

EKOLOGI PERAIRAN

Penulis :

- Annisa Bias Cahyanurani
- Indah Puspitasari
- Iwan Henri Kusnadi
- Putri Nurhanida Rizky
- Tarzan Purnomo
- Andi Perdana Gumilang
- Wiga Alif Violando
- Suryaningsih Ndahawali
- Nur Maulida Safitri
- Suci Andiewati
- Elfa Verda Puspita
- Halvina Grasela Saiya
- Eva Pratiwi Pane

EKOLOGI PERAIRAN

**Annisa Bias Cahyanurani
Indah Puspitasari
Iwan Henri Kusnadi
Putri Nurhanida Rizky
Tarzan Purnomo
Andi Perdana Gumilang
Wiga Alif Violando
Suryaningsih Ndahawali
Nur Maulida Safitri
Suci Andiewati
Elfa Verda Puspita
Halvina Grasela Saiya
Eva Pratiwi Pane**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

EKOLOGI PERAIRAN

Penulis:

Annisa Bias Cahyanurani
Indah Puspitasari
Iwan Henri Kusnadi
Putri Nurhanida Rizky
Tarzan Purnomo
Andi Perdana Gumilang
Wiga Alif Violando
Suryaningsih Ndahawali
Nur Maulida Safitri
Suci Andiewati
Elfa Verda Puspita
Halvina Grasela Saiya
Eva Pratiwi Pane

ISBN: 978-623-198-049-6

Editor: Mila Sari, M.Si.

Penyunting: Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

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

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.globaleksekutifteknologi.co.id

email: globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan Pertama, 4 Februari 2023

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

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur Tim penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan “Buku Ekologi Perairan”. Buku ini berisi tentang kedudukan ekologi dalam biologi, konsep dan fungsi sistem ekologi serta manfaat ekologi, struktur ekosistem, daur biogeokimia, produktivitas primer dan rantai makanan pada ekosistem laut, karakteristik umum perairan laut dan pantai dan ekosistem daerah tropik, ekologi organisme laut dalam, ekologi intertidal, ekosistem benthik, ekosistem interstitial, ekosistem estuari, degradasi sumber daya hayati laut (SDHL) dan strategi pengelolaannya, analisis kadar pencemaran logam berat (PB, CU).

Kami menyadari, 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, 4 Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB 1 KEDUDUKAN EKOLOGI DALAM BIOLOGI.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Kedudukan Ekologi dalam Biologi.....	3
1.3 Ruang Lingkup Ekologi	5
1.4 Pembagian Ekologi.....	10
DAFTAR PUSTAKA.....	12
BAB 2 KONSEP DAN FUNGSI SISTEM EKOLOGI SERTA MANFAAT	
EKOLOGI.....	13
2.1 Konsep Ekologi	13
2.2 Ekologi organisme	14
2.3 Ekologi populasi.....	20
2.3.1. Kompetisi.....	22
2.3.2 Predasi atau Pemangsaan	24
2.4 Simbiosis	25
DAFTAR PUSTAKA.....	27
BAB 3 STRUKTUR EKOSISTEM	33
3.1 Pengertian dan Konsep Dasar Ekosistem.....	33
3.2 Pembagian Ekosistem	36
3.2.1 Komponen Biotik dan Abiotik	36
3.2.2 Komponen Tertutup dan Terbuka.....	36
3.3 Umpan Balik Dalam Ekosistem.....	37
3.4. Tipe-Tipe Ekosistem.....	39
3.4.1. Ekosistem Air	39
3.4.2. Ekosistem Darat.....	40
3.5 Ekosistem di Indonesia	41
DAFTAR PUSTAKA.....	46
BAB 4 DAUR BIOGEOKIMIA.....	49
4.1 Pendahuluan dan Pengertian Daur Biogeokimia	49
4.2 Daur Karbon	51
4.3 Daur Oksigen.....	56
4.3.1 Daur oksigen pada atmosfer	57
4.3.2 Daur oksigen pada biosfer.....	57
4.3.3 Daur oksigen pada litosfer.....	57
4.4 Daur Nitrogen.....	58

4.4.1 Proses Fiksasi Nitrogen.....	58
4.4.2 Proses Nitrifikasi Nitrogen	59
4.4.3 Proses Asimilasi Nitrogen.....	59
4.4.4 Proses Amonifikasi Nitrogen.....	60
4.4.5 Proses Denitrifikasi Nitrogen.....	60
4.4.6 Fungsi Daur Nitrogen	60
4.5 Daur Hidrogen.....	61
4.5.1 Siklus abiotik.....	61
4.5.2 Siklus biotik.....	62
4.6 Daur Fosfor.....	62
4.7 Daur Sulfur.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
BAB 5 PRODUKTIVITAS PRIMER DAN RANTAI MAKANAN PADA	
 EKOSISTEM LAUT.....	67
5.1 Pendahuluan.....	67
5.2 Produktivitas Primer Lautan	72
5.3 Ruang Lingkup Produktivitas Primer Lautan.....	75
5.3.1 Fotosintesis.....	76
5.3.2 Faktor-Faktor Oseanografi.....	77
5.4 Faktor Utama yang Mempengaruhi Produktivitas Primer di Laut.....	80
5.4.1 Intensitas Cahaya Matahari	80
5.4.2 Konsentrasi Nutrien	81
5.4.3 Suhu Perairan.....	81
5.5 Hubungan Faktor Oceanografi dan Produktivitas Primer.....	82
5.5.1 Upwelling	82
5.5.2 Percampuran Massa Air Secara Vertikal	83
5.5.3 Percampuran Massa Air Secara Horizontal	83
5.6. Produktivitas Fitoplankton	84
5.7 Rantai Makanan Pada Ekosistem Laut	85
5.7.2 Rantai Makanan Pada Estuari	88
5.7.3 Rantai Makanan Pada Ekosistem Mangrove.....	96
5.7.4 Rantai Makanan Pada Ekosistem Terumbu Karang.....	97
5.7.5 Rantai Makanan Pada Zona Subtidal	99
DAFTAR PUSTAKA.....	103
BAB 6 KARAKTERISTIK UMUM PERAIRAN LAUT DAN PANTAI DAN	
 EKOSISTEM DAERAH TROPIK.....	105
6.1 Pendahuluan.....	105
6.2 Karakteristik Perairan Laut Dan Pantai	106
6.2.1 Suhu Permukaan Laut (SPL).....	107
6.2.2 Salinitas	108

6.2.3 Klorofil-a	108
6.2.4 Total Suspended Solid (TSS).....	110
6.3 Karakteristik Ekosistem Daerah Tropik.....	111
DAFTAR PUSTAKA.....	114
BAB 7 EKOLOGI ORGANISME LAUT DALAM.....	117
7.1 Zonasi.....	117
7.2 Kondisi Lingkungan Hidup.....	118
7.3 Adaptasi Organisme.....	121
7.4 Bioluminesensi.....	125
7.5 Komunitas Biota Laut Dalam.....	126
7.6 Komunitas Biota Hydrothermal Vents.....	128
DAFTAR PUSTAKA.....	130
BAB 8 EKOLOGI INTERTIDAL.....	133
8.1 Pendahuluan.....	133
8.2 Karakteristik Ekologi Intertidal	135
8.2.1 Ekosistem Mangrove.....	136
8.2.2 Ekosistem Lamun.....	137
8.3 Zonasi Ekologi Intertidal.....	138
8.3.1 Zona Pasir.....	138
8.3.2 Zona Berbatu.....	139
8.3.2 Zona Berlumpur.....	140
8.4 Faktor Lingkungan	141
DAFTAR PUSTAKA.....	142
BAB 9 EKOSISTEM BENTIK.....	145
9.1 Pendahuluan.....	145
9.2 Kondisi Lingkungan	145
9.3 Ekologi Bentik.....	147
9.4 Cara Makan dan Macam Makanan	150
9.5 Komunitas larva pada ekologi bentik.....	151
9.6 Interaksi Biologis dan Adaptasi	152
9.7 Pemangsaan, Persaingan, dan Hubungan Simbiosis.....	154
9.7 Flora Bentik.....	157
9.8 Organisme Bentik sebagai Bioindikator Kesehatan Perairan.....	158
9.9 Penutup	159
DAFTAR PUSTAKA.....	161
BAB 10 EKOSISTEM INTERSTITIAL.....	163
10.1 Pendahuluan	163
10.2 Definisi Interstitial.....	166
10.3 Habitat Organisme Interstitial	167
10.4 Habitat Bervegetasi Lamun	168

10.5 Habitat Bervegetasi Mangrove.....	169
10.6 Habitat Tanpa Vegetasi (Bare Area)	170
10.7 Komposisi Kelompok Interstitial	172
10.8 Reproduksi.....	179
10.9 Adaptasi Organisme interstitial.....	180
10.10 Faktor Pembatas Organisme Interstitial	186
10.11 Distribusi Spesies Interstitial.....	191
10.12 Hubungan Trofik Meiofauna Interstitial	193
10.13 Peranan Ekologi Organisme Interstitial.....	194
DAFTAR PUSTAKA	198
BAB 11 EKOSISTEM ESTUARI.....	199
11.1 Karakteristik Estuari.....	199
11.2 Tipe-tipe Estuari.....	204
11.3 Organisme-organisme Pada Estuari.....	207
11.4 Peran Ekologis Estuaria	211
DAFTAR PUSTAKA.....	212
BAB 12 DEGRADASI SUMBER DAYA HAYATI LAUT (SDHL) DAN STRATEGI PENGELOLAANNYA.....	215
12.1 Pendahuluan.....	215
12.2 Penyebab Degradasi SDHL.....	216
12.2.1 Mangrove	217
12.2.2 Lamun.....	218
12.2.3 Terumbu Karang	220
12.2.4 Laut Dalam	221
12.3 Strategi Pengelolaan SDHL.....	224
12.3.1 Strategi di Skala Lokal dan Nasional	226
12.3.2 Strategi di Skala Regional dan Global	229
DAFTAR PUSTAKA.....	231
BAB 13 ANALISIS KADAR PENCEMARAN LOGAM BERAT (PB, CU)	235
13.1 Pengertian Logam Berat.....	235
13.2 Toksisitas Logam Berat	237
13.3 Jenis Logam Berat Timbal (Pb)	239
13.4 Karakteristik Logam Berat.....	241
13.5 Sifat dan Karakteristik Timbal (Pb)	241
13.6 Reaksi Logam Berat Dalam Lingkungan Air.....	242
13.6.1 Kadar Logam Berat Dalam Lingkungan Air.....	243
13.6.2 Sumber Logam Berat dalam Lingkungan Air	243
13.6.3 Proses Perjalanan Logam Berat dalam Lingkungan Air	244
13.6.4 Indikator Pencemaran Logam Berat dalam Lingkungan Air.....	245
13.6.5 Pengaruh Logam Berat pada Pencemaran Laut.....	246

