lautan sebagai tempat pembuangan.

1.2 Pengertian Biologi Laut

Biologi laut merupakan ilmu yang mempelajari terkait kehidupan makhluk hidup di laut serta interaksinya dengan organisme lain maupun dengan lingkungannya. Biologi laut merupakan kombinasi dari biologi, ekologi dan ilmu yang mempelajari terkait biodiversitas. Biologi merupakan ilmu yang mempelajari terkait makhluk hidup serta berbagai fungsi mendasar seperti reproduksi, pergerakan, respirasi dan berbagai aspek lainnya dalam metabolisme. Sementara ekologi lebih banyak mempelajari hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya serta bagaimana interaksi tersebut menentukan distribusi dan kelimpahan organisme tersebut.

Biologi laut juga berhubungan erat dengan oseanografi. Oseanografi adalah ilmu yang mempelajari tentang laut dan fenomena yang terjadi di dalamnya seperti gelombang, arus laut dan pasang surut. Disiplin ilmu oseanografi sendiri mencakup oseanografi kimia, fisika, geologi, geografi, meteorologi bahkan biologi. Kedua bidang ilmu ini tidak sepenuhnya berbeda satu sama lain bahkan terkadang saling tumpang tindih satu dengan lainnya. Biologi laut paling dekat berhubungan dengan biologi oseanografi, dimana faktanya keduanya sangat dekat dan sangat sulit untuk dipisahkan. Terkadang keduanya dibedakan atas dasar bahwa ahli biologi laut cenderung mempelajari kehidupan organisme yang hidup relatif dekat dengan pantai sementara ahli biologi oseanografi fokus pada kehidupan di laut terbuka yang jauh dari daratan. Perbedaan umum lainnya adalah bahwa ahli biologi laut cenderung mempelajari kehidupan laut dari perspektif organisme (misalnya mempelajari apa yang dimakan oleh

organisme tersebut) sementara dalam biologi oseanografi cenderung mempelajari dari perspektif laut (misalnya mempelajari bagaimana siklus energi makanan melalui sistem) (Castro dan Huber, 2013).

1.3 Sejarah Biologi Laut Dunia

1.3.1 Studi Awal Biologi Laut

Manusia telah memiliki ketertarikan pada laut sejak zaman dahulu mengingat ikan merupakan salah satu sumber makanan yang berperan penting dalam kehidupan manusia saat itu. Pengetahuan tentang laut dan organisme didalamnya terus berkembang seiring dengan berkembangnya ilmu pelayaran dan navigasi. Menurut Prarikeslan (2016), penjelajahan laut dunia dilakukan oleh bangsa Yunani, Herodotus pada tahun 450 BC dengan membuat kontruksi peta. Selain itu Astronomers dan Phyteas pada tahun 325 BC telah mengelilingi belahan utara Iceland dan pada tahun 276-192, Eratosthenes telah mempelajari pengetahuan terkait keliling bumi. Bangsa romawi juga turut serta melakukan penjelajahan laut dunia melalui pengamatan aktivitas vulkanik di laut (Strabo 63 BC-24 AD) serta Ptolomy yang berperan mengenalkan adanya garis lintang dan bujur pada peta.

Pengetahuan terkait lautan dan organisme yang hidup di dalamnya semakin berkembang seiring dengan berkembangnya ilmu pelayaran dan navigasi. Orang-orang Fenisia merupakan navigator barat pertama yang berhasil berlayar mengelilingi Laut Mediterania, Laut Merah, Bagian Timur Samudera Atlantik, Laut Hitam dan Samudera Hindia pada tahun 2000 SM. Sementara itu meskipun orang Fenisia yang terlebih dahulu menjelajahi lautan, melakukan pelayaran dan berdagang, akan tetapi orang Yunani justru memiliki kontribusi yang lebih besar dalam ilmu pengetahuan. Seorang

filosof Yunani, Aristoteles dikenal sebagai ahli biologi laut pertama dimana dia mengembangkan skema klasifikasi yang dikenal dengan tangga kehidupan. Tulisan-tulisannya telah mendeskripsikan lebih dari 500 spesies dimana 1/3 nya adalah organisme laut. Aristoteles juga mempelajari tentang insang ikan sebagai alat pernafasan yang berperan dalam pertukaran gas, selain itu ia juga melakukan pengamatan secara mendalam terkait anatomi ikan *cuttle fish* (Karleskint *et al.*, 2013)

Pada masa yang dikenal sebagai “Abad Kegelapan”, penyelidikan ilmiah, termasuk studi tentang kehidupan laut, terhenti di sebagian besar Eropa. Banyak dari pengetahuan orang Yunani kuno yang hilang atau terdistorsi. Akan tetapi, tidak semua penjelajahan lautan berhenti. Pada kesembilan dan kesepuluh bangsa Viking terus menjelajahi Atlantik utara. Pada tahun 995 M bangsa Viking yang dipimpin oleh Leif Eriksson menemukan Vinland (sekarang Amerika Utara). Selain itu, pedagang Arab juga aktif selama Abad Pertengahan, berlayar ke Afrika bagian timur, Asia Tenggara, dan India. Jauh ke bagian timur dan Pasifik, orang-orang juga melakukan penjelajahan dan belajar tentang laut.

Selama Abad Pembaruan (Renaissans), sebagian didorong oleh penemuan kembali pengetahuan kuno yang dilestarikan oleh orang Arab, orang Eropa mulai menyelidiki kembali dunia di sekitar mereka, dan melakukan perjalanan eksplorasi. Beberapa pelayaran yang dilakukan antara lain pelayaran oleh Bartolomeu Dias (1487), Christopher Colombus (1492), Vasco da Gama (1499), Vasco da Balboa (1513) dan Ferdinand Magellan (1522). Pelayaran-pelayaran ini dilakukan untuk mencari rute pelayaran baru ke pelabuhan perdagangan. Berbagai pelayaran ini juga memiliki kontribusi yang besar pada pengetahuan kita tentang lautan, antara lain munculnya peta yang cukup akurat, terutama tempat-tempat di luar Eropa pertama kali. Selain itu, pelayaran-pelayaran tersebut juga

menghasilkan pengetahuan terkait geografi lautan misalnya pengukuran kedalaman laut pertama kali dan penelitian tentang arus (saat ini dikenal dengan nama arus teluk atau *Gulf Steam*) yang dilakukan oleh Ponce de Leon. Hingga akhir abad ke-16, sebagian besar daratan di dunia telah dijelajahi. Pada tahun 1768-1779, seorang kapten laut dari Inggris, James Cook melakukan pelayaran besar dengan menjelajahi semua samudera dan mendarat di sejumlah pulau Pasifik termasuk Australia dan Selandia Baru. Ia adalah orang pertama yang menggunakan kronometer, yaitu alat penunjuk waktu yang akurat yang memungkinkan untuk menentukan garis bujur dengan tepat. Sementara itu, pada tahun 1769, Benjamin Franklin membuat peta Gulf Stream dari perpaduan berbagai data pelayaran di Utara Atlantik dan menjadi peta oseanografi pertama yang dipublikasikan (Castro dan Huber, 2013; Karleskint *et al.*, 2013; Yona *et al.*, 2017).

1.3.2. Perkembangan Studi Biologi Laut

Selama akhir abad ke-18 dan awal abad ke-19, biologi berkembang menjadi beberapa disiplin ilmu. Pada masa ini merupakan masa dengan penemuan-penemuan hebat dimana sebagian besar dipengaruhi oleh perkembangan kapal layar dan instrumen navigasi yang lebih baik. Penjelajahan terhadap daratan baru dan jalur laut baru memberikan informasi berbagai cabang ilmu pengetahuan, termasuk biologi. Ilmuwan seperti naturalis Prancis Jean-Baptiste Lamarck dan ahli anatomi Georges Cuvier, mempelajari dan mendeskripsikan banyak organisme laut selama periode ini. Pada abad ini, sudah menjadi hal umum bagi suatu pelayaran membawa ilmuwan untuk mempelajari organisme yang ditemui.

Salah satu pelayaran yang paling terkenal yaitu kapal HMS Beagle yang berlayar pada bulan Desember 1831 selama 5 tahun. Dalam pelayaran ini, salah satu naturalis yang

bergabung di dalamnya adalah Charles Darwin. Selama pelayaran, Darwin, bapak teori evolusi melalui seleksi alam serta sebagai ahli biologi laut, dapat mengamati kehidupan laut secara langsung dan mengoleksi banyak spesimen organisme laut. Ia juga melakukan pengamatan pada atol (terumbu karang berbentuk cincin yang mengelilingi laguna) di Pasifik, dimana ia juga mengajukan penjelasan terkait pembentukan atoll yang masih bisa diterima. Selama perjalanan inilah dia mulai merumuskan teorinya untuk proses evolusi. Pada tahun 1859, Charles Darwin menerbitkan karya bersejarahnya. Tentang Asal Usul Spesies Melalui Seleksi Alam (*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*). Karya ini yang akhirnya mendorong ilmuawan lain untuk mempelajari penyebab penyesuaian diri pada organisme laut serta memicu studi tentang keterkaitan di antara organisme laut dan antara organisme laut dan lingkungannya. Pada tahun-tahun setelah pelayaran Beagle, Darwin terus melakukan studi mendalam tentang teritip yang mendiami pantai berbatu di Inggris dan menghasilkan monografi tentang subjek yang masih digunakan hari ini (Castro dan Huber, 2013; Karleskint *et al.*, 2013; Firdaus, 2017).

Pada awal abad ke-19, secara umum disepakati bahwa organisme tidak dapat bertahan hidup di lautan yang dingin dan gelap kedalaman, hal ini dikemukakan oleh naturalis Inggris Edward Forbes. Edward Forbes (1815-1854) dianggap oleh banyak orang sebagai pendiri ilmu oseanografi dan biologi kelautan. Sayangnya, Forbes dikenal melalui “teori azoic”, yang menyatakan bahwa kehidupan laut tidak ada di dasar laut pada kedalaman lebih dari 1800 kaki, dimana tidak lama setelahnya teori tersebut terbantahkan. Bukti sebaliknya terkait teori azoic telah ditemukan pada saat adanya proses reparasi kabel telegraf transatlantic yang menghubungkan Amerika Serikat dan Inggris yang terletak di kedalaman sekitar 1,7 kilometer (I

mil) di Atlantik utara Laut. Saat kapal reparasi mengambil kabelnya, ternyata kabel itu tertutup dengan berbagai organisme laut yang belum pernah terlihat sebelumnya. Organisme ini rupanya berkembang di kedalaman laut. Penemuan ini memicu penyelidikan oleh beberapa negara ke dalam kehidupan di dasar laut. Ekspedisi pengerukan selanjutnya menemukan hewan-hewan yang hidup pada kedalaman 4,42 kilometer (14.500 kaki, atau lebih dari 2% mil).

Pada tahun 1847, Joseph Hooker menyadari bahwa diatom planktonik adalah tumbuhan, dan menyatakan bahwa mereka memainkan peran ekologis yang sama di laut seperti tumbuhan hijau di darat. Kunjungan rutin selanjutnya sering dilakukan di daerah pantai untuk mempelajari kehidupan laut, akan tetapi pada saat itu belum ada fasilitas permanen yang dapat digunakan sehingga hanya mengandalkan peralatan dalam jumlah terbatas yang dapat dibawa, hingga pada akhirnya tahun 1872, *Statzione Zoologica de Napoli* didirikan di Jerman. Ahli zoologi Jerman Anton Dohrn mendirikan stasiun biologi kelautan awal ini, yang termasuk yang pertama secara rutin menerima ilmuwan tamu dari negara lain. Laboratorium lain yaitu *Marine Biological Society of the United Kingdom* didirikan di Plymouth, Inggris, pada tahun 1879.

Laboratorium kelautan pertama di Amerika adalah *Marine Biological Laboratory* di Woods Hole, Massachusetts. laboratorium kelautan pertama di Woods Hole dimulai oleh *United State Fish Commission* pada tahun 1871, tetapi tidak berkembang. Beberapa laboratorium berumur pendek lainnya kemudian muncul di daerah tersebut. Ahli biologi Harvard Louis Agassiz, yang juga mempelajari banyak hal dari spesimen yang dikumpulkan oleh Ekspedisi Wilkes, mendirikan laboratorium di dekat Cape Ann pada tahun 1873. Pada tahun 1888 laboratorium ini pindah ke Woods Hole dan secara resmi

menjadi Marine Biological Laboratorium. Setelah permulaan awal ini, banyak laboratorium kelautan lainnya yang didirikan (Castro dan Huber, 2013; Karleskint *et al.*, 2013)

1.3.3 Studi Biologi Laut Modern

Pada akhir abad ke-19, berbagai negara mengalokasikan banyak waktu dan juga biaya untuk mempelajari lingkungan laut dan organisme yang hidup di dalamnya. Salah satu ekspedisi yang paling terkenal pada masa itu yaitu Ekspedisi *Challenger*. Organisasi British Admiralty mengorganisir ekspedisi *Challenger*, yang berlangsung 3,5 tahun dimulai tahun 1872. Ekspedisi menggunakan kapal penelitian *HMS Challenger* yang berisi peralatan canggih dan fasilitas penelitian. Charles Wyville Thomson, merupakan salah satu ilmuwan yang memimpin dan tergabung dalam Ekspedisi *Challenger*. Ia mengumpulkan sampel organisme mikroskopis yang mengambang di air. Pada tahun 1873 pula ia mempublikasikan satu buku oseanografi yang berjudul “*The Depths of The Sea*”.

Challenger kembali ke Inggris pada Mei 1876 setelah melintasi lautan utama dunia mengumpulkan informasi dan mengoleksi sampel air, sedimen dan organisme. Data yang dikumpulkan sangat banyak saat itu sehingga membutuhkan waktu 19 tahun untuk mempublikasikannya ke dalam bentuk 50 jilid laporan ilmiah. Selama ekspedisi ini, lebih dari 4.700 spesies baru organisme laut dikumpulkan dan dideskripsikan. Kebanyakan spesies baru ini berasal dari perairan laut yang dalam. Ekspedisi *Challenger* menjadi awal penelitian biologi laut modern dan oseanografi dan bahkan saat ini ilmuwan kelautan melanjutkan untuk merujuk pada laporan *Challenger* dalam penelitian mereka. Beberapa ekspedisi besar lainnya yang dilakukan dalam bidang biologi dapat dilihat pada tabel 1.1. di bawah ini.

Tabel 1.1. Ekspedisi Laut

Kapal Layar	Asal Negara	Tahun	Tujuan Pelayaran
AS Blake	Amerika Serikat	1877-1886	Penelitian yang dilakukan di Laut Karibia dan Teluk Meksiko dengan cara pengerukan
Princesse Alice (I dan II) dan Hirondele (I dan II)	Monako	1888-1922	Ekspedisi dilakukan secara berseri dalam rangka penelitian laut dalam
Albatross	Amerika Serikat	1887-1925	Penelitian ini menemukan banyak penemuan yang dilakukan di Pasifik dan Laut Hindia
National	Jerman	1889	Ekspedisi ini dilakukan untuk mengoleksi berbagai macam plankton
Valdivia	Jerman	1898-1899	Penelitian laut dalam dan mempelajari distribusi vertikal dari organisme pelagis
Michael Sars	Norwegia	1904-1913	Penelitian di daerah Atlantik Utara terkait laut tengah dan dalam

Kapal Layar	Asal Negara	Tahun	Tujuan Pelayaran
Dana I dan II	Denmark	1921-1936	Membuat koleksi dari laut dalam di seluruh dunia serta penelitian terkait perikanan
Discovery I dan II	Inggris	1925-1938	Mempelajari ekologi di Antartika
Meteor	Jerman	1925-1938	Studi terkait biologi Atlantik
Galathea	Denmark	1950-1952	Penelitian laut dalam dari seluruh dunia hingga kedalaman 10 km
Trieste	USSR	1957-1960	Penelitian ini difokuskan terhadap biologi parit laut dalam
Vitiaz	Amerika Serikat	1886-1869	Penelitian dilakukan oleh Tim Amerika Serikat dan Swiss dengan melakukan penyelaman berawak terdalam, hingga kedalaman 10.916 meter di Palung Marianas.

Kapal Layar	Asal Negara	Tahun	Tujuan Pelayaran
Alvin	Amerika Serikat	1977	Penelitian ini dilakukan dengan kapal selam berawak menemukan sumber air panas laut dalam (hidrotermal) serta keberadaan komunitas unik organisme di sekitar ventilasi termal laut dalam.

Sumber: Wust (1964); Castro dan Huber (2013)

Teknologi telah mengubah ilmu kelautan selama bertahun-tahun. Sonar (*Sound Navigation Ranging*) adalah kemajuan ilmiah besar yang dikembangkan selama Perang Dunia II untuk digunakan dengan kapal selam. Hal ini memungkinkan manusia untuk 'melihat' dasar dan benda padat lainnya di bawah air saat suara ditransmisikan dari kapal dengan pantulannya diterima dan diterjemahkan ke dalam profil dasar laut (atau objek di tengah air). Penggunaan awalnya adalah untuk militer tetapi menjadi salah satu alat utama yang digunakan oleh ilmuwan kelautan untuk membuat profil dasar lautan (sebagai fatometer) dan menguraikan organisme di kolom air.

Penjelajahan lautan secara visual juga semakin ditingkatkan dengan pengembangan *scuba diving* (alat bantu pernapasan bawah air mandiri) yang memungkinkan manusia turun hingga 100 hingga 200 kaki dengan lebih mudah. *Helmet diving* (dengan komunikasi ke atas) dikembangkan dengan berbagai campuran gas, memungkinkan penyelam untuk turun lebih dalam dan tinggal lebih lama. *Diving bells* dikembangkan

untuk memungkinkan penyelam masuk dan keluar sambil tetap berada di kedalaman yang dalam (di dalam *diving bells*, penyelam dapat menyelam dengan nyaman). Dengan menggunakan scuba, ahli biologi kelautan untuk pertama kalinya akhirnya bisa turun di bawah permukaan untuk mengamati organisme laut di dalamnya lingkungan alam. Mereka sekarang bisa bekerja dengan nyaman di lautan, mengumpulkan spesimen dan melakukan percobaan, meskipun secara umum masih terbatas pada perairan yang relatif dangkal (Castro dan Huber, 2013).

1.3.3 Studi Biologi Laut Saat Ini

Kita sekarang hidup di era informasi dimana penemuan-penemuan baru terkait ilmu pengetahuan di seluruh dunia dapat dengan mudah ditemukan. Pengetahuan terkait laut dan organisme di dalamnya berkembang dengan cepat seiring dengan kemajuan knologi. Saat ini, kapal selam laut dalam seperti Alvin dapat membawa ahli biologi laut ke dasar lautan untuk melihat dan mengumpulkan organisme yang hidup di relung terdalam laut, dan peneliti mampu bertahan di habitat bawah air saat mereka mengamati aktivitas organisme tersebut. Kapal oseanografi dan laboratorium berbasis pantai juga semakin berkembang. Kapal modern saat ini telah dilengkapi dengan peralatan terbaru untuk navigasi, sampling, dan mempelajari makhluk yang telah dikumpulkan. Teknologi tinggi kapal selam saat ini juga bisa turun ke bagian terdalam lautan untuk mengungkapkan dunia yang dulunya tidak dapat diakses.

Kapal selam adalah salah satu cara untuk menembus kedalaman, tapi ilmuwan semakin banyak menggunakan robot bawah air, termasuk kendaraan yang dioperasikan dari jarak jauh (ROV), yang dikendalikan dari permukaan, dan kendaraan bawah air otonom yang beroperasi secara independen dari

kendali langsung manusia. Laboratorium kelautan juga telah berkembang pesat dan tersebar di garis pantai di seluruh dunia dan digunakan oleh komunitas ilmuwan internasional. Beberapa dilengkapi dengan fasilitas terbaru yang tersedia. Selain itu adanya satelit mampu mengintip ke bawah lautan dan, karena jaraknya yang sangat jauh, dapat melihat area yang luas dari laut lautan sekaligus untuk menangkap gambaran besarnya. Banyak dari pengetahuan kita tentang fitur skala besar seperti arus laut telah disediakan oleh teknologi penginderaan jauh ini. Teknologi luar angkasa juga berperan di sini; banyak instrumen oseanografi menyampaikan data mereka melalui satelit.

Informasi tentang lautan mengalir dengan kecepatan yang terus meningkat hal ini didukung dengan munculnya komputer dengan koneksi internet yang memungkinkan para ilmuwan dan non-ilmuwan di seluruh dunia untuk berbagi sejumlah besar informasi yang dikumpulkan pada berbagai sub-proyek, termasuk biologi kelautan.

1.4 Sejarah Biologi Laut di Indonesia

Perkembangan ilmu kelautan di Indonesia dapat dibagi menjadi 4 periode menurut Nontji (2002), yaitu: Periode I (1600-1850), Periode II (1850-1905), Periode III (1905-1960) dan Periode IV (setelah 1960).

1. Periode I (1600-1850)

Pada periode pertama ini, kegiatan penelitian yang dilakukan masih didasarkan pada keinginan perorangan dan masih bersifat amatir. Pada saat itu, orang-orang Belanda gemar mengoleksi hasil laut seperti cangkang moluska, beberapa jenis ikan dan lain-lain. Tokoh yang penting pada periode ini yaitu Georgius Everhardus Rumphius. Ia merupakan orang yang pertama kali melakukan penelitian

terkait biologi laut di Indonesia, dimana pada tahun 1662 ia memulai penelitian di daerah Ambon hingga menghasilkan buku yang berjudul "D'Amboinsch Rariteitkamer". Pada periode ini juga terdapat beberapa ekspedisi yang dilakukan oleh negara-negara lain yang melintasi Indonesia. Beberapa ekspedisi tersebut antara lain seperti ekspedisi Physicienne (1817–1820), ekspedisi Coquille (1822–1825), ekspedisi Astrolabe (1826 – 1829), ekspedisi Bonite (1836– 1837) yang merupakan ekspedisi dari Perancis. Sementara itu ekspedisi lain juga dilakukan oleh negara Inggris, seperti ekspedisi Beagle (1832–1836) yang membawa biologawan Charles Darwin, kemudian juga ekspedisi Sulphur (1836–1842) (Wahyudi *et al.*, 2016; Soegiarto, 1987).

2. Periode II (1850-1905)

Pada periode kedua ini dimulai tahun 1850 merupakan periode baru dalam perkembangan pengetahuan laut di Indonesia. Tokoh penting pada periode ini yaitu Pieter Bleeker yang merupakan seorang ahli ikhtiologi yang melakukan penelitian melalui koleksi yang sistematis terhadap ikan-ikan di darat dan laut Indonesia serta mendirikan dan menjadi ketua Koninklijke Natuurkundig Vereniging. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, ia menghasilkan karya yang berjudul "Atlas Ictyologique" yang diterbitkan hingga enam volume besar.

Sementara itu di dunia, berbagai ekspedisi juga dilakukan dengan mengarungi perairan Indonesia. Ekspedisi Challenger yang berlangsung dari 7 Desember 1872 sampai 24 Mei 1876. merupakan ekspedisi yang terkenal dalam oseanografi modern dan melintasi perairan laut Indonesia bagian timur. Ekspedisi lainnya yaitu ekspedisi Valdivia pada tahun 1898-1899, ekspedisi Planet (1906-1907) dan lain-lain. Selain itu adanya ekspedisi yang dilakukan oleh

Belanda melalui ekspedisi Siboga (1899 - 1900) untuk meneliti biologi laut di Indonesia Timur (Wahyudi *et al.*, 2016; Soegiarto, 1987).

3. Periode III (1905-1960)

Pada periode ketiga berbagai penelitian kelautan di Indonesia dilakukan secara sistematis dan melembaga. Pada tahun 1905, Belanda mendirikan sebuah stasiun perikanan (Visserij Station) di Pasar Ikan, Batavia yang diprakarsai oleh Dr. Koningsberger (Direktur Kebun Raya Bogor). Stasiun perikanan yang didirikan untuk memajukan penelitian tentang laut serta menggali sumberdaya laut yang bernilai ekonomis ini melalui beberapa kali perubahan nama. Pada tahun 1919, stasiun perikanan tersebut berubah nama menjadi Laboratorium Voor Het Onderzoek der Zee (LOZ). Dengan adanya laboratorium ini, penelitian dan ekspedisi tentang oseanografi semakin berkembang dengan baik (Soegiarto, 1987)

Pada rentang waktu dari tahun 1911-1962, Weber dan de Beaufort mempublikasikan buku tentang perikanan Indonesia yang berjudul *The Fishes of the Indonesian Archipelago* yang berhasil menata sekitar 3000 jenis ikan. Pada tahun 1928, van Bosse mempelajari botani laut, khususnya ganggang laut (berhasil oleh Zaneveld, 1950). Tahun 1922—1933, H.C. Delsman melakukan penelitian tentang iktioplankton yang dengan fokus pada telur ikan pelagis dan plankton. Penelitian ini menghasilkan karya berjudul *Fish eggs and larvae of the Java Sea* (Pariwono *et al.*, 2005).

Beberapa ekspedisi yang dilakukan antara lain Ekspedisi Snellius (1929-1930) dengan melakukan penelitian di Indonesia bagian timur. Ekspedisi ini berfokus untuk meneliti oseanografi kimia, fisika dan geologi.

Ekspedisi Galathea (Denmark) pada tahun 1952 bertujuan untuk mempelajari biologi kelautan. Selama ekspedisi ini, flora dan fauna laut yang berhasil dikoleksi hingga kedalaman 10.000 meter. Selain itu pada tahun 1950, Prof. Kusnoto mendirikan Akademi Biologi Ciawi dengan jurusan penelitian kelautan (Wahyudi *et al.*, 2016).

Dari tahun 1950 hingga 1956, Hardenberg (direktur Laboratorium Penyelidikan Laut) dan Soeriaatmadja (ahli kimia), mengumpulkan pengamatan pada salinitas permukaan dan suhu seluruh perairan Indonesia dan sekitarnya. Selanjutnya perusahaan Perkapalan Kerajaan Belanda mengumpulkan sampel salinitas setiap bulan di sepanjang jalur pelayaran reguler mereka dengan bantuan nakhoda kapal dan awak kapal. Sampel tersebut kemudian dianalisis di Laboratorium dan hasilnya diterbitkan oleh Veen pada tahun 1953 dan Hardenberg dan Soeriaatmadja tahun 1956. Analisis dari hasil penelitian ini selanjutnya digunakan oleh Dr. Klaus Wyrтки, sebagai bagian dari studinya tentang distribusi salinitas permukaan rata-rata bulanan di Perairan Indonesia dan sekitarnya (Pariwono *et al.*, 2005)

Pada tahun 1952, laboratorium menerima bantuan kapal penelitian pertama dari Amerika Serikat yang diberi nama KM Samudera dengan panjang kapal 25 m, dilengkapi dengan botol Nansen, termometer bolak-balik, dan oseanografi kabel untuk survei kelautan. Kapal ini digunakan untuk mengumpulkan data hidrografi monsun barat. Pada tahun 1955, Laboratorium Penyelidikan Laut berganti nama menjadi Lembaga Penyelidikan Laut. Pada tahun 1956 Lembaga Penyelidikan Laut menerbitkan majalah ilmiah "Marine Research in Indonesia" serta memiliki distribusi yang cukup luas baik di dalam maupun luar negeri (Soegiarto, 1987).

4. Periode IV (setelah 1960)

Pada tahun 1960-an, Lembaga Penyelidikan Laut berganti nama menjadi Lembaga Penelitian Laut dan menjadi salah satu unit di lingkungan Lembaga Biologi Nasional (LBN). Pada tahun 1961, laboratorium menerima satu lagi kapal oseanografi, sepanjang 60 m yang diberi nama KM Jalanidhi yang berpartisipasi dan berkontribusi dalam International Indian Ocean Expedition. Kapal ini juga merupakan bagian dari ekspedisi nasional Baruna I pada tahun 1965 yang merupakan ekspedisi ilmiah kelautan pertama yang dikoordinasikan secara nasional dan Baruna III tahun 1970 dalam rangka pengukuran hidrografi di perairan timur Indonesia. Sepanjang tahun 1960 – 1980an, sebagian besar penelitian berkaitan dengan fenomena-fenomena local dan terkait dengan kegiatan perikanan. Kapal penelitian Samudera dan Jalanidhi memiliki peranan dalam penelitian terkait upwelling di perairan Indonesia (Soegiarto, 1987; Wahyudi *et al.*, 2016).

Mengingat betapa pentingnya peningkatan penelitian terkait kelautan di Indonesia sehingga Pemerintah Republik Indonesia pada 23 Agustus 1976 mendirikan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Dengan dibentuknya LIPI, Lembaga Biologi Nasional dengan semua anak lembaganya, termasuk Lembaga Penelitian Laut, berada di bawah LIPI. Sementara itu Lembaga Penelitian Laut berintegrasi di bawah Lembaga Oseanologi Nasional – LIPI serta pendirian beberapa Stasiun-stasiun Penelitian Oseanologi di Ambon dan Kepulauan Seribu (Soegiarto, 1987).

Penelitian-penelitian yang dilakukan di Indonesia telah menarik peneliti di luar negeri untuk menghubungkan fenomena periaran di Indonesia dengan perairan dunia. Beberapa kolaborasi penelitian yang dilakukan pada saat ini adalah:

1. JADE (Java-Australia Dynamic Experiment), program penelitian bersama antara Indonesia dan Perancis dari tahun 1989 hingga 1995 yang tujuannya adalah untuk menyelidiki transportasi Arlindo (Arus Lintas Indonesia) dan variabilitasnya di pintu masuknya ke Samudera Hindia antara Bali dan Australia dan pada saluran keluarnya melalui berbagai selat Kepulauan Sunda Kecil
2. ROD (Regional Oceanographic Dynamic) merupakan ekspedisi oseanografi gabungan antara Australia dan negara-negara ASEAN dari tahun 1993 hingga 1995.
3. Ekspedisi Arlindo merupakan ekspedisi oseanografi gabungan antara Indonesia dan Amerika Serikat dari tahun 1991 hingga 1998, yang tujuan keseluruhan adalah untuk menyelesaikan pencampuran, dan sirkulasi dan secara umum memantau fitur oseanografi fisika di perairan Indonesia (Pariwono *et al*, 2005)

Penelitian dengan bekerjasama dengan negara lain yaitu Ekpedisi Rumphius I-III (Indonesia-Belanda) dan Ekspedisi Corindon (Indonesia-Prancis). Pada tahun 1984 melalui project Marine Science Education Project (MSEP), Departemen Pendidikan mengembangkan ilmu kelautan dengan mendirikan program studi di beberapa perguruan tinggi di Indonesia.

Pada tahun 2004 dilakukan Ekspedisi Wallacea I dan Ekspedisi Wallacea II (2005) dilakukan di daerah sekitar garis Wallacea. International Nusantara Stratification and Transport Program (INSTANT) dilakukan pada tahun 2004-2005 di jalur Indonesian Throughflow / Arus Lintas Indonesia (ARLINDO). Ekspedisi laut dengan bekerjasama dengan Jepang (2004). Ekspedisi yang dilakukan oleh Kementerian Perikanan dan Kelautan RI dan juga oleh Pusat

Penelitian Oseanografi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, dimulai dari Ekspedisi Widya Nusantara (E-WIN) tahun 2007 di Perairan Raja Ampat (Wahyudi *et al.*, 2016)

Hingga saat ini, penelitian terkait kelautan di Indonesia semakin berkembang dengan berkembangnya teknologi yang semakin maju. Berbagai penggunaan peralatan yang canggih dalam kegiatan penelitian seperti penggunaan kapal selam, Remotely Operated Vehicle (ROV), alat pemantau oseanografi di laut dan satelit serta berbagai penelitian kolaborasi dengan berbagai negara seperti Jepang, Australia, Amerika Serikat, Perancis dan Belanda dilakukan untuk mendapatkan data oseanografi yang berguna bagi perkembangan perikanan dan kelautan, khususnya di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Castro, P dan Huber. M.E. 2013. *Marine Biology Ninth Edition*. United State of America: Mc Graw Hill.
- Firdaus, M.L. 2017. *Oseanografi Pendekatan dari Ilmu Kimia, Fisika, Biologi dan Geologi*. Yogyakarta: PT. Leutika Nouvalitera.
- Karleskint, G., Turner, R. and Small, J.W. 2013. *Introduction to Marine Biology, 4th edition*. Thomson Brooks/Cole, Belmont CA.
- Nontji, A. 2002. *Laut Nusantara. (Cetakan ketiga)*. Jakarta: Djambangan.
- Pariwono, J. I., Ilahude, A. G., & Hutomo, M. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas. *Oceanography*, 18(4), 42.
- Prarikeslan, W. 2016. *Oseanografi*. Jakarta: Penerbit Kencana.
- Soegiarto, K.A. 1987. Menelusuri Tonggak-Tonggak Sejarah Puslitbang Oseanologi-LIPI. *Oseana* 12(3): 1-52.
- Wahyudi, A.J., M.R. Cordova, O.R. Sianturi, H. Meirinawati, N.F. Afianti dan I. Wirawati. 2016. *Ekspedisi Widya Nusantara 2015 Kontribusi Indonesia untuk Ekspedisi Internasional Samudra Hindia*. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Wüst, G. 1964. The major deep-sea expeditions and research vessels 1873-1960: a contribution to the history of oceanography. *Progress in Oceanography*, 2, 1-52.
- Yona, D., A. Sartimbul, F. Iranawati, A.B. Sambah, N. Hidayati, L.I. Harlyan, S.H.J. Sari, M.A.Z. Fuad dan M.A. Rahman. 2017/ *Fundamental Oseanografi*. Malang; Penerbit: UB Press.

BAB 2

KEHIDUPAN DAN LINGKUNGAN LAUT

Oleh Tina Fransiskha C. Panjaitan

2.1 Pendahuluan

Dari segi ekosistem, spesies dan genetika, wilayah pesisir dan laut Indonesia memiliki keanekaragaman hayati tertinggi (Keong, 2015; Rintelen et al., 2017). Keanekaragaman fauna dan spesies endemik disebabkan oleh faktor biogeografi, geologi, iklim dan ekologi (Lohman et al., 2011). Totalitas keanekaragaman hayati Indonesia tidak hanya dapat ditemukan di darat tetapi juga di wilayah pesisir dan laut. Kawasan ini memiliki berbagai jenis biota yang berbeda, antara lain ekosistem mangrove, lamun dan terumbu karang. Keanekaragaman ini merupakan manfaat yang membantu kesejahteraan masyarakat dan pertumbuhan ekonomi. Sumber daya alam potensial yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat adalah keanekaragaman hayati laut (Sofian et al., 2020).

Kualitas pesisir dan laut dalam beberapa tahun terakhir mulai memburuk baik akibat proses alam seperti abrasi yang diakibatkan oleh menyusutnya luasan mangrove di perairan pesisir maupun aktivitas manusia (eksploitasi sumber daya alam dan pencemaran lingkungan). Penurunan luasan ekosistem mangrove dapat mengakibatkan perubahan garis pantai (Soraya et al., 2012). Perubahan status kawasan

mangrove, pembukaan lahan di kawasan mangrove, pembuatan tambak dan kegiatan penangkapan ikan oleh nelayan merupakan faktor penurunan ekosistem mangrove (Yuliasamaya et al., 2014). Pengambilan ikan secara besar-besaran, menggunakan bom dan racun (potasium) yang dapat merusak rumah ikan (karang) serta pencemaran yang disebabkan oleh limbah industri dan kegiatan rumah tangga, merupakan kegiatan manusia yang dapat menurunkan kualitas pesisir dan laut, khususnya membuang sampah sembarangan (Arini, 2013). Kerusakan pantai dapat diakibatkan oleh konversi lahan mangrove (Raharjo et al., 2016). Hal ini berpotensi merusak dan mencemari lingkungan, membahayakan kesehatan masyarakat yang tinggal, bekerja dan memanfaatkan lingkungan pesisir.