13.7 Logam Berat Timbal (Pb) di Lingkungan Udara dan Sistem Pencemaran Udara	247
13.8 Cara Penanggulangan Logam Berat.....	248
13.8.1 Bioremoval dan Bioabsorpsi	249
13.8.2 Mekanisme Proses Bioabsorpsi.....	249
13.8.3 Fitoteknologi	250
DAFTAR PUSTAKA.....	254
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kedudukan Ekologi dalam Biologi	4
Gambar 1.2 Spektrum tingkat organisasi ekologi yang menekankan pada interaksi komponen biotik dan abiotik.....	6
Gambar 1.3 Ruang lingkup Ekologi.....	7
Gambar 1.4 Hubungan berbagai level ekologi yang saling berhubungan satu dengan lainnya.....	9
Gambar 4.1. Proses siklik dan fluxes antara reservoir utama pada bumi.....	52
Gambar 4.1. Daur karbon	54
Gambar 4.3. Daur Karbon dalam Lautan.....	56
Gambar 4.4. Daur Karbon di Daratan.....	57
Gambar 4.5. Siklus nitrogen.....	61
Gambar 5.1. Rantai makanan di pantai.....	88
Gambar 7.1 Organisme laut dalam dengan kemampuan bioluminesens.....	128
Gambar 7.2 Ekosistem di area hydrothermal vents	131
Gambar 9.1. Ekologi Intertidal.....	136
Gambar 8.2. Ekosistem Mangrove.....	138
Gambar 8.3. Ekosistem Lamun	139
Gambar 8.4. Zona Berpasir.....	140
Gambar 8.5. Zona Cadas (Berbatu)	142
Gambar 8.6. Zona Berlumpur	143
Gambar 9.1 Contoh organisme bentik. Echinodermata <i>Astropecten indicus</i> (kiri), <i>Polychaeta Chaetopterus</i> sp. (tengah), dan <i>Cnidaria Acropora digitifera</i> (kanan).....	151
Gambar 9.2 Jejaring makanan pada biota bentik.....	156
Gambar 9.3. Flora Bentik. Kelp <i>Macrocystis pyrifera</i> (kiri), rumput laut <i>Padina pavonica</i> (tengah), dan lamun <i>Halodule uninervis</i> (kanan).....	159
Gambar 10.1. Tipe protozoa siliata interstitial. (A) <i>Loxophyllum verniform</i> dengan tubuh memipih. (B) <i>Trachelotaphis remanei</i> dengan tubuh silindris. (C) <i>Remanella caudata</i> dengan tubuh dan ekor memanjang. (E) <i>Geleia gigas</i> dengan tubuh seperti benang.....	175
Gambar 10.2. Beberapa contoh cacing pipih <i>Turbellaria</i> dari pantai pasir laut interstitial di Florida. (A) Satu anggota dari famili <i>Macrostomidae</i> . (B) Satu anggota dari famili <i>Kalyptorhynchidae</i> . (C) <i>Polystylophora</i> sp. (D)	

	Proschizorhynchus sp. (E) Cicerina sp. (F) Nematoplanea sp.....	176
Gambar 10.3.	Beberapa gastrotricha interstitial. (A) Urodasys viviparus. (B) Pseudostomella roscovita. (C) Thaumastoderma heideri. (D) Diplodasys ankelli.....	176
Gambar 10.4.	Wakil-wakil Mollusca, Cnidaria, Echinodermata, dan Brachiopoda. (A) Caceum glabra (Mollusca, Gastropoda). (B) Hedylopsis brambeli (Mollusca, Gastropoda). (C) Gwynia capsula (Brachiopoda). (D) Labidoplax buskii (Echinodermata). (E) Stylocoronella riedli (Cnidaria, Scyphozoa). (F) Psammohydra nanna (Cnidaria, Hydrozoa).....	180
Gambar 12.1.	Faktor-Faktor Perumusan Pengelolaan SDHL.....	227

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Beberapa Pandangan terkait Ekologi	2
Tabel 1.2 Perbedaan Autekologi dan Sinekologi	11
Tabel 6.1 Perkiraan nilai TSS bagi kepentingan perikanan	112
Tabel 7.1 Komunitas laut dalam (Sumber: Grassle, 1990)	129
Tabel 13.1 Bentuk Persenyawaan Pb dan Kegunaannya	244
Tabel 13.2 Kadar Normal dan Maksimum Logam Berat yang Masuk ke Lingkungan Laut	245

BAB 1

KEDUDUKAN EKOLOGI DALAM BIOLOGI

Oleh Annisa Bias Cahyanurani

1.1 Pendahuluan

Ekologi berasal dari bahasa Yunani *oikos* yang artinya rumah atau tempat tinggal dan *logos* yang artinya ilmu, sehingga dapat diartikan bahwa ekologi adalah ilmu yang mempelajari tentang lingkungan beserta seluruh organisme yang ada di dalamnya serta semua proses fungsional yang berjalan yang membuat lingkungan tempat hidup tersebut layak untuk dihuni. Dalam artian lain, ekologi berarti pula ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya.

Ekologi pada dasarnya telah berkembang jauh sebelum kata ekologi pertama kali diusulkan oleh seorang ahli biologi Jerman Ernst Haeckel pada tahun 1869. Tulisan-tulisan yang ditulis oleh Aristoteles, Hippocrates dan para filsuf atau ahli filsafat Yunani pada saat itu telah banyak mengandung referensi topik ekologi, namun para filsuf Yunani saat itu belum memiliki istilah untuk kata ekologi. Ernst Haeckel kemudian mendefinisikan ekologi sebagai ilmu yang mempelajari tentang lingkungan alam termasuk hubungan organisme satu sama lain dan dengan lingkungannya. Selain itu, pada era kebangkitan biologis telah banyak pula ilmuwan yang menyumbangkan pemikirannya pada ekologi meskipun pada saat itu istilah ekologi belum dikenal. Diantaranya adalah Antoni van Leeuwenhoek yang dikenal sebagai penemu mikroskop serta

pelopor studi terkait rantai makanan maupun populasi pada tahun 1700-an, selain itu adanya ahli botani Inggris Richard Bradley yang melalui tulisannya mengemukakan pemahaman terkait produktivitas biologis, dimana studi-studi ini merupakan bagian yang penting dalam ekologi. Di bawah ini merupakan beberapa pandangan terkait ekologi yang telah dikemukakan (Tabel 1.1).

Tabel 1.1 Beberapa Pandangan terkait Ekologi

Ahli	Tahun	Pandangan terkait Ekologi
Haeckel	1860	Keseluruhan hubungan dari organisme dengan lingkungan organik dan inorganiknya
Richards	1890	Kehidupan yang selaras dnegan lingkungan termasuk spesies manusia
Elton	1920	Pengertian ekologi adalah sejarah alam yang sifatnya ilmiah “Scientific natural history”.
Odum	1960	Ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi alam termasuk spesies manusia
Andrewartha	1960	Studi ilmiah terkait distribusi dan kelimpahan organisme
Krebs	1972	Studi ilmiah terkait interaksi yang menentukan distribusi dan kelimpahan organisme
Molles	1990	Studi terkait hubungan antara makhluk hidup dan lingkungannya
Eltis	2010	Kehidupan dalam konteks
Pope Francis	2015	Hubungan antara makhluk hidup dan lingkungan tempat mereka berkembang

Sumber : Lehman *et al.* (2022)

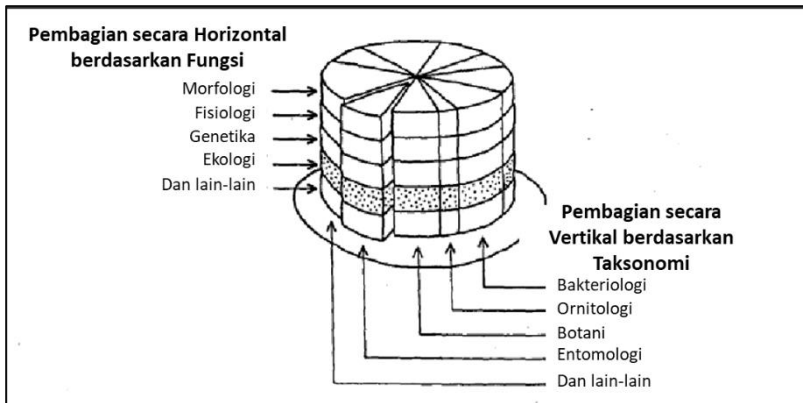
Berdasarkan beberapa pandangan di atas, konsep yang paling penting dalam ekologi adalah tentang adanya hubungan dalam kehidupan, lingkungan, proses dan perkembangan dalam kehidupan tersebut dalam satu konteks.

1.2 Kedudukan Ekologi dalam Biologi

Biologi adalah ilmu yang mempelajari tentang kehidupan. Kata biologi sendiri berasal dari bahasa Yunani, "*bios*" yang artinya hidup dan "*logos*" yang artinya ilmu atau pengetahuan. Biologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari makhluk hidup di lingkungannya. Ekologi merupakan bagian dari ilmu biologi. Menurut Odum (1971), kajian ilmu biologi digambarkan dalam bentuk "kue lapis biologi" yang dipotong dengan arah yang berbeda, yaitu potongan mendatar (horizontal) dan potongan tegak (vertikal). Pada pembagian secara horizontal, terlihat bahwa kedudukan ekologi sejajar dengan cabang ilmu biologi lainnya seperti biologi molekuler, genetika, fisiologi, morfologi dan lain-lain. Sedangkan pembagian secara vertikal didasarkan pada taksonomi, seperti mikologi, mikrobiologi, virologi, bakteriologi dan lain-lain.