2.2 Laut dan Fungsinya

Manfaat laut bagi manusia dalam banyak hal mencakup 71% planet ini. Mulai dari mengurangi cuaca ekstrim hingga menghasilkan oksigen untuk pernapasan kita. Dari produksi makanan hingga penyimpanan kelebihan karbondioksida (Merdeka.com, n.d.). Di permukaan bumi, ada kumpulan air asin yang sangat luas yang dikenal sebagai laut, yang memisahkan atau menghubungkan pulau dan benua. Definisi hukum dari istilah "laut" menyatakan bahwa laut itu mengacu pada seluruh badan air di laut yang mengalir bebas melintasi permukaan bumi. Karena tertutup dan tidak terhubung ke bagian laut lainnya, Laut Mati, Laut Kaspia dan Great Salt Lake di Amerika Serikat tidak dapat dianggap laut. Meskipun air asin membanjiri beberapa negara pesisir (Catatanpenailahi.blogspot.com, n.d.).

2.2.1 Manfaat Laut Bagi Bumi

Transfer panas dari khatulistiwa ke kutub, laut memainkan peran penting dalam pengendalian iklim. Hujan yang jatuh di darat atau di lautan itu sendiri disebabkan oleh angin yang membawa uap sehingga laut menjadi kontrol iklim bagi bumi. Iklim laut adalah iklim yang tidak mengalami kekeringan dan suhu ekstrim karena adanya laut dangkal (Rahmad, 2017).

2.2.2 Manfaat Laut Bagi Kehidupan Manusia

Ada beberapa manfaat laut bagi manusia, antara lain:

1. Sumber makanan hewan dan tumbuhan laut hidup di lautan. Lautan adalah sumber ikan dan rumput laut yang biasa kita konsumsi. Ikan yang sering kita konsumsi juga menjadi sumber penghidupan para nelayan.
2. Laut juga merupakan alat transportasi di laut dan hampir semua benua, negara dan provinsi dipisahkan oleh laut. Banyaknya kapal yang saat ini beroperasi di laut menunjukkan seberapa besar pengaruh moda transportasi ini terhadap kehidupan.
3. Tempat rekreasi laut mungkin bisa menjadi alternatif yang baik. Cara terbaik untuk bersantai setelah seharian bekerja adalah dengan memandangi laut yang didominasi warna biru dengan angin sepoi-sepoi.
4. Sarana olahraga, selancar adalah olahraga yang dimainkan di laut dengan menangkap ombak. Keindahan laut Indonesia dan lokasi fasilitas olahraga selancar terutama karena ombaknya yang besar.
5. Alat pertahanan dan keamanan, sebagai negara kepulauan, kita sangat mengandalkan laut untuk menjaga keutuhan bangsa dan negara. Kapal diperlukan bagi bangsa asing untuk masuk ke negara kita. Kehadiran nelayan pencari ikan juga turut andil

dalam menjaga kedaulatan dan keutuhan bangsa kita karena mereka berperan sebagai pengawas di wilayah perairan.

6. Fasilitas pendidikan dan penelitian, karena lautan telah menjadi sumber perhatian utama manusia, ada banyak pertanyaan dan teka-teki alam yang harus dipecahkan untuk membantu manusia dalam mengembangkan teknologi yang memanfaatkan sumber daya alam laut dengan lebih baik.
7. Sumber daya mineral dan pertambangan, salah satu penghasil hasil tambang seperti minyak bumi dan mineral alam lainnya adalah juga lautan. Banyak hasil tambang yang didapatkan dari laut namun sebelum menambang, penting untuk memikirkan apakah hal itu dapat membahayakan ekosistem dan lingkungan laut atau tidak.
8. Laut merupakan sumber energi yang signifikan bagi kelangsungan hidup manusia, menurut temuan terbaru. Arus dan ombak yang kuat di lautan dapat memutar turbin yang berubah menjadi listrik.
9. Pengobatan, laut adalah rumah bagi banyak tumbuhan dan hewan laut. Beberapa spesies ikan laut dipercaya dapat mengobati sejumlah penyakit. Selain itu, rumput laut dianggap sebagai makanan bergizi dengan banyak manfaat kesehatan dan kecantikan.

2.3 Sumberdaya dan Biota Laut

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan 17.508 pulau, garis pantai sepanjang 81.000 kilometer dan luas laut sekitar 3,1 juta km². Hampir dua per tiga wilayahnya ditutupi oleh wilayah laut yang mencakup perairan teritorial dan perairan kepulauan. Selain itu, Indonesia diberikan izin untuk menggunakan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) (Djalal, 1996) yang menyangkut eksplorasi, eksploitasi dan pengelolaan sumber daya hayati dan non hayati, serta penelitian dan yurisdiksi untuk membangun instalasi atau

pulau-pulau buatan, berdasarkan UNCLOS 1982. Wilayah pesisir dan laut Indonesia terkenal akan kekayaan alamnya yang melimpah dan beragam, termasuk yang dapat dipulihkan (antara lain perikanan, hutan bakau dan terumbu karang). Selain sumber daya yang tidak dapat diperoleh kembali (seperti minyak, gas dan mineral lainnya). Karena memiliki ekosistem pesisir yang unik seperti hutan bakau, terumbu karang dan padang lamun, Indonesia dikenal sebagai negara dengan keanekaragaman hayati laut terbanyak di dunia. Sebagian besar sumber daya ini belum digunakan secara efektif. (Romimohtarto & Juwana, 2007) mengklasifikasikan biota laut menjadi tiga kategori berdasarkan sifatnya yaitu bentik, planktonik dan nektonik.

2.3.1 Terumbu Karang

Sekelompok hewan karang dan alga yang disebut zooxanthellae hidup di terumbu karang. Polip merupakan ribuan hewan kecil yang membentuk koloni karang. Karang hanya terdiri dari satu polip, memiliki bentuk tubuh seperti tabung dan dikelilingi tentakel serta mulut di bagian atasnya. Terumbu karang biasanya hidup 50 meter di bawah permukaan laut di pinggir pantai atau di daerah yang masih mendapat sinar matahari. Walaupun beberapa jenis terumbu karang mampu bertahan hidup di laut dalam tanpa membutuhkan cahaya, namun tidak membentuk karang karena tidak memiliki hubungan simbiosis dengan zooxanthellae.

Secara ekologis, terumbu karang menyediakan nutrisi biota perairan, melindungi pantai secara fisik, berfungsi sebagai tempat pemijahan, pembibitan dan tempat mencari makan berbagai biota. Ikan karang, udang karang, ganggang, teripang dan berbagai jenis siput dan kerang hanyalah beberapa produk berharga yang ditemukan di terumbu karang. Di Indonesia, ekosistem terumbu karang tersebar di seluruh

wilayah pesisir dan laut nusantara. Indonesia memiliki beragam terumbu karang antara lain fringing reefs, barrier reefs, atol dan patch reefs yang semuanya dapat ditemukan di perairan laut Indonesia (Rayhan, 2021).

Saat ini, kerusakan terumbu karang meningkat pesat, khususnya di Indonesia. Hanya 6,2 persen terumbu karang yang masih dalam kondisi baik. Ekosistem alami terumbu karang mengalami banyak tekanan akibat kerusakan ini. Ekosistem terumbu karang juga menjadi rumah bagi biota yang tumbuh di sana, seperti bulu babi (Miala et al., 2015) dan ada biota pemakan karang seperti siput drupella (Nurhayati et al., 2015). Untuk itu, penting bagi kita melindungi dan menjaga tutupan terumbu karang tetap utuh (Rizal et al., 2016). Hewan myoinfrauna dan anemon dapat ditemukan di sedimen perairan, khususnya di sepanjang pantai (Akbar et al., 2015); (Mandela et al., 2016); (Sabrianto et al., 2018). Stres karang dan perubahan warna yang mengakibatkan karang memutih dapat disebabkan oleh perubahan suhu air (Putra et al., 2019).



Gambar 2.1 Terumbu Karang

(Sumber : <https://id.depositphotos.com/stock-photos/ikan-terumbu-karang.html>)

2.3.2 Hutan Mangrove

Pada kawasan lindung di daerah tropis dan subtropis, mangrove merupakan ciri khas bentuk tumbuhan pesisir, muara atau muara sungai dan delta. Mangrove merupakan ekosistem yang berada di antara daratan dan lautan, jika kondisi yang tepat terpenuhi maka mangrove akan tumbuh menjadi hutan yang luas dan produktif. Spesies tumbuhan individu dan komunitas tumbuhan yang tumbuh subur di zona pasang surut dikenal sebagai mangrove. Hutan payau dan hutan bakau adalah nama lain dari hutan mangrove. Disebut sebagai hutan payau dan hutan bakau karena dominasi spesies bakau di sebagian besar vegetasi. Selain itu, tanah tempat tumbuhnya hutan selalu terendam air payau. Dalam ekologi tanaman, istilah "mangrove" mengacu pada pohon dan semak yang tumbuh subur di daerah intertidal dan subtidal dangkal rawa pasang surut tropis dan subtropis. Tumbuhan ini selalu hijau dan mengandung berbagai campuran yang bernilai baik untuk industri (pakan ternak, kertas dan arang) maupun rumah tangga (rumah, mebel) (Fandeli, 2000).

Di wilayah pesisir dan laut, hutan mangrove merupakan ekosistem penting yang menopang kehidupan. Secara ekologis, hutan mangrove menyediakan nutrisi bagi biota air, berfungsi sebagai tempat pemijahan dan merawat berbagai biota, bertindak sebagai penahan abrasi, melindungi dari amukan angin topan dan tsunami, menyerap limbah dan mencegah intrusi air laut dan lain-lain. Hutan mangrove menguntungkan secara ekonomi karena menghasilkan kayu, daun yang dapat digunakan sebagai bahan baku obat dan sebagainya. Ada lebih dari 70 kegunaan yang berbeda bagi manusia dari pohon bakau, termasuk "produk langsung" seperti bahan bakar kayu, bahan bangunan, alat tangkap, pupuk pertanian, bahan baku kertas, makanan, obat-obatan, minuman dan tekstil dan "produk langsung" seperti tempat rekreasi dan bahan makanan

(Dahuri et al., 1996). Masyarakat pesisir Indonesia secara tradisional telah memanfaatkan kegunaan dari pohon bakau ini. Potensi hutan mangrove sebagai tujuan wisata alam (ekowisata) juga kurang dimanfaatkan.



Gambar 2.2 Hutan Mangrove

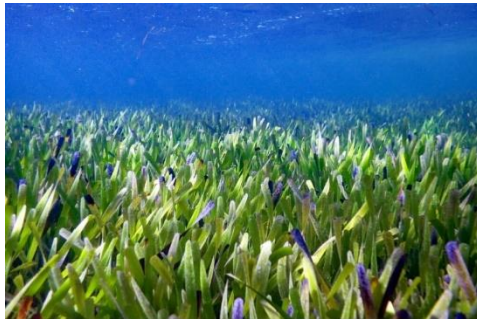
(Sumber : Kompas.com-12/03/2020 diakses pada 29 Januari 2023)

2.3.3 Padang Lamun

Menurut (Nontji, 2005), padang lamun Indonesia yang luasnya kurang lebih 30.000 km² dan menjadi rumah bagi ikan dan biota air lainnya, berperan penting dalam ekosistem laut dangkal. Padang lamun adalah ekosistem yang rumit dan produktif secara biologis di perairan dangkal. Oleh karena itu, padang lamun merupakan sumber ekonomi dan ekologi laut yang signifikan (Unsworth et al., 2008). Padang lamun memiliki berbagai fungsi ekologi, termasuk area pembibitan, tempat pemijahan, tempat mencari makan dan area di mana ikan, krustasea, moluska, dan echinodermata mencari perlindungan (Phillips et al., 1988); (Tomascik, 1997). Dugong (Dugong dugon) dan penyu hijau (*Chelonia mydas*) sangat bergantung pada padang lamun sebagai sumber makanannya (Lanyon et al., 1989) dan berfungsi sebagai siklus nutrisi dan perangkap sedimen. Telah diketahui bahwa angin topan dan bencana alam lainnya, serta aktivitas manusia, dapat menyebabkan

kerusakan dan kerugian yang luas pada padang lamun (Poiner et al., 1989).

Lamun biasanya ditemukan di ekosistem terumbu karang dan hidup di perairan dangkal berpasir. Di dasar laut, lamun tumbuh menjadi padang rumput yang luas dan lebat yang masih menerima energi cahaya matahari yang cukup untuk pertumbuhannya. Lamun memiliki akar ramping, tipis, daun berbentuk pita dan kebiasaan tumbuh tegak. Setidaknya ada tujuh genera dan tiga belas spesies lamun di perairan Indonesia, termasuk *Enhalus acoroides* dari suku Hydrocharitaceae. Perairan Jawa, Sumatera, Bali, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara dan Irian Jaya merupakan rumah bagi ekosistem lamun (den Hartog, 1976). Secara geografis, lamun tampaknya terkonsentrasi di dua wilayah yaitu Karibia dan Indo-Pasifik Barat.



Gambar 2.3 Lamun

(Sumber : <https://betahita.id/news/detail/7626> diakses pada 29 Januari 2023)

Dasar laut dapat distabilkan dengan adanya padang lamun. Padang lamun stabil dan berfungsi sebagai perangkap sedimen. Hewan laut seperti "dugong" (mamalia), penyu, bulu babi dan berbagai ikan menggunakan padang lamun sebagai tempat tumbuh. Selain itu, padang lamun berfungsi sebagai tempat pembibitan larva ikan. Baik pakan maupun pupuk dapat

diperoleh dari tumbuhan lamun. Di Kepulauan Seribu misalnya, samo-samo (*Enhalus acoroides*) dimanfaatkan bijinya sebagai bahan makanan oleh penduduk sekitar (Rayhan, 2021).

2.3.4 Plankton

Victor Hensen menciptakan istilah "plankton" pada tahun 1887, dan Haeckel menyempurnakannya pada tahun 1890. Kata Yunani "plankton" berarti "mengembara" dalam bahasa Inggris. Plankton adalah seluruh kumpulan organisme, baik hewan maupun tumbuhan yang hidup terapung atau terapung di air, tidak dapat bergerak atau dapat bergerak sedikit dan tidak dapat melawan arus, telah dikemukakan pengertian plankton (euplankton) oleh banyak ahli dengan hampir pendapat yang sama. Meskipun plankton individu (plankter) biasanya dari varietas mikroskopis, ada juga plankter yang ukurannya bisa mencapai beberapa meter, seperti Scyphozoa (Coelenterata) yang panjangnya bisa mencapai satu meter dan memiliki tentakel sepanjang 25 meter. Zooplankton juga dapat berperan sebagai hyponeuston dan pleuston (*Physalia* dan *Velella*).

Plankton dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan cara makannya, asal usulnya, ukuran, bentuk dan koloni selnya serta alat tangkapnya. Plankton dikelompokkan paling umum menurut cara mereka makan. Plankton dapat dibedakan menjadi bakterioplankton (saproplankton), fitoplankton, dan zooplankton berdasarkan cara makannya. Bakterioplankton, juga dikenal sebagai saproplankton, adalah kelompok plankton yang termasuk bakteri (*micrococcus*, *sarcina*, *vibrio*, *bacillus* dan sebagainya) yang tidak mengandung klorofil dan fungi. Tumbuhan planktonik dengan klorofil, seperti *bacillariophyceae*, *chlorophyceae*, *dinophyceae* dan *haptophyceae* membentuk fitoplankton. Fitoplankton memiliki cadangan makanan berupa pati atau lemak, dinding sel berbahan dasar selulosa dan berbagai macam flagela selain

memiliki klorofil. Zooplankton adalah kelompok plankton yang makan di era holozoikum. Hewan dari marga protozoa, coelenterata, ctenophora, cChaetognatha, annelina, arthropoda, urochordata dan mollusca serta beberapa larva vertebrata termasuk dalam kelompok ini (Wardhana, 2003).



Gambar 2.4 Plankton

(Sumber : <https://supergeografi.com/hidrosfer/organisme-akuatik/>
diakses pada 02 Februari 2023)

2.3.5 Nekton

Plankton, nekton dan bentos merupakan tiga kelompok utama biota laut, padahal di lautan terdapat berbagai macam kehidupan. Klasifikasi ini semata-mata didasarkan pada kebiasaan hidup mereka secara umum, seperti gerak berjalan, pola hidup dan sebaran sesuai dengan ekologi. Dan tidak ada hubungannya dengan jenis menurut klasifikasi ilmiah, ukuran atau apakah termasuk tumbuhan atau hewan. Nekton, berbeda dengan plankton, terdiri dari organisme yang dapat bergerak sehingga tidak harus bergantung pada arus laut yang kuat atau pergerakan air yang disebabkan oleh angin. Sebaliknya, mereka dapat bergerak di air sesuai keinginan mereka sendiri dan tidak seperti plankton, nekton sering ditemukan di sistem pelagis. Organisme laut terbesar dan bergerak paling cepat ada di antara mereka dan mayoritas dari mereka adalah hewan

besar. Terutama nekton adalah hewan vertebrata, sedangkan plankton didominasi oleh hewan kelompok invertebrata. Nekton merupakan perwakilan dari setiap kelas vertebrata, kecuali amfibi. Tetapi ikan merupakan kelompok terbesar, baik dari segi spesies maupun individu (Soepriyo, 2011).

Kelompok nekton terdiri dari semua hewan yang hidup dalam sistem pelagis. Dari jumlah tersebut, dua adalah holoepipelagik dan meroepipelagik terutama ditemukan di zona epipelagik. Spesies demersal merupakan kelompok nekton yang biasanya menghabiskan waktunya di dekat dasar, terutama di terumbu karang (tinggal di zona dekat bagian bawah). Semua ikan adalah predator, tetapi beberapa ikan hidup di perairan dalam yang tidak ada cahaya, sehingga hewan di sana memiliki organ pemancar cahaya di tubuhnya. Ikan-ikan harus dapat memanfaatkan berbagai jenis pakan atau mangsa yang tersedia untuk bertahan hidup (Magdalena et al., 2014).



Gambar 2.5 Nekton

(Sumber : <https://supergeografi.com/hidrosfer/organisme-akuatik/>
diakses pada 02 Februari 2023)

2.3.6 Bentos

Bentos adalah organisme yang menghuni tubuh sedimen permukaan atau dasar air. Bentos dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan ukurannya yaitu makrobentos, meiobentos dan mikrobentos. Mampu mendaur ulang bahan organik, membantu proses mineralisasi, berperan penting dalam rantai makanan dan berfungsi sebagai indikator pencemaran adalah contoh dari fungsi yang dilakukan oleh bentik. Bentos adalah sekelompok tumbuhan dan hewan laut, termasuk rumput laut, bunga karang, kerang, bulu babi dan bintang laut yang hidup dengan cara menempel atau merayap di dasar laut. Dari garis pasang surut hingga dasar jurang, kelompok biota ini bermukim di dasar perairan. Menurut (Karmana, 2007), bentos dapat bertahan terhadap kekeringan dan fluktuasi suhu.

Bentos adalah organisme yang hidup di dalam atau di permukaan substrat dasar di dasar perairan. Zoobentos dan phytobentos adalah kelompok hewan dan tumbuhan yang menyusun organisme ini. Ada tiga kelompok hewan bentik yaitu 156 kelompok hewan bentik yang lebih kecil dari 0,5 milimeter disebut makrofauna atau makrozoobentos, mesofauna atau mesozoobentos adalah kelompok hewan yang lebih kecil dari 0,5 milimeter dan mikrofauna atau mikrozoobentos adalah kelompok hewan yang lebih kecil dari 0,1 milimeter (Wulandari et al., 2014). Makrozoobentos adalah hewan bentik dengan panjang minimal 1,0 mm. Zoobentos dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan tempat tinggalnya yaitu infauna dan epifauna. Bentos yang menghuni substrat perairan disebut infauna sedangkan bentos yang hidup pada substrat perairan disebut epifauna (Rahayu et al., 2015).



Gambar 2.6 Bentos

(Sumber : <https://supergeografi.com/hidrosfer/organisme-akuatik/>
diakses pada 02 Februari 2023)

2.4 Pelestarian Lingkungan Laut

Laut memiliki manfaat dan andil utama bagi kehidupan manusia yang juga penting bagi iklim. Bersamaan dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan inovasi, kemampuan laut meningkat dengan terungkapnya berbagai jenis bahan tambang dan penemuan yang signifikan (Sodik, 2011). Lautan memiliki sifat unik bagi keberadaan manusia, begitu juga dengan hukum laut. Regulasi secara keseluruhan adalah perkembangan aturan tentang cara berperilaku individu sebagai individu dari masyarakat itu. Lautan adalah hamparan perairan yang terbentang di antara berbagai daratan dan pulau-pulau di planet ini (Prodjodikoro, 1984).

Wilayah Indonesia merupakan salah satu negara yang diuntungkan dengan pengesahan dan ketertiban UNCLOS 1982, hal ini dikarenakan Indonesia memiliki wilayah laut yang sangat luas dan posisi geologis yang luar biasa (Soemarmi et al., 2019). Wilayah lautan Indonesia dapat dipisahkan menjadi 0,3 juta km² kawasan lautan, 2,8 juta km² perairan kepulauan (*archipelagic waters*), dan 2,7 juta km² Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (Sjawie, 1999). Di kawasan laut ini ditemukan kawasan laut Indonesia. Dalam kawasan laut Indonesia terdapat berbagai sumber kekayaan alam, baik kekayaan alam

hayati maupun non-organik yang berperan penting, antara lain untuk penghubung, media olah raga, jalur perdagangan dan sebagai alat pengikat negara Indonesia. Mulai sekitar tahun 1985, Indonesia telah mengesahkan UNCLOS 1982 melalui Undang-undang Nomor 17 Tahun 1985 tentang Pengesahan UNCLOS 1982. Meskipun berbagai pendekatan telah dilakukan oleh otoritas publik, namun hal ini belum dapat menanggulangi persoalan yang ada, salah satunya tentang preservasi laut. Hal ini dapat dilihat dari kerusakan iklim laut Indonesia yang semakin meluas.

Batasan pencemaran laut secara umum dalam UNCLOS 1982 telah digabungkan dan menyebutkan semua sumber pencemaran, termasuk kegiatan di darat (*land based activities*), kegiatan di dasar laut/lepas pantai (*seabed activities*), kegiatan di Kawasan/kegiatan di dasar laut (*seabed activities*) dan pembuangan limbah (*dumping*), kapal (*vessels*) dan dari udara (atmosfer). Dalam Bab XII yang terdiri dari Pasal 192 sampai dengan Pasal 237 UNCLOS 1982 mengatur tentang pelestarian dan perlindungan lingkungan laut (Isfarin, 2012).

Organisasi Maritim Internasional (IMO) didirikan pada tahun 1948 oleh Konferensi PBB sebagai organisasi yang berfokus pada maritim (Kelley, 2011). *International Maritime Organization* (IMO) telah mengembangkan sejumlah konvensi yang secara khusus mengatur pencemaran dan memberikan kompensasi atas pencemaran laut yang disebabkan oleh asap minyak kapal. Prinsip tindakan preventif, kerjasama, pembangunan berkelanjutan, prinsip pencegahan, prinsip pencemar membayar dan prinsip pembedaan tanggung jawab bersama adalah beberapa prinsip perlindungan lingkungan laut (Mangku, 2020). Prinsip lainnya termasuk kedaulatan atas sumberdaya alam dan kewajiban untuk menghindari kerusakan lingkungan negara lain atau wilayah di luar yurisdiksi nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A., Muzahar, & Irawan, H. (2015). *Keanekaragaman Meiofauna Interstisial Di Perairan Pulau Pucung Desa Malangrapat, Kabupaten Bintan*.
- Arini, D. I. D. (2013). *Potensi Terumbu Karang Indonesia; Tantangan dan Upaya Konservasinya*.
- Catatanpenailahi.blogspot.com. (n.d.). *Laut dan Fungsinya*.
- Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S. P., & Sitepu, M. J. (1996). *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan secara Terpadu*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- den Hartog, C. (1976). *The role of seagrass in shallow coastal waters in the Caribbean*. (Vol. 11). Stinapa.
- Djalal, H. (1996). Konsep Benua Maritim Indonesia. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 1.
- Fandeli, C. (2000). *Pengertian dan Konsep Dasar Ekowisata*.
- Isfarin, N. N. (2012). Perlindungan Lingkungan Laut Selat Malaka Dari Pencemaran Minyak Lintas Batas. *Jurnal Ilmu Hukum*, 15(2), 206–224.
http://www.eia.doe.gov/cabs/World_Oil_Transit_Chokepoints/Full.html,
- Karmana, O. (2007). *Cerdas Belajar Biologi*. Grafindo Media Pratama.
- Kelley, R. P. (2011). *UNCLOS, but No Cigar: Overcoming Obstacles to the Prosecution of Maritime Piracy Recommended Citation*.
<https://scholarship.law.umn.edu/mlr>
- Keong, C. Y. (2015). Sustainable Resource Management and Ecological Conservation of Mega-Biodiversity: The Southeast Asian Big-3 Reality. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(11), 876–882.
<https://doi.org/10.7763/IJESD.2015.V6.715>

- Lanyon, J. M., Limpus, C. J., & Marsh, H. (1989). Dugongs and Turtles; Grazers in the Seagrass System. In *Biology of Seagrass*. In *Marsh, H.* Elsevier.
- Lohman, D. J., de Bruyn, M., Page, T., von Rintelen, K., Hall, R., Ng, P. K. L., Shih, H. te, Carvalho, G. C., & von Rintelen, T. (2011). Biogeography of the Indo-Australian Archipelago. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145001>
- Magdalena, M., Amiruddin, Siti, F., & Budi, R. (2014). *Bahan Ajar Oseanologi Pendahuluan*.
- Mandela, N., Karlina, I., & Irawan, H. (2016). *Sebaran Meiofauna Secara Vertikal Dari Pantai Ke Arah Laut Pada Zona Litoral Di Perairan Daerah Pulau Pucung*.
- Mangu, D. G. S. (2020). Perlindungan Dan Pelestarian Lingkungan Laut Menurut Hukum Internasional. *Tanjungpura Law Journal*, 4(2), 161–177.
- Merdeka.com. (n.d.). *Manfaat Laut Bagi Kehidupan Mahluk Hidup, Produksi Oksigen Lebih Banyak*.
- Miala, I., Pratomo, A., & Irawan, H. (2015). *Hubungan Antara Bulu Babi, Makroalgae dan Karang di Perairan Daerah Pulau Pucung*.
- Nontji, A. (2005). *Laut Indonesia* (4th ed.). Djambatan.
- Nurhayati, S., Irawan, H., & Pratomo, A. (2015). *Hubungan Kelimpahan Drupellasp. Terhadap Kondisi Tutupan Terumbu Karang di Perairan Pulau Pucung Desa Malang Rapat Kecamatan Gunung Kijang*.
- Phillips, R. C., Mehez, E. G., & Washington, D. C. (1988). *Seagrasses* (Vol. 34). Smithsonian Institution Press.
- Poiner, I. R., Walker, D. I., & Coles, R. G. (1989). Regional Studies-Seagrass of Tropical Australia. In *Chapter 10* (pp. 279–296). Elsevier.

- Prodjodikoro. (1984). *Hukum Laut Bagi Indonesia*. Sumur Bandung.
- Putra, R. D., Suhana, M. P., Kurniawn, D., Abrar, M., Siringoringo, R. M., Sari, N. W. P., Irawan, H., Prayetno, E., Apriadi, T., & Suryanti, A. (2019). Detection of reef scale thermal stress with Aqua and Terra MODIS satellite for coral bleaching phenomena. *AIP Conference Proceedings*, 2094. <https://doi.org/10.1063/1.5097493>
- Raharjo, P., Setiady, D., Zallesa, S., Putri, D. E., Penelitian, P., Pengembangan, D., Kelautan, G., Junjuran, J., & 236 Bandung-40174, N. (2016). Identifikasi Kerusakan Pesisir Akibat Konversi Hutan Bakau (Mangrove) Menjadi Lahan Tambak di Kawasan Pesisir Kabupaten Cirebon. *Journal Geologi Kelautan*, 13(1), 9–24.
- Rahayu, S., Mahatma, R., & Khairijon. (2015). Kelimpahan dan Keanekaragaman Makrozoobentos Di Beberapa anak sungai Batang Lubuh. *Jurnal MIPA*, 2(1).
- Rahmad, R. (2017). *Manfaat Laut Bagi Bumi dan Kehidupan (Kasus Konflik Laut China Selatan)*.
- Rayhan, B. H. (2021). *Strategi Pengelolaan Sumber Daya Laut Dan Implikasinya Bagi Masyarakat Nelayan*. <https://www.researchgate.net/publication/355789203>
- Rintelen, K. von, Arida, E., & Häuser, C. (2017). A Review Of Biodiversity-Related Issues And Challenges In Megadiverse Indonesia And Other Southeast Asian Countries. *Research Ideas and Outcomes*, 3. <https://doi.org/10.3897/rio.3.e20860>
- Rizal, S., Pratomo, A., & Irawan, H. (2016). *Tingkat Tutupan Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Pulau Terkulai*. <https://www.researchgate.net/publication/322055916>
- Romimohtarto, K., & Juwana, S. (2007). *Biologi Laut: Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut*. Jakarta : Djambatan.

- Sabrianto, E. W., Irawan, H., & Idris, F. (2018). *Hubungan Kedalaman Sedimen Terhadap Kelimpahan Meiofauna di Pesisir Desa Teluk Bakau*.
- Sjawie, H. F. (1999). Konsep negara Kepulauan Pada Konferensi Hukum Laut. *Jurnal Hukum Dan Pembangunan*, 29(2), 131–143.
- Sodik, D. M. (2011). *Hukum Laut Internasional dan Pengaturannya di Indonesia*. Refika Aditama.
- Soemarmi, A., Indarti, E., & Diamantina, A. (2019). *Konsep negara Kepulauan Pada Konferensi Hukum Laut*.
- Soepriyo, D. (2011). *Pengertian Nekton*. [Http://Www.Scribd.Com](http://Www.Scribd.Com).
- Sofian, A., Suhermanto, A., Saidin, Sayuti, M., Novianto, D., & Widyasari, F. (2020). Environment and Morphometric of Sea Hare *Dolabella auricularia* (Lightfoot, 1786) from Shrimp Pond, Sorong West Papua, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(2), 983–987.
- Soraya, D., Suhara, O., & Taofiqurohman, A. (2012). Perubahan Garis Pantai Akibat Kerusakan Hutan Mangrove di Kecamatan Blanakan Dan Kecamatan Legonkulon, Kabupaten Subang. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan Unpad*, 3(4), 355–364.
- Tomascik, T. (1997). *The Ecology of the Indonesian Seas*. Oxford University Press.
- Unsworth, R., McKenna, S., & Rasheed, M. (2008). *Port of Karumba Long Term Seagrass Monitoring*.
- Wardhana, W. (2003). *Penggolongan Plankton*.
- Wulandari, A. G. R., Hutabarat, S., & Churun, A. (2014). Pengaruh Limbah Cair Tahu Terhadap Kelimpahan Makrobenthos Di Sungai Elo Magelang. *Diponegoro Journal Of Maquares*, 3(4). <http://ejournal-S1.undip.ac.id/index.php/maquares>

Yuliasamaya, Darmawan, A., & Hilmanto, R. (2014). Perubahan Tutupan Hutan Mangrove Di Pesisir Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*, 2(3), 111–124. <http://earthexplorer.usgs.gov/>

BAB 3

DAUR BIOGEOKIMIA LAUT DAN PRODUKTIVITAS PRIMER

Oleh Tarzan Purnomo

3.1 Pendahuluan

Keseimbangan energi dalam ekosistem laut sangat penting, karena menjadi kerangka dasar bagi kelangsungan hidup komunitas lautan. Ekosistem estuari yang subur (*fertile estuaris*) dalam keadaan stabil (atau klimak) memiliki tingkat respirasi (R) dan fotosintesis (P) yang sama (R/P mendekati satu) dengan tingkat yang paling besar di bawah terumbu karang (*coral reefs*) (Odum, 1971) menjadi penyokong utama bagi stabilitas kehidupan ekosistem laut. Produktivitas (*gross primary production*) ekosistem pesisir dan terumbu karang menempati peringkat tertinggi, yaitu $20000 \text{ kcal m}^{-2} \text{ tahun}^{-1}$. Angka ini jauh di atas produktivitas ekosistem darat yang memperoleh masukan energi, yaitu $12000 \text{ kcal m}^{-2} \text{ tahun}^{-1}$. Tingginya produktivitas itu berkaitan dengan karakteristik pesisir yang khas, yaitu (1) merupakan areal jebakan hara (*a nutrient trap*) sebagai akibat pertemuan aliran air dari ekosistem darat dan ekosistem laut, (2) menyediakan habitat dan kehidupan sepanjang tahun bagi sekelompok produser penting (macrophyta, benthic microphyta, dan fitoplankton) yang menyusun struktur ekosistem pesisir, dan (3) menyimpan energi (pasang surut) yang besar dari aliran materi dan energi bagi keberlangsungan ekosistemnya (Odum, 1971). Namun

demikian tingginya produktivitas ekosistem pesisir tidak mencerminkan keadaan sesederhana yang terjadi di ekosistem darat.

Produktivitas ekosistem laut sangat dinamis dan dipengaruhi oleh aliran *input* unsur hara dan *output* materi organik yang berasal ekosistem darat dan pesisir. Yaitu adanya keseimbangan biofisik secara dinamis di dalam lingkungan produktivitas biologi yang tinggi dalam tiga subsistem. Pertama, pada zone air dangkal, laju fotosintesis melebihi respirasi. Subsistem ini mengekspor energi dan materi (hara) ke zone yang lebih dalam dan ke daratan di dekatnya. Kedua, pada zone perairan yang lebih dalam, laju respirasi melebihi fotosintesis. Dalam subsistem ini unsur hara atau bahan organik dioksidasi menjadi materi-materi yang sederhana yang siap untuk diregenerasi. Ketiga, subsistem plankton dan nekton, merupakan media yang berperan memproduksi, mentransformasi dan mengangkut hara dan energi di antara sub sistem zone perairan dangkal dan dalam mengikuti fluktuasi pasang surut, musim, atau iklim.

Ekosistem laut merupakan sistem tropik yang didominasi oleh konsumen karena tergantung input materi dan energi dari pasang surut laut, cahaya matahari dan bahan organik atau unsur hara. Input unsur hara berasal dari ekosistem darat dan dari ekosistem pesisir sebagai materi hasil konversi (dan respirasi) terutama dari sub sistem konsumen. Unsur hara yang terbawa oleh tenaga pasang surut dan atas bantuan energi matahari merupakan sumber utama bagi fotosintesis (P). Aktivitas manusia terhadap aliran input unsur hara ke dalam ekosistem laut sangat besar. Masuknya polutan telah memicu terjadinya degradasi ekosistem pesisir yang berdampak pada menurunnya produktivitas perairan laut. Disinilah letak titik kritis pengelolaan laut oleh manusia sekaligus berpotensi mengancam kelestariannya.