Berdasarkan pembagian secara umum yang telah digambarkan melalui "kue lapis biologi", perlu ditekankan terkait batasan yang lebih spesifik antara cabang-cabang ilmu tersebut. Sebagai contoh di antara pembagian dasar pada ilmu biologi, dapat dilihat bahwa genetika dan fisiologi memiliki hubungan yang dekat dengan ekologi. Genetika dan ekologi merupakan ilmu yang saling melengkapi mengingat suatu organisme sangat dipengaruhi oleh adanya interaksi antara faktor hereditas (keturunan) dan lingkungan. Akan tetapi ranah genetika dan ekologi dapat dibedakan satu dengan yang lain. Genetika memiliki fokus utama terkait mekanisme hereditas dan selanjutnya baru melihat faktor ekologi (lingkungan) yang mempengaruhi keragaman genetik. Sebaliknya dalam ekologi fokus utamanya terkait kebiasaan,

distribusi dan kelangsungan hidup suatu individu dan kelompok dan fokus selanjutnya pada faktor keturunan yang mempengaruhi keragaman ekologi.



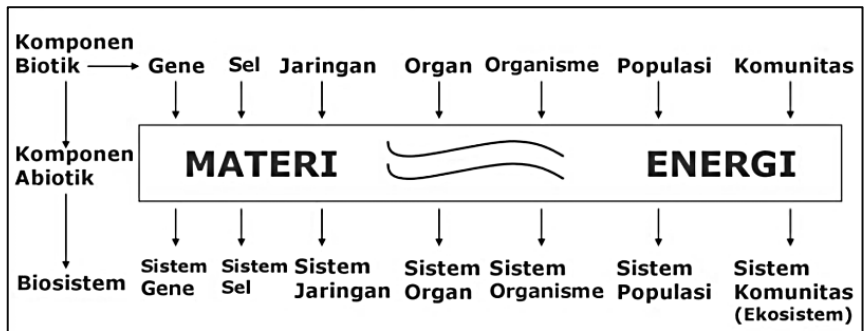
Gambar 1.1 Kedudukan Ekologi dalam Biologi
Sumber : Odum (1971)

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi maka berpengaruh pula pada perkembangan ekologi. Perkembangan ini saling mempengaruhi satu sama lain antara ekologi maupun cabang ilmu lainnya. Meskipun ekologi merupakan bagian dari ilmu biologi akan tetapi ekologi juga tidak dapat dipisahkan dari cabang ilmu lainnya seperti fisika, kimia, dan lain-lain. Ilmu – ilmu ini memiliki peranan yang penting dalam mendukung perkembangan ilmu ekologi. Semua disiplin ilmu ini telah berkontribusi pada pemahaman prinsip-prinsip ekologi yang lebih baik. Sebagai contoh data meteorologi dan klimatologi untuk lokasi geografis tertentu memungkinkan interpretasi hasil yang lebih implisit terkait keadaan lingkungan, sementara itu cabang ilmu paleontologi (geologi) memberikan informasi tentang organisme di masa lampau dan situasi lingkungan yang lazim pada waktu itu. Evolusi dan genetika digunakan untuk menafsirkan alasan

perubahan organik dalam kaitannya dengan kondisi lingkungan, pembentukan populasi dan spesies baru, efek lingkungan pada populasi dan spesies genetik, dan seterusnya. Hal ini tentunya membantu memahami hubungan antara organisme dengan lingkungannya dalam ekologi.

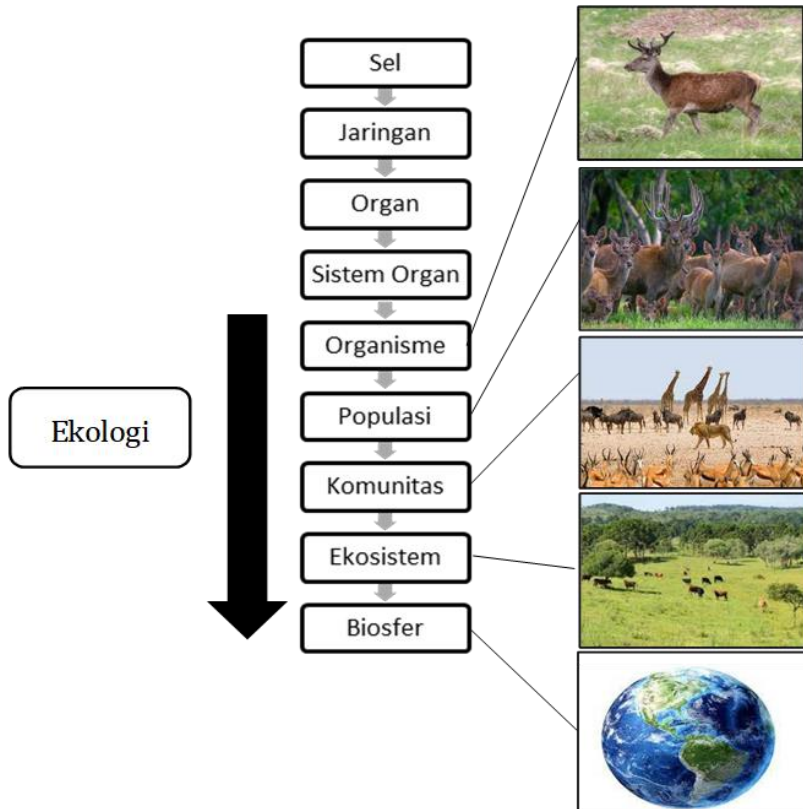
1.3 Ruang Lingkup Ekologi

Setiap ilmu memiliki batasan-batasan dalam wilayah studinya meskipun ada kalanya batasan-batasan wilayah ilmu tersebut bertumpang tindih dengan batasan dari ilmu-ilmu lain. Dalam kajian ilmu ekologi untuk membatasi ruang lingkungannya adalah dengan menggunakan konsep level organisasi, yang divisualisasikan sebagai spektrum ekologi dan hierarki ekologi. Interaksi dengan lingkungan fisik (energi dan materi) pada setiap tingkat menghasilkan sistem fungsional yang khas. Sistem ini mengandung komponen hidup (biotik) dan tak hidup (abiotik) merupakan biosistem, mulai dari sistem genetik hingga sistem ekologi.



Gambar 1.2 Spektrum tingkat organisasi ekologi yang menekankan pada interaksi komponen biotik dan abiotik
Sumber: Odum dan Barret (2005)

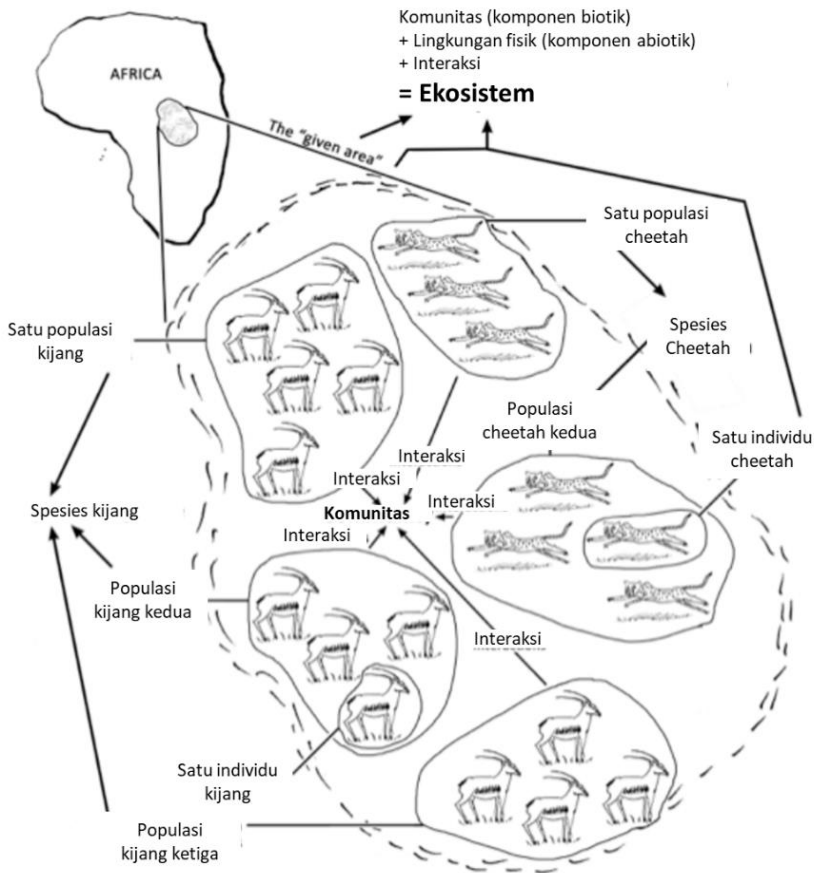
Sementara itu untuk menggambarkan ruang lingkup ekologi dapat dilihat pada berbagai tingkatan (hierarki ekologi). Menurut Odum dan Barret (2005), dalam konsep level organisasi menampilkan batas wilayah kerja ilmu ekologi mencakup batas bawah yaitu pada tingkatan organisme dan pada tingkatan tertinggi yaitu tingkat biosfer.



Gambar 1.3 Ruang lingkup Ekologi

1. Organisme adalah individu makhluk hidup yang memiliki kesatuan organ serta menjalani aktivitas kehidupan atau bisa juga dikatakan sebagai organisme tunggal.
2. Populasi adalah kumpulan individu sejenis yang hidup pada suatu daerah tertentu pada waktu yang sama. Contoh: populasi badak di Ujung Kulon.
3. Komunitas adalah gabungan dari berbagai jenis populasi yang menempati suatu daerah tertentu dimana setiap populasi saling berinteraksi satu dengan lainnya. Contoh: komunitas ikan air tawar yang saling berinteraksi pada sebuah waduk.
4. Ekosistem adalah suatu kesatuan yang didalamnya terdapat interaksi antara organisme (faktor biotik) dengan lingkungannya (faktor abiotik).
5. Biosfer adalah lapisan bumi atau bagian – bagian Bumi yang didalamnya terdapat kehidupan. Dengan kata lain, kita dapat menyebut bahwa bumi kita ini adalah biosfer sebagai sistem ekologi global yang mengintegrasikan semua makhluk hidup dan hubungannya satu sama lain dengan lingkungan.

Lima tingkatan ekologi ini diurutkan dari bagian terkecil hingga terbesar. Dari urutan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa populasi terdiri dari individu-individu sejenis; komunitas terbentuk dari kumpulan populasi-populasi; ekosistem mencakup komunitas ditambah dengan lingkungannya (Gambar 1.3), dan seterusnya hingga tingkat yang lebih luas (biosfer).



Gambar 1.3 Hubungan berbagai level ekologi yang saling berhubungan satu dengan lainnya
 Sumber: <https://www.khanacademy.org/>

Masing-masing tingkatan menawarkan wawasan yang berbeda tentang bagaimana organisme berinteraksi satu sama lain dengan lingkungannya. Pada tingkat organisme mempelajari adaptasi, fitur yang menguntungkan yang muncul akibat adanya seleksi alam pada suatu individu yang

memungkinkan organisme hidup di habitat tertentu, mulai dari adaptasi morfologis, fisiologis hingga perilaku. Pada tingkat populasi dapat dipelajari ukuran, kepadatan dan struktur populasi serta perubahannya dari waktu ke waktu. Pada tingkat komunitas mempelajari interaksi antara populasi serta bagaimana interaksi tersebut dapat membentuk suatu komunitas. Pada tingkat ekosistem mempelajari aliran energi dan daur ulang materi. Sementara pada tingkatan biosfer dapat dipelajari secara lebih luas (pada tingkat global) seperti pola iklim, distribusi spesies, interaksi antar ekosistem dan lain-lain.

Ekologi mencoba untuk memahami seluruh aktivitas, proses, keterkaitan dan interaksi antar makhluk hidup serta antar komponen dalam kehidupan. Ekologi juga membahas bagaimana makhluk hidup saling toleransi satu dengan yang lain untuk menghadapi keterbatasan, serta bagaimana individu dalam populasi atau komunitas mengalami pertumbuhan. Dalam kehidupan, suatu organisme akan sangat bergantung pada organisme lain dan juga lingkungannya. Adanya organisme lain ini dan berbagai komponen lingkungan sangat dibutuhkan dalam penyediaan sumber makanan, tempat tinggal, pertumbuhan dan lain-lain.

Interaksi yang berlangsung antar organisme dengan lingkungannya dapat dipastikan akan berlangsung lebih rumit dan kompleks, karena mereka tidak hanya berinteraksi dalam satu populasi serta berbagai aspek lingkungan, akan tetapi mencakup interaksi yang lebih luas sehingga memungkinkan terjadinya hubungan seperti adanya parasitisme, predator atau kompetitor yang membentuk suatu sistem ekologi atau dikenal dengan istilah ekosistem.

1.4 Pembagian Ekologi

Ekologi dibagi menjadi dua yaitu autekologi dan sinekologi. Autekologi adalah ilmu yang lebih berfokus pada studi satu individu hewan atau tumbuhan atau populasinya dengan hubungannya pada habitat dimana ia tumbuh. Dengan kata lain autekologi hanya mempelajari hubungan antara satu individu atau populasinya dengan lingkungan. Dalam autekologi mempelajari kebiasaan dan adaptasi dari spesies tertentu terhadap kondisi lingkungannya pada setiap stadia dalam siklus kehidupannya, atau lebih dikenal dengan istilah ekologi spesies. Sementara itu sinekologi mempelajari komunitas, komposisinya, kebiasaannya serta hubungannya dengan lingkungan atau yang biasa dikenal dengan istilah ekologi komunitas (Shukla dan Chandel, 1972). Perbedaan ruang lingkup antara autekologi dan sinekologi dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2 Perbedaan Autekologi dan Sinekologi

Autekologi	Sinekologi
Mempelajari individu organisme atau individu spesies atau sebuah populasi dan hubungannya dengan lingkungannya	Mempelajari kelompok organisme atau banyak spesies atau komunitas dan hubungannya dengan lingkungannya
Ekologi spesies / ekologi populasi	Ekologi komunitas
Level studi hanya mencakup individu / sebuah populasi	Level studi mencakup komunitas yang berinteraksi satu sama lain dan juga lingkungannya, bahkan mencakup studi terkait ekosistem

Autekologi	Sinekologi
Eksperimen sederhana dan induktif	Kompleks, filosofis dan deduktif
Studi terkait autekologi dapat dilakukan di laboratorium dan diinterpretasikan dengan matematika konvensional	Studi terkait sinekologi merujuk pada interaksi pada keseluruhan sistem dan tidak dapat diakomodasi di dalam laboratorium karena interaksi tersebut terbentuk secara alamiah bahkan bisa mencakup waktu yang lama sebagai contoh ekosistem hutan.

Sumber : Hasan (2013); Fath (2012)

Contoh studi autekologi adalah penelitian yang hanya melibatkan satu individu atau satu spesies dengan lingkungannya seperti penelitian terkait pengaruh intensitas cahaya terhadap pertumbuhan tanaman kedelai, pengaruh penambahan pupuk urea terhadap pertumbuhan *Porphyridium* sp. pada kultur fitoplankton skala laboratorium. Sementara itu studi sinekologi lebih luas seperti penelitian terkait efek samping adanya hujan asam terhadap ekosistem kolam, penelitian terkait struktur dan komposisi spesies tumbuhan di hutan mangrove, atau mempelajari pola distribusi ikan pelagis di perairan tertentu.

Di samping pengelompokan tersebut, terdapat beberapa pengamat yang membuat kajian ekologi berdasarkan habitat atau tempat tinggal suatu organisme meliputi ekologi laut, ekologi perairan tawar, ekologi estuari (ekologi peralihan), ekologi padang rumput dan lain-lain. Selain itu, kajian ekologi juga dikelompokkan berdasarkan taksonomi (sistematika makhluk hidup) seperti ekologi tumbuhan, ekologi hewan, ekologi mikroba dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Fath, B.D. 2012. Analyzing Ecological Systems Using Network Analysis. *Ecological Questions*, 16, 77-86.
- Hasan, A. 2013. Coastal and Marine Biology. ISBN 9781300873594.
- Khan Academy. 2022. Ecological levels: from individuals to ecosystems.
<https://www.khanacademy.org/science/biology/ecology/intro-to-ecology/a/ecological-levels-from-individuals-to-ecosystems>. (diakses 23 Oktober 2022)
- Lehman, C., Loberg, S., & Clark, A. Quantitative Ecology – A New Unified Approach. University of Minnesota. LibreTexts.
- Odum, E.P. 1971. Fundamentals of Ecology. 3rd Edition. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Odum, E.P., dan Barret, G.W. 2005. Fundamentals of Ecology. 5th Edition. Belmont, CA : Thomson Brooks/Cole.
- Shukla, R.S., dan Chandel, P.S., A Textbook of Plant Ecology including Ethnobotany and Soil Science. New Delhi: S. Chand Publisng.

BAB 2

KONSEP DAN FUNGSI SISTEM EKOLOGI SERTA MANFAAT EKOLOGI

Oleh Indah Puspitasari

2.1 Konsep Ekologi

Ketika kita berbicara tentang ekologi, tidak pernah lepas dari hubungan antara suatu makhluk hidup dengan lingkungannya. Karena ekologi sendiri berarti ilmu yang mempelajari tentang lingkungan, baik lingkungan hidup yang disebut biotik maupun tidak hidup yang disebut abiotik. Dalam kehidupan, sesuatu tidak pernah lepas dari lingkungannya, terdapat saling keterkaitan yang dinamis dan melibatkan pola dan proses ekologi dalam setiap tingkatan organisasi dalam biologi, yaitu pada individu, populasi maupun ekosistem. Sehingga ketika terjadi perubahan pada suatu bagian dari ekosistem dapat mempengaruhi organisme yang lain. Mempelajari dan memahami hubungan keterkaitan dan ketergantungan pada tiap tingkatan organisasi biologi ini penting agar dapat mempertahankan dan melestarikan biodiversitas di alam.

Konsep ekologi adalah pemahaman (atau fakta) umum tentang ekosistem dan pengelolaan ekosistem. Prinsip ekologi adalah asumsi dasar (atau keyakinan) tentang ekosistem dan bagaimana fungsinya yang diinformasikan oleh konsep ekologi.

2.2 Ekologi organisme

Seperti yang telah disebutkan pada Bab I, tingkat organisasi dalam ekologi meliputi organisme, populasi, komunitas, ekosistem, dan biosfer. Ekologi mempelajari hubungan antara organisme sampai dengan biosphere dengan lingkungannya. Pada level organisme, beberapa konsep ekologi, antara lain; suatu organisme dengan individu lainnya, organisme dengan makanannya, maupun dengan faktor lingkungan abiotiknya.

Niche

Niche seringkali disalah artikan hanya sebatas habitat tempat hidup. Namun sebenarnya, dalam ekologi, istilah "Niche" menggambarkan peran organisme dalam komunitas. Relung suatu spesies mencakup kondisi fisik dan lingkungan yang dibutuhkannya (seperti suhu atau medan) dan interaksinya dengan spesies lain (seperti predasi atau kompetisi). Secara umum, spesies yang memiliki relung sempit atau terbatas dianggap sebagai spesies spesialis.