Aliran *input* ikut menjalankan beragam proses dan mekanisme yang kompleks, yang merupakan keseimbangan (*general equilibrium*) dan interaksi dari kegiatan produksi dan konsumsi. Proses yang terjadi sangat dipengaruhi tingkat perkembangan ekosistem. Pada tahapan awal suksesi (*young nature*), kegiatan produksi berjalan sangat intensif dan efisien. Sistem begitu terbuka dan tergantung terhadap pengaruh input sehingga menyimpan potensi *instability* dan *implisit entropy*nya tinggi. Pengertian *output* adalah lebih kepada *net productivity*, yaitu tambahan produksi (*value added*) dari *gross productivity* antara dua waktu pengukuran. Hal ini dipersepsikan sama dengan pertumbuhan ekonomi apa bila dimaksudkan untuk menghitung ke dalam satuan *monetary*. Konsepsi ekologi lainnya yang melekat dalam ekosistem laut adalah entropy, yang merupakan pencerminan ketidakefisienan sistem sebagai akibat adanya materi dan energi yang tidak terdaya-gunakan oleh komponen-komponen atau struktur di dalam sistem. Menurut Serageldin (1993), pencemaran lingkungan, dan rendahnya produktivitas merupakan manifestasi yang ditimbulkan oleh entropy. Entropy mengalir tidak hanya menuju ekosistem laut saja, ia dapat berimplikasi secara spasial dan temporal terhadap subsistem darat dan pesisir dan sistem sosial yang terkait di dalamnya. Misalnya adanya pencemaran laut, maka entropy bisa terjadi dalam hambatan fotosintesis akibat dari (a) kekeruhan air laut dan (b) tidak berperannya detritus dalam transfer energi unsur hara. Hal ini selanjutnya akan mengakibatkan penurunan produktivitas produsen dan konsumen. Konsepsi ekologis lain yang tidak kalah pentingnya adalah homeostasis. Homeostasis merupakan mekanisme kompleks yang terdiri dari: identifikasi materi dan energi dari output; pengorganisasiannya; dan penyelesaian konflik (antara *negative* dan *positive feedback*) di dalamnya; yang diperlukan bagi ekosistem untuk senantiasa dalam *steady state* yang tinggi.

Dalam ekosistem laut mekanisme homeostasis ditampilkan melalui perpindahan energi oleh sekelompok bakteri, algae dan protozoa dalam pengendalian secara *positive feedback*. Kelompok komunitas ini berperan dalam total respirasi sehingga menghasilkan unsur hara dan bahan organik yang penting bagi kelangsungan hidup produsen. Jika terjadi pencemaran, mekanisme homeostasis menampilkan pengendalian *negative feedback* yang menghasilkan tekanan terhadap produsen. Upaya-upaya pencegahan pencemaran laut atau pengelolaan secara hati-hati merupakan manifestasi dari membangun kembali mekanisme homeostasis.

Pada prinsipnya terdapat tiga proses dasar yang menyusun struktur fungsional komponen biotik, yaitu: 1) proses produksi (sintesis materi organik), 2) proses konsumsi (memakan materi organik) dan 3) proses dekomposisi atau mineralisasi (pendaurulangan materi). Komponen abiotik ekosistem laut terbagi menjadi tiga komponen utama: [1] unsur dan senyawa anorganik, karbon, nitrogen dan air yang terlibat dalam siklus materi, [2] bahan organik, karbohidrat, protein dan lemak yang mengikat komponen abiotik dan biotik dan [3] regim iklim, suhu dan faktor fisik lain yang membatasi kondisi kehidupan. Dari sejumlah besar unsur dan senyawa anorganik sederhana dalam ekosistem laut, terdapat unsur-unsur tertentu yang penting bagi kehidupan. Unsur-unsur tersebut merupakan substansi biogenik atau unsur hara baik makro (karbon, nitrogen, fosfor), maupun mikro (besi, seng, magnesium) serta karbohidrat, protein dan lemak yang menyusun tubuh organisme hidup. Senyawa tersebut dan ratusan senyawa kompleks lainnya menyusun komponen organik dari kompartemen abiotik. Bila organisme mati, akan terurai menjadi fragmen-fragmen dengan berbagai ukuran yang secara kolektif disebut detritus organik. Detritus tumbuhan lebih dominan daripada hewan, karena biomassa tumbuhan lebih

besar dibandingkan dengan hewan. Selain itu tumbuhan memakan waktu lebih lama untuk hancur dibandingkan dengan hewan. Bahan organik yang terurai terdapat dalam bentuk terlarut dan partikel. Bahan organik yang terurai disebut humus atau zat humik, yang bersifat resisten terhadap penghancuran lebih lanjut. Dalam ekosistem peranan humus belum diketahui secara pasti, tapi dapat menyuburkan tanah. Kategori ketiga dari komponen abiotik ekosistem laut adalah faktor-faktor fisik (iklim) meliputi suhu, curah hujan, dan kelembaban. Faktor iklim seperti halnya sifat kimiawi air dan tanah serta lapisan geologi di bawahnya, merupakan penentu keberadaan suatu jenis organisme. Faktor-faktor ini senantiasa berada dalam satu seri gradien. Kemampuan adaptasi organisme seringkali berubah secara bertahap sepanjang gradien tersebut, tapi sering pula terdapat titik perubahan yang berbaaur atau zona persimpangan yang disebut ekoton (misalnya zona intertidal perairan laut).

3.2 Daur Materi di Laut

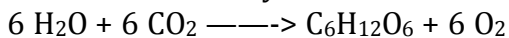
Organisme baik yang hidup atau mati tersusun oleh materi, dimana di dalam suatu ekosistem, materi pada setiap tingkat trofik tidak hilang. Materi berupa unsur-unsur penyusun bahan organik tersebut didaur-ulang. Unsur-unsur tersebut masuk ke dalam komponen biotik melalui udara, tanah, dan air. Daur ulang materi tersebut melibatkan makhluk hidup dan batuan (geofisik). Dengan berlangsungnya daur ini kelangsungan hidup di bumi dapat terjaga.

Semua organisme memerlukan energi untuk tumbuh, berkembang biak, bergerak dan melaksanakan fungsi-fungsi fisiologis tubuhnya. Sebagian besar ekosistem di dunia, energi yang digunakan sebagai motor penggerak adalah energi yang berasal dari cahaya matahari, yang nantinya akan mengalami

transformasi energi menjadi energi kimia (bahan-bahan organik) oleh proses fotosintesis. Tumbuhan hijau sebagai organisme autotrof karena dapat memenuhi kebutuhan hidupnya sendiri tanpa menggantungkan pada organisme lain. Organisme ini dapat menyediakan makanan bagi organisme lain (heterotrof) termasuk manusia (Desmukh, 1992).

Energi cahaya matahari yang telah diubah menjadi bahan organik yang tersimpan di dalam organ tanaman dan kemudian digunakan untuk pertumbuhan jaringan baru dari tumbuhan, akan memasuki jaringan hara dalam bentuk yang tersedia bagi organisme yang memerlukan hara organik. Semua organisme dalam suatu ekosistem akan melakukan kegiatan bernafas, dan dalam bernafas memerlukan energi, yang disediakan oleh tumbuhan dan akhirnya akan dilepaskan sebagai panas yang sudah tidak dapat dimanfaatkan lagi yang disebut *entropy*. Hal ini sesuai dengan apa yang dikemukakan dalam Hukum Termodinamika II yaitu dalam perubahan bentuk energi dari satu bentuk ke bentuk yang lain kita tidak akan mendapatkan efisiensi sebesar 100%. Ada sebagian energi yang hilang sebagai panas yang tidak dapat dimanfaatkan lagi yang disebut *entropy*.

Daur materi merupakan daur perubahan dan perpindahan materi yang terjadi dalam suatu rantai makanan. Sumber materi utama adalah planet bumi. Materi (H_2O dan CO_2) yang diserap oleh tumbuhan akan diubah menjadi karbohidrat melalui proses fotosintesis yang terjadi di daun dengan bantuan klorofil dan energi dari matahari. Secara sederhana reaksinya adalah:



Secara berturut-turut materi tersebut akan berpindah dari makhluk hidup yang satu ke makhluk yang lain dan suatu saat akan kembali ke bumi. Setelah mengalami berbagai proses akan kembali menjadi air (H_2O) dan CO_2 yang dapat

dimanfaatkan kembali oleh tumbuhan hijau, selanjutnya akan memasuki tubuh organisme lain. Jadi materi memiliki daur, misalnya daur karbon atau daur nitrogen.

Contoh Daur Materi (Daur Nitrogen) Di Laut

Nitrogen dalam air terdapat dalam berbagai bentuk senyawa. Nitrogen yang terbanyak dalam bentuk N-molekuler (N_2) yang berlipat ganda jumlahnya daripada nitrit (NO_2) atau nitrat (NO_3), tetapi tidak dalam bentuk yang berguna bagi jasad hidup. Nitrogen memegang peranan kritis dalam daur organik dalam menghasilkan asam-asam amino yang menyusun protein. Dalam daur nitrogen, tumbuh-tumbuhan dan fitoplankton menyerap N-anorganik dalam salah satu gabungan atau sebagai nitrogen molekuler. Tumbuh-tumbuhan ini mensintesis protein yang kemudian dimakan hewan dan diubah menjadi protein hewan. Jaringan organik yang mati diurai oleh berbagai jenis bakteri, termasuk didalamnya bakteri pengikat nitrogen yang mengikat nitrogen molekuler menjadi bentuk-bentuk gabungan (NO_2 , NO_3 , NH_4) dan bakteri denitrifikasi yang melakukan hal sebaliknya. Nitrogen lepas ke udara dan diserap dari udara selama daur berlangsung. Jumlah nitrogen yang tergabung dalam mineral dan mengendap di dasar laut tidak seberapa besar (Romimohtarto dan Juwana, 2001). Pola sebaran nitrogen di Samudera Atlantik, Pasifik dan Samudera India tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Distribusi vertikal dari bentuk-bentuk gabungan nitrogen berbeda di laut. Nitrat terbanyak terdapat di lapisan permukaan, ammonium tersebar secara seragam, dan nitrit terpusat dekat termoklin. Interaksi-interaksi antara berbagai tingkat nitrogen organik dan bakteri sedemikian rupa sehingga pada saat nitrogen diubah menjadi berbagai senyawa anorganik, zat-zat ini sudah tenggelam di bawah termoklin. Hal ini menimbulkan masalah bagi penyediaan nitrogen karena termoklin merupakan penghalang bagi migrasi vertikal unsur-

unsur ini dan kenyataannya persediaan nitrogen akan menjadi faktor pembatas bagi produktivitas di laut.

3.3 Daur Biogeokimia di Laut

3.3.1 Daur Karbon

Pemahaman mengenai bagaimana terjadinya daur karbon laut merupakan hal yang fundamental dalam meramalkan konsekuensi naiknya kadar karbon dioksida (CO_2) dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer. Pentingnya laut dalam pengaturan alami kadar CO_2 atmosferik telah diakui lebih dari 60 tahun yang lalu. Hingga kini, kurangnya data yang akurat dari banyak kawasan telah membatasi pemahaman kita tentang mekanisme dan jumlah karbon yang terlibat dalam pertukaran karbon antara laut dan atmosfer. Konsep lebih lanjut untuk membantu perkembangan pemahaman yang lebih baik mengenai ekosistem laut dan daur biogeokimianya juga sangat diperlukan. Secara signifikan para peneliti telah memperbaiki pemahaman mengenai peran laut dalam daur karbon, bagaimana laut mempengaruhi penumpukan CO_2 antropogenik di atmosfer, dan kemungkinan respon laut terhadap perubahan iklim. Hal ini telah dicapai melalui konstruksi inventaris laut global parameter karbon dan perkiraan yang lebih baik mengenai distribusi, intensitas, dan pertukaran musiman CO_2 antara laut dan atmosfer. Beberapa publikasi menyoroti pemahaman terakhir kita mengenai daur karbon berdasarkan pada penelitian intensif yang telah dilakukan selama satu dekade dan pandangan terhadap apa yang akan terjadi di masa yang akan datang.

1. Pompa Fisis dan Biologis

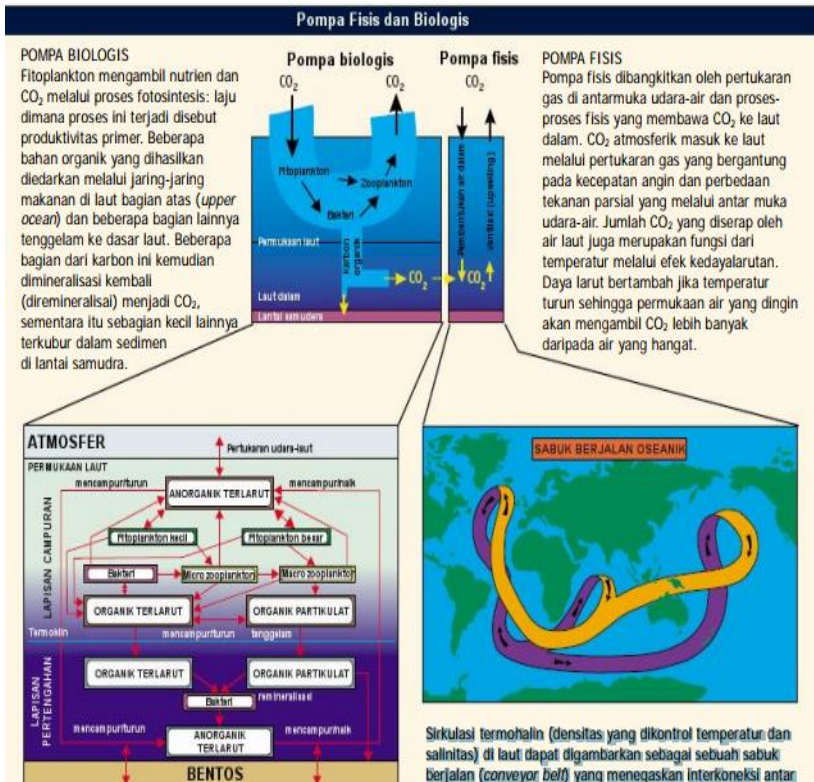
Peredaran karbon dalam berbagai bentuk organik dan anorganiknya, dan transpor karbon dari permukaan ke laut dalam dibangun oleh proses-proses fisis dan biologis. Proses-proses ini biasa disebut sebagai pompa fisis

(*physical pump* atau pompa daya larut) dan pompa biologis (*biological pump*) (Gambar 4.1). Kedua pompa ini bertindak meningkatkan konsentrasi CO₂ di dalam interior laut. Pompa fisis dibangkitkan oleh sirkulasi balik laut yang lamban dan lebih mudah terlarutnya CO₂ di air dingin daripada di air hangat. Massa air yang hangat dan rapat (*dense*) di laut lintang tinggi, terutama di Atlantik Utara dan Samudra bagian Selatan (*Southern Ocean*), menyerap CO₂ atmosferik sebelum tenggelam (*sink*) ke interior laut. Air yang tenggelam ini akan diimbangi oleh transpor vertikal (*upwelling*) di bagian laut lainnya. Air yang naik ke atas ini akan menjadi hangat ketika mencapai permukaan sehingga CO₂ menjadi kurang dapat larut dan sebagian diantaranya akan terlepas kembali ke atmosfer (melalui sebuah proses yang disebut pelepasgasan atau *outgassing*). Efek bersih dari proses-proses ini adalah pemompaan CO₂ ke dalam interior laut.

Secara faktual, pompa biologis bekerja melalui jaringan makanan (*food web*) yang rumit seperti ditunjukkan oleh gambar 3.1. Besarnya ekspor akan bergantung pada jalur (*path*) mana CO₂ dibelokkan. Karbon dioksida yang disalurkan melalui jaringan makanan klasik seperti fitoplankton besar dan makrozooplankton, akan menghasilkan ekspor karbon yang besar ke daerah kedalaman. Sebaliknya CO₂ yang diserap oleh fitoplankton kecil dan dimakan oleh mikrozooplankton sebagian besar akan disirkulasikan kembali (diresirkulasi) di permukaan laut sehingga ekspor ke kedalaman menjadi minimal. Sirkulasi termohalin (densitas yang dikontrol temperatur dan salinitas) di laut dapat digambarkan sebagai sebuah sabuk berjalan (*conveyor belt*) yang menegaskan interkoneksi antar perairan laut dunia. Air permukaan yang asin dan hangat yang mencapai lintang tinggi Atlantik Utara di musim dingin menjadi dingin dan tenggelam jauh ke kedalaman. Proses ini disebut pembentukan air dalam (*deep water formation*). Dari sini air memulai

perjalanannya ke arah selatan dan bergabung dengan air dalam yang dingin yang baru terbentuk di Antartika. Beberapa diantaranya kemudian mengalir keluar di dasar lautan di basin Atlantik, Hindia, dan Pasifik. Air ini kembali ke Atlantik Utara sebagai aliran permukaan, terutama melalui *upwelling* di Samudra Pasifik dan Hindia. Air dalam (*deep waters*) menjadi kaya akan nutrien-nutrien penting (seperti N, P, dan Si) dan CO₂ yang diperoleh dari dekomposisi bahan organik di air dan sedimen selama peredarannya. Daur lengkap *conveyor belt* kira-kira memakan waktu hingga 1000 tahun lamanya.

Penyerapan karbon oleh fitoplankton dan ekspornya ke interior dan sedimen laut disebut **pompa biologis**. Fotosintesis adalah proses dimana fitoplankton menyerap karbon: laju fotosintesis dikenal sebagai produktivitas primer. Fitoplankton adalah mesin bagi pompa biologis. Pompa biologis memainkan peranan yang penting dalam kemampuan laut menyerap CO₂ atmosferik. Tanpa adanya fotosintesis di laut, konsentrasi CO₂ atmosferik akan menjadi 1000 ppm jika dibandingkan dengan kondisi saat ini yang 365 ppm. Sebaliknya, jika pompa biologis berfungsi dengan efisien dan maksimum, maka tingkat konsentrasi CO₂ di atmosfer akan turun menjadi 110 ppm. Meskipun penting, sejauh ini pompa biologis masih belum banyak diukur. Sebagian besar penelitian telah difokuskan pada perluasan pemahaman mengenai proses-proses biologis, variasinya terhadap musim, dan kejadian khusus dan klimatis dalam skala besar yang mempengaruhi fungsinya pompa ini. “Bernafasnya laut” Salah satu pencapaian penting dari survey global CO₂.



Gambar 3.1. Pompa Fisis dan Biologis (Sumber: Balino *et.al*, 2001)

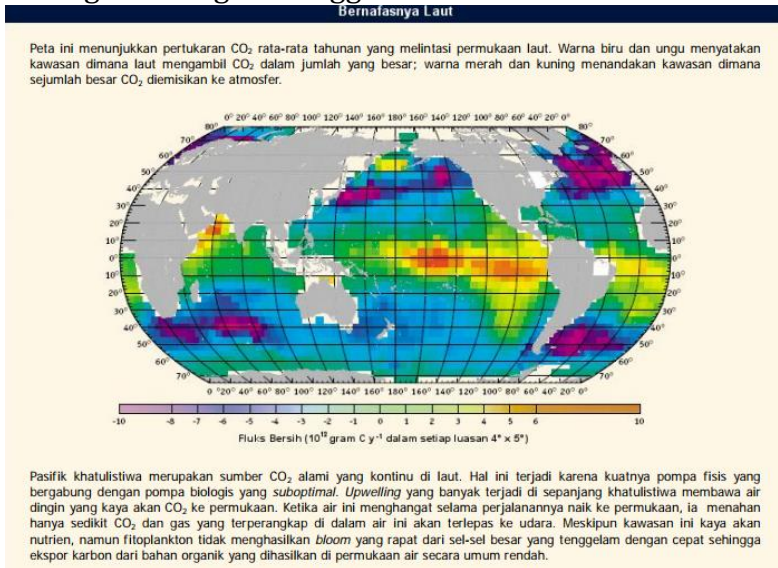
Pompa biologis. Fitoplankton mengambil nutrisi dan CO_2 melalui proses fotosintesis: laju dimana proses ini terjadi disebut produktivitas primer. Beberapa bahan organik yang dihasilkan diedarkan melalui jaring-jaring makanan di laut bagian atas (*upper ocean*) dan beberapa bagian lainnya tenggelam ke dasar laut. Beberapa bagian dari karbon ini kemudian dimineralisasi kembali (remineralisasi) menjadi CO_2 , sementara itu sebagian kecil lainnya terkubur dalam sedimen di dasar samudra.

Pompa fisis. Pompa fisis dibangkitkan oleh pertukaran gas di antarmuka udara-air dan proses-proses fisis yang membawa CO₂ ke laut dalam. CO₂ atmosferik masuk ke laut melalui pertukaran gas yang bergantung pada kecepatan angin dan perbedaan tekanan parsial yang melalui antar muka udara-air. Jumlah CO₂ yang diserap oleh air laut juga merupakan fungsi dari temperatur melalui efek kedayalarutan. Daya larut CO₂ bertambah jika temperatur turun sehingga permukaan air yang dingin akan menyerap CO₂ lebih banyak daripada air yang hangat.

2. Laut “Bernafas”

Di kawasan-kawasan yang berbeda (Gambar 3.2). Gambar pertukaran CO₂ rata-rata tahunan yang melewati permukaan laut menunjukkan bahwa penyerapan (*uptake*) dan pelepasgasan (*outgassing*) CO₂ tidak terdistribusi secara merata di laut global. Peta tersebut menunjukkan bahwa Pasifik Khatulistiwa merupakan sumber alami CO₂ yang kontinu di laut. Hal ini disebabkan oleh kombinasi antara *upwelling* yang kuat dari air yang kaya akan CO₂ dan kegiatan biologis yang rendah. Sebaliknya, Atlantik Utara adalah kawasan yang paling kuat dalam mengambil CO₂ di laut global. Dengan diangkutnya air hangat oleh *Gulf Stream* dan *Drift Atlantik Utara* ke arah utara, airnya menjadi dingin dan menyerap CO₂ dari atmosfer. Kawasan ini juga merupakan salah satu kawasan laut yang lebih produktif secara biologis akibat pasokan nutrisi yang berlebih. Jadi, berlawanan dengan Pasifik Khatulistiwa, faktor-faktor biologis dan fisis bergabung menghasilkan *fluks* bersih CO yang besar dari atmosfer ke dalam Atlantik Utara dan Pasifik Utara, meskipun bersifat musiman. Samudra bagian Selatan (*Southern Ocean*) juga merupakan kawasan penyerapan yang penting lainnya dimana massa

air permukaan yang dingin tenggelam dan kegiatan biologis kadangkala tinggi.



Gambar 3.2. Peta pertukaran karbon yang melintasi permukaan laut (Sumber: Balino *et.al*, 2001)

Peta pada Gambar 3.2 menunjukkan *fluks* rata-rata tahunan. Perubahan *fluks* musiman terjadi pula dan saat ini kita tahu bahwa *fluks-fluks* ini dipengaruhi oleh skala waktu yang lebih panjang menanggapi gangguan oseanik dan atmosferik skala besar seperti siklus *El Niño Southern Oscillation* (ENSO).

3. Gangguan Manusia Terhadap Penyerapan CO₂

Peta *fluks* CO₂ laut-atmosfer global menggambarkan fungsi terintegrasi dari pompa fisis dan pompa biologis, proses-proses yang telah berjalan selama ribuan tahun. Pelepasan dan penyerapan CO₂ diyakini telah berada dalam kesetimbangan di masa praindustri. Sejak revolusi industri,

penambahan emisi antropogenik secara dramatis telah mengakibatkan laut menjadi penyerap bersih (*net sink*) bagi CO₂. Secara kasar sekitar 6 petagram karbon per tahun (Pg C y⁻¹) dilepaskan ke atmosfer sebagai hasil dari pembakaran bahan bakar fosil (1 petagram = 1 gigaton = 1000 juta ton).

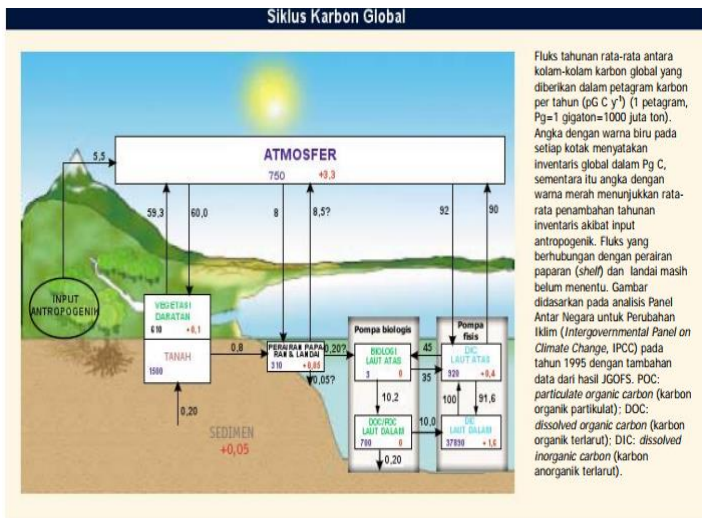
Sebagai Peta ini menunjukkan pertukaran CO₂ rata-rata tahunan yang melintasi permukaan laut. Warna biru dan ungu menyatakan kawasan dimana laut menyerap CO₂ dalam jumlah yang besar; warna merah dan kuning menandakan kawasan dimana sejumlah besar CO₂ diemisikan ke atmosfer. Pasifik Khatulistiwa merupakan sumber CO₂ alami yang kontinu di laut. Hal ini terjadi karena kuatnya pompa fisis yang bergabung dengan pompa biologis yang suboptimal.

Upwelling yang banyak terjadi di sepanjang khatulistiwa membawa air dingin yang kaya CO₂ ke permukaan. Ketika air ini menghangat selama perjalanannya naik ke permukaan, ia menahan hanya sedikit CO₂ dan gas yang terperangkap di dalam air ini akan terlepas ke udara. Meskipun kawasan ini kaya akan nutrien, namun fitoplankton tidak menghasilkan *bloom* yang rapat dari sel-sel besar yang tenggelam dengan cepat sehingga ekspor karbon dari bahan organik yang dihasilkan di permukaan air secara umum rendah. Akibat dari meningkatnya konsentrasi atmosferik ini, gradien tekanan parsial antara atmosfer dan laut mengalami perubahan. Hal ini telah mengakibatkan penenggelaman alami (*natural sinks*) menjadi sedikit lebih kuat dan sumber (*sources*) menjadi sedikit lebih lemah. Akibatnya penyerapan CO₂ bersih oleh laut telah meningkat sekitar 2,2 Pg per tahun, sekitar sepertiga dari emisi total karbon

antropogenik. Penyerapan CO_2 antropogenik ini sebagian besar dikontrol oleh pompa fisis (Gambar 3.3).

Karbon diambil dari atmosfer dalam berbagai cara. Tumbuhan air dan fitoplankton melakukan proses fotosintesis, dimana unsur karbon sangat penting dalam berlangsungnya fotosintesis, karena dapat mengubah karbon dioksida menjadi senyawa yang lebih kompleks yaitu karbohidrat. Di permukaan laut suhu air yang lebih dingin akan menyerap karbon lebih baik daripada suhu permukaan laut yang hangat. Karbon dapat dikembalikan lagi ke atmosfer melalui:

- respirasi oleh konsumen tingkat I/II.
- dekomposisi organisme oleh decomposer, mengurai senyawa karbon menjadi karbondioksida jika tersedia oksigen, atau menjadi metana jika tidak tersedia oksigen.
- pembakaran fosil, misalnya batubara.



Gambar 3.3. Daur karbon global (Sumber: Balino *et.al*, 2001)

3.3.2 Daur Oksigen

Konsentrasi CO_2 di atmosfer 0.03%. Sumber-sumber CO_2 di udara berasal dari respirasi manusia dan hewan, erupsi vulkanik, pembakaran batubara, dan buangan asap pabrik.

Karbon dioksida di udara dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk berfotosintesis dan menghasilkan oksigen yang akan digunakan oleh manusia dan hewan untuk berespirasi. Hewan dan tumbuhan yang mati, dalam waktu yang lama akan membentuk batubara di dalam tanah. Batubara akan dimanfaatkan lagi sebagai bahan bakar yang akan menambah kadar CO_2 di udara.

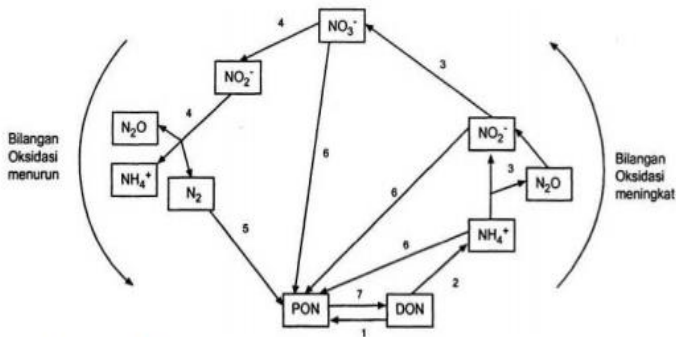
Di ekosistem perairan, pertukaran CO_2 dengan atmosfer berjalan secara tidak langsung. Karbon dioksida berikatan dengan air membentuk asam karbonat yang akan terurai menjadi ion bikarbonat. Bikarbonat adalah sumber karbon bagi alga dan fitoplankton yang memproduksi makanan untuk diri mereka sendiri dan organisme heterotrof lain.



Gambar 3.4. Daur oksigen

3.3.3 Daur Nitrogen

Di laut produksi primer dibatasi oleh ketersediaan nitrogen. Beberapa organisme foto-autotrof dapat mengikat nitrogen, tetapi organisme ini terbatas pada lingkungan benthik anaerobik, sehingga hanya ditemui di estuari. Fitoplankton oseanik adalah bukan organisme pengikat N_2 sehingga fitoplankton harus memenuhi kebutuhan nitrogennya melalui penyerapan atau asimilasi jenis-jenis nitrogen terlarut yaitu nitrat, nitrit, amonium dan urea. Sesudah mengalami proses transpor di dinding sel, nitrogen diubah menjadi metabolit, misalnya protein, melalui serangkaian reaksi anabolik berikut. Jika nitrit yang diasimilasi, rangkaian reaksi anabolik berawal dari reaksi (2); dan jika ammonium yang diasimilasi reaksi anabolik dimulai dengan reaksi (5).



Gambar 2. Skema Siklus Biogeokimiawi Nitrogen: 1) remineralisasi, 2) amonifikasi, 3) nitrifikasi, 4) denitrifikasi (reduksi nitrat disimilatori), 5) fiksasi nitrogen, 6) reduksi nitrogen asimilatori, 7) asimilasi DON (LIBES, 1992).

Gambar 3.5 Skema daur nitrogen di lautan

Jika nitrat atau nitrit yang diasimilasi, nitrogen harus direduksi ketingkat oksidasi-III. Dalam bentuk yang tereduksi (NH_3), nitrogen bereaksi dengan salah satu asam karboksilat, yaitu α -Asam ketoglutarat seperti reaksi (5). Hasilnya adalah sebuah asam amino yang dalam Gambar 3.5 adalah asam

glutamat. Sebagaimana ditunjukkan dalam reaksi (6), asam amino yang lain dapat dibentuk melalui transfer gugus amina dari asam amino ke karbon dari asam karboksilat lain. Reaksi tersebut disebut '*transaminasi*'. Keseluruhan proses dimana nitrat atau nitrit direduksi membentuk bahan organik, disebut '*reduksi nitrogen asimilatori*'. Karena nitrit memiliki tingkat oksidasi yang lebih rendah daripada nitrat, maka proses perubahan menjadi bentuk organik membutuhkan energi yang lebih sedikit. Bahkan untuk urea dan ammonium, energi yang diperlukan lebih sedikit lagi dibanding nitrit. Karena itu urea dan amonium terlarut dimanfaatkan terlebih dahulu dibanding nitrit dan nitrat dalam mekanisme pemanfaatan *Dissolved Inorganic Nitrate* (DIN) oleh fitoplankton.

1. Reaksi Oksidasi Remineralisasi dan Amonifikasi

Istilah remineralisasi digunakan untuk mengacu kepada tahap awal dekomposisi *Phosphat Organic Nitrate* (PON) dimana nitrogen padat diubah menjadi *Dissolved Organic Nitrate* (DON). DON kemudian diuraikan oleh bakteri heterotrofik. Penguraian ini berlangsung cepat, karena sifat reaktif ikatan nitrogen-karbon. Pemecahan dari ikatan tersebut melepaskan amonia (NH_3) yang cenderung bereaksi dengan H^+ atau H_2O dan membentuk amonium (NH_4). Proses ini dinamakan '*amonifikasi*' untuk biomolekul yang mengandung nitrogen paling dominan adalah protein.

2. Nitrifikasi

Dalam air dengan kandungan oksigen yang cukup, amonium mudah teroksidasi menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat berturut-turut oleh bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Proses ini disebut '*nitrifikasi*' yang terjadi secara bertahap, seperti digambarkan dalam Gambar 4.5 untuk dekomposisi aerobik PON pada detritus dalam volume

tertentu air laut pada kondisi gelap. Pada awalnya, PON diurai menjadi amonium yang merangsang pertumbuhan *Nitrosomonas*. Bakteri ini mengoksidasi amonium menjadi nitrit, sehingga kadar amonium menurun dan kadar nitrit meningkat. Peningkatan kadar nitrit tersebut akan merangsang pertumbuhan *Nitrobacter*, yang mengoksidasi nitrit menjadi nitrat. Akhirnya, seluruh DIN dioksidasi menjadi nitrat. PON yang tersisa adalah senyawa yang tidak bisa diurai oleh bakteri laut anaerobik.

3. Reaksi Reduksi Denitrifikasi

Dalam kondisi air laut yang tak jenuh dengan oksigen (suboksik dan anoksik), beberapa jenis bakteri heterotrofik merespirasi bahan organik dengan menggunakan nitrat sebagai penerima elektron. Sebagian nitrat direduksi berturut-turut menjadi nitrit dan kemudian N_2 , dengan demikian tidak menjadi bagian dari biomassa bakteri. Karena nitrogen terikat hilang dalam proses ini, maka proses tersebut dinamakan '*denitrifikasi*'. Disamping kondisi suboksik dan anoksik sebagai prasyarat terjadinya proses denitrifikasi, sejumlah besar bahan organik diperlukan untuk proses denitrifikasi. Kondisi ini lazim ditemui di *zona upwelling* di kawasan pesisir seperti di perairan Peru dan daerah dengan kondisi perairan yang relatif tenang (*stagnant*) antara lain perairan bagian timur Pasifik Utara tropik. Denitrifikasi juga terjadi pada sedimen pesisir dan perairan estuari yang tercemar sebagai akibat keberadaan bahan organik dalam jumlah besar.

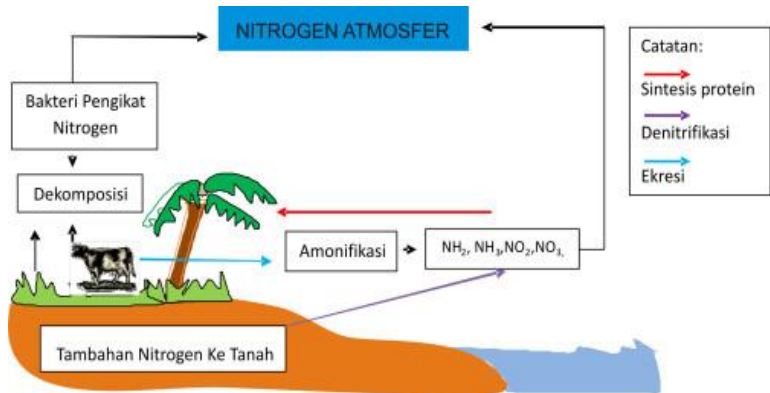
4. Fiksasi Nitrogen

Nitrogen masuk ke dalam laut melalui aliran sungai, curah hujan, difusi dari sedimen, dan fiksasi N_2 . Dalam fiksasi N_2 , ikatan rangkap tiga dalam N_2 harus dipecahkan.

Atom yang dibebaskan menjadi bagian dari senyawa tereduksi yang biasanya berupa senyawa organik. Karena pemecahan ikatan N_2 merupakan reaksi yang memerlukan banyak energi, hanya ada beberapa organisme yang mampu 'memfiksasi' nitrogen. Organisme yang memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen, baik bakteri heterotrofik maupun autotrofik terbatas hanya pada beberapa spesies bakteri. Organisme pengikat nitrogen lainnya adalah meliputi organisme bentos dan/atau organisme yang hidup bersimbiosis. Kebanyakan organisme ini adalah heterotrof yang membutuhkan bahan organik labil dalam jumlah besar, sehingga keberadaannya terbatas di rawa-rawa estuaria dan mangrove, serta terumbu karang. Sebagai contoh adalah bakteri pengikat nitrogen simbiotik pada akar *Spartina*, sejenis tumbuhan rawa air asin. Nitrogen yang diikat oleh organisme pengikat nitrogen ini diekskresikan ke dalam air porous dan segera diasimilasi oleh akar tumbuhan inangnya. Bakteri pengikat nitrogen yang hidup sebagai epifit telah ditemui pada rumput laut pelagis seperti *Sargassum*, yang hidup di Laut Sargasso. Karena jenis rumput laut ini hidup di Laut Sargasso yang merupakan perairan dengan keterbatasan nitrogen yang ekstrim, pertumbuhan rumput laut tersebut diduga hampir sepenuhnya didukung oleh nitrogen yang dipasok oleh organisme pengikat nitrogen simbiotik yang hidup pada rumput laut tersebut.