Joseph Grinnell, seorang ahli ekologi Amerika, adalah orang pertama yang mengembangkan gagasan ceruk ekologis. Definisinya, yang dia tulis dalam makalah ilmiah mulai tahun 1917, berfokus pada faktor lingkungan yang menentukan di mana suatu spesies dapat bertahan hidup daripada interaksi antar spesies. Sekitar waktu yang sama, seorang ahli ekologi Inggris bernama Charles Elton mengembangkan gagasannya sendiri tentang relung. Dalam definisinya, relung suatu spesies ditentukan oleh interaksinya dengan spesies lain—yaitu hubungannya dengan makanan dan predator. Hampir 40 tahun kemudian, pada akhir 1950-an, ahli ekologi Inggris G. Evelyn Hutchinson menggabungkan kedua versi ini menjadi definisi yang lebih luas. Definisi ini mempertimbangkan semua faktor abiotik dan biotik yang memengaruhi suatu spesies dengan cara yang dapat diukur. Definisi ini masih digunakan oleh para

ilmuwan saat ini. Penting untuk terus belajar tentang relung spesies hari ini, karena itu dapat membantu kita memahami bagaimana organisme akan merespons perubahan lingkungan yang disebabkan oleh manusia (National Geographic Society, 2022).

Di lingkungan perairan, beberapa contoh niche adalah berbagai jenis plankton di lautan yang memiliki relung hidup yang berbeda bergantung pada kondisi fisik serta lingkungannya, seperti suhu, cahaya, arus air serta predasi. Niche yang berbeda berdasarkan jenis makanan juga terlihat pada habitat terumbu karang. Terdapat banyak ikan yang memiliki kebutuhan makan jenis terumbu karang tertentu. Seperti pada *parrotfish* yang memiliki jenis makanan bervariasi bergantung pada habitatnya, sedangkan *damsel* tetap bertahan pada sumber daya makanan dalam bentuk rumput dan invertebrata (Plass-Johnson, dkk., 2018).

Sebagian besar ikan terumbu karang hidup sangat dekat dengan substrat terumbu dan sangat berasosiasi dengan struktur habitat yang disediakan oleh karang scleractinian; Jones dkk. (2004) menunjukkan bahwa hingga 75% ikan terumbu karang mengandalkan karang hidup untuk mencari makan, berlindung, atau habitat pemukiman. Namun, terdapat banyak variasi dalam kisaran karang yang dimanfaatkan oleh ikan, mulai dari ikan yang sangat khusus yang sangat bergantung pada satu spesies karang (Munday 2004; Pratchett 2005a) hingga ikan yang cenderung memanfaatkan rangkaian karang yang berbeda dengan kesamaan yang luas. bentuk pertumbuhan (Wilson et al. 2008).

Degradasi habitat memiliki pengaruh yang menghancurkan pada struktur dan dinamika ekologi populasi (Vitousek 1997; Fahrig 2001) dan semakin diakui sebagai kontributor utama hilangnya keanekaragaman hayati global (Brooks et al. 2002; Hoekstra et al. 2005). Secara umum,

degradasi habitat terjadi akibat menipisnya spesies pembentuk habitat utama (misalnya pohon, rumput laut, karang) yang menyebabkan penurunan area habitat dan kompleksitas struktural, atau peningkatan fragmentasi habitat (Caley et al. 2001; Alison 2004). Efek spesifik gangguan terhadap spesies pembentuk habitat, serta spesies terkait habitat, bergantung pada frekuensi, tingkat keparahan, dan selektivitas gangguan individu. Yang penting, gangguan sedang mungkin memiliki efek yang sangat selektif dan hanya memengaruhi rangkaian spesies berbeda yang sangat terbatas, tetapi gangguan sedang ini mungkin memiliki pengaruh yang sangat penting pada keanekaragaman hayati dan struktur komunitas (Connell 1978). Memahami tanggapan spesifik spesies terhadap degradasi habitat membutuhkan pengetahuan yang luas tentang pola penggunaan habitat, termasuk langkah-langkah spesialisasi habitat, serta pengetahuan tentang efek spesifik gangguan pada setiap tipe habitat (McKinney 1997). Secara umum, spesialis habitat diharapkan jauh lebih rentan terhadap degradasi habitat dibandingkan dengan spesies dengan kebutuhan habitat umum (Brown 1984; McKinney 1997; Vazquez dan Simberloff 2002; Safi dan Kerth 2004). Namun, mungkin juga spesies spesialis dapat lolos dari pengaruh gangguan besar karena mereka menggunakan sumber daya yang relatif sempit, tetapi ini hanya akan terjadi jika mereka memanfaatkan habitat yang umumnya tidak terpengaruh.

Secara umum, spesies yang memiliki relung sempit atau terbatas dianggap sebagai spesies spesialis. Tidak ada dua spesies yang dapat memiliki niche yang persis sama, jika tidak mereka akan bersaing langsung untuk mendapatkan sumber daya satu sama lain. Jika ini terjadi, maka satu spesies akan mengalahkan yang lain. Jika spesies yang hilang kemudian tidak beradaptasi, itu akan menyebabkan kepunahan spesies tersebut.

Kisaran suhu ekosistem perairan jauh lebih sempit daripada kisaran ekosistem darat karena air cair memiliki suhu minimum 0 °C. Ambang batas termal lemah untuk fitoplankton dan zooplankton, seperti yang ditunjukkan oleh distribusi spesies di berbagai garis lintang dan ketinggian. Ambang batas termal lebih penting untuk invertebrata besar dan terutama untuk ikan. Misalnya, famili Salmonidae (salmon dan trout) mengandung banyak spesies yang tidak toleran terhadap air yang melebihi 15–20 °C. Demikian pula, perairan yang selalu dingin, seperti pegunungan atau danau subarktik, tidak dapat mempertahankan populasi berbagai jenis ikan air hangat, seperti sebagian besar spesies dari keluarga mola-mola (Centrarchidae).

Air hanya menyimpan sekitar 10 mg/L oksigen pada suhu rendah dan 6–7 mg/L pada suhu tinggi. Jadi, respirasi dapat membuat air menjadi anoksik jika tidak diimbangi oleh oksigen yang dihasilkan secara fotosintesis atau melalui kontak air dengan atmosfer. Laju respirasi yang tinggi dalam air yang bersentuhan dengan sedimen, misalnya, dapat menghilangkan semua oksigen dari air dalam hitungan beberapa hari.

Beberapa lingkungan perairan jauh lebih rentan terhadap penipisan oksigen daripada yang lain. Aliran pegunungan dengan gradien tinggi dengan jumlah respirasi rendah berada di salah satu ujung spektrum, karena memiliki potensi penipisan oksigen yang sangat kecil, sedangkan danau subur atau lahan basah, di mana terdapat banyak respirasi dan pertukaran gas yang kurang efisien dengan atmosfer, menunjukkan kemungkinan yang jauh lebih tinggi dari penipisan oksigen.

Distribusi organisme sebagian mencerminkan kemampuan mereka untuk mentolerir penipisan oksigen. Ikan, misalnya, menunjukkan toleransi yang luas terhadap penipisan oksigen. Di satu sisi ekstrim adalah ikan yang dapat

memperoleh oksigen dari atmosfer (misalnya, ikan labirin tropis seperti betta, *Betta*) dan ikan yang memiliki mulut kecil menghadap ke atas yang mampu menarik oksigen dari 1–2 mm bagian atas air yang bersentuhan. dengan atmosfer (ikan cyprinodont, termasuk ikan nyamuk, *Gambusia*). Menengah dalam toleransi adalah ikan yang tidak memiliki cara khusus untuk mendapatkan oksigen, tetapi memiliki ketahanan fisiologis yang tinggi terhadap penipisan oksigen (beberapa ikan lele, seperti bullhead, ictalurid, *Ameiurus*, dan ikan mas, cyprinid, *Cyprinus*). Sebaliknya, ikan lain cukup atau sangat sensitif terhadap penipisan oksigen: trout dan salmon, serta largemouth bass (*Micropterus*), bluegill (*Lepomis*) dan mola-mola lainnya, dan banyak lainnya. Dengan demikian, fauna ikan dari badan air tertentu mencerminkan kemungkinan penipisan oksigen. Invertebrata mengikuti pola yang serupa. Larva air dari spesies midge, misalnya, bervariasi dalam toleransi oksigen, yang menjelaskan distribusi kontrasnya di lingkungan perairan.

Struktur habitat (penutup) merupakan komponen yang konsisten dari sebagian besar lingkungan terestrial; itu disediakan sebagian besar oleh vegetasi, yang muncul di semua kecuali permukaan yang paling kering atau di lapisan es. Sebaliknya, lingkungan danau pelagis (perairan terbuka) tidak menyediakan struktur. Jadi, organisme yang hidup di zona pelagis terspesialisasi untuk hidup di lingkungan yang tidak memiliki stabilitas spasial dan tidak menawarkan perlindungan dari pemangsaan. Variasi tutupan, mulai dari perairan terbuka danau dan aliran dasar pasir hingga zona pesisir yang bervegetasi subur, lahan basah bervegetasi, dan aliran berbatu, menawarkan kemungkinan yang sangat luas untuk sumbu relung yang berhubungan dengan habitat.

Ahli limnologi dan ekologi air telah berulang kali menunjukkan bahwa pemangsaan memiliki efek yang kuat pada komposisi spesies perairan pedalaman. Predator teratas sangat penting karena mereka sering menghilangkan atau sangat menekan kelimpahan mangsanya. Predator visual danau khususnya mungkin jauh lebih efisien dalam menghilangkan mangsanya daripada yang terjadi di sebagian besar lingkungan lainnya. Faktanya, beberapa invertebrata besar tidak dapat menghuni ekosistem perairan yang mengandung ikan. Danau kecil tanpa ikan, misalnya, mengandung banyak sekali invertebrata besar yang tidak ditemukan di danau serupa yang dipenuhi ikan. Dengan demikian, dimensi relung yang terkait dengan predasi sangat penting untuk distribusi banyak invertebrata.

Lingkungan perairan menunjukkan potensi yang luar biasa untuk memproduksi biomassa autotrof. Perairan yang memiliki konsentrasi nitrogen dan fosfor yang sangat rendah memiliki potensi produksi yang jauh di bawah lingkungan berbasis tanah di mana terdapat kelembapan. Sebaliknya, ekosistem perairan dengan konsentrasi fosfor dan nitrogen yang tinggi memiliki potensi produksi autotrof yang mungkin 1000 kali lebih tinggi daripada perairan yang paling tidak produktif. Persaingan nutrisi sangat penting di perairan yang tidak produktif, yang mengandung spesies yang memiliki afinitas sangat tinggi terhadap fosfor dan nitrogen. Lingkungan perairan yang paling produktif juga mendukung taksa khusus, tetapi dengan jenis adaptasi yang berbeda. Keseimbangan nutrisi juga bisa menjadi penentu penting ceruk. Misalnya, ganggang biru-hijau pengikat nitrogen (cyanobacteri heterocystous).

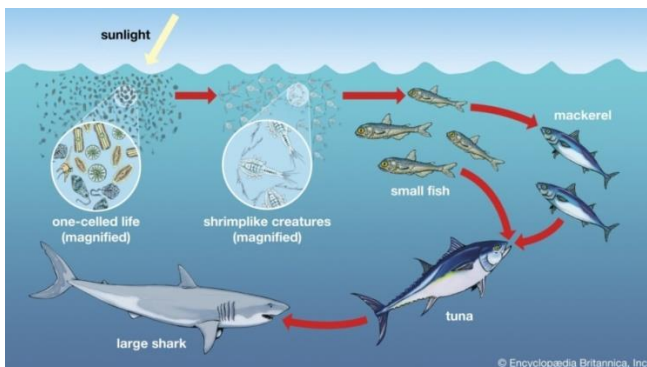
Niche ekologi ditemukan pada semua tipe ekosistem. Pada level konsep atau definisi, tidak terdapat perbedaan antara niche di perairan dan di daratan. Namun, lingkungan

akuatik memiliki perbedaan yang jelas pada beberapa nichenya. Seringkali perbedaan ini berdasarkan kebutuhan ikan. Misalnya, suhu, kelarutan oksigen, struktur habitat, predasi dan nutrisi tumbuhan atau makanan.

2.3 Ekologi populasi

Jaring makanan menggambarkan siapa makan siapa dalam komunitas ekologis. Terbuat dari rantai makanan yang saling berhubungan, jaring makanan membantu kita memahami bagaimana perubahan ekosistem — katakanlah, menghilangkan predator teratas atau menambah nutrisi — memengaruhi banyak spesies berbeda, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Rantai makanan tersusun dari Produsen, Konsumen, Top Predator, Fitoplankton dan alga membentuk dasar jaring makanan akuatik (Gambar 1). Mereka dimakan oleh konsumen primer seperti zooplankton, ikan kecil, dan krustasea. Konsumen primer pada gilirannya dimakan oleh ikan, hiu kecil, karang, dan paus balin. Predator laut teratas termasuk hiu besar, billfish, lumba-lumba, paus bergigi, dan anjing laut besar. Manusia mengonsumsi kehidupan akuatik dari setiap bagian jaring makanan ini.



Gambar 2.1. Rantai makanan di Lautan.

(Sumber: Britanica, The Editors of Encyclopedia, 2022)

Produsen

Produsen utama — termasuk bakteri, fitoplankton, dan ganggang — membentuk tingkat trofik terendah, dasar jaring makanan akuatik. Produsen utama mensintesis energi mereka sendiri tanpa perlu makan. Banyak yang berfotosintesis, menggunakan energi matahari untuk membangun karbohidrat. Namun, beberapa produsen utama dapat menciptakan energi tanpa sinar matahari menggunakan kemosintesis untuk memetabolisme bahan kimia yang dilepaskan dari lubang hidrotermal, rembesan metana, dan fitur geologis lainnya.

Konsumen

Beberapa zooplankton termasuk copepoda, rotifera, dan tahap larva beberapa ikan dan invertebrata adalah pemakan rumput dan hanyut melalui air merumput di fitoplankton. Hewan yang lebih besar, termasuk beberapa siput laut, ikan, reptil, dan mamalia, memakan alga. Filter feeder menyaring makanannya (plankton dan detritus) langsung dari air. Hewan penyaring makan termasuk hewan seperti bivalvia, cacing tabung, spons, dan bahkan hewan besar seperti paus balin dan pari manta.

Scavenger

Organisme yang tidak dimakan dan bagian hewan yang tidak dikonsumsi selama makan tenggelam ke dasar, di mana mereka dapat dimakan oleh pemulung yang tinggal di bawah, seperti banyak kepiting dan lobster. Bahan organik yang tersisa diurai oleh bakteri dan limbah yang dihasilkan menjadi nutrisi yang dapat digunakan oleh produsen. Ketika seekor paus mati, seluruh ekosistem muncul untuk mengkonsumsi sumber makanan yang tiba-tiba.

Pemakan oportunistik

Banyak konsumen adalah pemakan oportunistik, artinya mereka dapat makan di mana saja dalam jaring makanan dan mungkin merupakan kombinasi dari jenis apa

pun yang dijelaskan di sini. Kadang-kadang mereka bahkan makan satu sama lain.

Predator lebih aktif memakan hewan lain. Ada banyak jenis predator yang memakan banyak jenis mangsa. Predator pengejar seperti hiu, ubur-ubur kotak, bintang laut bunga matahari, dan banyak ikan seperti herring, cod, dan tuna memburu mangsanya. Predator penyergap seperti udang mantis, beberapa gurita, beberapa belut, dan ikan kalajengking, menangkap mangsanya dengan bersembunyi dan tiba-tiba menyerang. Hewan yang memiliki sedikit atau tidak ada predator disebut predator puncak. Ini termasuk paus pembunuh, anjing laut macan tutul, hiu besar, bintang laut bunga matahari, marlin, dan spesies bermigrasi tinggi lainnya.

Selain itu, hubungan antar organisme juga dapat dikatakan sebagai interaksi yang bernama, Kompetisi, Predasi dan Simbiosis.

2.3.1. Kompetisi

Kompetisi adalah serangkaian interaksi antara organisme dengan organisme lain untuk mendapatkan sumber daya yang terbatas. Sumber daya disini dapat berupa makanan, ruang, oksigen, maupun sinar matahari. Kompetisi makanan terjadi pada organisme yang memiliki preferensi makanan yang sama. Persaingan makanan intraspesifik menyebabkan terjadinya seleksi bagi organisme untuk dapat terus hidup disuatu habitat tertentu. Hewan yang memiliki ukuran tubuh lebih besar, lebih cepat, dan kemampuan mencari makan yang lebih baik akan berkembang lebih baik relatif terhadap spesies sejenis yang lebih lemah. Oleh karena itu, memahami kompetisi dalam ekologi merupakan hal mendasar baik untuk wawasan ekologis maupun upaya konservasi.

Pada perairan, sifat dan intensitas kompetisi ikan bervariasi sesuai dengan karakteristik dan distribusi sumber daya dalam ruang dan waktu, konteks ekologis, dan kemampuan kompetitif relatif para pengumpul makanan (ikan *forager*). Dalam jangka pendek, individu yang bersaing dapat mengadopsi strategi perilaku dan pola makan yang berbeda atau membangun hierarki dominasi dan wilayah makan. Dalam jangka panjang, persaingan dapat mendorong perpindahan karakter dan pembentukan pasangan spesies dan ikan memberikan beberapa contoh yang paling menarik dari proses ini dalam biologi evolusioner (Ashley, dkk., 2006).

Ikan besar lebih efektif mencari makan daripada ikan kecil, memiliki ketajaman visual yang lebih tinggi (Walton, dkk., 1994) dan menjadi perenang yang lebih cepat (Beamish 1978), keduanya memungkinkan ikan lebih besar untuk menang dalam situasi berebut dan untuk mengalahkan ikan yang lebih kecil di mana ada persaingan langsung memperebutkan mangsa tunggal (Ward dan Krause 2001; Szabo 2002). Milinski (1982) menunjukkan bahwa ikan stickleback yang berenang paling cepat dalam satu kelompok menangkap mangsa yang paling banyak. Post, dkk. (1999) melaporkan bahwa kemampuan bersaing dan daya tahan berhubungan erat dengan panjang tubuh pada ikan rainbow trout.

Organisme akuatik mengalami kompetisi intraspesifik dan interspesifik dan bersaing dengan kompetisi eksploitatif (berbagi sumber daya yang langka) dan kompetisi interferensi (interaksi agresif). Interaksi kompetitif tergantung pada faktor-faktor seperti produktivitas ekosistem, waktu fitur riwayat hidup di antara spesies yang bersaing, rasio di mana sumber daya terbatas disediakan dan digunakan, dan variabilitas temporal dalam pasokan sumber daya. Persaingan di antara organisme akuatik bergantung pada struktur ukuran populasi spesies yang bersaing. Juga, persaingan terjadi dalam jaring

makanan yang kompleks di mana keberadaan spesies lain, terutama predator, dapat mempengaruhi interaksi persaingan. Ahli ekologi terus mengungkap cara persaingan memengaruhi komunitas akuatik; studi masa depan dapat diharapkan untuk menjelaskan pentingnya persaingan untuk masalah lingkungan seperti yang terkait dengan penyebaran spesies invasif, ekologi penyakit menular, dan konservasi keanekaragaman hayati.

2.3.2 Predasi atau Pemangsaan

Ahli limnologi dan ekologi air telah berulang kali menunjukkan bahwa pemangsaan memiliki efek yang kuat pada komposisi spesies perairan pedalaman. Predator teratas sangat penting karena mereka sering menghilangkan atau sangat menekan kelimpahan mangsanya. Predator visual danau khususnya mungkin jauh lebih efisien dalam menghilangkan mangsanya daripada yang terjadi di sebagian besar lingkungan lainnya. Faktanya, beberapa invertebrata besar tidak dapat menghuni ekosistem perairan yang mengandung ikan. Danau kecil tanpa ikan, misalnya, mengandung banyak sekali invertebrata besar yang tidak ditemukan di danau serupa yang dipenuhi ikan. Dengan demikian, dimensi relung yang terkait dengan predasi sangat penting untuk distribusi banyak invertebrata.