Kebanyakan fiksasi nitrogen terjadi pada lingkungan bentik dangkal, khususnya pada sedimen rawa-rawa air asin. Di laut terbuka, fiksasi nitrogen di bawah lapisan zona eufotik diduga terjadi pada zona-zona mikro anoksik, antara lain seperti PON pada detritus yang tenggelam. Karena ketiadaan data perkiraan kuantitatif dari proses tersebut belum dilakukan, tetapi diduga proses tersebut menyumbangkan nitrogen terikat dalam jumlah yang tidak

signifikan bagi laut. Tingkat 'standard error' yang relatif besar memberikan indikasi mengenai ketidakpastian yang relatif tinggi dari data-data tersebut. Diperkirakan data-data tersebut secara umum lebih rendah dari nilai seharusnya (*underestimated*).



Gambar 3.6 Daur Nitrogen

Di alam, nitrogen terdapat dalam bentuk senyawa organik seperti urea, protein, dan asam nukleat atau sebagai senyawa anorganik seperti ammonia, nitrit, dan nitrat. Dalam daur nitrogen terjadi dua tahap:

Tahap pertama

Selain air hujan yang membawa sejumlah nitrogen, penambahan nitrogen ke dalam tanah terjadi melalui proses fiksasi nitrogen. Fiksasi nitrogen ini dilakukan oleh bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan tumbuhan polong-polongan (leguminosae), bakteri *Azotobacter* dan *Clostridium*. Sedangkan di laut alga hijau biru memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen.

Tahap kedua

Jika tumbuhan atau hewan mati, maka pengurai akan merombaknya menjadi gas, disebut proses amonifikasi.

Nitrat yang digunakan oleh produsen (tumbuhan) → molekul protein.

↓ (Jika tumbuhan atau hewan mati, maka pengurai akan merombaknya menjadi gas, disebut proses amonifikasi) amoniak (NH_3) dan garam ammonium yang larut dalam air (NH_4^+) senyawa ammonium → nitrat (oleh *Nitrobacter*). Apabila oksigen dalam tanah terbatas, nitrat dengan cepat ditransformasikan menjadi gas nitrogen atau oksida nitrogen oleh proses yang disebut denitrifikasi.

4.3.4 Daur Air (Hidrologi)

Daur air atau daur hidrologi merupakan sirkulasi air yang terus menerus terjadi yaitu dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer lagi melalui proses kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pemanasan air laut oleh sinar matahari merupakan kunci proses daur hidrologi agar dapat berlangsung secara terus menerus. Air berevaporasi, kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan es dan salju (*sleet*), hujan gerimis atau kabut.

Air merupakan kebutuhan vital bagi semua makhluk hidup, karena merupakan komponen terbesar dari tubuh makhluk hidup. Tidak ada makhluk hidup yang mampu bertahan hidup tanpa adanya air. Air terdapat secara melimpah di laut, tetapi ketersediaannya relatif terbatas di daratan. Bagi tumbuhan, air merupakan salah satu faktor penting untuk fotosintesis, perkecambahan dan pertumbuhan, serta sarana transportasi zat. Bagi hewan dan manusia, air merupakan faktor penting untuk transportasi zat. Secara garis besar daur hidrologi dibedakan menjadi tiga macam, yaitu:

- *Daur hidrologi pendek*: air laut menguap, uap air naik ke udara lalu bersatu menjadi awan. Pada ketinggian tertentu awan mengalami kondensasi dan presipitasi menjadi titik-titik air, kemudian turun sebagai hujan. Pada daur hidrologi pendek ini terbentuknya awan dan hujan terjadi di atas laut, jadi hujan tidak mencapai daratan.
- *Daur hidrologi sedang*: air laut menguap, uap air naik ke udara dan terbawa angin sampai di atas daratan membentuk awan. Pada ketinggian tertentu awan mengalami kondensasi dan presipitasi membentuk titik-titik air, lalu turun sebagai hujan di daratan. Sebagian air meresap ke dalam tanah, sebagian sebagai air permukaan (*run off*) kembali ke laut melalui sungai.
- *Daur hidrologi panjang*: uap air yang berasal dari penguapan air laut, kolam, danau, sungai maupun hasil transpirasi tumbuhan naik ke udara, lalu bersatu menjadi awan. Awan terbawa oleh angin ke arah daratan dan pada jarak tertentu terhalang oleh pegunungan. Akhirnya awan mengalami kondensasi dan presipitasi menjadi titik-titik air dan turun sebagai hujan di atas pegunungan. Air hujan meresap ke tanah di pegunungan, lalu diserap oleh tumbuhan di pegunungan, sebagian muncul sebagai mata air. Melalui sungai air mengalir kembali lagi ke laut.



Gambar 3.7 Daur air

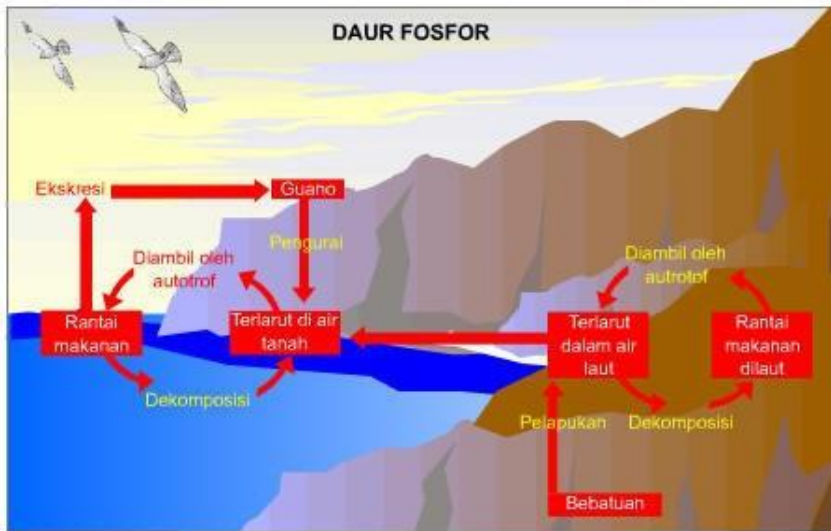
Sebagian besar uap air di atmosfer berasal dari laut karena laut mencapai tiga perempat luas permukaan bumi. Uap air di atmosfer terkondensasi menjadi awan yang turun ke daratan dan laut dalam bentuk hujan. Air hujan di daratan masuk ke dalam tanah membentuk air permukaan tanah dan air tanah. Tumbuhan darat menyerap air yang ada di dalam tanah. Kemudian melalui transpirasi uap air dilepaskan oleh tumbuhan ke atmosfer. Transpirasi oleh tumbuhan mencakup 90% penguapan pada ekosistem darat. Hewan memperoleh air langsung dari air permukaan serta dari tumbuhan dan hewan yang dimakan. Air tanah dan air permukaan sebagian mengalir ke sungai, kemudian ke danau dan ke laut. Siklus ini disebut *Siklus Panjang*. Sedangkan siklus yang dimulai dengan proses transpirasi dan evapotranspirasi dari air yang terdapat di permukaan bumi, lalu diikuti oleh presipitasi atau turunnya air ke permukaan bumi disebut *Siklus Pendek*.

3.3.5 Daur Fosfor

Fosfor salah satu dari siklus biogeokimia. Fosfor terdapat di alam dalam bentuk ion fosfat (PO_4^{3-}) dimana, fosfor di alam terdapat dalam dua bentuk, yakni fosfat anorganik dan fosfat organik.

Di alam, fosfor terdapat dalam dua bentuk, yaitu senyawa fosfat organik (pada tumbuhan dan hewan) dan senyawa fosfat anorganik (pada air dan tanah). Fosfat organik dari hewan dan tumbuhan yang mati diuraikan oleh dekomposer (pengurai) menjadi fosfat anorganik. Fosfat anorganik yang terlarut di air tanah atau air laut akan terkikis dan mengendap di sedimen laut. Oleh karena itu, fosfat banyak terdapat di batu karang dan fosil. Fosfat dari batu dan fosil terkikis dan membentuk fosfat anorganik terlarut di air tanah dan laut. Fosfat anorganik ini kemudian akan diserap oleh akar tumbuhan atau fitoplankton lagi. Siklus ini berulang terus menerus (Gambar 3.8).

Mikroba pelarut P yang melepaskan ikatan P dari mineral liat dan menyediakannya bagi tanaman. Banyak sekali mikroba yang mampu melarutkan P, antara lain: *Aspergillus* sp, *Penicillium* sp, *Pseudomonas* sp dan *Bacillus megatherium*. Mikroba yang berkemampuan tinggi melarutkan P, umumnya juga berkemampuan tinggi dalam melarutkan K.



Gambar 3.8 Daur Fosfor

3.3.6 Daur Belerang (Sulfur)

Belerang (Sulfur) terdapat dalam bentuk sulfat anorganik. Sulfur direduksi oleh bakteri menjadi sulfida dan kadang-kadang terdapat dalam bentuk sulfur dioksida atau hidrogen sulfida. Hidrogen sulfida pada umumnya dihasilkan dari dekomposisi bahan organik yang mati dan seringkali mematikan makhluk hidup di perairan. Tumbuhan dan fitoplankton menyerap sulfur dalam bentuk sulfat (SO_4).

Perpindahan sulfat terjadi melalui proses rantai makanan, lalu semua makhluk hidup mati dan akan diuraikan komponen organiknya oleh bakteri. Beberapa jenis bakteri terlibat dalam daur sulfur, antara lain *Desulfomaculum* dan *Desulfibrio* yang akan mereduksi sulfat menjadi sulfida dalam bentuk hidrogen sulfida (H_2S). H_2S kemudian digunakan oleh bakteri fotoautotrof anaerob seperti *Chromatium* dan

melepaskan sulfur dan oksigen. Sulfur di oksidasi menjadi sulfat oleh bakteri kemolitotrof seperti *Thiobacillus*.



Gambar 3.9 Daur Sulfur

3.4 Produktivitas Primer Lautan

Ekosistem laut terbentuk dari interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungannya, yaitu antara organisme laut dengan organisme laut lainnya, maupun antara organisme laut dengan faktor-faktor lingkungan abiotiknya. Interaksi tersebut terbentuk didasarkan atas hubungan saling membutuhkan antara organisme maupun eksploitasi faktor-faktor abiotik untuk kelangsungan hidup organisme lautan. Berdasarkan urgensinya, baik interaksi antar organisme maupun antara organisme dengan lingkungannya dalam rangka memperoleh energi untuk keberlangsungan hidupnya. Energi yang diperoleh tersebut dipergunakan untuk metabolisme dalam rangka pemeliharaan kondisi (*homeostasis*), bergerak, tumbuh dan berkembang, serta bereproduksi. Atas dasar kepentingan

tersebut maka setiap organisme lautan berjuang untuk *survive*, sehingga dapat memenuhi kebutuhan untuk kelangsungan hidup dan eksistensinya.

Dalam ekosistem laut penyedia energi pertama adalah produser yang mampu mengkonversi unsur hara anorganik dengan bantuan energi cahaya matahari (foton) melalui proses fotosintesis menjadi bahan organik kaya energi yang bisa dimanfaatkan oleh konsumen primer. *Produktivitas primer* adalah laju pembentukan senyawa-senyawa organik yang kaya energi dari senyawa-senyawa anorganik. Jumlah bahan organik (biomassa) yang terbentuk dalam proses produktivitas dinamakan *produktivitas primer kotor*, atau *produksi total*. Sebagian dari produksi total ini digunakan oleh tumbuhan dan fitoplankton untuk melangsungkan proses-proses hidup dan respirasi. *Produksi primer bersih* adalah istilah yang digunakan untuk jumlah sisa produksi primer kotor setelah sebagian digunakan untuk respirasi. Produksi primer inilah yang tersedia bagi tingkatan-tingkatan trofik lain. Produksi primer kotor maupun produksi primer bersih pada umumnya dinyatakan dalam jumlah gram karbon (C) yang terikat per satuan luas atau volume air laut per interval waktu. Dengan demikian, produksi adalah jumlah gram karbon per m^2 per hari ($\text{gC}/\text{m}^2/\text{hari}$), atau satuan-satuan lain yang lebih tepat.

Hasil tetap (*Standing crop*) adalah jumlah biomassa hidrofita atau fitoplankton yang terdapat dalam suatu volume air tertentu pada waktu tertentu. Pada ekosistem laut, khususnya laut terbuka, fitoplankton merupakan organisme autotrof utama yang menentukan produktivitas primer perairan. *Produktivitas* adalah jumlah karbon yang terdapat di dalam biomassa produsen dan secara umum dinyatakan sebagai jumlah gram karbon yang dihasilkan dalam satu meter kubik kolom air per hari ($\text{gC}/\text{m}^3/\text{hari}$) atau jumlah gram karbon yang dihasilkan dalam satu meter kubik per hari

(gC/m³/hari) (Levinton, 1982). Selain jumlah karbon yang dihasilkan, tinggi rendahnya produktivitas primer perairan dapat diketahui dengan melakukan pengukuran terhadap biomassa fitoplankton dan konsentrasi klorofil-a. dimana kedua metode ini dapat diukur secara langsung di lapangan.

Cahaya matahari merupakan sumber energi primer dalam ekosistem laut. Energi foton cahaya matahari hanya dapat diserap oleh klorofil tumbuhan hijau dan organisme fotosintetik (fitoplankton dan bakteri). Melalui proses fotosintesis ini molekul anorganik dengan bantuan energi matahari disintesis menjadi molekul organik yang kaya energi. Molekul organik hasil fotosintesis tersebut selanjutnya disimpan dalam bentuk biomassa dalam tubuhnya dan menjadi sumber bahan organik bagi organisme heterotrof atau konsumen primer. Organisme yang memiliki kemampuan untuk mensintesis bahan organik dengan bantuan energi cahaya disebut *produsen*. Dalam ekosistem laut sebagai produsen diduduki oleh fitoplankton, bakteri fotosintetik dan khemosintetik, serta hidrofita (rumput laut/lamun atau *seagrass*).

Dalam ekosistem perairan produksi merupakan proses pemasukan dan penyimpanan energi dalam ekosistem. Pemasukan (*input*) energi dalam ekosistem adalah pengikatan energi cahaya menjadi energi kimia oleh produsen. Sedangkan penyimpanan energi adalah penggunaan energi oleh konsumen dan mikroorganisme. Laju produksi bahan organik dalam ekosistem disebut *produktivitas*.

Produktivitas primer merupakan laju penambahan energi oleh produsen. Produktivitas primer merupakan jumlah energi cahaya yang difiksasi dan diubah menjadi energi kimia oleh autotrof suatu ekosistem selama periode waktu tertentu (Campbell *et al.*, 2002). Produktivitas primer total disebut juga produktivitas primer kotor (*gross primary productivity*, GPP).

Baik fitoplankton maupun hidrofita sebagai produsen dalam ekosistem lautan juga memerlukan energi hasil dari metabolisme bahan organik yang disintesisnya untuk aktivitasnya (respirasi, memelihara homeostatis, tumbuh, dan berkembang). Oleh karena itu sisanya untuk membentuk biomassa. Dengan demikian, produktivitas primer bersih (*net primary productivity*, NPP) merupakan produktivitas primer kotor dikurangi energi yang digunakan oleh produsen untuk respirasi (Rs):

$$\text{NPP} = \text{GPP} - \text{Rs}$$

Dimana: NPP= *Net Primary Productivity*

GPP= *Gross Primary Productivity*

Rs = Respirasi

Produktivitas primer merupakan simpanan energi kimia dalam bentuk biomassa produsen. Biomassa inilah yang dapat dipanen oleh konsumen. Mayoritas produser, mempunyai kapasitas *Net Primary Productivity* berkisar 50%–90% dibandingkan *Gross Primary Productivity*nya. Semakin sederhana struktur tubuh produser maka rasio NPP terhadap GPP semakin besar (Campbel *et.al.*, 2002).

Produktivitas primer dapat dinyatakan dalam energi persatuan luas persatuan waktu ($\text{J}/\text{m}^2/\text{tahun}$), atau biomassa (berat kering organik) vegetasi ($\text{g}/\text{m}^2/\text{tahun}$). Dengan demikian produktivitas primer berbeda dengan total biomassa autotrof/tumbuhan tegakan (*standing crop biomass*). Karena produktivitas primer merupakan sintesis biomassa baru oleh produsen. Dengan demikian walaupun tumbuhan dengan pohon yang besar, namun bisa saja *Net Primary Productivity*nya lebih rendah dari padi dengan vegetasinya lebih sedikit (Campbell *et al.*, 2002).

3.5 Ruang Lingkup Produktivitas Primer Lautan

Energi yang digunakan untuk menunjang kehidupan ekosistem laut bersumber dari sinar matahari yang difiksasi oleh organisme berklorofil melalui proses fotosintesis. Hasilnya berupa bahan organik yang disimpan dalam biomassa produsen, sehingga tersedia sebagai sumber makanan bagi konsumen primer dan rantai makanan berikutnya. Selain organisme berklorofil, proses ini juga terjadi pada bakteri kemosintesis.

3.5.1 Fotosintesis

Fotosintesis terjadi pada organisme berklorofil untuk memproduksi energi siap pakai (nutrien) dari unsur-unsur anorganik. **Secara sederhana reaksi fotosintesis adalah sebagai berikut:** $12\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 + \text{cahaya} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glukosa) $+ 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$. Adapun **terjadinya proses fotosintesis dipengaruhi oleh:**

1). *Intensitas Cahaya*

Untuk berlangsungnya proses fotosintesis cahaya matahari mutlak dibutuhkan. Panjang gelombang sinar matahari yang mampu menembus air dan diabsorpsi oleh klorofil adalah 350-710 nm è PAR (*Photosynthesis Active Radiation*). Dalam ekosistem perairan, 45-50% cahaya matahari diabsorpsi oleh air. Penetrasi radiasi sinar matahari ke dalam perairan dipengaruhi oleh ketinggian (*altitude*), letak geografis (*altitude*), musim, efek harian (*diurnal*), dan efek lokal (arus dan morfologi perairan).

2). *Konsentrasi CO₂ di atmosfer*

Tersedianya konsentrasi karbondioksida dalam jumlah optimum maka laju fotosintesis semakin tinggi.

3). *Suhu perairan*

Suhu perairan mempengaruhi kinerja enzim-enzim fotosintetik. Berlangsungnya fotosintesis secara optimal membutuhkan kisaran suhu tertentu.

3). *Kadar fotosintat (hasil fotosintesis)*

Laju fotosintesis akan meningkat seiring waktu. Pada saat kadar fotosintat bertambah atau telah mencapai titik jenuh, maka laju fotosintesis akan menurun.

3.5.2 Faktor-Faktor Oseanografi

Faktor oseanografi yang berpengaruh terhadap produktivitas primer lautan, meliputi:

1). *Suhu air*

Perairan laut tropis suhunya lebih hangat karena adanya pemanasan yang terjadi secara terus-menerus sepanjang tahun. Akibat dari pemanasan tersebut di dalam kolom air terbentuk stratifikasi yang disebabkan oleh adanya gradien suhu. Berdasarkan gradien suhu secara vertikal, kolom perairan dibedakan menjadi 3 (tiga) lapisan, yaitu (Wyrтки, 1961):

- a) *lapisan permukaan* (suhunya homogen)
- b) *lapisan termoklin* (suhunya diskontinuitas)
- c) *lapisan di bawah* dengan kondisi yang hampir homogen, dimana kearah dasar perairan secara gradual suhu akan berkurang.

Kedalaman tiap lapisan bervariasi (Lukas and Lindstrom, 1991). Lapisan permukaan tercampur merupakan lapisan dengan gradien suhu tidak lebih dari $0,03^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (Wyrтки, 1961), sedangkan kedalaman lapisan termoklin dalam suatu perairan didefinisikan sebagai suatu kedalaman atau posisi dimana gradien suhu lebih dari $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (Blanchard, 1996).

Berbagai faktor lingkungan yang mempengaruhi variasi suhu permukaan air laut adalah intensitas cahaya matahari, evaporasi, kecepatan angin, presipitasi, dan faktor-faktor fisika yang terjadi di dalam kolom perairan. Menurunnya suhu permukaan air laut disebabkan oleh presipitasi (curah hujan) yang terjadi di laut. Sedangkan peningkatan suhu permukaan air laut akibat adanya aliran panas dari udara ke lapisan permukaan perairan yang menyebabkan terjadinya evaporasi. Sinar matahari dapat meningkatkan suhu air $0,1^{\circ}\text{C}$ pada lapisan permukaan hingga kedalaman 10 m dan hanya kira-kira $0,12^{\circ}\text{C}$ pada kedalaman 10–75 m (McPhaden dan Hayes, 1991). Menurut Lukas dan Lindstrom (1991) perubahan suhu permukaan laut sangat tergantung pada termodinamika di lapisan permukaan tercampur.

Daya gerak berupa adveksi vertikal, turbulensi, aliran *buoyancy*, dan *entrainment* dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pada lapisan tercampur serta kandungan bahangnya. Adveksi vertikal dan *entrainment* dapat mengakibatkan perubahan kandungan bahang dan suhu pada lapisan permukaan (McPhaden dan Hayes, 1991). Kedua faktor tersebut bila dikombinasi dengan faktor angin yang bekerja pada suatu periode tertentu dapat mengakibatkan terjadinya *upwelling*. Akibat *Upwelling* suhu lapisan air permukaan tercampur menjadi lebih rendah. Gerakan massa air ini disebabkan oleh angin. Hembusan angin yang kencang dapat menyebabkan terjadinya percampuran massa air pada lapisan atas sehingga sebaran suhu menjadi homogen.

2). *Salinitas*

Faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi salinitas di perairan laut meliputi penguapan, pola sirkulasi air, curah hujan dan *input* aliran sungai. Curah hujan yang tinggi dan

besarnya input aliran air sungai menyebabkan perairan laut memiliki salinitas yang rendah, sedangkan jika penguapan tinggi, maka salinitas perairannya tinggi. Selain itu pola sirkulasi air juga berperan dalam distribusi salinitas perairan laut.

Pada air laut secara vertikal tingkat salinitasnya meningkat seiring kedalaman. Distribusi salinitas secara vertikal sangat ditentukan oleh angin. Pengadukan di dalam lapisan permukaan oleh energi ombak dan gelombang serta adanya *upwelling* dapat meningkatkan salinitasnya.

Angin mempengaruhi distribusi salinitas perairan, baik secara vertikal maupun horizontal. Secara horizontal disebabkan oleh arus yang membawa massa air, sedangkan secara vertikal disebabkan oleh tiupan angin yang mengakibatkan terjadinya gerakan air secara vertikal. Sistem angin muson menyebabkan terjadinya musim hujan dan musim panas yang akhirnya berdampak terhadap variasi tahunan salinitas perairan (Wyrтки, 1961). Perubahan musim tersebut selanjutnya mengakibatkan terjadinya perubahan sirkulasi massa air yang bersalinitas tinggi dengan massa air bersalinitas rendah. Interaksi antara sistem angin muson dengan faktor-faktor lain (*run-off* dari sungai, hujan, evaporasi, dan sirkulasi massa air) dapat mengakibatkan distribusi salinitas menjadi sangat bervariasi.

3). *Densitas air laut (σ_t)*

Densitas air laut dipengaruhi oleh suhu dan salinitas air serta arus yang menyebabkan pencampuran massa air. Adanya arus air mengakibatkan terjadinya stratifikasi densitas perairan baik secara vertikal maupun horizontal. Massa air yang berdensitas tinggi pada lapisan permukaan akan tenggelam ke kedalaman tertentu. Densitas air laut akan berubah seiring berubahnya

suhu dan salinitas. Air di permukaan laut densitasnya menurun akibat pemanasan, presipitasi, dan aliran *run off* dari daratan. Disisi lain densitasnya akan bertambah akibat evaporasi dan suhu permukaan turun. Secara vertikal distribusi densitas air disebabkan oleh proses pencampuran massa air akibat angin. Dengan demikian terdapat korelasi positif antara densitas air dengan kecepatan angin, suhu, salinitas, dan kedalaman (Lukas dan Lindstrom, 1991).

3.6 Faktor Utama yang Mempengaruhi Produktivitas Primer di Laut

Berbagai faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas primer lautan meliputi:

3.6.1 Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari berpengaruh terhadap distribusi klorofil-a di laut. Proses fotosintesis sebagian besar berlangsung pada lapisan permukaan tercampur karena tersedia cahaya matahari dalam jumlah yang cukup. Pada lapisan yang lebih dalam, cahaya matahari tersedia dalam jumlah sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali. Hal inilah yang menyebabkan mengapa konsentrasi klorofil-a terbesar di lapisan permukaan dan di bawah termoklin. Menurut Paterson (1989) konsentrasi klorofil-a di permukaan sedikit, semakin ke bawah akan menurun hingga tidak ada klorofil-a di bawah termoklin.

Fitoplankton memiliki klorofil-a, c, dan pigmen tambahan (protein-fucoxanthin dan peridinin) untuk proses fotosintesis, menggunakan spektrum cahaya tampak (dengan panjang gelombang 400–700 nm). Cahaya dengan panjang gelombang lebih dari 600 nm, diabsorpsi oleh klorofil, sedangkan yang kurang dari 600 nm, diabsorpsi oleh pigmen-pigmen tambahan (Levinton, 1982).

Jumlah cahaya matahari yang diabsorpsi oleh setiap fitoplankton berbeda, tergantung kandungan pigmen pada setiap spesies fitoplankton. Hal inilah yang mempengaruhi tingkat efisiensi fotosintesis. Berdasarkan tingkat efisiensi fotosintesisnya alga laut diklasifikasikan menjadi alga hijau dan euglenoid tipe klorofil-a dan b, diatom, alga coklat, dan dinoflagelata mengandung klorofil-a, c, dan caratenoid, serta alga merah dan alga hijau biru untuk yang mengandung klorofil a dan ficobilin (Brown *et al.*, 1998).

3.6.2 Konsentrasi Nutrien

Unsur-unsur dan senyawa yang dibutuhkan oleh tumbuhan atau fitoplankton dan berada dalam bentuk bahan organik (amonia, nitrat) dan anorganik terlarut (asam amino) disebut nutrien. Karbon, nitrogen, fosfor, oksigen, silikon, magnesium, potassium, dan kalsium, merupakan unsur-unsur nutrien utama yang dibutuhkan dalam jumlah besar sedangkan besi, copper, dan vanadium merupakan *trace elemen* yang dibutuhkan dalam konsentrasi yang sangat kecil (Levinton, 1982). Unsur-unsur nutrien tersebut dibutuhkan oleh alga dan fitoplankton untuk pertumbuhannya (Spencer, 1975).

Konsentrasi nutrien pada lapisan permukaan sangat sedikit dan akan meningkat pada lapisan termoklin dan lapisan di bawahnya. Di permukaan laut konsentrasi nutrien sangat rendah dan berubah-ubah, dan konsentrasinya akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman serta akan mencapai konsentrasi maksimum pada kedalaman antara 500–1500 m (Brown *et al.*, 1998).

3.6.3 Suhu Perairan

Terjadinya proses fotosintesis di laut secara langsung atau tidak langsung dipengaruhi oleh suhu air laut. Suhu air mempengaruhi kinerja enzim-enzim fotosintetik,

sehingga meningkatkan laju maksimum fotosintesis ($P_{\max}$). Pengaruh tidak langsung suhu air dapat merubah struktur hidrologi kolom perairan dan distribusi fitoplankton (Tomascik *et al.*, 1997 b). Pada dasarnya, meningkatnya suhu perairan akan meningkatkan laju fotosintesis fitoplankton pada titik optimumnya.

3.7 Hubungan Faktor Oceanografi dan Produktivitas Primer

Ciri spesifik laut tropis adalah sinar matahari melimpah akan tetapi konsentrasi nutriennya rendah. Akibatnya produktivitasnya sangat rendah. Terutama hal ini terjadi di laut lepas. Produktivitas tertinggi adalah di ekosistem terumbu karang, padang lamun, dan hutan mangrove. Laut terbuka yang luasnya 90% dari laut dunia memiliki laju produktivitas lebih rendah dari perairan pesisir.

Faktor-faktor oseanografi yang berpengaruh terhadap produktivitas primer yaitu:

3.7.1 Upwelling

Perairan yang memiliki produktivitas tinggi dikarenakan adanya *upwelling*. Fenomena *upwelling* ini menyebabkan lapisan permukaan tercampur kaya nutrisi akibat proses pengangkatan massa air dalam yang membawa unsur-unsur nutrisi. Adanya *upwelling* di daerah divergensi ekuator yang memiliki konsentrasi klorofil-a tinggi maka produktivitas primernya meningkat (Brown *et al.*, 1998). Di Indonesia beberapa perairan laut yang mengalami *upwelling* akibat pengaruh pola angin muson adalah Laut Banda, dan Laut Arafura, Selatan Jawa dan Bali, dan Laut Timor (Wyrski, 1961).

Konsentrasi klorofil-a tertinggi di laut Banda dan laut Aru pada Musim Timur, saat terjadi *upwelling*, sedangkan yang terendah pada Musim Barat. Menurut Nontji (1993) di laut

Banda saat Musim Timur terdapat 2 (dua) periode “*bloom*” fitoplankton, yaitu pada bulan Juni dan Agustus atau September. Pada akhir September konsentrasi klorofil mencapai tertinggi di bagian timur Laut Banda, 60% pada kedalaman 25m, khususnya di sekitar Pulau Kei dan Tanimbar (Nontji, 1993). Demikian juga di perairan laut selatan Jawa dan Bali pada musim timur terjadi *upwelling*, konsentrasi klorofil-nya rata-rata 0,39 mm/l dan pada musim Barat 0,18 mm/l (Nybakken, 2001).

3.7.2 Percampuran Massa Air Secara Vertikal

Percampuran secara vertikal massa air laut berpengaruh terhadap kesuburan perairan. Perpindahan massa air dari kedalaman akan menyebabkan terangkatnya nutrien dari lapisan dalam ke lapisan permukaan. Tingginya konsentrasi nutrien di lapisan permukaan dan intensitas cahaya matahari akan meningkatkan laju fotosintesis fitoplankton, sehingga produktivitas primer meningkat. *Input* nutrien terutama konsentrasi NO_3 pada lapisan permukaan secara relatif akan meningkatkan produktivitas perairan (Levinton, 1982). Faktor utama yang berpengaruh terhadap percampuran massa air secara vertikal adalah angin Muson Tenggara.

3.7.3 Percampuran Massa Air Secara Horizontal

Pola sirkulasi massa air laut di Indonesia juga dipengaruhi oleh sistem angin muson dan arlindo. Akibat sistem ini terjadi percampuran antara dua massa air yang berbeda di suatu perairan. Saat Musim Timur, massa air dari Lautan Pasifik bergerak ke barat dan bertemu dengan massa air Laut Banda yang mengalami *upwelling*. Saat bertiup angin muson tenggara massa air perairan Indonesia Timur bergerak ke perairan Indonesia bagian barat, dan sebaliknya pada saat bertiup angin muson barat laut. Akibatnya terjadi sirkulasi

massa air dan pencampuran massa air sehingga berpengaruh terhadap produktivitas primernya. Tingginya produktivitas tergantung dari mana massa air di peroleh. Di perairan Indonesia konsentrasi klorofil-a nya rerata 0,19 mg/m³ dan 0,16 mg/m³ selama Musim Barat, dan 0,21 mg/m³ selama Musim Timur (Nontji, 1993).

Adanya lapisan termoklin, juga berpengaruh terhadap produktivitas primer. Hasil observasi Brown *et al.*, (1998) menunjukkan konsentrasi klorofil-a pada lapisan permukaan tercampur sangat sedikit dan semakin ke bawah meningkat dengan konsentrasi maksimum pada kedalaman 75–100m. Sementara itu di laut selatan Pulau Jawa dan Bali konsentrasi maksimum klorofil-a berada pada kedalaman 20m pada Musim Timur dan 80m pada Musim Barat (Nybakken, 2001). Umumnya kedalaman tersebut merupakan batas atas lapisan termoklin.

3.8 Produktivitas Fitoplankton

Produksi terdapat pada setiap tingkatan tropik. Produksi primer dihasilkan melalui proses fotosintesis oleh organisme autotrof yang terdapat pada tingkat tropik terbawah. Sedangkan produksi sekunder merupakan seluruh produksi pada tingkat konsumen (Odum, 1998). Produktivitas primer suatu sistem ekologi merupakan laju penyimpanan energi radiasi melalui aktivitas fotosintesis dari produser atau organisme fotosintetik (terutama tumbuhan hijau dan fitoplankton) dalam bentuk bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan pakan (Odum, 1998).

Produser melakukan fotosintesis dengan bantuan cahaya matahari yang ditangkap oleh pigmen-pigmen fotosintesis untuk menghasilkan produksi primer. Fotosintesis adalah proses fisiologis dasar yang penting bagi tumbuhan dan

fitoplankton. Persamaan umum proses fotosintesis adalah: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Dari persamaan ini menunjukkan bahwa fotosintesis merupakan proses reaksi reduksi-oksidasi. CO_2 direduksi dan H_2O dioksidasi (Levinton, 1982). Dengan demikian jika produksi sekunder merupakan produksi yang dihasilkan pada tingkat konsumen, maka produktivitas sekunder sebenarnya meliputi banyak organisme pada tingkat konsumen seperti herbivora dan karnivora. Namun, produktivitas sekunder biasanya hanya dihitung berdasarkan produksi konsumen primer, yaitu zooplankton.