Hubungan antara pemangsa dan mangsa membentuk siklus populasi. Siklus pemangsa-mangsa didasarkan pada hubungan makan antara dua spesies; jika tidak ada atau jumlah predator sedikit, maka jumlah mangsa meningkat. Karena populasi mangsa meningkat/ bloom, maka populasi predatornya pun meningkat seiring dengan melimpahkan ketersediaan pakan. Sampai akhirnya pemangsa akhirnya memakan begitu banyak mangsa sehingga populasi mangsa berkurang lagi. Segera setelah itu, jumlah predator juga berkurang karena kelaparan. Hal ini pada gilirannya

menyebabkan peningkatan pesat dalam populasi mangsa -- dan siklus baru dimulai (McGill University, 2019).

2.4 Simbiosis

Seperti halnya pada ekosistem darat, pada perairan juga terdapat hubungan antara organisme yang disebut symbiosis, yaitu symbiosis mutualisme, symbiosis komensalisme, symbiosis parasitisme dan predasi. Bentuk symbiosis mutualisme terjadi pada ikan remora dengan ikan hiu. Ikan remora selalu berenang mengikuti ikan hiu untuk memakan parasite kecil di kulit hiu, sedangkan hiu diuntungkan karena badannya dibersihkan oleh ikan. Symbiosis mutualisme terjadi Ketika kedua organisme diuntungkan dalam interaksi.

Simbiosis komensalisme adalah merupakan sebuah interaksi antara dua makhluk hidup ,yang menguntungkan salah satu organisme, Namun untuk organisme lainnya bersifat netral, artinya tidak akan mengalami kerugian maupun keuntungan. Contohnya pada interaksi antara ikan nemo atau ikan badut dengan anemone laut. Ikan nemo berusaha berlindung dari ikan pemangsa dengan cara memanfaatkan anemon laut sebagai tempat persembunyian. Disisi lain, anemone laut tidak diuntungkan ataupun sebaliknya.

Simbiosis parasitisme terjadi Ketika salah satu organisme diuntungkan sedangkan yang lain dirugikan. Contoh symbiosis parasitisme adalah hubungan antara fitoplankton dengan mikroorganisme dari sampel asli. Dinoflagellata adalah mikroorganisme yang termasuk golongan alga. Hubungan antara mikroorganisme ini dengan fitoplankton termasuk dalam simbiosis amansalisme lantaran Dinoflagellata menghasilkan senyawa alelokimia yang bisa menyebabkan kematian pada fitoplankton dan binatang laut lainnya. Dinoflagellata juga menyebabkan air laut menjadi kemerah-

merahan. Bagi Fitoplankton dan binatang laut lainnya ini jelas merugikan. Dinoflagellata sendiri tidak mengalami kerugian ataupun keuntungan dari kejadian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alison G. 2004. The influence of species diversity and stress intensity on community resistance and resilience. *Ecol. Mongr.*
- Alison G. 2004. The influence of species diversity and stress intensity on community resistance and resilience. *Ecol. Mongr.*
- Ashley, J., Ward, M., Webster, M.M., dan Hart, P.J.B. 2006. Intraspecific food competition in fishes. *Fish and Fisheries* (7):231-261.\
- Beamish, F.W.H. 1978. Swimming capacity. In: *Fish Physiology*, Vol. VII (eds W.S. Hoar and D.J. Randall). Academic Press, New York, pp. 101–187.
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper, J.L. 2006. *Ecology : from individuals to ecosystems*-4th ed. Blackwell Publishing Ltd.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "food chain". *Encyclopedia Britannica*, 26 Aug. 2022, <https://www.britannica.com/science/food-chain>. Diakses 9 December 2022.
- Brooks TM, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Rylands GAB, da Fonseca AB, Konstant WR, et al. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Cons. Biol.*
- Brooks TM, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Rylands GAB, da Fonseca AB, Konstant WR, et al. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Cons. Biol.*
- Brown JH. 1984. On the relationship between the abundance and distribution of species. *Am. Nat.*
- Brown JH. 1984. On the relationship between the abundance and distribution of species. *Am. Nat.*
- Brown JH. On the relationship between the abundance and distribution of species. *Am. Nat.* 1984;124:255–279.

- Caley MJ, Buckley KA, Jones GP. Separating the effects of habitat fragmentation, degradation, and loss on coral commensals. *Ecology*. 2001;82:3435–3448.
- Caley MJ, Buckley KA, Jones GP. Separating the effects of habitat fragmentation, degradation, and loss on coral commensals. *Ecology*. 2001;82:3435–3448.
- Connell JH. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*. 1978;199:1302–1310.
- Connell JH. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*. 1978;199:1302–1310.
- Fahrig L. How much habitat is enough? *Biol. Cons.* 2001;100:65–74.
- Fahrig L. How much habitat is enough? *Biol. Cons.* 2001;100:65–74.
- Hoekstra JM, Boucher TM, Ricketts TH, Roberts C. Confronting the biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecol. Lett.* 2005;8:23–29.
- Hoekstra JM, Boucher TM, Ricketts TH, Roberts C. 2005. Confronting the biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecol. Lett.*
- Jackson JBC, Kirby MX, Berger WH, Botsford LW, Bourque BJ, Bradbury RH, et al. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*.
- Jones GP, McCormick MI, Srinivasan M, Eagle JV. 2004. Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*.
- McGill University. (2019, December 18). Perpetual predator-prey population cycles: Research sheds light on a fundamental question in ecology almost as old as the science of ecology itself. *ScienceDaily*. Diakses December 9, 2022 dari www.sciencedaily.com/releases/2019/12/191218153410.htm

- McKinney ML. 1997. Extinction vulnerability and selectivity: combining ecological and paleontological views. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*
- McKinney ML. 1997. Extinction vulnerability and selectivity: combining ecological and paleontological views. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*
- McKinney ML. 1997. Extinction vulnerability and selectivity: combining ecological and paleontological views. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*
- McKinney ML. 1997. Extinction vulnerability and selectivity: combining ecological and paleontological views. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*
- Milinski, M. 1982. Optimal foraging – the influence of intraspecific competition on diet selection. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 11, 109–115.
- Munday PL. Habitat loss, resource specialization, and extinction on coral reefs. *Global Change Biol.* 2004;10:1642–1647.
- National Geographic Society. 2022. Niche. National Geographic. <https://education.nationalgeographic.org/resource/niche> (diakses pada 9 Desember 2022).
- Plass-Johnson, J.G., Bednarz, V.N., Hill J.M., Jompa, J., Ferse Sebastian C. A., Teichberg, M. 2018. Contrasting Responses in the Niches of Two Coral Reef Herbivores Along a Gradient of Habitat Disturbance in the Spermonde Archipelago, Indonesia. *Frontiers in Marine Science* :5.
- Post, J.R., Parkinson, E.A. and Johnston, N.T. 1999. Density-dependent processes in structured fish populations: interaction strengths in whole-lake experiments. *Ecological Monographs* 69, 155–175.
- Pratchett MS. 2005. Dietary overlap among coral-feeding butterflyfishes (Chaetodontidae) at Lizard Island,

- northern Great Barrier Reef. *Mar. Biol.* 2005a;148:373–382.
- Russ, G.R. 1980. Effects of predation by fishes, competition, and structural complexity of the substratum on the establishment of a marine epifaunal community. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: 42 (1).
- Safi K, Kerth G. 2004. A comparative analysis of specialization and extinction risk in temperate-zone bats. *Cons. Biol.*
- Safi K, Kerth G. A 2004. comparative analysis of specialization and extinction risk in temperate-zone bats. *Cons. Biol.*
- Schoen, E.R., Beauchamp, D.A., Buetnerr, A.R. dan Overman, N.C. 2015. Temperature and depth mediate resource competition and apparent competition between *Mysis diluviana* and kokanee. *Ecological Applications*, 25(7), pp. 1962–1975
- Szabo, A.R. 2002. Experimental tests of intercohort competition for food and cover in the tidepool sculpin (*Oligocottus maculosus* Girard). *Canadian Journal of Zoology*. 80, 137–144.
- Takola, E., Schielzeth, H. 2021. Hutchinson's ecological niche for individuals. PhD Project. Friedrich Schiller University. Jena, Germany.
- Vazquez DP, Simberloff D. 2002. Ecological specialization and susceptibility to disturbance, conjectures and refutations. *Am. Nat.* hal;159:606–623.
- Vazquez DP, Simberloff D. Ecological specialization and susceptibility to disturbance, conjectures and refutations. *Am. Nat.* 2002;159:606–623.
- Vitousek PM. 1997. Human-domination of Earth's ecosystems. *Science*. hal ;275:494–499.

- Walton, W.E., Easter, S.S., Malinoski, C. and Hairston, N.G. 1994. Size-related change in the visual resolution of sunfish (*Lepomis* spp). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 51, 2017–2026.
- Ward, A.J.W. and Krause, J. 2001. Body length assortative shoaling in the European minnow, *Phoxinus phoxinus*. Animal Behaviour, 62, 617–621.
- Wilson SK, Burgess SC, Cheal AJ, Fisher R, Miller I, Polunin NVC, et al. 2008. Habitat utilization by coral reef fish, implications for specialists vs. generalists in a changing environment. J. Anim. Ecol. 77:220–228.

BAB 3

STRUKTUR EKOSISTEM

Oleh Iwan Henri Kusnadi

3.1 Pengertian dan Konsep Dasar Ekosistem

Ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik tak terpisahkan antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Ekosistem bisa dikatakan juga suatu tatanan kesatuan secara utuh dan menyeluruh antara segenap unsur lingkungan hidup yang saling memengaruhi. Ekosistem merupakan penggabungan dari setiap unit biosistem yang melibatkan interaksi timbal balik antara organisme dan lingkungan fisik sehingga aliran energi menuju kepada suatu struktur biotik tertentu dan terjadi suatu siklus materi antara organisme dan anorganisme. Matahari sebagai sumber dari semua energi yang ada.