Pada populasi hewan produksi mengacu pada pembentukan biomassa baru dalam periode waktu tertentu. 2 (dua) metode yang biasa digunakan dalam studi produksi yaitu metode dinamika populasi dan metode pengaturan energi (*energy budget*). Metode dinamika populasi dikhususkan pada pertumbuhan biomassa sedangkan metode pengaturan energi (*energy budget*) dilakukan dengan mengukur komponen-komponen konsumsi, respirasi dan ekskresi. Oleh karena itu dalam menentukan produktivitas sekunder terdapat beberapa permasalahan yaitu, perbedaan ukuran tiap individu menyebabkan jumlah individu/satuan volume berbeda antara satu spesies dengan spesies yang lain atau dalam spesies yang sama pada tahap siklus hidup yang berbeda. Misalnya spesies *calanus* yang dalam siklus hidupnya melewati 6 fase nauplii dan 6 fase kopepodite dengan masing-masing berbeda ukuran, maka jumlah individu per satuan volume dari tiap fase akan berbeda pula. Dengan demikian dalam penghitungan untuk masing masing jenis zooplankton harus ada perbedaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balino, B.M., Michael J.R.F., and Margareth C.B., 2001. Biogeokimia Laut dan Perubahan Global. Joint Global Flux Ocean Study. International Geosphere-Biosphere programme. IGBP Science No.2
- Blanchard, G.F. 1996. Quantifying the short-term temperature effect on light-saturated photosynthesis of intertidal microphytobenthos. *Mar Ecol Prog Ser* 134:309-313
- Brown, P.R. (ed). 1998. Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. Kluwer Academic, Dordrecht. Barrera, E., and C.C. Johnson (eds) 1999. *Evoluti*
- Campbell, N. A., J. B. Reece, L. G. Mitchell. 2002. *Biologi (terjemahan)*, Edisi kelima Jilid 3. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Levinton, J. S., 1982. *Marine Ecology*. Printice – Hall inc.
- Lukas R., and E. Lindstrom, 1991. The Mixed Layer of the Western Equatorial Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, 96: 3343 – 3357
- McPhaden, and S. P. Hayes, 1991. On the Variability of Winds, Sea Surface Temperature, and Surface Layer Heat Content in the Western Wquatorial Pacific. *J. Geosphys. Res.* 96: 3331 – 3342.
- Nontji, A. 1993. *Laut Nusantara*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Nybakken, James. 2001. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Odum, E.P. 1998. *Dasar-Dasar Ekologi. Edisi 4*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Odum, E. P. 1971. *Dasar-Dasar Ekologi*. (Terjemahan: T. Samangan). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Paterson, D.M. 1989. Short-term changes in the erodibility of intertidal cohesive sediments related to the

- migratory behavior of epipelagic diatoms. *Limnol Oceanogr* 34:223-234
- Romimohtarto, K. Juwana, S. 1999. *Biologi Laut. Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut*. Jakarta: LIPI.
- Serageldin, I. 1993. *Promoting Sustainable Development to World. New Paradigm Enfollowing the Environmental Proceeding of the First Annual and International Conference and Environmentally Sustainable Development*. Sept. 30 – Dec. 1, 1993
- Spencer, C.P. 1975. *The Micronutrient Element. In: Chemical Oceanography 2*. J.P. Riley and G.Kinow (Eds). London-New York: Academic Press.
- Tomascik, T, AJ Mah, A Nontji, and MK Moosa. 1997. *The Ecology of Indonesian Seas Part Two*. Periplus Edition
- Wyrtki, K., 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asean Waters, NAGA Rep. 2. Scripps Inst. of Oceanography La jolla, Calif.*

BAB 4

INVERTEBRATA LAUT (PORIFERA DAN ECHINODERMATA)

Oleh Niken Prawesti Listyaningrum

4.1 Pendahuluan

Invertebrata merupakan klasifikasi kingdom animalia yang tidak memiliki tulang belakang. Berikut ini merupakan filum-filum atau divisi-divisi dari Animalia yang termasuk dalam invertebrata antara lain porifera dan echinodermata.

4.2 Porifera

Porifera termasuk hewan tidak bertulang belakang dan merupakan hewan berpori atau spons dan tidak memiliki jaringan atau organ. Hewan jenis ini hidup di laut dengan kedalaman dari 8.500 meter dan bisa lebih dari itu. Bentuk tubuhnya seperti tumbuhan atau tabung berpori yang melekat pada suatu dasar laut dan dapat berpindah tempat dengan bebas. Sumber makanan porifera adalah bakteri dan plakton.

4.2.1 Ciri-ciri

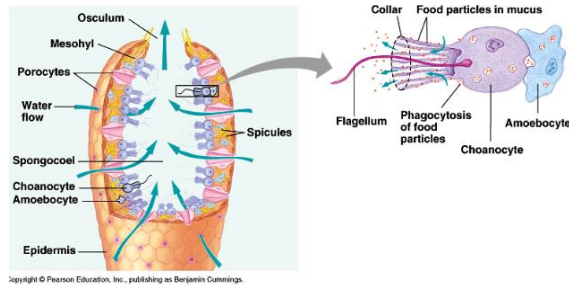
Porifera memiliki tubuh berbentuk sederhana seperti tabung yang berdinding tipis. Bentuk tubuh Porifera bervariasi, misalnya bercabang seperti pohon, sarung tinju, cawan ataupun kubah dengan ukuran yang bervariasi (Jakhalekar and Ghate 2013). Adapun ciri-ciri tubuh porifera sebagai berikut :

- a. Tubuh sebagian besar terdiri dari serabut spongin, sehingga porifera memiliki tubuh seperti spons. Bentuk tubuhnya pipih dan bercabang serta melekat di dasar air.

- b. Ukuran bervariasi mulai dari panjang yang hanya milimeter sampai bermeter-meter.
- c. Memiliki rangka luar yang terdiri dari spikula, spikula tersusun dari zat kapur dan zat kersik karena lingkungan hidupnya di perairan.
- d. Termasuk hewan diploblastik, karena terdiri dari dua lapisan tubuh luar dan dalam, sering disebut juga koanosit yang memiliki mesoglea.
- e. Tidak mempunyai rongga sejati, hal ini menyebabkan organ-organ yang terdapat di dalamnya tidak bisa dibedakan dengan kasat mata.
- f. Mempunyai susunan sistem saraf, pencernaan serta pernapasan yang bekerja lewat aliran saluran air dari pori-pori di tubuhnya.
- g. Reproduksi dilakukan secara aseksual dan seksual, tunas dan fragmentasi hingga fusi genetik karena tubuhnya melekat di dasar dan sedenter
- h. Jenis kelamin porifera tidak terpisah dan berada di dalam satu tubuh, jadi porifera mempunyai dua kelamin dalam satu tubuh.

4.2.2 Struktur Tubuh

Porifera merupakan golongan hewan multiseluler yang paling sederhana, karena jaringan tubuhnya belum membentuk jaringan sejati. Sel-sel pada porifera juga belum membentuk jaringan khusus sehingga masih masuk dalam golongan parazoa, untuk lebih jelasnya dapat dilihat di struktur tubuh porifera pada **Gambar 4.1**.



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

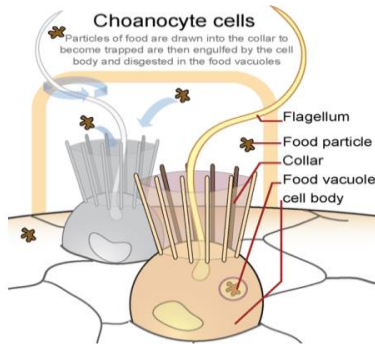
Gambar 4.1. Struktur Tubuh Porifera
(Sumber : M.A.R.E 2023)

Pada **Gambar 4.1**, dapat dilihat beberapa bagian penting dari struktur tubuh Porifera, antara lain :

1. Spongokol (*spongocoel*), merupakan rongga tubuh yang mempunyai fungsi untuk menampung air yang masuk melalui ostium, dimana air yang masuk tersebut mengandung partikel makanan sebelum diedarkan dan dikeluarkan melalui oskulum
2. Porosit, merupakan sel yang membentuk pori-pori (ostium) di permukaan tubuhnya. Ostium berfungsi sebagai saluran masuknya air dari luar yang mengandung partikel makanan yang dibutuhkan oleh porifera. Jadi porosit berperan sebagai saluran yang menghubungkan antara pori-pori dan spongokol.
3. Oskulum, merupakan lubang yang ukuran besar pada permukaan porifera sebagai jalan keluarnya air dari tubuh ke lingkungan.
4. Epidermis, merupakan sel-sel pada porifera bagian luar, dimana sel ini berfungsi untuk melindungi sel yang berada di bagian dalamnya
5. Mesohil, merupakan bahan pengisi yang letaknya di sebelah dalam epidermis.

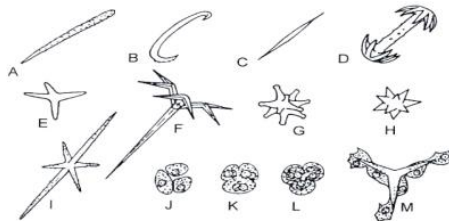
6. Spikula adalah rangka sederhana dari porifera, dengan bentuk seperti duri-duri yang berfungsi untuk menguatkan tubuh agar dapat berdiri tegak.
7. Koanosit, merupakan sel-sel yang berada di bagian dalam rongga utama dan berfungsi untuk menangkap partikel makanan serta mencernanya. Bagian ujung koanosit terdapat flagel yang berfungsi sebagai alat gerak koanosit, serta di bagian pangkalnya terdapat vakuola.
8. Amebosit adalah sel-sel yang dapat bergerak dan berfungsi untuk mencerna makanan dan mengedarkan hasil pencernaan ke seluruh tubuh yang membutuhkan.

Makanan Porifera berupa rempahan daging kecil, fitoplankton dan zooplankton. Partikel makanan porifera tersebut terdapat dalam air, dan masuk ke dalam tubuh Porifera menggunakan ostium di permukaan tubuhnya kemudian masuk ke dalam spongosol. Pada saat air disaring, sel koanosit yang mempunyai struktur seperti rambut kecil, mengumpulkan dan membawa makanan serta oksigen yang dibutuhkan untuk bertahan hidup. Partikel makanan yang ditangkap akan ditelan dan masuk ke dalam sel untuk dicerna. Hasil pencernaan akan diedarkan oleh sel amebosit ke seluruh tubuh, karena sel amebosit mempunyai kemampuan bergerak di sepanjang tubuh porifera. Proses penangkapan partikel makanan pada Porifera dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



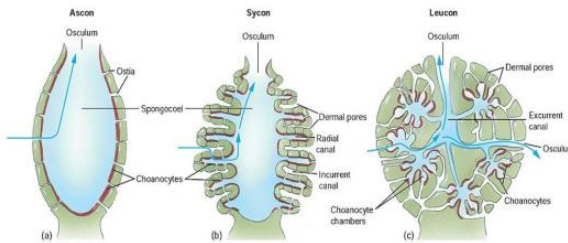
Gambar 4.2. Proses Penangkapan Partikel Makanan
(Sumber : Michele 2023)

Kerangka Porifera terdiri dari kapur karbonat atau silikon tersusun dalam bentuk spikula. Spikula memiliki bentuk yang beragam (Evcen and Çinar 2012). Dilihat dari bentuknya terdapat beberapa tipe spikula antara lain Monaxon (bentuknya seperti jarum atau batang, lurus atau melengkung), Tetraxon (memiliki empat percabangan), Triaxon atau Hexaxon (memiliki tiga atau enam percabangan), Polyaxon (bentuknya berupa batang pendek memancar dari pusat dan membentuk seperti bintang). Gambar tipe-tipe spikula dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3 Tipe Spikula. A-D tipe monaxon, E dan F tipe tetraxon, G dan H tipe polyaxon, I tipe triaxon atau hexaxon, J-M pembentukan triaxon
(Sumber : Vernandes 2017)

Pada porifera, memiliki sistem saluran seperti sistem sirkulasi tingkat tinggi, dimana sistem ini mempunyai saluran untuk masuknya makanan ke dalam tubuh dan saluran pembuangan berupa zat sisa keluar tubuh. Di dalam porifera terdapat beberapa macam tipe saluran air, antara lain tipe askon, sikon, dan ragon. Gambar tipe-tipe saluran air pada Porifera dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Tipe-tipe Saluran Air pada Porifera
(Sumber : Vernandes 2017)

Pada **Gambar 4.4**, tipe askon, memiliki ostium yang langsung berhubungan dengan spongosol serta koanosit terdapat pada pada seluruh permukaan dinding yang membatasi spongocoel. Contoh Porifera tipe askon yaitu *Leucosolenia*. Sedangkan pada tipe sikon, saluran airnya inkuren atau radial, dimana ostium dihubungkan oleh saluran bercabang dengan spongosol dan koanosit terletak pada saluran radial. Contoh Porifera tipe sikon yaitu *Sycon ciliatum*. Namun pada tipe ragon, sistem saluran airnya lebih kompleks, dimana ostium bercabang-cabang membentuk rongga-rongga kecil di dalam tubuh porifera, saluran radial juga bercabang-cabang mengakibatkan air masuk dan keluar melalui spongosol dan koanosit terletak di rongga koanosit. Contoh Porifera tipe ragon yaitu *Leuconia* (Sri and Nurhidayah 2020).

4.2.3 Reproduksi

Porifera dapat bereproduksi dengan dua cara, yaitu reproduksi secara seksual dan aseksual.

1. Reproduksi seksual

Reproduksi secara seksual, yaitu reproduksi yang terjadi dengan bertemunya sel sperma dan sel ovum. Porifera merupakan hewan hermafrodit (berkelamin ganda) pada satu individu sehingga dapat menghasilkan ovum dan sperma sendiri. Sperma pada porifera dihasilkan oleh sel koanosit dan amebosit, sedangkan ovum dihasilkan oleh mesohil.

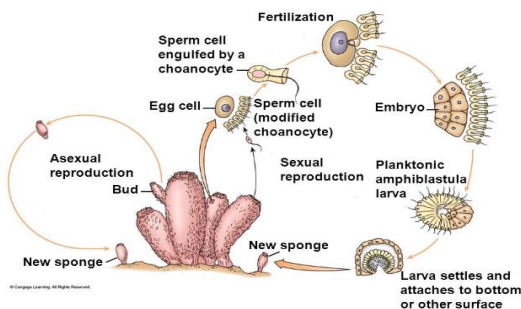
Walaupun Porifera mampu menghasilkan ovum dan sperma sendiri, sperma tersebut tidak dapat membuahi ovum yang terdapat pada tubuhnya sendiri, sehingga pembuahan hanya terjadi antara sperma dan sel telur antar individu yang berbeda. Sperma dan ovum yang bersatu akan membentuk zigot, yang kemudian akan tumbuh menjadi larva. Larva tersebut akan berenang mencari tempat yang cocok untuk menempel dan tumbuh besar.

Porifera memiliki dua fase hidup, yaitu; fase bergerak berupa *amphiblastula* dan fase *sesil* saat dewasa dengan menetap pada lokasi yang memungkinkan untuk tumbuh. *Amphiblastula* merupakan larva Porifera. Porifera hidup secara heterotrof dengan memakan bakteri dan plankton dengan melakukan kontraksi atau ritme tubuh. Porifera memasukkan makanan dalam bentuk cairan yang membuat Porifera disebut sebagai pemakan cairan. Porifera memiliki warna tubuh yang berbeda-beda dan menarik tergantung dari pemberi zat warna pada Porifera.

2. Reproduksi aseksual

Reproduksi secara aseksual pada porifera ada tiga metode, yaitu fragmentasi, tunas dan gemmule (tunas dalam). Fragmen pada Porifera dapat terlepas karena adanya arus atau gelombang air laut. Pergerakan fragmen Porifera menggunakan pinacocytes dan choanocytes, dan akan membentuk mesohil untuk merekatkan diri ke permukaan yang cocok dan tumbuh. Spesies Porifera yang berkembang dengan tunas sangatlah sedikit.

Gemmule adalah butir benih yang diproduksi oleh Porifera di lingkungan yang tak menguntungkan, misalnya terlalu dingin atau terlalu panas. Pada kondisi ekstrim, Spongosit membentuk gemmule dengan cara membungkus cangkang spongin yang diperkuat dengan spikula diselimuti arkeosit sehingga penuh cadangan makanan. Selama bertahan hidup, gemmule menjadi tidak aktif. Ketika gemmule mulai berkecambah, arkeosit di bagian luar berubah menjadi pinakosit dan membrane di atas ostium pecah. Gugus sel perlahan-lahan muncul dan sebagian besar arkeosit yang ada sudah berubah menjadi sel lain yang diperlukan untuk tumbuh. Siklus reproduksi Porifera dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Siklus Reproduksi Porifera
(Sumber : M.A.R.E 2023)

4.2.4 Klasifikasi

Pengklasifikasian pada Porifera untuk membedakan famili dilihat berdasarkan penyusun kerangka tubuh. Sedangkan kombinasi dari tipe spikulanya digunakan untuk menentukan genera. Bentuk dan dimensi dari tipe spikula digunakan untuk membedakan spesies. Dari ulasan Michele (2023), Porifera dapat dibagi menjadi tiga kelas, yaitu kelas Calcarea, Hexactinellida, Demospongiae.

1. Kelas Calcarea

Kerangka penyusun spikula berupa kalsium karbonat; spesies baik struktur kompak berbentuk vas, jaringan longgar dari tabung tipis, atau koloni masif yang tidak beraturan; kebanyakan berukuran kecil; Tubuh dengan kanal tipe asconoid (*askon*), synconoid (*sicon*), atau leuconoid (*leucon*), mendiami perairan dangkal di semua lautan, dari daerah intertidal hingga kedalaman 200 m (660 kaki); beberapa spesies hingga 800 m (2.600 kaki); sekitar 300 spesies. Contoh Porifera kelas Calcarea yaitu *Scypha gelatinosa*, *Garntia*, *Leucosolenia*.

2. Kelas Hexactinellida

Berbentuk seperti gelas atau kaca dengan skeleton pada dasarnya terdiri dari hexactinal (6-rayed) siliceous spikula dan kurang spongin; terdapat *megascleres* dan *microscleres*, dinding tubuh berbentuk ccekung, dengan jaringan trabekular, lapisan koanosit dapat bersifat syncytia eksklusif laut, di perairan yang lebih dalam dari semua lautan, kedalaman dari 25 hingga 8.500 m (80–29.000 kaki); biasanya menempel kuat pada permukaan yang keras, beberapa spesies berlabuh di sedimen dasar yang lunak; Contoh spesiesnya adalah *Euplectella* sp, *Pheronema* sp., dan *Regadrella* sp.

3. Kelas Demospongiae

Kerangka spikula bersilika 1 atau 4 sinar, serat spongin, atau keduanya; kerangka kurang dalam beberapa genera primitif; kelompok spons yang paling melimpah dan tersebar luas; terjadi dari daerah intertidal hingga kedalaman sekitar 5.500 m (18.000 kaki) di laut; Spongillidae keluarga spons air tawar. Spesies sangat bervariasi dalam bentuk dan ukuran; berkisar dari kerak tipis berdiameter beberapa cm hingga spesies berbentuk kue besar dengan diameter 2 m (6,6 kaki); banyak spesies dengan desma (berkembang sebagai hasil endapan silika sekunder di sekitar spikula biasa); evolusi secara mandiri di antara beberapa ordo yang saling bertautan dari desma yang berdekatan untuk membentuk kerangka berbatu (spons lithistid); bentuk karnivora (spons cladorhizid) tidak memiliki sistem aliran air. Sekitar 4.200 spesies. Contohnya *Euspongia officinalis* (spons mandi), *Spongilla*, *Haliclona*, *Microciona*, *Corticium*.

4.2.5 Peranan Porifera

Adapun manfaat dari Porifera antara lain Demospongiae dimanfaatkan sebagai alat pembersih, alat penggosok untuk mandi dan mencuci, dapat berfungsi menyaring air. Selain itu juga dimanfaatkan sebagai hiasan akuarium, tempat untuk memijah dan sumber makanan untuk hewan laut, tempat berlindung dari predator. Nudibranchia berlindung di Porifera, karena dapat menghasilkan zat beracun di permukaan tubuhnya (Sari and Aunurohim 2013).

Beberapa penelitian menunjukkan kandungan kimia pada Porifera yaitu antikanker, anti-inflammatory, antitumor, dan antibiotik. Manfaat lainnya adalah kemampuan Porifera sebagai *insectisida* alami, karena kandungan alkaloid pada spesies *Axinella carteri*. Senyawa Kalihinol A pada Porifera

dapat dimanfaatkan untuk senyawa anti malaria dan menghambat pertumbuhan mikroba (antimikroba), anti jamur, sitotoksik, antelmintik, dan antifouling. Porifera juga dimanfaatkan sebagai kontrasepsi (KB) alami (Murtihapsari and Chasanah 2010).

4.3 Filum Echinodermata

Echinodermata merupakan salah satu hewan laut invertebrata yang mempunyai ciri kulit yang keras dan berduri. Tubuh Echinodermata berbentuk simetris radial, dimana dibagian tengah tubuhnya memiliki mulut. Echinodermata ini bergerak sangat lambat dan tidak ada yang hidup sebagai parasit, walaupun ada beberapa spesies Echinodermata hidupnya menempel atau sesil.

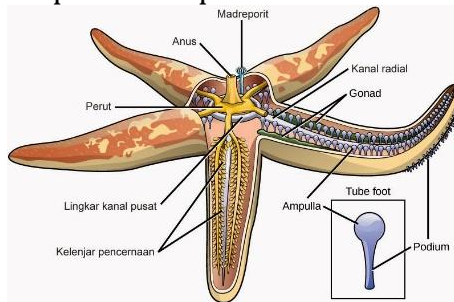
4.3.1 Ciri-ciri

Semua hewan yang termasuk dalam Echinodermata memiliki ciri-ciri antara lain :

1. Tubuh Echinodermata memiliki tiga lapisan embrional, antara lain ektoderm, mesoderm dan endoderm.
2. Echinodermata memiliki rongga tubuh atau selom yang sempurna, atau disebut juga triploblastik selomata
3. Pembatas pada selom Echinodermata adalah perioteneum bersilia
4. Larva Echinodermata berbentuk simetris bilateral, namun pada saat sudah dewasa akan berubah menjadi beberapa bentuk yaitu simetris radial, bulat, bulat memanjang ataupun berelengan
5. Tidak mempunyai kepala dan tubuh dalam sumbu oral-aboral
6. Letak mulut pada Echinodermata di sisi ventral dan anus di sisi dorsal
7. Endoskeleton dari osikel berkapur

4.3.2 Struktur Tubuh

Echinodermata memiliki kerangka yang terdiri dari banyak lempeng mineral kalsium karbonat (kalsit). Bagian dari rongga tubuh, atau selom, adalah sistem pembuluh air, yang terdiri dari pembuluh berisi cairan yang didorong keluar dari permukaan tubuh sebagai kaki tabung, papila, dan struktur lain yang digunakan untuk bergerak, makan, bernapas, dan sensorik. Simetri radial sinar lima, atau pentamerous, yang mencolok dari echinodermata hidup cenderung menghilangkan simetri bilateral. Salah satu struktur tubuh kelas dari Echinodermata dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6. Struktur Tubuh Echinodermata
(Sumber : Panji 2015)

Pada **Gambar 4.6**, terlihat sistem pembuluh air pada Echinodermata, yang merupakan ciri khas dari Echinodermata dan berfungsi untuk pergerakan kaki tabung (*tube feet*). Kaki tabung pada Echinodermata dapat dikembangkan dan Kempiskan berdasarkan tekanan air di dalam tubuhnya. Madreporit, yang terletak di permukaan tubuh, mengambil air dari luar tubuh. Air atau cairan mengalir dari madreporit ke bejana cincin dan sepanjang kanal radial ke kaki tabung. Kaki tabung diperpanjang oleh kontraksi daerah otot lokal di kanal radial (*ophiuroids*) atau dengan kontraksi cabang dari kanal radial disebut ampullae (*asteroid*, *concentricycloids*, *echinoids*, dan

holothurians); kontraksi memaksa cairan masuk ke kaki tabung, yang kemudian memanjang. Panjang dan pendeknya kaki tabung digunakan Echinodermata untuk berpindah tempat.

Saluran pencernaan pada Echinodermata berawal dari mulut dan berakhir di anus. Namun ada beberapa Echinodermata yang mulut juga berfungsi sebagai anus, seperti pada bintang ular. Pada Echinodermata, pusat sarafnya disebut dengan cincin saraf, tidak memiliki mata, dan bernafas dengan insang.

4.3.3 Reproduksi

Pada sebagian besar spesies Echinodermata, mempunyai jenis kelamin yang terpisah; yaitu jantan dan betina. Reproduksi bisa dilakukan dengan seksual, melibatkan sel telur dan spermatozoa. Beberapa spesies, seperti teripang, bintang laut, dan bintang mengular bereproduksi secara aseksual.

1. Reproduksi Aseksual

Reproduksi aseksual pada echinodermata dilakukan dengan pemotongan tubuh menjadi dua bagian atau lebih (fragmentasi) dan beregenerasi pada bagian-tubuh yang hilang. Fragmentasi merupakan metode reproduksi umum pada beberapa spesies asteroid, ophiuroid, dan holothuria, dan pada beberapa spesies ini reproduksi seksual diketahui tidak terjadi. Keberhasilan proses fragmentasi dan regenerasi membutuhkan dinding tubuh yang dapat dipotong dan mempunyai kemampuan untuk menutup luka yang dihasilkan.

Pada beberapa asteroid, fragmentasi terjadi ketika dua kelompok lengan menarik ke arah yang berlawanan, sehingga mencabik-cabik hewan tersebut menjadi dua bagian. Regenerasi yang berhasil membutuhkan bagian tubuh tertentu yang ada di bagian yang hilang; misalnya,

banyak asteroid dan ophiuroid dapat meregenerasi bagian yang hilang hanya jika ada bagian dari piringan. Pada teripang, yang membelah secara melintang, reorganisasi jaringan yang cukup besar terjadi pada kedua bagian yang beregenerasi.

Kemampuan meregenerasi, atau menumbuhkan kembali, bagian yang hilang atau hancur dikembangkan dengan baik pada echinodermata, terutama bunga lili laut, bintang laut, dan bintang mengular, yang semuanya dapat meregenerasi lengan baru jika yang sudah ada patah. Regenerasi echinodermata menggagalkan upaya awal untuk mencegah bintang laut merusak hamparan tiram; ketika bintang-laut yang ditangkap dipotong-potong dan dibuang kembali ke laut, jumlahnya justru akan bertambah banyak. Selama sebagian dari tubuh, atau piringan, tetap berhubungan dengan lengan, bintang laut baru beregenerasi. Beberapa teripang dapat mengeluarkan organ dalamnya (*autoeviscerate*) dalam kondisi tertentu (yaitu, jika diserang, jika lingkungan tidak menguntungkan, atau berdasarkan musim), dan satu set organ dalam baru beregenerasi dalam beberapa minggu. Bulu babi (*Echinoidea*) dengan mudah meregenerasi duri yang hilang, organ mirip penjepit yang disebut *pedicellariae*, dan area kecil-kerangka internal, atau tes.

2. Reproduksi Seksual

Dalam reproduksi seksual, sel telur dari betina dan spermatozoa dari jantan ditumpahkan ke dalam air (bertelur), tempat telur akan dibuahi. Echinodermata akan memijah dalam siklus tahunan, dengan periode pembiakan yang berlangsung satu atau dua bulan pada musim semi atau musim panas; beberapa spesies, mampu memijah sepanjang tahun. Adapun faktor pemicu pemijahan yaitu pengaruh eksternal seperti suhu, cahaya, atau salinitas air.

Contoh pada bintang bulu Jepang (Crinoidea), pembiakan berhubungan dengan fase Bulan dan terjadi pada awal Oktober di saat Bulan berada di kuartal pertama atau terakhir. Echinodermata akan berkumpul sebelum terjadi pembiakan, hal ini akan menyebabkan potensi terjadinya pembuahan telur meningkat. Beberapa juga menampilkan perilaku yang khas selama proses pemijahan; beberapa asteroid dan ophiuroid mengangkat bagian tengah tubuhnya dari dasar laut; holothuria dapat mengangkat ujung depan tubuh dan melambainya. Gerakan ini diduga untuk menghambat telur dan sperma terjebak dalam sedimen.

Setelah sel telur yang sudah dibuahi, perkembangan embrio yang dihasilkan menjadi echinodermata remaja dapat berlangsung dalam berbagai cara. Telur kecil tanpa banyak kuning telur berkembang menjadi larva yang berenang bebas menjadi bagian dari plankton, secara aktif memakan organisme kecil sampai mereka berubah, atau bermetamorfosis, menjadi echinodermata remaja dan mulai hidup di dasar laut. Telur yang lebih besar dengan jumlah kuning telur yang lebih banyak dapat berkembang menjadi bentuk larva yang planktonik tetapi hidup dari bahan kuning telurnya sendiri, sebelum akhirnya berubah menjadi echinodermata muda. Perkembangan yang melibatkan telur, tahap larva planktonik, dan bentuk remaja disebut perkembangan tidak langsung. Perkembangan echinodermata di mana telur besar dengan kuning telur yang melimpah berubah menjadi echinodermata remaja tanpa melewati tahap larva disebut perkembangan langsung.

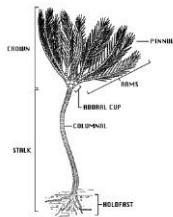
4.3.4 Klasifikasi

Ada beberapa kelas pada Echinodermata, yaitu kelas Crinoidea (lili laut atau bintang bulu), Echinoidea (bulu babi), Holothuroidea (teripang), Asteroidea (bintang laut), dan

Ophiuroidea (bintang keranjang atau bintang ular) (John and David 2023).

1. Crinoidea (lili laut atau bintang bulu)

Crinoidea lebih sering dikenal dengan Lili laut hidup melekat pada substrat dengan tangkainya; dengan, atau tanpa batang; theca direduksi menjadi kecil, berongga seperti cangkir, biasanya bercabang, makan dengan lengannya yang mempunyai banyak pinnules kecil. **Gambar 4.7.** terlihat struktur tubuh Crinoidea. termasuk subkelas fosil Camerata, Inadunata, dan Flexibilia; subkelas Articulata hidup, yang mencakup bunga lili laut bertangkai dan bintang bulu tak bertangkai.

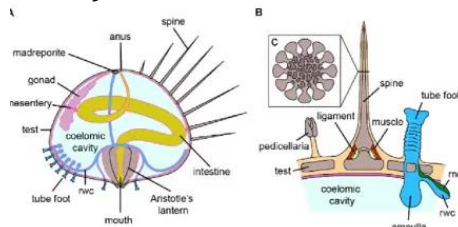


Gambar 4.7 Morfologi dan Anatomi Crinoidea
(Sumber : Jasmine 2023)

2. Echinodea (bulu babi)

Tubuhnya berbentuk bulat, diskoid, atau lonjong, dengan kerangka (uji) lengkap dari lempengan-lempengan yang saling mengunci dengan duri dan pediselaria yang dapat digerakkan; mulut mengarah ke bawah; anus hadir; 5 atau lebih sedikit gonad interradiat. **Gambar 4.8.** menunjukkan struktur tubuh Echinoidea. Termasuk subkelas Perischoechnoidea dengan ordo Cidaroida hidup, dan subkelas Euechinoidea dengan ordo super Diadematacea dan Echinacea (terdiri dari echinoid “biasa”),

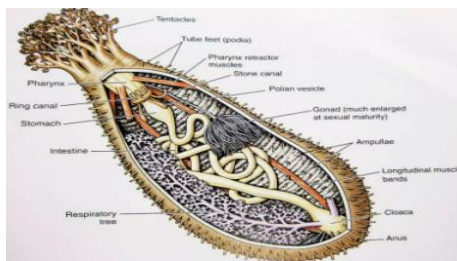
dan Gnathostomata dan Atelostomata (terdiri dari echinoid “tidak beraturan”).



Gambar 4.8. Morfologi dan Anatomi Echinodea
(Sumber : Jasmine 2023)

3. Holothuroidea (teripang)

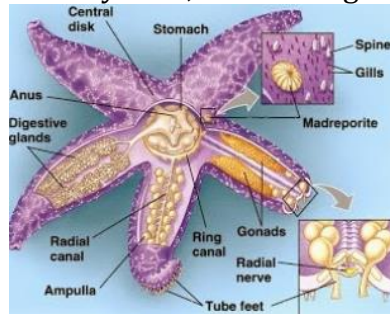
Teripang mempunyai tubuh silindris, memanjang secara oral-aboral, dengan mulut di atau dekat satu ujung, anus di atau dekat ujung lainnya; mulut dikelilingi oleh cincin tentakel makan yang mencolok; tidak ada duri atau pedicellariae; gonad interradian tunggal; kerangka biasanya direduksi menjadi spikula mikroskopis. Struktur tubuh Teripang dapat dilihat pada **Gambar 4.9**. Yang termasuk Teripang yaitu ordo Dendrochirotida, Dactylochirotida, Aspidochirotida, Elasipodida, Molpadiida, dan Apodida; 1.100 spesies hidup.



Gambar 4.9. Struktur Tubuh Holothuroidea
(Sumber : Jasmine 2023)

4. Asteroidea (bintang laut)

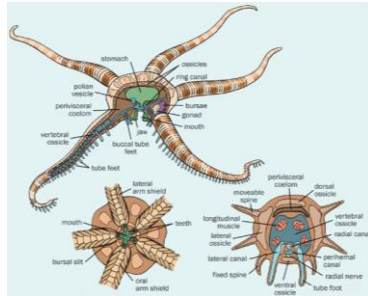
Asteroidea mempunyai lengan lebar, berongga; struktur menyirip atau susunan lengan terpusat oleh sumbu pertumbuhan longitudinal yang dominan; kaki tabung banyak, di bawa dalam lekukan pada permukaan mulut tubuh; kaki tabung runcing atau dilengkapi dengan pengisap terminal; respirasi sering dengan insang interradiat pada permukaan aboral tubuh; struktur tubuh Asteroidea seperti pada **Gambar 4.10**. Yang termasuk dalam Asteroidea yaitu ordo Platyasterida, Paxillosida, Valvatida, Spinulosida, Forcipulatida, Notomyotida, dan Brisingida.



Gambar 4.10 Struktur Tubuh Asteroidea
(Sumber : Fitriana 2012)

5. Ophiuriidea (bintang keranjang atau bintang ular)

Struktur tubuh bintang ular laut cakramnya sangat berbeda dari lengan yang panjang, ramping, dan kokoh; tidak ada alur untuk kaki tabung; tidak ada kaki tabung hisap; tidak ada anus; tidak ada pediselaria; respirasi dengan insang interradiat pada permukaan mulut tubuh. Bintang mengular ini bentuknya mirip dengan bintang laut, yaitu bersimetri pentaradiat. seperti pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.11 Struktur Tubuh Ophiuriidea
(Sumber : Jasmine 2023)

4.3.5 Peran Echinodermata

Rani, Dewi, and Bayu (2015), menjelaskan bahwa filum Echinodermata mempunyai peran penting pada ekosistem laut. Misalnya pada Asteroidea (bintang-laut) dan Ophiuroidea (bintang-mengular) mempunyai peran untuk melindungi karang dari pertumbuhan alga yang berlebihan. Sedangkan Holothuroidea-dan-Echinodea mempunyai peran untuk mendaur ulang sampah organik berupa hewan atau tumbuhan yang membusuk di dasar laut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Echinodermata merupakan dasar dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Evcen, Alper, and Melih Ertan Çinar. 2012. "Sponge (Porifera) Species from the Mediterranean Coast of Turkey (Levantine Sea, Eastern Mediterranean), with a Checklist of Sponges from the Coasts of Turkey." *Turkish Journal of Zoology* 36(4):460–64. doi: 10.3906/zoo-1107-4.
- Fitriana, Narti. 2012. "Inventarisasi Bintang Laut (Echinodermata: Asteroidea) Di Pantai Pulau Pari, Kabupaten ADM. Kepulauan Seribu." *Jurnal Ilmiah Faktor Exacta* 3(2):167–74.
- Jakhalekar, Shriraj S., and H. V. Ghatge. 2013. "A Note on Five Freshwater Sponges (Porifera: Spongillina: Spongillidae) from Pune, Maharashtra, India." *Journal of Threatened Taxa* 5(9):4392–4403. doi: 10.11609/jott.o3356.4392-403.
- Jasmine, Grover. 2023. "Phylum Echinodermata: Characteristics, Classification, Examples." *Collegedunia*. Retrieved February 9, 2023 (<https://collegedunia.com/exams/phylum-echinodermata-characteristics-classification-examples-science-articleid-3360>).
- John, Miller, and Pawson David. 2023. "Echinoderm Animal Phylum." *Encyclopedia Britannica*. Retrieved February 6, 2023 (<https://www.britannica.com/animal/echinoderm>).
- M.A.R.E, Project. 2023. "Sponges (Porifera)." *Marine Protected Area of Punta Campanella*. Retrieved February 1, 2023 (<https://www.marineadventures.org/sponges-2/>).
- Michele, Sara. 2023. "Sponge Animal." *Encyclopedia Britannica*. Retrieved February 5, 2023 (<https://www.britannica.com/animal/sponge-animal>).

- Murtihapsari, and Chasanah. 2010. "Potensi Penemuan Obat Antimalaria Baru Dari Laut Indonesia." *Jurnal Bahan Alam, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Papua*. 86–91.
- Panji, Tok. 2015. "Filum Echinodermata." *EDUBIO Informasi Mencerahkan*. Retrieved February 7, 2023 (<https://www.edubio.info/2015/02/filum-echinodermata.html>).
- Rani, Triana, Elfidasari Dewi, and Vimono Indra Bayu. 2015. "Identifikasi Echinodermata Di Selatan Pulau Tikus, Gugusan Pulau Pari, Kepulauan Seribu, Jakarta." 1(Aziz 1996):455–59. doi: 10.13057/psnmbi/m010313.
- Sari, LN, and A. Aunurohim. 2013. "Korelasi Komunitas Nudibranchia Dengan Komunitas Porifera Di Perairan Pasir Putih, Situbondo." *Jurnal Sains Dan Seni ITS* 2(2):1–6.
- Sri, Maya, and Nurhidayah. 2020. *Zoologi Invertebrata*. Vol. 53.
- Vernandes, Andrian. 2017. "Animalia Bagian 2 : Hewan Berpori (Porifera)." *Your Chemistry A+*. Retrieved February 4, 2023 (<https://www.avkimia.com/2017/11/animalia-bagian-2-hewan-berpori-porifera.html>).

BAB 5

HEWAN KARANG DAN EKOSISTEM TERUMBU KARANG

Oleh Rr. Radipta Lailatussifa

5.1 Pendahuluan

Keanekaragaman hayati laut Indonesia memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam bidang konservasi maupun ekonomi. Luas terumbu karang yang dimiliki Indonesia saat ini mencapai 25.000 km². Namun demikian, terumbu karang yang masih dalam kondisi sangat baik hanya 5,30%, kondisi baik sekitar 27,18%, cukup baik sebesar 37,25%, dan kurang baik sebanyak 30,45%. Laut Indonesia memiliki 8.500 spesies ikan, 555 spesies rumput laut, dan 950 spesies biota terumbu karang.

Terumbu karang merupakan komponen penting ekosistem laut yang memiliki dampak besar dalam menjaga keseimbangan ekologi global yang dinamis. Ekosistem terumbu karang adalah bagian dari ekosistem laut yang menjadi tempat kehidupan bagi macam-macam biota laut. Pada ekosistem terumbu karang dapat hidup lebih dari 300 jenis karang, 2000 jenis ikan dan puluhan jenis mollusca, crustacea, sponge, alga, lamun serta biota lainnya.

Terumbu karang termasuk dalam ekosistem yang terancam punah. Tingkat kepunahan kontemporer meningkat, didorong oleh tekanan antropogenik langsung dan pemaksaan iklim. Hilangnya spesies, termasuk spesies yang sebelumnya

melimpah atau mempertahankan fungsi kritisnya, dapat mengubah struktur dan stabilitas ekosistem. Terumbu karang adalah salah satu ekosistem pertama yang menunjukkan respons ekologis yang nyata terhadap pemanasan dan variabilitas iklim. Selain itu, kelangsungan hidup pada ekosistem terumbu karang sangat dipengaruhi oleh pemanfaatan langsung oleh manusia, terutama dari penangkapan ikan besar-besaran di sebagian besar negara. Ikan terumbu karang merupakan kelompok ekologis yang penting dalam membentuk mata rantai utama antara terumbu karang dan masyarakat manusia yang terkait dan memainkan peran kunci dalam mempertahankan proses ekologis dan fungsi ekosistem terumbu karang (Graham *et al.*, 2011).

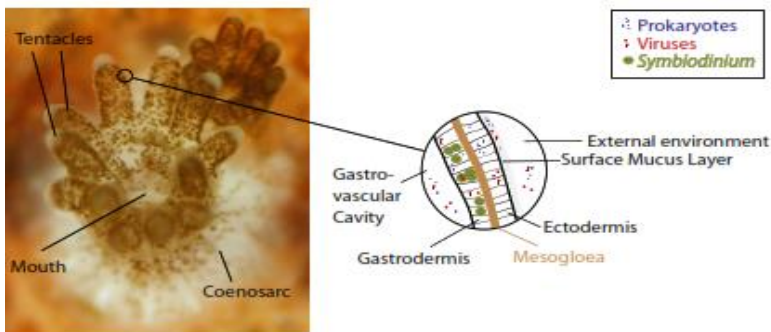
5.2 Hewan Karang

Semua entitas biologis di bumi adalah kumpulan spesies, yang hidup, berkembang, dan berevolusi bersama. Semua makhluk hidup bersimbiosis, begitu pula dengan hewan karang. Simbiosis adalah hubungan intim jangka panjang antara dua atau lebih spesies. Kadang-kadang, salah satu asosiasi terletak di dalam sel yang lain, yang disebut endosimbiosis. Asosiasi simbiotik memainkan peran penting dalam memperluas prospek ekologi dan evolusi untuk inang dan simbion.

Terumbu karang dibangun oleh hewan karang scleractinian atau hermatypic (berbatu) di perairan laut yang kekurangan nutrisi dan, meskipun mereka menempati <0,1% lautan bagian atas bumi, mereka menyediakan habitat bagi ~25% spesies laut dunia. Ada banyak makroorganisme dengan berbagai tingkat hubungan dengan karang termasuk kepiting dan krustasea lainnya, cacing, spons, bivalvia dan hidrozoa, ikan, bulu babi, gurita, dan bintang laut (Spalding and Ravilious, 2002).

Keanekaragaman spesies yang ada pada karang meliputi 1300 spesies hewan karang scleractinian, ratusan spesies simbiotinium, beberapa ribu prokariotik, serta ribuan jenis virus. Hewan-hewan karang tersebut bersimbiosis dengan bunga karang.

Hewan karang (Gambar 5.1) adalah koloni dan terdiri dari banyak polip yang sebagian besar identik secara genetik, yang berukuran kecil (biasanya polip individu terdiri atas milimeter hingga beberapa puluh milimeter dengan diameter atau tinggi. Polip termasuk perut (rongga gastrovaskular) yang terbuka ke mulut pusat yang dikelilingi oleh satu set tentakel. Ini mengeluarkan eksoskeleton berkapur basal melalui deposisi aragonit. Antara gastrodermis (sel yang melapisi perut) dan ektodermis luar adalah mesogloea. Lapisan lendir permukaan, yang disekresikan oleh sel kelenjar, menutupi ektodermis. Mesenterium (lipatan perut bagian dalam untuk menambah luas permukaan) didukung oleh septa atau pelat vertikal. Elaborasi terumbu terjadi selama periode waktu yang sangat lama dan merupakan kumpulan polip karang yang saling berhubungan (melalui *coenosarc*) pada struktur berkapur kolosal. Jaringan karang dan hewan yang ada pada karang dapat dilihat pada **Gambar 5.1**.



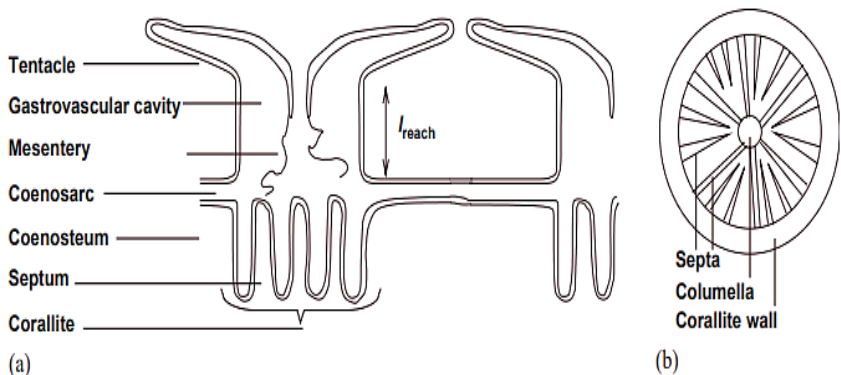
Gambar 5.1. Jaringan Karang dan Hewan Karang
(Sumber: Blackall, Wilson and Van Oppen, 2015)

Cara karang dalam mendapatkan makanan yakni menangkap zooplankton yang melayang dalam air maupun menerima hasil fotosintesis *zooxanthellae*. Hasil fotosintesis *zooxanthellae* yang dimanfaatkan oleh karang jumlahnya cukup untuk memenuhi kebutuhan proses respirasi karang. Sumber makanan karang Sebagian besar berasal dari *zooxanthellae*, sebanyak 75-99%. Mekanisme penangkapan mangsa oleh karang untuk dapat mencapai mulut terbagi menjadi dua, diantaranya mangsa ditangkap, kemudian tentakel membawa mangsa ke mulut dan mangsa ditangkap dan terbawa ke mulut oleh gerakan silia pada tentakel.

Dinding polip karang terdapat tiga lapisan, yaitu ektoderma, endoderma dan mesoglea. Ektoderma sebagai jaringan terluar terdiri atas sel mucus dan sel nematocysts. Mesoglea termasuk jaringan yang ada di tengah berbentuk lapisan seperti jelly. Lapisan dalam terdapat fibril dan lapisan luar terdapat s sel otot. Jaringan endoderm berada di lapisan dalam dimana sebagian besar selnya berisi sel alga yang merupakan simbiosis karang. Seluruh permukaan jaringan karang dilengkapi dengan flagel dan cilia. Keduanya berkembang dalam tentakel dan sel mesenteris. Lapisan ektoderm terdapat sel glandula berisi mukus dan sel knidoblast yang di dalamnya terdapat sel nematocysts. Nematocysts merupakan sel penyengat yang berfungsi sebagai alat penangkap makanan dan mempertahankan diri. Sel mucus berfungsi untuk menangkap makanan dan membersihkan diri dari sedimen yang melekat.

Sebagian besar karang batu adalah organisme kolonial yang terdiri dari polip yang saling berhubungan erat yang secara kolektif membangun kerangka luar aragonit, suatu bentuk kristal kalsium karbonat. Polip karang berada dalam struktur kerangka yang disebut kaliks atau cangkir kerangka yang terdiri atas silinder pusat, columella, dan septa radial yang

diproyeksikan ke dinding silinder atau poligonal di sekitarnya. Pada beberapa spesies karang yang disebut karang cerioid, polip satu dengan lainnya berbagi dinding calix, sedangkan pada spesies plocoid setiap polip memiliki dindingnya sendiri dan dipisahkan dari polip tetangga oleh daerah kerangka yang disebut coenosteum. Polip memakan bahan tersuspensi organik dan zooplankton, yang dicerna di rongga gastrovaskular. Rongga gastrovaskular terhubung terbuka ke polip tetangga melalui jembatan jaringan yang disebut coenosarc. Coenosarc digunakan untuk mengangkut nutrisi antar polip. Selain memakan heterotrofik, banyak spesies karang memanfaatkan fotosintesis, yang dimungkinkan oleh alga endosimbiotik zooxanthellae. Polip karang di dalam calix maupun calix dapat dilihat pada **Gambar 5.2**.



Gambar 5.2. Diagram suatu polip karang di dalam calix (a) dan calix (*skeletal cup*) (b)

(Sumber: Merks *et al.*, 2004)

Kerangka karang tumbuh ketika polip secara vertikal memperpanjang dinding kaliks dan septa mereka, yang menebal secara sekunder. Selama pertumbuhan kerangka seperti itu, polip secara berkala mundur dari kerangka,

menutup ruang yang mereka tinggalkan dengan struktur kerangka horizontal, yang disebut dissepiment. Untuk menjaga agar permukaan karang yang mengembang tertutupi oleh polip karang, maka terbentuklah polip baru, suatu proses yang disebut pertumbuhan jaringan.

5.3 Inang Karang–Scleractinia

Filum Cnidaria terdiri atas 10.000 spesies yang terbagi dalam 4 kelas, yaitu Anthozoa, Cubozoa, Scyphozoa, dan Hydrozoa. Subkelas Hexacorallia dari Anthozoa meliputi enam ordo: Scleractinia (karang berbatu), Actiniaria (anemon laut), Zoantharia (organisme mirip anemon pembentuk koloni), Corallimorpharia (organisme tanpa kerangka yang menyerupai anemon dan scleractinians), Antipatharia (karang hitam) dan Ceriantharia (anemon penghuni tabung) (Kayal *et al.*, 2013).

Saat ini ada 1300 spesies Scleractinian yang telah ditemukan. Karang Scleractinian pertama kali muncul dalam catatan fosil pada pertengahan Trias (240 juta tahun yang lalu) setelah jeda 14 juta tahun dalam catatan fosil karang (Stanley and Fautin, 2001). Filogeni molekuler awal menunjukkan asal usul Scleractinia yang mendahului fosil tertua mereka (300 juta tahun yang lalu) dan beberapa tidak terpecahkan di pangkal pohon, menunjukkan bahwa scleractinian berevolusi lebih dari satu kali dari spesies bertubuh lunak dan dengan demikian tidak monofiletik (Cuif *et al.*, 2003). Kemiripan morfologis mereka dengan Corallimorpharia tanpa kerangka telah dianggap sebagai bukti tambahan bahwa kerangka scleractinian secara Scleractinia bukan merupakan kelompok alami.

Corallimorpharia termasuk dalam Scleractinia dan membentuk kelompok saudara dari scleractinian kompleks. Namun, analisis yang lebih baru dari sejumlah besar urutan genom DNA mitokondria menunjukkan bahwa tingkat saturasi

urutan yang tinggi pada karang sehat dapat menyebabkan paraphylum Scleractinia tergolong monofiletik (Kitahara *et al.*, 2014).

5.4 Simbiosis Terumbu Karang

Holobion karang merupakan konsorsium kompleks yang terdiri atas organisme eukariotik, prokariotik (Bakteri dan Archaea) dan aselular (yaitu virus). Keanekaragaman dalam holobion karang melampaui sebagian besar sistem simbiosis lainnya, termasuk model Exaipiasia dan mikrobioma usus manusia (Savage, 1977), tetapi kemungkinan mirip dengan spons. Hal ini berdampak pada simbiosis karang dan potensi karang untuk menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan (Rosenberg, Sharon and Zilber-Rosenberg, 2009).

Karang berasosiasi dengan berbagai eukariota, termasuk endosimbion dinoflagellata dari genus Symbiodinium, yang sebagian besar terletak di dalam sel inang karang gastrodermal (Gambar 10.1), protista lain seperti apicomplexans dan protozoa, jamur yang terutama terkait dengan kerangka berkapur, ikan, berbagai kepiting dan krustasea lainnya, cacing, spons, bivalvia dan hidrozoa. Masing-masing eukariota ini sendiri berasosiasi dengan berbagai eukariota mikroskopis, prokariota, dan bentuk kehidupan virus yang mungkin sangat beragam tetapi belum dicirikan. Sementara sebagian besar scleractinian menyimpan Symbiodinium di jaringan mereka, beberapa spesies tidak memiliki fotosimbion dan secara eksklusif heterotrofik (Kwong *et al.*, 2018).

Jika dibandingkan dengan karang, spons lebih sering berfotosintesis, tetapi kehadiran simbion fotosintesis dapat terjadi hingga 85% dari spons dalam suatu komunitas. Fotosimbion yang paling umum pada spons adalah Cyanobacteria, Symbiodinium, Chlorophyta, Rhodophyta atau diatom. Jumlah spesies diduga dari Symbiodinium di karang

secara keseluruhan. Hanya tiga jenis *Symbiodinium* yang diketahui dari dua spesies tropis *Exaiptasia* (Thornhill *et al.*, 2013).

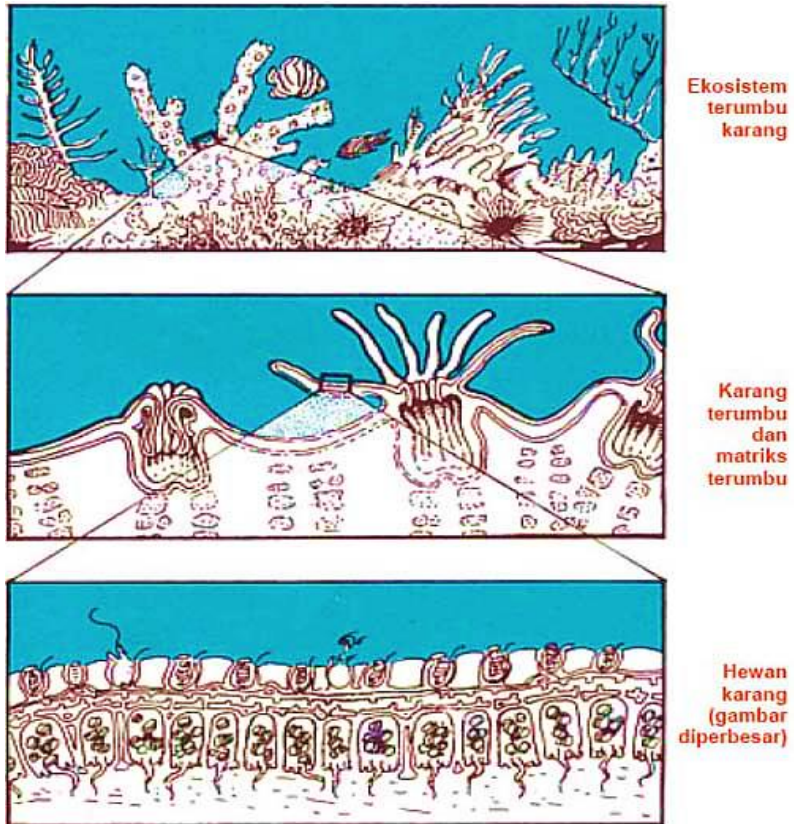
Keragaman relatif holobion karang yang bervariasi dapat ditentukan berdasarkan kompartemen yang dipelajari (lendir, jaringan dan kerangka), pengumpulan sampel dan metode pemrosesan laboratorium, metode pencacahan yang digunakan (misal penghitungan mikroskopis dengan citometri). Holobion karang dengan spons merupakan simbiosis yang paling beragam.

5.5 Ekosistem Terumbu Karang

Terumbu karang dijuluki hutan tropis dilaut karena keanekaragaman hayatinya yang luar biasa. Keanekaragaman hayati pada dasarnya adalah ukuran kekayaan spesies (jumlah spesies di suatu komunitas) dan kelimpahan relatif spesies (luas sebaran individu dalam satu spesies di suatu komunitas). Sebagai suatu ekosistem, terumbu karang memiliki komponen biotik dan abiotik. Komponen biotik yang berperan pada ekosistem perairan meliputi tumbuhan hijau (produser), hewan (konsumer) dan bakteri (dekomposer).

Terumbu karang merupakan ekosistem di dasar laut tropis yang dibangun terutama oleh biota laut penghasil kapur (CaCO_3) meliputi karang batu dan alga berkapur, bersama-sama dengan biota yang hidup di dasar lainnya, seperti mollusca, echinodermata, polikhaeta, crustacea, porifera, tunikata, plankton dan nekton. Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem yang paling beragam, produktif, dan ekosistem yang dipelajari secara luas. Namun seperti kebanyakan sistem tropis dengan keragaman tinggi, terumbu karang semakin terancam oleh gangguan antropogenik. Perlindungan terumbu membutuhkan rencana pengelolaan yang efektif yang dapat mengurangi dampak negatif dari

tekanan lokal dan global dan melestarikan fungsi ekosistem. Banyak yang diketahui tentang ancaman utama terhadap terumbu karang, termasuk perubahan iklim dan penangkapan ikan berlebihan dan identifikasi spesies kunci di terumbu karang. Ekosistem terumbu karang dapat dilihat pada **Gambar 5.3.**



Gambar 5.3. Ekosistem Terumbu Karang
(Sumber: <https://benihikan.wordpress.com>)

Berfungsinya suatu ekosistem secara tradisional ditentukan oleh tingkat fluks energi dan material, yaitu proses ekologis. Fluks ini dipertahankan oleh spesies yang ada dalam suatu ekosistem dan identitas dan komposisi spesies yang berinteraksi dengan lingkungan abiotik memediasi laju proses ekologis. Keragaman yang diukur dengan taksonomi, fungsional, filogenetik, atau kekayaan genetik dapat mempengaruhi tingkat produksi, konsumsi, atau dekomposisi dalam suatu fungsi ekosistem keanekaragaman hayati (Emmett Duffy, Godwin and Cardinale, 2017).

Komponen produser utama pada ekosistem terumbu karang adalah alga dari kelas *dinophyceae* yang disebut *zooxanthellae*. Alga ini hidup bersimbiosis dengan binatang karang. Komponen biotik yang menempati ekosistem terumbu karang sangat beragam yang tergolong dalam jenis hewan karang. *Zooxanthellae* melakukan fotosintesis dan menghasilkan oksigen yang berguna untuk kehidupan hewan karang. Hewan karang juga memberikan tempat berlindung bagi *zooxanthellae*. Karang batu tergolong karang keras dikarenakan terdapat kandungan zat kapur yang diproduksi oleh hewan karang. Melalui proses yang sangat lama, hewan karang yang kecil (polyp) membentuk koloni karang yang kental terdiri atas ribuan individu polyp, sehingga karang batu tersebut menjadi pembentuk utama ekosistem terumbu karang. Hewan yang berasosiasi dan bersimbiosis dengan terumbu karang antara lain: ikan karang, mollusca, echinodermata, sponge dan alga.

Keanekaragaman ekosistem memiliki efek yang kuat dalam sistem keanekaragaman hayati terumbu karang. Pentingnya kekayaan spesies cenderung meningkat dalam sistem keanekaragaman tinggi seperti terumbu karang tropis. Fungsi terumbu karang dikategorikan menjadi 4 macam bahan organik dan anorganik diproduksi/dikonsumsi sebagai proses

ekologis yang membentuk fungsi ekosistem terumbu karang, antara lain: produksi dan bioerosi kalsium karbonat, produksi primer dan herbivora, produksi sekunder dan predasi, serta penyerapan dan pelepasan nutrisi. Proses pelengkap ini menghasilkan perolehan dan hilangnya habitat primer; produksi dan asimilasi biomassa yang dihasilkan melalui fotosintesis; transfer nutrisi dan energi yang diturunkan secara heterotrofik ke tingkat trofik yang lebih tinggi; serta pengenalan, retensi, dan reintegrasi nutrisi dalam ekosistem. Mereka selanjutnya membentuk dasar variabel yang dapat menunjukkan keadaan terumbu yang diinginkan seperti kompleksitas struktural atau biomassa stok tegakan ikan karang dimediasi oleh faktor intrinsik (spesies dalam ekosistem) dan penggerak ekstrinsik (lingkungan atau antropogenik), dan dipengaruhi oleh proses yang terjadi melintasi batas sistem (misalnya penyebaran larva, migrasi) (Graham *et al.*, 2015). Aliran energi, material dan nutrisi pada terumbu karang sebagai 4 pasang proses timbal balik dapat dilihat pada **Gambar 5.4**.

Pemisahan ceruk di antara spesies (pelengkap) memungkinkan sumber daya yang terbatas untuk digunakan secara lebih efektif oleh beragam kumpulan spesies yang berbeda secara ekologis. Partisi relung pada terumbu karang terdapat pada ikan, karang, dan invertebrata lainnya. Pembagian ceruk skala lokal memungkinkan komunitas terumbu karang yang beragam untuk mengeksploitasi dan mempertahankan sumber daya yang terbatas dengan efisiensi tinggi, seperti yang telah ditunjukkan dalam sistem ekosistem yang kurang beragam (Hooper *et al.*, 2012).



Gambar 5.4. Aliran energi, material, dan nutrisi pada terumbu karang, yang terjadi sebagai empat pasang proses timbal balik.

- (a) Produksi kalsium karbonat (misalnya karang staghorn *Acropora muricata*, dikenal sebagai spesies yang tumbuh cepat).
- (b) Produksi primer (misalnya oleh alga coklat *Padina*, genus alga yang melimpah di terumbu).
- (c) Produksi biomassa sekunder (misalnya spesies ikan goby *Eviota melasma*, yang dikenal sebagai bahan bakar produksi biomassa ikan melalui pertumbuhan dan kematian yang cepat).
- (d) Pelepasan hara (misal, grunt *Haemulon sciurus* bergaris biru, diketahui mengimpor nutrisi ke terumbu karang dari dekat ekosistem)

(Sumber: Brandl *et al.*, 2019)

Hilangnya spesies pada terumbu karang sama dengan hilangnya fungsi terumbu karang yang dapat membahayakan ketahanan terumbu terhadap gangguan antropogenik, sehingga mengakibatkan pemutihan karang (*coral bleaching*). Penyebab pemutihan karang dapat dikarenakan perubahan lingkungan, seperti pengasaman laut, peningkatan suhu air laut akibat

tingginya kadar CO₂, serta fenomena El Nino. Peningkatan pemutihan karang menyebabkan hilangnya tutupan karang di seluruh dunia. Pemutihan karang yang berkepanjangan selama beberapa bulan menyebabkan kematian karang yang luas (Nash *et al.*, 2016). Perubahan komposisi dan keragaman spesies pada terumbu karang kemungkinan akan berdampak pada fungsi ekosistem terumbu karang.

Keanekaragaman, penyebaran, dan pertumbuhan karang terpengaruh oleh kondisi lingkungan perairan. Kondisi lingkungan perairan tidak selalu tetap, akan tetapi seringkali berubah karena adanya gangguan dari alam atau aktivitas manusia. Gangguan bisa bersifat fisik, kimia, dan biologis. Menurut Wells dan Elredge dalam Sukarno (1982), faktor fisikokimia yang diketahui mempengaruhi kehidupan atau laju pertumbuhan karang antara lain: cahaya matahari, suhu, salinitas, kejernihan air, pergerakan air (arus), dan substrat. Sedangkan faktor biologis berasal dari predator atau pemangsanya. Berikut beberapa faktor lingkungan pembatas kehidupan terumbu karang.

1. Cahaya

Cahaya dibutuhkan oleh alga simbiotik untuk proses fotosintesis. Kedalaman penetrasi cahaya mempengaruhi kedalaman pertumbuhan karang hermatipik. Kebutuhan oksigen untuk respirasi fauna di suatu terumbu karang dapat dipenuhi dengan adanya bantuan dari *Zooxanthellae*. Oksigen tambahan tersebut dihasilkan dari proses fotosintesis, yaitu proses yang hanya dapat berlangsung jika ada cahaya matahari. Intensitas cahaya yang dapat menembus air laut sangat penting untuk fotosintesis pada *Zooxantellae* dalam menentukan sebaran vertikal karang batu. Semakin dalam laut semakin kurang intensitas cahaya yang dapat mencapainya yang berarti semakin kecil pula produksi oksigen oleh *Zooxantellae*.

2. Suhu

Suhu yang sesuai untuk oenumbuhan karang berkisar antara 25°C-28°C. karang batu masih bertahan pada suhu 15°C. Suhu ekstrim akan mempengaruhi metabolisme, reproduksi dan terjadinya pengapuran (kalsifikasi) pada hewan karang. Karang batu pembentuk terumbu karang memerlukan suhu air laut di atas 20°C, tetapi pertumbuhannya baru mencapai puncaknya dalam batas-batas suhu antara 25°C-30°C. pada bagian barat Samudera Hindia, Pasifik, dan Atlantik, terumbu karang dapat tumbuh dengan baik, sedangkan bagian timurnya tidak. Hal ini disebabkan oleh arus yang mengalir dari kutub dan aliran tegak dari laut dalam yang bersuhu dingin permukaan yang berada pada bagian timur samudera-samudera tersebut.

3. Salinitas

Salinitas diketahui juga merupakan faktor pembatas bagi kehidupan karang hermatipik. Salinitas optimum bagi kehidupan karang berkisar antara 32-35‰. Salinitas lebih tinggi dari ukuran optimum maka akan mempengaruhi osmoregulasi jaringan hidup.

4. Kejernihan air

Karang hidup di bawah permukaan laut. Karang batu memerlukan air laut yang bersih dan terhindar dari kotoran yang dapat menghalangi masuknya cahaya matahari untuk fotosintesis *Zooxantellae*. Di samping itu, pasir dan endapan lumpur pada air yang terendap arus dapat mengakibatkan kematian karang karena karang batu tidak mampu membersihkan endapan yang menutupi, kecuali beberapa karang batu dari suku *Fungidae* dan *Faviidae*.

5. Pergerakan air (arus)

Pergerakan air (arus) dibutuhkan untuk suplai oksigen, makan jasad renik, serta pelindung karang dari timbunan endapan. Oksigen pada ekosistem terumbu karang diperoleh dari hasil fotosintesis *Zooxantella* pada siang hari dan kandungan oksigen dari massa air. Arus kuat pada malam hari sangat diperlukan untuk menyuplai oksigen bagi hewan pada ekosistem terumbu karang.

6. Substrat

Larva planula akan melekat (*settling*) pada substrat yang keras. Pembentukan koloni baru membutuhkan dasar yang kuat dan bebas dari lumpur agar larva karang batu dapat menempel pada substrat.

7. Kedalaman

Kedalaman substrat terumbu karang menentukan sebaran populasi terumbu karang. Semakin dalam posisi substrat dari permukaan air, maka penetrasi cahaya matahari dan suhu air semakin kecil sehingga pertumbuhan karang di lokasi tersebut juga semakin berkurang. Kedalaman ideal untuk pertumbuhan terumbu karang sekitar 20-40 meter.

8. *Up-Welling*

Badan air yang stabil mempunyai salinitas tinggi dengan suhu yang rendah pada lapisan yang lebih dalam. Fenomena *up-welling* terjadi akibat dinamika massa air oleh arus, kondisi batimetri dan faktor lainnya. Arus *up-welling* membawa massa air dingin dari lapisan bawah ke lapisan substrat terumbu karang. Pertumbuhan terumbu karang terganggu jika suhu air di bawah toleransi ambang batas metabolisme terumbu karang.

9. Pengendapan

Endapan dalam air dan di atas karang mempunyai pengaruh negatif terhadap terumbu karang. Endapan akan menutupi struktur transfer makanan dalam terumbu

karang. Selain itu, endapan dalam air mengakibatkan kemampuan fotosintesis alga berkurang akibat pengurangan cahaya yang masuk, sehingga pertumbuhan terumbu karang terhambat dan menyebabkan kematian karang.

DAFTAR PUSTAKA

- Blackall, L. L., Wilson, B. and Van Oppen, M. J. H. (2015) 'Coral- the world's most diverse symbiotic ecosystem', *Molecular Ecology*, 24(21), pp. 5330–5347. doi: 10.1111/mec.13400.
- Brandl, S. J. *et al.* (2019) 'Coral reef ecosystem functioning: eight core processes and the role of biodiversity', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(8), pp. 445–454. doi: 10.1002/fee.2088.
- Cuif, J. P. *et al.* (2003) 'Patterns of septal biomineralization in Scleractinia compared with their 28S rRNA phylogeny: A dual approach for a new taxonomic framework', *Zoologica Scripta*, 32(5), pp. 459–473. doi: 10.1046/j.1463-6409.2003.00133.x.
- Emmett Duffy, J., Godwin, C. M. and Cardinale, B. J. (2017) 'Biodiversity effects in the wild are common and as strong as key drivers of productivity', *Nature*, 549(7671), pp. 261–264. doi: 10.1038/nature23886.
- Graham, N. A. J. *et al.* (2011) 'Extinction vulnerability of coral reef fishes', *Ecology Letters*, 14(4), pp. 341–348. doi: 10.1111/j.1461-0248.2011.01592.x.
- Graham, N. A. J. *et al.* (2015) 'Predicting climate-driven regime shifts versus rebound potential in coral reefs', *Nature*, 518(7537), pp. 94–97. doi: 10.1038/nature14140.
- Hooper, D. U. *et al.* (2012) 'A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change', *Nature*, 486(7401), pp. 105–108. doi: 10.1038/nature11118.
- Kayal, E. *et al.* (2013) 'Cnidarian phylogenetic relationships as revealed by mitogenomics', *BMC Evolutionary Biology*, 13(1). doi: 10.1186/1471-2148-13-5.

- Kitahara, M. V. *et al.* (2014) 'The "Naked Coral" Hypothesis Revisited – Evidence for and Against Scleractinian Monophyly', *PLoS ONE*, 9(4), p. e94774. doi: 10.1371/journal.pone.0094774.
- Kwong, W. K. *et al.* (2018) 'A widespread coral-infecting apicomplexan contains a plastid encoding chlorophyll biosynthesis', *bioRxiv*, (August), p. 391565. doi: 10.1101/391565.
- Merks, R. M. H. *et al.* (2004) 'Polyp oriented modelling of coral growth', *Journal of Theoretical Biology*, 228(4), pp. 559–576. doi: 10.1016/j.jtbi.2004.02.020.
- Nash, K. L. *et al.* (2016) 'Herbivore cross-scale redundancy supports response diversity and promotes coral reef resilience', *Journal of Applied Ecology*, 53(3), pp. 646–655. doi: 10.1111/1365-2664.12430.
- Rosenberg, E., Sharon, G. and Zilber-Rosenberg, I. (2009) 'The hologenome theory of evolution contains Lamarckian aspects within a Darwinian framework', *Environmental Microbiology*, 11(12), pp. 2959–2962. doi: 10.1111/j.1462-2920.2009.01995.x.
- Savage, D. C. (1977) 'Microbial ecology of the gastrointestinal tract', *Annual review of microbiology*, 31(70), pp. 107–133. doi: 10.1146/annurev.mi.31.100177.000543.
- Spalding, D. and Ravilious, C. (2002) *World atlas of coral reefs*, *Choice Reviews Online*. doi: 10.5860/choice.39-2540.
- Stanley, J. and Fautin, D. G. (2001) 'The origins of modern corals', *Science*, 291(5510), pp. 1913–1914. doi: 10.1126/science.1056632.
- Thornhill, D. J. *et al.* (2013) 'Population genetic data of a model symbiotic cnidarian system reveal remarkable symbiotic specificity and vectored introductions across ocean basins', *Molecular Ecology*, 22(17), pp. 4499–4515. doi: 10.1111/mec.12416.

BAB 6

EKOSISTEM PANTAI, PELAGIS, DAN DASAR LAUT

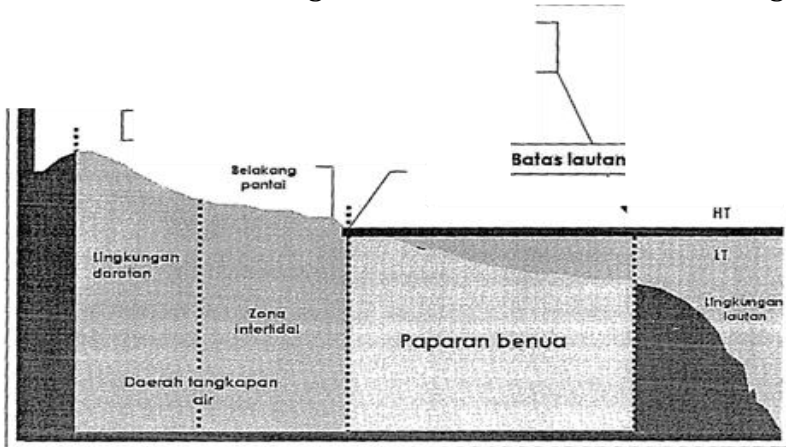
Oleh Vicky Rizky A. Katili

6.1 Ekosistem Pantai

Ekosistem pantai atau pesisir adalah sebagai daerah tengah tengah yaitu peralihan antara darat dan laut, wilayah pesisir kearah darat yaitu bagian dipengaruhi oleh daratan dan menuju wilayah laut masih dipengaruhi oleh sifat sifat air laut seperti angin laut, pasang surut, dan masuknya air asin ke wilayah darat, sebaliknya ke arah laut meliputi bagian laut yang terpengaruh oleh proses proses yang terjadi di daerah darat seperti sedimentasi dari darat dan air tawar, maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar, maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia didarat seperti pemukiman, pertanian dan industri yang memiliki dampak terhadap wilayah pantai atau pesisir (Soegiarto, 1976).

Dari sisi ekologis habitat atau ekosistem pesisir cenderung memiliki keanekaragaman spesies yang tinggi, memiliki resiko lingkungan yang tinggi, keterbatasan daya dukung lingkungan, sangat rentan terhadap perubahan alam baik yang dipengaruhi oleh manusia maupun oleh alam itu sendiri. Selain itu wilayah pesir dan laut merupakan lokasi bebrapa ekosistem yang unik dan saling terkait, dinamis dan

produktif. Ekosistem utama pada wilayah pantai atau pesisir adalah ekosistem mangrove, lamun, dan terumbu karang.



Gambar 6.1. Penampang Melintang Wilayah Pesisir
(Bengen, 2002)

6.1.1 Ekosistem Mangrove

Ekosistem Mangrove adalah komunitas tanaman atau vegetasi pantai tropis dan sub tropis, yang mampu tumbuh dan berkembang pada wilayah pasang surut yang didominasi oleh jenis-jenis pohon bakau yang mampu berkembang dan tumbuh pada daerah pantai berlumpur dan daerah pasang surut (Bengen, 2002). Hutan bakau adalah pertemuan antara daratan dan lautan. Ekosistem bakau sangat bergantung pada air laut saat terjadi kenaikan muka air laut dan air dari daratan sebagai sumber nutrisi serta endapan-endapan yang berasal dari pengikisan daerah hulu sebagai bahan pendukung terjadinya erosi. Menurut Snedaker (1985), mangrove adalah kelompok jenis tumbuhan yang tumbuh di sepanjang pantai tropis hingga subtropis dan mempunyai fungsi khusus berupa pantai dengan reaksi tanah anaerob pada lingkungan asin dan topografi.

Mangrove biasanya tumbuh di daerah peralihan atau estuari dengan kontur tanah berlumpur, tanah liat atau berpasir. Secara berkala dialiri air laut, setiap hari atau hanya saat pasang atau surut purnama, banyak sedikitnya genangan air laut ini sangat mempengaruhi jumlah dan jenis tanaman hutan mangrove. Hal lain, ekosistem ini juga memerlukan air tawar dan biasanya tumbuh sangat cepat pada daerah yang terlindungi oleh pasang surut dan gelombang yang besar. Kadar garam atau salinitas yang sesuai untuk membudidayakan pohon mangrove adalah 2-22ppm atau yang memiliki salinitas 38ppm yang tergolong asin (Bengen, 2002; Nontji, 2002).



Gambar 6.2. Ekosistem Mangrove Pulau Dorehkar, Kepulauan Ayau
(Sumber : Dokumentasi Penulis)

Ekosistem ini di dominasi oleh beberapa spesies spesies pohon bakau atau mangrove seperti *Bruguiera* spp , *Lumnitzera* spp., *Avicennia* spp., *Xylocarpus* spp , *Sonneratia* spp., *Rhizophora* spp., *Ceriops* spp., , *Exoecaria* spp., *Aegiceras* spp., *Scyphyphora* spp. dan *Nypa* sp., yang sangat beradaptasi dengan lingkungan yang di pengaruhi oleh pasang surut air

laut dan kondisi substrat dasar yang berlumpur (Bengen, 2002).

6.1.2 Ekosistem Lamun

Lamun adalah tanaman berbunga (Angiospermeae) yang hidup dan berkembang di laut dangkal dan beradaptasi penuh dengan kehidupan laut. Mereka sering ditemukan di perairan pantai. Lamun memiliki beberapa ciri dan kemampuan hidup di lingkungan laut, yaitu: (1) mampu hidup di lingkungan asin; (2) mampu berfungsi secara normal di bawah air; (3) mereka memiliki sistem akar yang berkembang dengan baik; (4) mampu melakukan siklus reproduksi dalam keadaan tenggelam; dan (5) mampu bersaing atau berkompetisi dengan organisme lain dalam kondisi lingkungan yang kurang stabil (Phillips dan Menez, 1988).



Gambar 6.3. Ekosistem Lamun Pulau Reni

(Sumber : Dokumentasi penulis)

Lamun di darat memiliki pucuk dengan daun dan batang tegak (rimpang) yang berkembang biak secara efisien. Tidak seperti tumbuhan lain yang terendam air laut, seperti ganggang atau rumput laut, lamun memiliki bunga, membentuk buah dan

menghasilkan biji. Rumput laut memiliki akar sejati dalam sistem transportasi gas dan nutrisi internal (Fortes, 1990).

Kebanyakan lamun memiliki morfologi luar yang hampir sama. Rumput laut memiliki daun yang panjang, tipis, seperti pita dengan saluran air dan kebiasaan tumbuhnya bersifat monokotil. Lamun tumbuh dari rimpang yang merambat. Bagian tubuh lamun dapat dibedakan menjadi morfologi yang lebih mirip daun, bunga dan buah (Phillips dan Menez, 1988).

Zona sebaran lamun biasanya berkesinambungan dari pantai ke pantai, tetapi dapat terjadi perbedaan komposisi spesies (vegetasi tunggal atau campuran) dan tutupan area (Tomascik et al., 1997).). Lamun membutuhkan substrat lunak, mulai dari lumpur lunak hingga pasir, sehingga akar dan rimpangnya dapat dengan mudah menembusnya untuk menopang tubuhnya.

Komunitas lamun . biasanya terdapat dalam suatu . area yang luas dan rapat. Ada 3 tipe . vegetasi padang . lamun (Tomascik et al., 1997), yaitu: (1) padang lamun . vegetasi . tunggal; (2) padang . lamun . yang . berasosiasi . dengan . dua atau tiga . spesies, padang lamun . seperti . ini . lebih sering . dijumpai dibanding . vegetasi tunggal; dan (3) padang . lamun . vegetasi campuran (mixed seagrass beds), biasanya memiliki komunitas spesies-spesies seperti *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, *Cymodocea rotundata*, *Syringodium isoetifolium*, *Halodule uninervis* , *Cymodocea serrulata* dan *Halophila ovalis*. Padang . lamun di . perairan . Indonesia . umumnya . termasuk . padang lamun vegetasi . campuran.

Penyebaran lamun di dunia hampir terdapat di seluruh perairan pantai. Dari 12 genus lamun yang ada, tujuh genus terdapat di perairan tropis yang terpusat di Indo Pasifik Barat, Karibia dan Pantai Amerika Tengah (Fortes, 1990), sedangkan lima genus yang lain terdapat di perairan Ughari. Hal ini memperlihatkan bahwa ke 12 genus lamun tersebut

tersebar di Belahan Bumi Utara maupun Belahan Bumi Selatan. Jumlah spesies larnun lebih banyak terdapat di daerah tropik dari pada di daerah iklim sedang (Nybakken, 1992).

Kawasan perairan pesisir Indonesia ditumbuhi oleh 12 spesies lamun, dan diduga masih ada spesies lainnya yaitu *Halophila beccarii*, namun catatan tentang spesies ini belum dikonfirmasi (Fortes, 1990). Padang larnun di Indonesia antara lain terdapat di Selat Flores, Teluk Jakarta, Lombok, Selat Sunda, Kepulauan Seribu, Teluk Banten dan Kepulauan Riau (Fortes, 1990). Lamun seperti *Halodule finifolia*, *Halodule uninervis*, *Cymodocea rotundata*, *Syringodium isoetifolium*, *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii*, umumnya ditemukan di pulau-pulau Indonesia Timur (Fortes, 1990). Penyebaran larnun di Indonesia meliputi perairan Sumatera, Jawa, Bali, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara dan Papua.

6.1.3 Ekosistem Terumbu Karang

Terumbu karang adalah suatu ekosistem di dasar laut tropis yang dibangun terutama oleh biota laut penghasil kapur, khususnya jenis-jenis karang batu dan alga berkapur, bersama-sama dengan biota laut lainnya yang hidup di dasar seperti moluska, krustasea, ekinodermata, polikaeta, porifera, tunikata dan bota lain yang hidup bebas di perairan sekita termasuk jenis-jenis plankton dan ikan (Nybakken, 1992).

Terumbu merupakan endapan kalsium karbonat masif yang penting, sebagian besar diproduksi oleh karang (Cnidaria, kelas Anthozoa, ordo Madreporaria = Scleractiniay), dengan penambahan zooxanthellae berkapur dan organisme penghasil kalsium karbonat lainnya (Nybakken, 1992).

Istilah terumbu karang (reef) mengacu pada terumbu karang (coral). Walaupun tidak semua jenis karang hidup di

terumbu karang, namun tidak semua terumbu tertutup adalah karang. Ada yang menyebutnya struktur datar atau subtidal yang dapat memecah gelombang. Istilah karang memiliki banyak arti, tetapi sebagian besar hanyalah nama umum untuk ordo Scleractinia, yang anggotanya memiliki tubuh batu kapur yang keras. Ordo Scleractinia dibagi menjadi kelompok pembangun terumbu dan non-pembentuk terumbu. Kelompok pertama dikenal sebagai hermatypic, yang membutuhkan sinar matahari untuk hidup, sedangkan kelompok kedua dikenal sebagai ahermatypic, yang biasanya tidak membutuhkan sinar matahari untuk hidup (Veron, 1986).

Karang dapat hidup berkoloni atau sendiri-sendiri, tetapi hampir semua karang hermatypic dihuni oleh banyak hewan karang individu (polip) yang menempati cangkang kecil (karang) dalam kerangka masif. Setiap koralit memiliki rangkaian septa tajam berbentuk daun yang memanjang dari pangkal. Septa terdiri dari kerangka yang bergantian dengan septum di ruang gastrovaskular polip karang. Setiap polip adalah hewan berlapis dua, epidermis terluarnya dipisahkan dari selaput perut bagian dalam oleh mesoglea yang tidak hidup. Di sekitar mulutnya terdapat rangkaian tentakel dengan baterai kapsul yang dapat menyebabkan kerusakan (nematocysts) yang digunakan untuk mengkonsumsi makanan berupa zooplankton. Zooxanthellae ditemukan di lapisan gastrodermal. Koloni karang tumbuh pada polip yang bertunas secara asexual menjadi polip baru. Koloni baru dibentuk dengan mengkolonisasi larva planula planktonik, yang merupakan hasil reproduksi seksual (Nybakken, 1992).



Gambar 6.3. Ekosistem Terumbu Karang Pulau Gag
(Sumber : Dokumentasi Penulis)

6.2 Ekosistem Pelagis

Ekosistem pelagis adalah sistem yang terbentuk yang luasan daerah terdiri dari daerah pantai ke arah laut, dimana ekosistem ini merupakan interaksi antara makhluk hidup dengan komponen abiotiknya. Wilayah yang termasuk daerah pelagis adalah wilayah permukaan air laut sampai wilayah kolom perairan, terdapat dua zona dalam ekosistem pelagik yaitu zona neritik dan zona oseanik.

Zona neritik adalah daerah laut dangkal yang kedalamannya sampai pada kedalaman 200 meter, zona neritik ini masih dapat ditembus oleh cahaya matahari sehingga proses energi dan asupan energi untuk produsen masih dapat maksimal. Biota laut yang hidup pada ekosistem ini adalah plankton baik itu fitoplankton maupun zooplankton, dan nekton yang terdiri dari ikan-ikan pelagis. Kelimpahan organisme pada ekosistem ini sangat melimpah, hal ini disebabkan oleh kandungan zat hara yang sangat tinggi, zat-zat terlarut baik padatan terlarut maupun tersuspensi cukup bervariasi karena ada pengaruh dari daratan.

Zona oseanik adalah daerah yang masih dapat ditembus cahaya dan daerah yang tidak dapat ditembus cahaya dari permukaan hingga ke dasar laut. Pada zona ini terdapat lapisan termoklin yang merupakan lapisan dimana suhu menurun drastis bersamaan dengan menurunnya kedalaman dan juga salinitas menurun drastis disaat menurunnya kedalaman atau yang kita sebut dengan lapisan haloklin.

Sumberdaya ikan pelagis pada perairan ini atau ekosistem ini terdiri dari komunitas ikan pelagis pantai (*Sardine/la* spp., *Rastreliger brachysoma*, *Dusumieria acuta*, *Selar* spp.), ikan pelagis neritik dan oseanik (*Decapterus russelli*, *Selar crumenophthalmus*, *Rastrel/iger kanagurta*, *Decapterus macrosoma*, *Amblygaster sirm*, *Megalaspis cordyla*, *Scombomorus* spp., *Auxis thazardy*. Kelompok jenis ikan layang (*Decapterus* spp.) merupakan komponen utama di ekosistem ini, dominasi jenis ikan ini terjadi pada daerah penangkapan yang dipengaruhi oleh massa air bersifat oseanik.

6.3 Ekosistem Dasar Laut

Ekosistem dasar laut atau gambaran relief dasar laut merupakan perbedaan kenampakan atau ciri-ciri dasar laut. Bentuk bathimetri wilayah laut selain ditentukan oleh kekerasan (resistivity) batuan, pola morfologi, juga ditentukan oleh tahapan tektoniknya apakah labil atau stabil. Misalnya bentuk dasar yang berundak – undak terjadi di wilayah pengangkatan aktif; dasar yang terjal biasanya dikontrol oleh adanya struktur geologi seperti pereseran atau patahan, pergeseran lempeng, dasar yang landai merupakan daerah yang relatif stabil dari kegiatan tektonik atau tingkat pasca tektonik (Nontji A, 2002).

Perairan laut dalam mempunyai berbagai tipe bathimetri dasar laut seperti paparan (shelf) yang dangkal, depresi dalam berbagai bentuk (basin, palung), berbagai bentuk elevasi berupa punggung (rise, ridge), gunung bawah laut (sea mount), terumbu karang dan sebagainya. Berdasarkan kedalaman, Perairan laut dalam dibagi menjadi dua, yaitu perairan dangkal berupa paparan dan perairan dalam. Paparan adalah zona di laut yang diukur berdasarkan surut terendah sampai pada kedalaman 120-200 meter, yang biasanya diikuti oleh lereng yang lebih curam ke arah laut dalam.

Kompleksnya bathimetri dasar laut disebabkan kawasan ini terjadi benturan atau gesekan antara lempeng litosfer, yakni lempeng Eurasia, Philipina, Pasifik dan Indo-Australia. Apabila dua lempeng berbenturan maka salah satunya akan menghujam (subduksi) ke bawah lempeng lainnya sehingga di zona benturan ini terbentuk palung-palung dalam. Sebaliknya pada lempeng satunya terjadi pengangkatan keatas dimana energi berupa magma dilepaskan dan membentuk gunung-gunung api. Pengetahuan mengenai morfologi laut dalam akan memudahkan menentukan daerah resapan (catchment area) dan penentuan kondisi geologi.

Morfologi bawah laut akan sangat membantu dalam berbagai keperluan, baik dibidang ilmu pengetahuan maupun keteknikan. Morfologi bawah laut akan sangat membantu dalam bidang ilmu pengetahuan misalnya dalam hal penentuan pola sedimeaasi, sumber sedimen, transpor sedimen, pendangkalan sedimen, lembah dan sungai bawah laut. Dalam bidang keteknikan, morfologi dasar laut akan sangat membantu dalam menentukan rute pelayaran, mempermudah dalam membantu perencanaan wilayah (pelabuhan, daaerah wisata, industri).

DAFTAR PUSTAKA

- Bengen, DG. 2002. *Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut serta Prinsip Pengelolaannya*. Bogor : Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan.
- Fortes, M.D. 1990. *Seagrasses: a resource unknown in the asean region*. Manila, Philippines : ICLARM Education Series 6. International Center for Living Aquatic Resources Management,. 46p.
- Nontji A. 2002. *Laut Nusantara*. Jakarta : Djambatan.
- Nybakken, JW. 1992. *Biologi laut: suatu pendekatan ekologi*. Jakarta : PT. Gramedia.
- Phillips, R.C, dan E.G Menez. 1988. *Seagreasses Smithsonian Contribution to The Marine Science*. South Carolina:Research Planning Institute, Inc. Washington DC: Smithsonian Institution Press.
- Snedaker DS, Charles DG. 1985. *Coastal Resources Management Guidelines*. South Carolina:Research Planning Institute, Inc.
- Soegiarto A. 1976. *Pedoman Umum Pengelolaan Wilayah Pesisir*. Jakarta: Lembaga Oseanologi Indonesia.
- Tormascik, T, Mah AJ, Nontji A dan Moosa MK . 1997 . *The Ecology of the Indonesian Seas*. Singapore : The Ecology of Indonesia Series. Vol. VII. Periplus Editoin (Hk) Ltd. 1388p.
- Veron, JEN. 1986. *Coral of Australia and The Indo-Pasific*. Angus and Robertson Publisers.

BAB 7

CIRRIPEDIA DAN BIOGEOGRAFI BIOTA LAUT

Oleh Elfa Verda Puspita

7.1 Cirripedia

Cirripedia, berasal dari bahasa Latin untuk "kaki berguling", adalah satu-satunya anggota kelompok krustasea yang menetap (kecuali krustasea parasit), sehingga membuat kelompok ini sangat berbeda dengan bentuk kelompok krustasea lainnya. Itu juga pernah dianggap sebagai anggota suku moluska, karena sebagian besar anggotanya memiliki cangkang seperti pelecypoda. Tidak diketahui sampai tahun 1830, ketika teritip dikeluarkan dari filum Mollusca. Semua teritip hidup di laut, dan dua pertiga dari 900 spesies yang diketahui hidup bebas, menempel pada batu, kerang, karang, kayu apung, dan benda lainnya. Beberapa spesies bersimbiosis dengan paus, kura-kura, ikan, dan hewan lainnya, dan banyak yang bersifat parasit (Raystika, 2013)

Klasifikasi

Adapun klasifikasi Cirripedia menurut Burmeister (1834), sebagai berikut :

Kingdom	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Subfilum	: Crustacea
Kelas	: Maxillopoda
Subkelas	: Thecostraca
Infrakelas	: Cirripedia

7.2 Morfologi dan Anatomi Cirripedia

Teritip non-parasit dewasa tidak memiliki kepala, sebagian besar tidak memiliki perut, dan tersegmentasi dengan buruk. Bagian utama tubuh adalah kepala dan bagian depan tubuh (toraks). Antena pertama hanya menunjukkan bekas luka berupa kelenjar lengket, yang kedua tumbuh bersama-sama, terlihat sangat jelas dan khas adalah adanya enam pasang pelengkap dada. Tungkai luar dan dalam setiap pelengkap sangat panjang, beruas-ruas dan dilengkapi dengan bulu yang disebut cirri. Cirri berfungsi untuk menangkap makanan. Dari kelima mata, hanya bagian dada yang tidak bersifat parasit. Ada dua jenis toraks: sessile dan sessile. Teritip bertangkai memiliki tangkai yang panjang, bertangkai, salah satu ujungnya menempel pada substrat, dan ujung lainnya menempel pada bagian utama tubuh (tengkorak). Kapitulum adalah bagian depan mulut. Bagian atas kepala ditutupi dengan baju besi (jubah). Permukaan mantel setidaknya memiliki lima penutup. Bentuk teritip menyerupai buah kelapa, namun masih sebesar kelereng. Beberapa bagian tempurung tersusun seperti ubin, di dasar tengkorak yang merupakan dinding, dan di atasnya terdapat tutup yang dibentuk dari erga dan scutta yang dapat digerakkan. Branakel bertangkai berkisar dari beberapa milimeter hingga 7 cm termasuk tangkainya. Spesies tanpa batang umumnya berdiameter beberapa sentimeter, dengan pengecualian beberapa spesies seperti *Varanus psittatus* di lepas pantai Amerika Selatan, yang panjangnya mencapai 23 cm dan diameter 8 cm, dan spesies terkecil hanya beberapa milimeter. Faktanya, banyak teritip berwarna cerah, merah, jingga, putih, merah tua, ungu, atau belang jika tidak ditutupi oleh organisme sessile lainnya (Raystika, 2013).

7.3 Biogeografi

Biogeografi adalah cabang ilmu yang mempelajari dan menjelaskan persebaran kehidupan di permukaan bumi. Ada wilayah biogeografis hewan yang diketahui di dunia, dan masing-masing dari wilayah tersebut memiliki perbedaan dan keseragaman tertentu di dalam kelompoknya. Wilayah biogeografis ini adalah Australia, Oriental, Ethiopia, Neotropis, Palearktik, dan Neartik. Adanya kesamaan fauna antara Palearktik dan Neartik, kedua wilayah biogeografis ini terkadang digabungkan menjadi Holartik (Zid dan Hardi, 2018). Menurut Abrar (2011) biogeografi adalah studi tentang pola distribusi dan keanekaragaman jenis juga hubungan timbal balik antara proses ekologi biologis, evolusi, spasial, dan peristiwa geologi yang saling mendukung dalam skala ruang serta waktu.

Ada dua pendekatan penting untuk menjelaskan konsep biogeografi, yaitu mengamati pola distribusi dan menggambarkan bagaimana distribusi terjadi sebagai suatu proses (Veron, 1995). Posadas *et al* (2006) menjelaskan bahwa biogeografi memberikan gambaran tentang distribusi spesies di bumi dan memberikan alasan bagaimana distribusi tersebut muncul. Zid dan Hardi (2018) juga mengatakan bahwa distribusi makhluk hidup dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk sejarah, iklim masa lalu, bentuk benua, hubungan ekologi masa lalu hingga sekarang, dan semua interaksi di antara mereka. Biogeografi memberi penekanan khusus pada sejarah (perkembangan) evolusioner dari golongan organisme. Berasal dari manakah makhluk hidup? Bagaimana cara penyebarannya? Apa distribusinya di zaman saat ini memberitahu kita tentang sejarah masa lalunya? Biogeografi membantu fokus pada hubungan antara makhluk hidup saat ini dan lingkungan fisiknya, serta bagaimana mereka berhubungan

dengan yang lain, dan bagaimana hubungan ini mewakili di mana jenis dan takson yang lebih luas ditemukan saat ini.

Indonesia adalah negara yang terdiri banyak pulau-pulau yang terletak di antara dua kawasan biogeografis utama, yaitu Kawasan Biogeografis Oriental dan Kawasan Biogeografis Australia.

Berdasarkan sejarah pembentukan nusantara, para ahli menggolongkan daerah Indonesia menjadi beberapa wilayah. Wilayah itu adalah:

1. Wilayah Indonesia Barat: Sumatera, Jawa termasuk Kalimantan. Hewan-hewan tersebut adalah hewan oriental seperti gajah, harimau, dan orangutan.
2. Kawasan Indonesia Timur: terdiri atas Irian Jaya dan sekitarnya. Hewan mirip dengan hewan daerah Australia.
3. Kawasan Wallacea: Mencakup daerah Sulawesi, Kepulauan Maluku, Sumba, Sumbawa, Lombok dan Timor. Kawasan ini mempunyai satwa oriental dan satwa unik (terutama dari Pulau Sulawesi) yang berbeda dengan satwa Australia. Satwa yang terdapat di kawasan ini antara lain anoa, macaw serta monyet hitam (Zid dan Hardi, 2018).

7.4 Biota Laut

Biota laut dapat dibagi menjadi dua kelompok: fauna dan flora (Pratiwi, 2006). Agar lebih memahami biota laut, kita perlu mengetahui ciri-ciri biota tersebut. Menurut Romimohtarto dan Juwana (1999), biota laut dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan sifat-sifatnya, yaitu :

1. Planktonik. Planktonik yaitu biota mengapung, berenang, dan berenang mengikuti arus (karena tidak bisa melawan arus). Hasil penelitian menunjukkan bahwa plankton merupakan biota laut yang sangat beragam di lautan. Spesies plankton ini banyak ditemukan di kolom air permukaan. Plankton terbagi menjadi dua, antara lain:

- fitoplankton (plankton berupa tanaman/tumbuhan), misalnya: cyanobacteria, ganggang coklat, ganggang merah, dinoflagellata dan sebagainya.
 - Zooplankton (plankton berupa hewan): Lucifer, Acetes (udang rebon), Ostracorda, Chladochera, dll.
2. Nektonik: Biota perenang seperti ikan, ubur-ubur, cumi-cumi, sotong, dan sebagainya. Nekton dikenal sebagai predator teratas dari sebagian besar rantai makanan laut. Ikan merupakan jenis nekton terbesar jumlahnya sekitar 16.000 jenis.

Taksonomi nekton berdasarkan kelompok ikan dapat dibedakan menjadi dua spesies.

- Mereopilagik: yaitu kelompok ikan yang menghabiskan sebagian hidupnya di wilayah epipelagik laut, yaitu daerah perairan antara 0-200 meter atau sekitar 656 kaki.
- Holoepipelagik
Sekelompok makhluk air yang habitatnya di wilayah epipelagik selama hidupnya. Jenis yang termasuk dalam golongan ini antara lain hiu, martil, hiu mackerel, hiu biru, tuna, ikan terbang, lemur, dan dugong.

Pembagian nekton berdasarkan kelasnya, yaitu:

- Vertebrata: Golongan nekton yang terdiri dari hewan kerangka antara lain reptilia, mammalia/ hewan menyusui dan berbagai spesies ikan.
- Moluska: Golongan nekton moluska seperti krustasea, cumi-cumi dan gurita.
- Genus Crustacea: Kelompok arthropoda bercangkang keras seperti udang, kepiting, dan lobster.

3. Bentuk: Biota baik tumbuhan maupun hewan yang habitatnya di dalam tanah atau di dalam substrat. Biota ini dibagi menjadi 3 jenis :
- menempel: spons, teritip, tiram, dan sebagainya.
 - merangkak/merayap: kepiting, udang kecil, dan sebagainya.
 - meliang: kerang, cacing tanah, dan sebagainya.

Peran organisme bentik adalah: dapat mendukung proses daur ulang bahan-bahan organik, berfungsi juga dalam sirkulasi rantai makanan, dapat mendukung proses mineralisasi, serta digunakan sebagai indikator polusi lingkungan.

7.5 Biogeografi Biota Laut

Beberapa biota laut antara lain, yaitu :

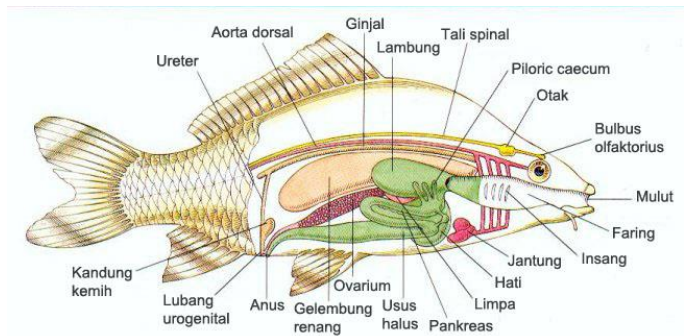
1. Ikan

Ikan adalah hewan yang mempunyai tulang belakang (vertebrata), berdarah dingin juga berinsang. Dari spesies tersebut, mereka adalah jenis yang melimpah di lautan, terhitung kira-kira 42,6% atau sekitar 5.000 spesies yang teridentifikasi, dengan sebagian besar jenis habitatnya di terumbu karang (Tjakrawidjaya, 1999).

Pratiwi (2006) mengatakan ikan digolongkan dalam tiga golongan utama antara lain: Agnata, yaitu ikan primitif seperti Lampreys dan Hagfishes; ikan bertulang rawan (Chondrichthyes), seperti: ikan cucut (hiu) dan ikan pari; serta ikan bertulang sejati (Osteichthyes = Teleostei).

Teleost merupakan ikan hias dan makanan yang bernilai ekonomi tinggi. Ikan konsumsi dan merupakan komoditas terpenting antara lain

Thunnus sp (tuna); *Katsuwonus pelamis* (cakalang); *Sardinella longiceps* (lemuru) dan *Rastrelliger sp* (kembung). Beberapa ikan termasuk ikan budidaya, antara lain *Chanos chanos* (ikan bandeng), yang dibudidayakan dengan tradisional di tambak, *bonefish* (Siganidae); kerapu (Serranidae) dan barramundi (*Lates calcarifer*) juga telah dilakukan budidaya (Romimohtarto dan Juwana, 1999).



Gambar 7.1. Morfologi Ikan
(Sumber : google image)

Menurut penelitian Satria *et al* (2012), topografi bawah laut pulau Sangihe dan Talaud berbukit dengan kedalaman air berkisar antara 300 hingga 3.000 m, dengan beberapa lubang hidrotermal aktif dan gunung berapi bawah laut di sekitar pulau. Perairan Sangihe Talaud merupakan rumah bagi 53 spesies ikan laut dalam yang termasuk dalam 32 famili. Beberapa spesies ikan demersal laut-dalam yang bernilai ekonomis adalah *Beryx splendens*, *Hoplostethus crassispinus*, *Lamprogrammus niger*, *Setarches guentheri*, dan *Xenolepidyhtis dalgleishi*.

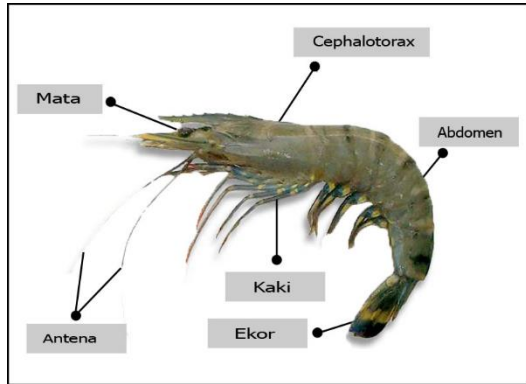
Ikan mesopelagis seperti Sternoptycidae (*Polyipnus stereo*pe dan *Argyropelecus affinis*), Chauslidontidae (*Chausliodus sloani*), Chiasmodontidae dan Myctophidae (*Cerastoscopus warmii*, *Taaningichthys minimus* dan *Myctopidae sp.*) telah ditemukan berukuran kecil dan produktif di perairan utara Sulawesi. Hal ini menunjukkan perairan produktif dan berfungsi sebagai sumber makanan untuk tingkat tropis yang lebih tinggi.

2. Crustacea

Golongan hewan ini terdiri atas udang-udangan dan kepiting/rajungan dan biasanya habitatnya di lubang-lubang terumbu karang atau di belakang bebatuan dan koral. Golongan hewan ini aktif pada malam hari, seperti bersembunyi mencari makanan dan melakukan aktivitas lain pada siang hari. Satwa dalam kelompok ini memiliki banyak jenis ciri hidup, di antaranya hidup bersimbiosis dengan hewan lain seperti ikan, anemon laut, karang keras dan spons (Pratiwi, 2006).

Crustacea adalah hewan yang termasuk arthropoda (hewan beruas/berbuku-buku). Kebanyakan crustasea habitatnya di air dan melakukan respirasi melalui insang. Kulit terluar terbuat dari kitin yang keras dan berlendir serta memiliki pasangan antena. Pelengkap biasanya bercabang. Kepala terbentuk sebagai penyatuan ruas-ruas yang kadang bergabung dengan dada membentuk sefalotoraks (cephalus: kepala, toraks: dada). Beberapa udang antara lain udang air tawar *Cambarus sp*, kepiting (lobster) *Panulirus sp*, dan

udang karang atau lobster air tawar (Syafurudin, 2016).



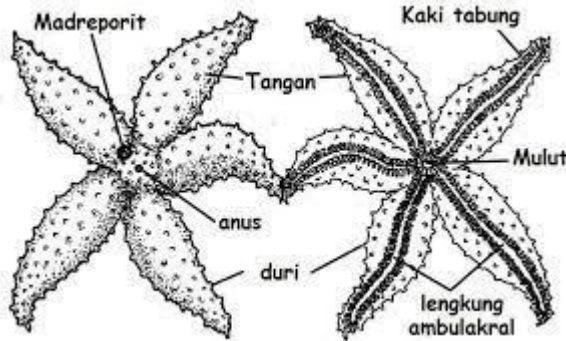
Gambar 7.2. Morfologi Crustacea
(Sumber: google image)

Kajian Syafrudin (2016) tentang identifikasi spesies udang (Crustaceae) di Cekungan Kahayan (DAS), Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah menemukan dua spesies udang yaitu udang *Litopenaeus vannamei* dan *Macrobrachium rosenbergii*.

3. Echinodermata

Hewan dalam kelompok ini biasanya memiliki kulit yang berduri. Duri-duri tubuh tersedia dalam banyak variasi, ada yang tajam, kasar, atau tonjolan. Adapun spesies yang termasuk dalam golongan hewan berkulit duri antara lain bintang laut (*Linckia laevigata*), bulu babi (*Diadema setosum*), teripang (*Holothuria nobilis*), krinoid (*Lamprometra sp*),

bintang rapuh (*Ophiothrix fragilis*), Mahkota Seribu atau Mahkota Duri (*Acanthaster planci*).



Gambar 7.3. morfologi Bintang Laut
(Sumber: Google image)

Beberapa kelas dari filum echinodermata/hewan berkulit duri ini antara lain: Bintang Laut (Asteroidea), Bulu Babi (Echinoidea), Teripang/timun laut (Holothuroidea), Lili Laut (Crinoidea) dan Bintang Ular (Ophiuroidea) (Indrawan, 2019).

Spesies echinodermata pemakan bangkai berperan dalam penguraian sisa-sisa bahan organik yang tidak dimanfaatkan oleh spesies lainnya. Diidentifikasi secara ekologis sebagai organisme, Holothuroidea dan Echinoidea berperan sebagai pendaur ulang nutrisi. Echinodermata juga peka terhadap perubahan sifat air dan dapat dijadikan sebagai bioindikator kondisi ekologi perairan (Indrawan, 2019).

Tubuh echinodermata tidak beruas-ruas, sedangkan larva simetris bilateral dan menjadi simetris radial saat dewasa. Sistem pernafasan bervariasi, ada yang menggunakan kaki tabung, insang kecil dan pohon pernafasan. Selain itu, hewan berkulit duri ini tersedia dalam berbagai ukuran, bentuk, tekstur, dan warna, termasuk berbentuk bintang, bulat, datar, lonjong, dan berbentuk bunga. Tubuh terdiri dari bagian mulut dan perut.

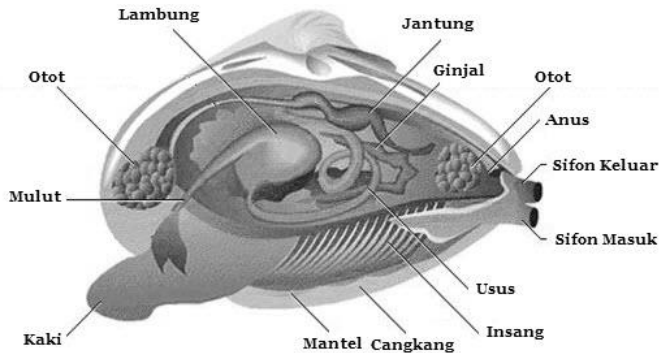
Echinodermata dicirikan oleh *hydrovasculare*, jaringan saluran hidrolis yang bercabang menjadi ekstensi yang disebut kaki tabung, digunakan sebagai alat gerak, makan, dan pertukaran gas. Hewan ini memiliki kemampuan untuk memotong dan meregenerasi bagian tubuh yang hilang, termutilasi atau rusak. Pada permukaan tubuh echinodermata umumnya memiliki duri, tumpul pendek atau runcing memanjang. Duri tersusun atas lembaran kalsium karbonat (CaCO_3) yang disebut kulit biji (Lariman, 2010).

Menurut penelitian Ningsih (2019), jumlah spesies hewan berkulit duri yang terdapat di Pulau Dua Aceh Selatan terdiri dari 8 marga, dimana 13 spesies adalah *Diadema setosum*, *Linckia laevigata*, *Holothuria edulis*, *Holothuria atra*, *Echinothrix calamaris*, *Macrophiotix belii*, *Acanthaster planci*, *Holothuria vacabunda*, *Metacrinus rotundus*, *Ptilometra australis*, *Echinothrix diadema*, *Ophiothrix affinis* dan *Holopus sp.*

Ciri-ciri hewan berkulit duri ini dibedakan berdasarkan bentuk tubuh, simetri tubuh, rongga tubuh, dan reproduksi/perkembangbiakan.

4. Moluska

Moluska merupakan hewan lunak, ada yang memiliki cangkang dan ada yang tidak bercangkang. Cangkang melindungi tubuh lunaknya. Moluska dapat hidup di semua jenis habitat, termasuk tanah, air tawar, air payau, dan air asin. Sebagian besar moluska hidup di air asin/laut. Di air tawar hanya diwakili oleh kelas pelecypoda dan gastropoda, sedangkan moluska terestrial sebagian besar diwakili oleh kelas gastropoda. Gastropoda kebanyakan ditemukan di zona intertidal, biasanya bersembunyi di balik bebatuan, menempel pada tumbuhan air atau tertanam di pasir. Pada umumnya pantai lebih banyak terdapat kerang (Pelecypoda) dibandingkan siput (Pratiwi, 2006).



Gambar 7.4. Morfologi Molusca
(sumber: google image)

Temuan pada keong Kuwuk (Cypraeidae) dari pola diversifikasi intra dan antar kawasan menegaskan bahwa Indo-Pasifik Barat merupakan pusat keanekaragaman. Kajian pola biogeografi laut

pada keong kuwuk dilakukan oleh Meyer (2003). Banyaknya jumlah spesies dan individu serta keragaman habitat memudahkan pengumpulan spesimen. Faktor-faktor ini menjadikan Cyprinidae target potensial untuk studi biogeografi. Studi tentang keluarga ini terus menentukan keterkaitan interspesifik, spesiasi, evolusi dan proses kepunahan (Meyer, 2004). Kombinasi peristiwa alam menghasilkan keanekaragaman hayati yang relatif tinggi (Arbi, 2013)



Gambar 7.6. Keanekaragaman spesies Famili Cypraeida

Indonesia yang menegaskan bahwa Indonesia sebagai pusat keanekaragaman biota laut akibat dari spesiasi dan berbagai proses alam di dalamnya (Arbi, 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, M. 2011. Biogeografi Biota Karang: Pendekatan Teoritis Asal Usul, Sebaran, Spesiasi dan Keanekaragaman Karang Dunia. *Oseana*. Volume XXXVI. 4 :31-43. http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/os_xxxvi_4_2011-4.pdf
- Arbi, U.Y. 2013. Molllusca sebagai Obyek Penelitian yang Potensial untuk Studi Biogeografi. *Oseana*. Volume XXXVIII, Nomor 3, Tahun 2013: 51-60.
- Indrawan, G.S. 2019. *Skripsi*. Aspek Biologi (Morfologi, Anatomi, Reproduksi, Habitat) Biota Laut Echinodermata. Universitas Udayana. Bali.
- Lariman. 2010. Keanekaragaman Filum Echinodermata di Pulau segajah Kota Bontang Kalimantan. *Bioprospek*. Vol 07 No.01. FMIPA Universitas Mulawarman.
- Meyer, C.P. 2003. Molecular systematic of cowries (Gastropoda: Cypraeidae) and diversification patterns in the tropics. *Biological Journal of the Linnaean Sociesty*. 79: 401- 459.
- Meyer, C.P. 2004. Toward comprehensiveness: Increased moiecular sampling within Cypraeidae and its Phylogenetic implications. *Malacologia*. 46(1): 127-156.
- Muhammad Zid dan Ode Sofyan Hardi. Editor : Bunga Sari Fatmawati. 2018. Biogeografi. Jakarta : Bumi Aksara. [http://sipeg.unj.ac.id/repository/upload/buku/BIOGEOGRAFI\(1\).pdf](http://sipeg.unj.ac.id/repository/upload/buku/BIOGEOGRAFI(1).pdf)
- Posadas, P, J.V.Crisci, L. Katinas. 2006. Historical biogeography: A review of its basic concept and critical issues. *Journal of Arid Environment*. 66 : 389-403.
- Pratiwi, R. 2006. *Oseana*, Volume XXXI, Nomor 1 : 27 - 38 [Cirripedia%20dan%20biogeografi%20biota%20laut/biota%20laut.pdf](http://sipeg.unj.ac.id/repository/upload/buku/BIOGEOGRAFI(1).pdf)

- Ningsih, R.Z. 2019. *Skripsi*. Karakteristik Filum Echinodermata Di Pulau Dua Kabupaten Aceh Selatan sebagai Media Pembelajaran Materi Kingdom Animalia. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam. Banda Aceh.
- Raystika. 2013. Cirripedia. <https://graceliaraystika.wordpress.com/2013/09/10/cirripedia/>
- Romimohtarto, K. dan Juwana, S. 1999. Biologi Laut. Ilmu Pengetahuan Tentang Biota Laut. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi-LIPI, Jakarta: 527 hal.
- Satria, F, Setyadi, B, dan Utama, A. 2012. Komposisi Jenis dan Penyebaran Ikan Laut-Dalam di Perairan Kepulauan Sangihe dan Talaud Sulawesi Utara. *Bawal*. Vol. 4 (3) Desember 2012: 149-159.
- Syafrudin. 2016. Skripsi. Identifikasi Jenis Udang (Crustacea) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kahayan Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah. Institut Agama Islam Negeri Palangkaraya.
- Tjakrawidjaya, A. H. 1999. Pengelolaan Koleksi Ikan. Dalam: Buku Pegangan Pengelolaan Koleksi Spesimen Zoologi. (Suhardjono, Y.R. ED). Balai Penelitian dan Pengembangan Zoologi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta: 218 hal.
- Veron, J.E.N. 1995. Coral in space and time. Comstock. Cornel. *Ithica*. New York. pp 321.

BAB 8

MANGROVE DAN EKOSISTEM MANGROVE

Oleh Putri Nurhanida Rizky

8.1 Pendahuluan

Mangrove adalah pohon atau semak yang hidup di zona intertidal ditemukan di sepanjang garis pantai di wilayah tropis dan subtropis. Sifat halofitik atau kemampuan hidup pada lingkungan bergaram pada tumbuhan mangrove dapat terjadi karena tumbuhan ini berhasil mengembangkan adaptasi khusus secara molekular, anatomi, morfologi, dan fisiologi. Tumbuhan ini hadir dalam beberapa bentuk fungsional yakni berupa pohon, asemak, apalma, dan pakupakuan. Tumbuhan mangrove dibagi menjadi mangrove sejati (*true mangrove*), yaitu jenis tumbuhan yang benar-benar tumbuh di habitat intertidal bergaram, dan mangrove asosiasi atau tumbuhan pantai (*coastal plant*).

Indonesia sangatlah beruntung karena memiliki tumbuhan mangrove dengan keanekaragaman yang tinggi dan ukuran luasan terbesar di dunia. Kondisi ini dimungkinkan karena beberapa faktor antara lain yang utama yaitu terkait dengan posisi geografis, sejarah geologi dan tipologi kepulauan, serta ciri oseanografi khas yang dimiliki Indonesia. Berada dekat katulistiwa sehingga mendapat cukup penyinaran matahari sepanjang tahun dengan temperatur udara rata-rata sekitar 27° C, diapit oleh dua benua (Asia dan

Australia) dan dua samudera (Hindia dan Pasifik), beriklim muson tropis dengan dengan dua musim yaitu hujan (basah) dan kemarau (kering). Sejarah geologi yang berbeda-beda dan tipologi kepulauan memberi kontribusi terhadap keragaman habitat di wilayah intertidal. Massa air Samudera Hindia dari bagian Barat, massa air Samudera Pasifik dari bagian Timur, dan massa air Laut China Selatan dari bagian Utara, sirkulasi dan pencampurannya mempengaruhi kualitas air laut dan kehadiran benih mangrove dari berbagai tempat. Secara alamiah, seluruh daerah intertidal wilayah perairan pantai Indonesia dapat ditumbuhi tumbuhan mangrove sepanjang kondisi lokal mendukung pertumbuhannya.

Sebagai tumbuhan maupun ekosistem, mangrove memiliki nilai manfaat penting. Sejak lama masyarakat pesisir telah memanfaatkan bagian tertentu tumbuhan mangrove untuk keperluan obat-obatan, makanan, bahan bangunan, pengawet dan pewarna jaring ikan yang biasa digunakan nelayan, dan lain – lain. Eksosistem mangrove memberi kontribusi terhadap kesuburan perairan sekitar melalui suplai hara hasil perombakan materi organik terutama dalam bentuk nitrit dan nitrat. Selain sebagai habitat bermacam-macam organisme bentik terutama moluska dan gastropoda, ekosistem mangrove dijadikan sebagai bagian dari siklus hidup jenis ikan dan organisme laut tertentu.

Secara fisik, tegakan pohon mangrove yang padat menjadi perisai wilayah pantai dari aksi gelombang, intrusi air laut, dan abrasi. Kita mungkin masih ingat bagaimana kehadiran mangrove di wilayah pantai dapat meredam energi rambatan gelombang tsunami pada tahun 2004 di Aceh dan juga wilayah lain di Sri Lanka dan Thailand sehingga pada beberapa lokasi seperti di Semeleuh Aceh dan Thailand bagian Selatan banyak masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir terselamatkan.

Deforestasi ekosistem hutan daratan yang telah dan tengah berlangsung begitu cepat di sejumlah wilayah menyebabkan hilangnya habitat alami fauna daratan. Hewan-hewan tersebut teridentifikasi menjadikan hutan mangrove sebagai habitat baru/alternatif mereka. Pada beberapa tempat, nampak bahwa proses geomorfologi di wilayah pantai tidak hanya menghasilkan daerah-daerah yang dapat ditumbuhi mangrove tetapi juga jenis lahan pantai seperti gisik yang kemudian menjadi habitat alami hewan liar atau tempat untuk perkembangbiakan jenis hewan tertentu seperti burung maleo, penyu, dll. Belakangan, keberadaan ekosistem mangrove banyak dihubungkan dengan isu perubahan iklim dimana ekosistem ini ternyata memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan ekosistem daratan.

Saat ini, kondisi ekosistem mangrove di Indonesia kian memprihatinkan akibat laju deforestasi dan degradasi lahan mangrove yang begitu cepat. Indonesia telah kehilangan sebagian besar mangrovenya sehingga perlu upaya serius untuk melindungi kawasan mangrove yang tersisa dan merehabilitasi kawasan lainnya yang telah mengalami degradasi. Kondisi fisik lahan mangrove terutama di daerah-daerah yang banyak menerima masukan sedimen sangat dinamis sehingga komunitas mangrove jarang mencapai pertumbuhan optimal dan cepat berubah. Sekalipun kondisi suatu habitat mangrove relatif stabil, gangguan pada fisik lahan akibat penebangan atau faktor lainnya akan menyebabkan kematian vegetasi mangrove dan perubahan pada fisik lahan. Bila suatu habitat mangrove telah mengalami perubahan maka proses rehabilitasi menjadi sangat sulit dan mahal untuk dilakukan. Kemungkinan terburuk selanjutnya adalah kita akan kehilangan suatu ekosistem mangrove dengan segala manfaatnya.

8.2 Definisi Mangrove

Kata 'mangrove' pertama kali digunakan untuk mendefinisikan tumbuhan dan komunitas, serta untuk menggambarkan komponen tumbuhan penyusun komunitas hutan rapat di daerah intertidal perairan pantai tropis (*tropical intertidal closed-forest community*). Untuk menghindari terjadinya kebingungan secara kontekstual, sejumlah penulis mengkualifikasikan kata mangrove dalam bentuk berbeda, seperti tumbuhan mangrove (*mangrove plant*) atau komunitas mangrove (*mangrove community*). Sementara itu, 'mangal', sebuah ungkapan yang diperkenalkan oleh Macnae (1968), digunakan ketika menjelaskan sesuatu. Di Indonesia kata "bakau" pernah digunakan secara luas untuk menggambarkan mangrove sebagai tumbuhan, komunitas maupun ekosistem. Bakau sebenarnya sebuah kata untuk mendeskripsikan spesies mangrove dari marga *Rhizophora*. Saat ini, penggunaan kata mangrove telah lazim digunakan di Indonesia.

8.3 Asal Mangrove

Masih terdapat perbedaan dan ketidakpastian tentang asal mula mangrove. Komunitas mangrove dipercaya berasal dari wilayah di antara Australia dan Papua Nugini (New Guinea) sebagaimana pendapat Specht (1981). Pendapat Specht ini bertolak belakang dengan pandangan bahwa mangrove berasal dari wilayah Malaya (Malayan Region). Sejumlah teori lain (Hutchings dan Saenger, 1987), menerangkan bahwa komunitas mangrove berkembang selang periode Cretaceous di dekat tepian Daratan Australia dan Papua Nugini, kemudian komunitas mangrove tersebut menyebar ke Asia Tenggara dan Wilayah India hingga Atlantik melalui Cekungan Laut Tengah (Mediterranean Basin).

Interpretasi berbeda dibuat oleh Spalding et al. (1997) dalam menjelaskan tempat asal mangrove. Mereka mempertimbangkan tiga tempat asal mangrove yang paling mungkin beserta jalur penyebarannya. Ketiga tempat asal mangrove tersebut adalah sebagai berikut:

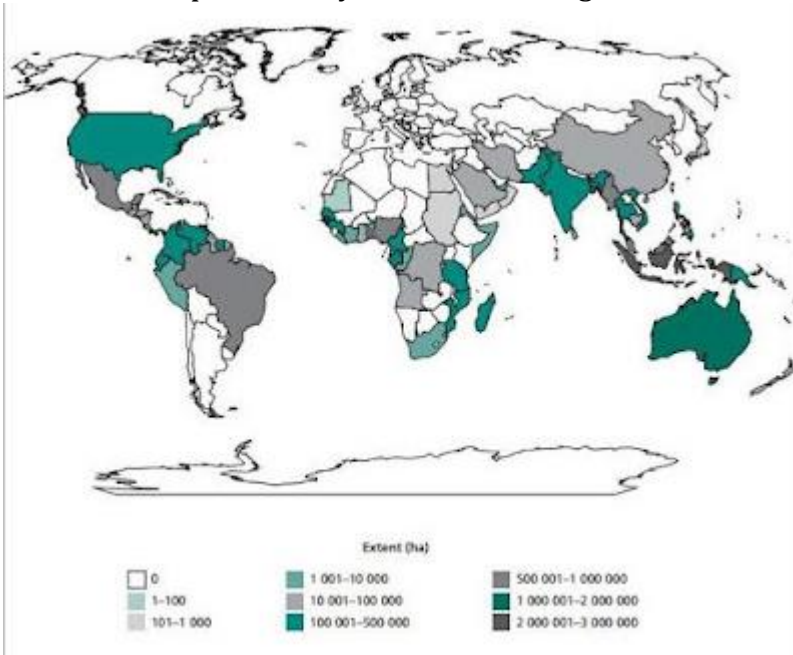
1. Laut Tethys Bagian Timur (Eastern Tethys Sea); dengan jalur penyebaran memotong Pasifik, dan bergerak menuju sebelah Timur Atlantik melalui Celah Panama.
2. Laut Tethys Bagian Timur; dengan penyebaran ke arah Utara dan Barat memasuki Atlantik, dan selanjutnya menuju ke sebelah Timur Pasifik melalui Celah Panama.
3. Laut Tethys Bagian Barat; dengan arah penyebaran ke Selatan melalui Afrika sebelah Selatan menuju Laut Tethys Bagian Timur.

Kenyataannya bahwa tak satupun teori maupun interpretasi yang telah diungkapkan sebelumnya dapat diterima secara universal. Satu anggapan yang tidak bisa dikesampingkan disampaikan oleh Duke (1992, 1995), bahwa asal mangrove tidak terbatas pada suatu tempat, tetapi mungkin vegetasi tersebut berasal dari sejumlah tempat berbeda di muka bumi ini. Pembuktian ilmiah tentang asal mula mangrove, apakah berasal dari suatu tempat tertentu ataukah berasal dari beberapa tempat di muka bumi perlu dilakukan.

8.4 Distribusi Mangrove

Mangrove terutama tumbuh di daerah antara garis lintang 30° sebelah Utara dan Selatan bumi ini, tetapi vegetasi tersebut tidak ditemukan di kebanyakan pulau di Samudera Pasifik. Di belahan bumi sebelah Utara, distribusi mangrove terbatas hingga Bermuda (32°20' LU) dan Jepang (31°22' LU). Di sebelah Selatan, mangrove berdistribusi hingga Selatan

Australia (38°45' LS) dan Selandia Baru (38°03' LS). Pada Gambar 1 ditampilkan wilayah sebaran mangrove di dunia.



Gambar 8.1. Distribusi mangrove di dunia (Nasa, 2010)

Setiap spesies mangrove memiliki batas toleransi fisiologis tertentu terhadap temperatur rendah, sebagaimana diindikasikan oleh batas distribusi vegetasi tersebut ke arah kutub. Oleh karena itu, penyebaran global mangrove sangat dibatasi oleh faktor temperatur rendah. Distribusi mangrove yang luas hanya mungkin terdapat di daerah dengan temperatur udara tidak kurang dari 20°C saat musim terdingin, serta perbedaan temperatur udara musiman tidak melebihi 10°C. Seorang peneliti, Blasko (1984), melakukan evaluasi tentang hubungan antara distribusi mangrove dan faktor iklim berupa curah hujan dan temperatur. Ia menemukan bahwa

daerah dimana mangrove ditemukan dapat diklasifikasikan ke dalam empat kelompok utama, yakni:

1. Daerah panas; dimana sekitar 90% mangrove yang ada di dunia dapat ditemukan, meliputi daerah selatan Meksiko hingga Kolombia, Karibia, Brasil sebelah utara, Asia Tenggara hingga Bagian Utara Queensland di Australia.
2. Daerah Sub-humid; dimana mangrove dapat ditemukan secara sporadik, termasuk daerah Afrika Timur, Bagian Selatan Queensland, Meksiko, dan Venezuela.
3. Daerah Semi-arid; dimana mangrove sangat jarang, umumnya hadir di dekat muara sungai seperti di Delta Indus (Pakistan), Gujarat (India), Australia Bagian Barat dan Northern Territory.
4. Daerah Arid; dimana mangrove secara praktis tidak diketahui kehadirannya, kecuali disana terdapat hujan musim dingin, seperti yang terjadi di sepanjang Pantai Laut Merah meliputi Etiopia dan Mesir, Gurun Persia dan Gurun California.

Menurut Tomlinson (1986) terdapat dua kelompok utama pusat keanekaragaman mangrove, yakni kelompok bagian Barat dan Timur. Kelompok bagian Barat, juga didefinisikan sebagai Pasifik Timur Atlantik (*Atlantic East Pacific*) atau disingkat AEP, meliputi mangrove di Afrika dan pantai Amerika bagian Atlantik, Karibia, Gurun Meksiko, dan di Amerika khususnya Pantai Barat Pasifik. Sementara itu, kelompok bagian Timur, juga didefinisikan sebagai Barat Indo-Pasifik (*IndoPacific West*) atau disingkat IWP, termasuk mangrove di Bagian Indo-Pasifik dan terbatas hingga ke Timur dan Barat Ujung Afrika. Berdasarkan pencatatan kehadiran dan ketidakhadiran jenis mangrove, Duke (1992) membagi distribusi mangrove di dunia ke dalam enam wilayah biogeografik, yakni:

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

8.4 Distribusi Mangrove di Indonesia

Telah diutarakan sebelumnya bahwa Indonesia merupakan tempat yang ideal bagi pertumbuhan mangrove karena faktor iklim, geologi dan oseanografi. Oleh karena itu, sepanjang tersedia habitat yang cocok bagi tumbuhan mangrove di daerah intertidal maka tumbuhan ini akan tumbuh dan membentuk sebuah ekosistem. Luasan mangrove di suatu tempat ditentukan oleh besaran luasan habitat tumbuh yang tersedia. Di pesisir pantai Indonesia tumbuhan ini ditemukan tumbuh membentuk hutan pantai yang luas di wilayah-wilayah pantai dengan formasi berupa teluk (contoh, Teluk Tomini di Pulau Sulawesi), delta-delta di muara sungai besar (contoh, Delta Mahakam di wilayah pantai Timur Pulau Kalimantan), pantai-pantai yang landai (contoh, pesisir pantai Timur Pulau Sumatera), dan laguna (contoh, Laguna Segara Anakan di Cilacap). Di wilayah pesisir pantai lainnya baik di daratan pulau besar maupun gugusan pulau-pulau kecil, tumbuhan ini dapat ditemukan secara sporadis dalam komunitas-komunitas yang relatif kecil. Sebagai gambaran umum, informasi tentang luasan ekosistem mangrove yang relatif besar di wilayah perairan Indonesia dapat dilihat pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1. Contoh ekosistem mangrove dengan luasan yang relatif besar di wilayah teluk, delta, pantai, dan laguna.

No	Nama Lokasi	Luasan Mangrove (ha)	Sumber
1.	Teluk Bintuni	250.000	Laksono
2.	Teluk Tomini, Provinsi Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah	16.105,40	Damanik dan Djamaluddin (2002)
3.	Delta Mahakam, Kab.Kutai Kartanegara Kalimantan Timur	29.600	Bappeda Kutai Kartanegara (2010)
4.	Taman Nasional Sembilan, Kab.Musi, Sumatera Selatan	77.500 (Terluas di Wilayah Indonesia Bagian Barat)	Pusat konservasi alam direktorat jenderal perlindungan hutan dan konservasi alam departemen kehutanan Republik Indonesia (2006).
5.	Laguna Cilacap, Jawa Tengah	14.502	Pangestu, <i>et al</i> (2012).

Pada tahun 2010 dilaporkan bahwa luasan kawasan mangrove di Indonesia mencakup sekitar 60% (atau 3,06 juta ha) dari total luasan 5,1 juta ha mangrove di wilayah Asia Tenggara. Luasan ini mendekati hasil estimasi yang dilakukan oleh Pusat Survey Sumber Daya Alam Laut (PSSDAL),

Bakosurtanal sebesar 3,244 juta ha berdasarkan data citra tahun 2006 – 2009.

8.5 Karakteristik Habitat

Jika mangrove bisa tumbuh di sembarang tempat yang masih dipengaruhi pasang-surut maka kita akan menemukan tumbuhan ini dan komunitasnya hadir di semua tempat tersebut. Kenyataannya tidak demikian, dimana mangrove hanya dapat tumbuh di tempat-tempat tertentu saja. Sering kita melihat di pantai dimana satu atau kelompok individu mangrove mulai hidup dan berkecambah di antara bebatuan atau pantai berpasir, kemudian hilang pada beberapa waktu kemudian. Di tempat lain seperti di muara sungai, endapan lumpur yang permukaannya terus naik kemudian ditumbuhi individu mangrove yang terus berkembang membentuk suatu komunitas. Adapula suatu kondisi dimana mangrove yang telah membentuk suatu komunitas kemudian dalam suatu kurun waktu mengalami kematian. Fakta-fakta tersebut menjelaskan bahwa ada kondisi-kondisi minimal yang dibutuhkan tumbuhan mangrove untuk memulai siklus hidupnya sebagai individu dan kemudian membentuk suatu komunitas, atau kondisi-kondisi minimal tersebut hilang akibat faktor tertentu sehingga menyebabkan kematian suatu komunitas mangrove.

8.6 Faktor Yang Mempengaruhi Eksistensi Mangrove

Sebagai daerah peralihan antara laut dan daratan, hutan mangrove mempunyai gradien sifat lingkungan yang sangat ekstrim. Pasangsurut air laut menyebabkan terjadinya perubahan beberapa faktor lingkungan yang besar, terutama suhu dan salinitas. Oleh karena itu, hanya beberapa jenis tumbuhan yang memiliki daya toleransi yang tinggi terhadap lingkungan yang ekstrim tersebut saja yang mampu bertahan

hidup dan berkembang didalamnya. Kondisi yang terjadi tersebut juga menyebabkan rendahnya keanekaragaman jenis, namun disisi lain kepadatan populasi masing-masing jenis umumnya tinggi.

Walaupun habitat hutan mangrove bersifat khusus, namun masing-masing jenis tumbuhan memiliki kisaran ekologi tersendiri, sehingga kondisi ini menyebabkan terbentuknya berbagai macam komunitas dan bahkan permintakatan atau zonasi, sehingga kompetisi jenis berbeda dari satu tempat ke tempat lainnya. Munculnya fenomena permintakatan yang terjadi pada hutan mangrove tersebut sangat berkaitan erat dengan beberapa faktor, antara lain adalah tipe tanah, keterbukaan areal mangrove dari hempasan ombak, salinitas dan pengaruh pasangsurut.

Pengaruh tipe tanah atau substrat tersebut, sangat jelas terlihat pada jenis *Rhizophora*, misalnya pada tanah lumpur yang dalam dan lembek akan tumbuh dan didominasi oleh *Rhizophora mucronata* yang kadang-kadang tumbuh berdampingan dengan *Avicennia marina*, kemudian untuk *Rhizophora stylosa* lebih menyukai pada pantai yang memiliki tanah pasir atau pecahan terumbu karang, dan biasanya berasosiasi dengan jenis *Sonnerafia alba*. Sedangkan untuk jenis *Rhizophora apiculata* hidup pada daerah transisi.

Selain tipe tanah, kondisi kadar garam atau salinitas pada substrat juga mempunyai pengaruh terhadap sebara. Berbagai macam jenis tumbuhan mangrove mampu bertahan hidup pada salinitas tinggi, namun jenis *Avicennia* merupakan jenis yang mampu hidup bertoleransi terhadap kisaran salinitas yang sangat besar. Jenis *Bruguiera sp* biasanya tumbuh pada salinitas maksimum sekitar 25‰, sedangkan jenis *Ceriops tagal*, *Rhizophora mucronata* dan *Rhizophora stylosa* mampu hidup pada salinitas yang relatif tinggi.

Disamping faktor-faktor tersebut di atas, pasang-surut air laut juga mempunyai pengaruh terhadap jenis tumbuhan mangrove yang tumbuh pada suatu daerah. Terdapat lima kelas genangan yang merupakan korelasi antara tingginya genangan air pasang dan lama genangan, dengan jenis tumbuhan mangrove. Adapun klasifikasi kelas genangan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kawasan pantai digenangi oleh setiap air pasang (*all high tides*). Di tempat seperti ini jarang jenis mangrove yang mampu hidup, kecuali *Rhizophora mucronata*.
2. Kawasan pantai digenangi oleh air pasang agak besar (*medium high tide*). Di tempat seperti ini yang muncul adalah jenis *Avicennia sp.* dan *Sonneratia sp.*
3. Kawasan pantai digenangi oleh air pasang rata-rata (*normal high tide*). Tempat ini mencakup sebagian besar hutan mangrove, yang ditumbuhi jenis *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Ceriops tagal* dan *Bruguiera parviflora*.
4. Kawasan pantai digenangi oleh air pasang perbani (*spring tides*). Di daerah ini jenis tumbuh jenis *Bruguiera sp.*, dan umumnya adalah *Bruguiera cylindrica* membentuk tegakan murni, namun kadang-kadang pada areal yang baik drainasinya ditumbuhi oleh *Bruguiera parviflora* dan *Bruguiera sexangula*.
5. Kawasan pantai yang kadang-kadang digenangi oleh pasang tertinggi (*excep tional or equinoctial tides*). Di tempat ini *Bruguiera gymnorrhiza* berkembang Dengan baik, dan kadang berasosiasi dengan paku-pakuan *Acrostichum sp.*

8.7 Peran Ekosistem Mangrove dan Fungsinya

Ekosistem hutan mangrove menggambarkan adanya hubungan yang erat antara sekumpulan vegetasi dengan geomorfologi, yang ditetapkan sebagai habitat. Fenomena yang muncul di kawasan pantai adalah terjadinya proses pengendapan sedimen dan kolonisasi oleh tumbuhan mangrove dari jenis *Rhizophora stylosa* yang dikenal sebagai jenis pioner, sehingga memungkinkan bertambahnya luas areal hutan mangrove. Kondisi sebaliknya juga dapat terjadi apabila kawasan pantai tersebut tidak terlindung, hal ini disebabkan oleh adanya proses erosi pantai sebagai akibat gelombang laut. Terkait dengan fenomena tersebut, percival & womersley (1975) mengungkapkan bahwa ekosistem hutan mangrove merupakan refleksi dinamik antara variasi iklim dari proses-proses yang terjadi di kawasan pesisir dan kombinasi interaksi biologis, antara lain seperti flora, fauna dan elemen fisiknya termasuk intervensi aktivitas manusia.

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem peralihan antara darat dan laut yang dikenal memiliki peran dan fungsi sangat besar. Secara ekologis mangrove memiliki fungsi yang sangat penting dalam memainkan peranan sebagai mata rantai makanan di suatu perairan, yang dapat menumpang kehidupan berbagai jenis ikan, udang dan moluska. Perlu diketahui bahwa hutan mangrove tidak hanya melengkapi pangan bagi biota aquatik saja, akan tetapi juga dapat menciptakan suasana iklim yang kondusif bagi kehidupan biota aquatik, serta memiliki kontribusi terhadap keseimbangan siklus biologi di suatu perairan. Kekhasan tipe perakaran beberapa jenis tumbuhan mangrove seperti *Rhizophora sp.*, *Avicennia sp.* Dan *Sonneratia sp.* dan kondisi lantai hutan, kubangan serta alur-alur yang saling berhubungan merupakan perlindungan bagi larva berbagai biota laut. Kondisi seperti ini juga sangat penting dalam menyediakan tempat untuk bertelur, pemijahan dan

pembesarkan serta tempat mencari makan berbagai macam ikan dan udang kecil, karena suplai makanannya tersedia dan terlindung dari ikan pemangsa.

Ekosistem mangrove juga berperan sebagai habitat bagi jenis-jenis ikan, kepiting dan kerang-kerangan yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Dilihat dari aspek fisik, hutan mangrove mempunyai peranan sebagai pelindung kawasan pesisir dari hempasan angin, arus dan ombak dari laut, serta berperan juga sebagai benteng dari pengaruh banjir dari daratan. Tipe perakaran beberapa jenis tumbuhan mangrove (pneumatophore) tersebut juga mampu mengendapkan lumpur, sehingga memungkinkan terjadinya perluasan areal hutan mangrove. Disamping itu, perakaran jenis tumbuhan mangrove juga mampu berperan perangkap sedimen dan sekaligus mengendapkan sedimen, yang berarti pula dapat melindungi ekosistem padang lamun dan terumbu karang dari bahaya pelumpuran.

Terciptanya keutuhan dan kelestarian ketiga ekosistem dari bahaya kerusakan tersebut, dapat menciptakan suatu ekosistem yang sangat luas dan kompleks serta dapat memelihara kesuburan, sehingga pada akhirnya dapat menciptakan dan memberikan kesuburan bagi perairan kawasan pantai dan sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Kutai Kartanegara. 2010. Rencana rehabilitasi dan konservasi mangrove di Delta Mahakam Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Tenggarong: *Bappeda Kutai Kartanegara*.
- Blasko, F. 1984. Taxonomic considerations of the mangrove species *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*. 81 – 90.
- Damanik, R., and Djamaluddin, R. 2012. Atlas mangrove Teluk Tomini. Sustainable Coastal Livelihoods and Management Program CIDA, IUCN, Lestari Canada.,
- Duke, N.C. 1995. Genetic diversity, distributional patterns and rafting continents more thoughts on the evolution of mangroves *Hydrobiology*, 295: 161 – 181.
- Hutchings, P. and Saenger, P. 1987. Ecology of Mangrove. *University of Queensland Press, Australia*: 388.
- Macnae, W. 1968. A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West Pacific region. *Advane in Marine Biology* 6(73): 270.
- Nasa. [2020 'Mapping mangrove by satellite.
- Pangestu, T.P., Nurani, T.W., and Wiyono, E.S. 2012. Evaluasi luasan kawasan mangrove untuk mendukung perikanan udang di Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah *Marine Fisheries* 3(1): 35 – 43.
- Pusat Konservasi Alam Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam Departemen Kehutanan Republik Indonesia. 2006. 50 Taman Nasional Indonesia. Bogor.
- Spalding, M., Blasco, F., and Field, C. 1997. World Mangrove Atlas *The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan*. 178.
- Specht, R.L. 1970. Vegetation. *Australian Environemnt* 44 – 67.

Tomlinson, P.B. 1986. The botany of mangroves. *Cambridge University Press, New York*. 413.

BIODATA PENULIS**Annisa Bias Cahyanurani, M.P.**

Staf Dosen Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo
Program Studi Teknik Budidaya Perikanan

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Manajemen Sumberdaya Perairan di Universitas Brawijaya serta menempuh Pendidikan S2 melalui program *double degree* pada program studi Budidaya Perairan di Universitas Brawijaya dan program studi Aquaculture di National Pingtung University of Science and Technology (NPUST).

BIODATA PENULIS



Tina Fransiskha Carolyn Panjaitan, S.St.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Pengolahan Produk Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang

Penulis lahir di Jakarta tanggal 17 November 1981. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pengolahan Produk Perikanan Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang. Menyelesaikan pendidikan D4 pada Jurusan Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan dan melanjutkan S2 pada Jurusan Kimia Hayati. Penulis juga aktif sebagai editor pada jurnal airaha.

Email Penulis: tinachika@rocketmail.com

BIODATA PENULIS**Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.**

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas MIPA Universitas Negeri Surabaya

Dr. Tarzan Purnomo, M.Si., lahir di Mojokerto, Jawa Timur tanggal 5 Mei 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya sejak 1992. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Surabaya (1991), S2 Program Studi Biologi, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1998), dan Program Doktor (S3) Lingkungan Pesisir dan Lautan, Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang (2011). Mengikuti *Postdoctoral Programe* Marine Ecology di Victoria University of Wellington, New Zealand (2013). Penulis menekuni bidang Ekologi, Ekologi Perairan, Ekologi Laut, Biologi Perairan, Ilmu Lingkungan, Konservasi Sumber Daya Alam, Manajemen Ekosistem Perairan, serta Ekologi Pesisir dan Kelautan.

BIODATA PENULIS



Niken Prawesti Listyaningrum, S.Pi, MP

Dosen Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Surakarta pada tahun 1981. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tahun 2005 dan melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Brawijaya Malang. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan di Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo sejak tahun 2006. Selain aktif mengajar, penulis juga menekuni bidang menulis karya ilmiah baik secara mandiri maupun kolaborasi dengan penulis atau peneliti lainnya, baik dalam bentuk jurnal, prosiding, makalah maupun buku.

BIODATA PENULIS**Rr. Radipta Lailatussifa, S.Pi., M.Sc.**

Dosen Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Semarang, 2 April 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pengolahan Produk Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Jurusan Perikanan Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Perikanan Universitas Gadjah Mada. Saat ini penulis menekuni berbagai penelitian di bidang Teknologi Hasil Perikanan. Bidang yang penulis tekuni antara lain Pangan Fungsional, Produk Alami Hasil Perairan, Ilmu Pangan dan Bioteknologi Hasil Perikanan. Penulis juga aktif dalam mengikuti kegiatan Seminar Nasional dan Internasional.

BIODATA PENULIS



Vicky Rizky A. Katili, S.Ik., M.Si.

Dosen Program Studi Teknik Penangkapan Ikan
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong

Penulis lahir di Gorontalo tanggal 05 Maret 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Penangkapan Ikan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Kelautan Institut Pertanian Bogor (IPB) dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (SPL) Institut Pertanian Bogor. Penulis menekuni bidang Perikanan Berkelanjutan dengan peminatan riset di bidang Pengelolaan Perikanan berbasis Ekosistem (EAFM). Penulis adalah suami dari Sriyani Wahyuni Tangahu, M.Si. dan telah memiliki dua orang anak. Email korespondensi : vickykatili14@polikpsorong.ac.id.

BIODATA PENULIS**Putri Nurhanida Rizky, S.Kel., M.P., M.Sc**

Dosen Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Sidoarjo tanggal 22 Desember 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Budidaya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 dengan program Double Degree pada Program Studi Budidaya Perairan di Universitas Brawijaya, Malang dan Program Studi Aquatic Animal Health Management di National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan. Penulis menekuni keahlian di bidang Budidaya Perikanan dan Manajemen Kesehatan Ikan. Penulis juga aktif mengikuti berbagai seminar nasional hingga internasional. Penulis aktif menulis di berbagai jurnal ilmiah serta merupakan salah satu penulis buku Teknik Budidaya Air Payau, Ilmu Perikanan dan Kelautan, Avertebrata Air, Ekologi Perairan dan Administrasi bisnis