Ekosistem secara sederhana dapat diartikan sebagai suatu hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya (seperti tanah, udara, air, dan lain sebagainya). Ekosistem adalah suatu proses yang terbentuk karena adanya hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya, jadi kita tahu bahwa ada komponen biotik (hidup) dan juga komponen abiotik (tidak hidup) yang terlibat dalam suatu ekosistem ini, kedua komponen ini tentunya saling mempengaruhi, contohnya saja hubungan hewan dengan air. Interaksi antara makhluk hidup dan tidak hidup ini akan membentuk suatu kesatuan dan keteraturan. Setiap komponen yang terlibat memiliki fungsinya masing-

masing, dan selama tidak ada fungsi yang terganggu maka keseimbangan dari ekosistem ini akan terus terjaga

Istilah ekosistem pertama kali diperkenalkan oleh Tansley (1993), ia mengemukakan bahwa ekosistem adalah hubungan timbal balik antara komponen biotik (tumbuhan, hewan, manusia, mikroba) dengan komponen abiotik (cahaya, udara, air, tanah, dan lain sebagainya). Apabila salah satu komponen terganggu maka komponen-komponen lainnya secara cepat atau lambat juga akan ikut terpengaruh.

Beberapa konsep dasar penting dari ekosistem:

1. Ekosistem adalah unit utama dalam ekologi, yang terdiri atas komponen abiotik dan biotik. Melalui komponen-komponen ini terjadinya siklus materi dan aliran energy.
2. Dalam menunjang siklus dan aliran ini harus di perhitungkan sejumlah struktur yang melibatkan hubungan antara air, tanah, nutrisi, produsen, konsumen dan pengurai.
3. Fungsi ekosistem adalah berkaitan dengan aliran energi dan siklus materi melalui struktur komponen-komponennya.
4. Jumlah energy yang mengalir melalui system alam tergantung pada jumlah energy yang difiksasi oleh tumbuhan sebagai produsen.
5. Ekosistem berkecenderungan menjadi matang dari kurang kompleks menjadi kompleks. Perubahan ini disebut suksesi. Tahap awal ditandai dengan jumlah energy potensial yang berlebihan dan aliran energy yang relative cepat untuk setiap unit biomassa.
6. Bila ekosistem di eksploitasi dan dikelola maka kematangannya akan menurun.
7. Unit fungsional utama ekosistem adalah populasi, yang menempati suatu relung tertentu yang berkaitan erat

- dengan peranan populasi tersebut dalam aliran dan siklus materi.
8. Hubungan diantara populasi akan menghasilkan relung baru, sehingga terjadi akumulasi jenis dalam suatu ekosistem dan peningkatan kematangan.
 9. Relung fungsional dalam ekosistem tertentu tidak dapat secara simultan dan dikuasai tidak terbatas oleh lebih dari satu populasi.
 10. Lingkungan dan jumlah energy terfiksasi dalam suatu ekosistem adalah terbatas. Bila populasi mencapai limitnya, jumlah akan stabil atau menurun sebagai akibat dari factor-faktor yang berkaitan dengan kepadatan.
 11. Perubahan lingkungan akibat eksplorasi dan kompetisi sesama menghadirkan tekanan selektif yang harus dipikul oleh populasi, organisme yang tidak mampu mengatasinya akan hilang atau menurun populasinya untuk waktu tertentu.
 12. Ekosistem mempunyai aspek sejarah; masa sekarang berhubungan dengan masa lalu, masa yang akan datang berhubungan erat dengan masa sekarang.

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dikemukakan bahwa ekosistem merupakan suatu sistem di alam yang terdiri dari komponen biotik (organisme) dan abiotik (non hayati) dimana terjadi interaksi antara kedua komponen tersebut. Pendekatan untuk mempelajari ekosistem dapat dilakukan melalui studi mekanistik (orientasi pada proses), empirik, struktur (komponen penyusun ekosistem) dan fungsi (interaksi antara komponen penyusun). Studi tersebut dapat mencakup skala yang berbeda mulai dari tingkat plot sampai regional. Studi struktur dan fungsi ekosistem dalam rangka pengelolaan hutan sangat penting karena kontribusinya dalam memberikan pemahaman

terhadap proses yang terjadi dari suatu perubahan baik yang diakibatkan oleh manusia atau alam (Anonymous 2004). Struktur ekosistem menggambarkan komponen-komponen penyusun ekosistem dalam berbagai sudut pandang atau dengan kata lain membahas apa yang berinteraksi, seperti komponen abiotik dan biotik, produsen dan konsumen, dan lain-lain, sedangkan fungsi ekosistem berhubungan dengan interaksi dinamis antar komponen ekosistem dalam dimensi ruang dan waktu atau untuk melihat bagaimana mereka berinteraksi.

3.2 Pembagian Ekosistem

3.2.1 Komponen Biotik dan Abiotik

Komponen biotik meliputi semua makhluk hidup di bumi, yang terbagi atas tingkatan organisme, yaitu individu, populasi, komunitas, ekosistem, dan biosfer. Tingkatan organisme ini akan saling berinteraksi, saling mempengaruhi, dan membentuk suatu sistem yang menunjukkan kesatuan. Setiap makhluk hidup membutuhkan tempat tinggal yang disebut dengan habitat. Suatu habitat tidak hanya tersusun atas makhluk hidup sejenis tapi juga makhluk hidup berbeda jenis. Contohnya : tumbuhan, hewan, manusia. Komponen abiotik merupakan aspek tak hidup yang ada dalam ekosistem. Komponen abiotik meliputi faktor fisik dan kimia, antara lain : a. Suhu; b. Cahaya/Sinar Matahari; c. Udara; d. Air; e. Batu dan Tanah; f. Topografi.

3.2.2 Komponen Tertutup dan Terbuka

Ekosistem tertutup yaitu sistem dengan batas yang memungkinkan untuk terjadinya pertukaran energy. Tetapi tidak memungkinkan pertukaran materi antara system dengan pertukaran energy. Bumi adalah salah satu contoh system

tertutup. System tertutup ditandai dengan tidak adanya energy yang atau materi yang melewati batas luar system.

Ekosistem terbuka yaitu system dengan batas yang memungkinkan terjadinya pertukaran energy dan materi melintas batas sub system bumi merupakan contoh dari system ini. System terbuka ini ditandai denngan adanya energy atau materi yang dapat melewati batas suatu sistem.

Pada dasarnya suatu system terdiri dari dua bentuk dasar yaitu, system tertutup yang ditandai dengan tidak adanya energy yang melewati batas dari luar system, sedangkan system terbuka dimana energy dapat melewati batas system (baik dari luar maupun dari dalam).

- Energy dan materi yang diterima oleh system terbuka disebut dengan masukan atau input
- Kehilangan energy atau materi dari system terbuka dengan keluaran atau output.
- Pertukaran energy dan materi diantara komponen-komponen dalam system dikenal sebagai throughput.
- Dengan pengecualian system alam secara keseluruhan termasuk ekosistem terbuka.

3.3 Umpan Balik Dalam Ekosistem

Umpan balik merupakan pengaruh balik yang diberikan oleh komponen yang terpengaruh oleh komponen lain terhadap komponen yang pertama kali mengalami perubahan. Mekanisme umpan balik pada awalnya dalam suatu ekosistem terjadi keseimbangan antar komponennya, kemudian ada pengaruh dari luar. Akibat pengaruh dari luar maka keseimbangan ekosistem akan terganggu. Pengaruh luar tersebut mempengaruhi terhadap satu komponen, kemudian komponen yang terpengaruh oleh faktor luar tersebut juga akan mempengaruhi komponen-komponen lainnya. Komponen

lain yang terpengaruh selanjutnya akan memberikan pengaruh balik terhadap komponen pertama kali yang terpengaruh langsung oleh faktor luar. Semua komponen dalam ekosistem saling terkait.

Berdasarkan sifat pengaruh balik yang diberikan umpan balik dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. umpan balik yang mendorong terjadinya perubahan sehingga perubahan terjadi terus menerus. umpan balik ini dikenal sebagai umpan balik positif.
- b. umpan balik yang bersifat menghambat terjadinya perubahan, sehingga perubahan akan berhenti. Umpan balik ini dikenal sebagai umpan balik negatif.

Pada suatu ekosistem kolam, terdiri atas komponen biotik (ikan) dan abiotik (air). Pada awalnya ekosistem tersebut seimbang, suatu saat ada pengaruh luar yang mengganggu keseimbangan ekosistem tersebut. Pengaruh luar tersebut misalnya pencemaran oleh bahan kimia. Air yang tercemar oleh bahan kimia tersebut akan mengakibatkan ikan-ikan mati. Selanjutnya, ikan yang mati akan membusuk dan membuat kualitas air semakin buruk sehingga lebih banyak lagi ikan yang mati. Proses ini akan terus berlanjut sehingga populasi ikan akan habis atau mati. Dengan demikian, pengaruh balik yang diberikan mendorong terjadinya perubahan atau dengan kata lain umpan balik positif (+).

Pada suatu ekosistem padang rumput, terdiri atas komponen biotik (kelinci dan rumput). Awalnya, ekosistem dalam keadaan seimbang dan suatu saat ada faktor dari luar yang masuk sehingga akan mempengaruhi keseimbangan ekosistem tersebut. Faktor luar tersebut misalnya masuknya kelinci dari daerah lain ke ekosistem tersebut (imigrasi). Sehingga akan berpengaruh terhadap jumlah populasi kelinci. Jumlah kelinci yang semakin banyak akan menyebabkan

terjadinya perumputan yang semakin tinggi. Hal ini akan berakibat jumlah rumput semakin berkurang. Berkurangnya jumlah rumput maka rumput akan memberikan umpan balik terhadap kelinci. Kelinci akan berkompetisi untuk mendapatkan rumput. Kelinci yang kalah kompetisi akan bermigrasi keluar dari ekosistem tersebut sehingga jumlah kelinci berkurang kembali. Dengan demikian, ekosistem tersebut akan kembali seimbang. Hal ini menunjukkan umpan balik yang diberikan menghambat terjadinya perubahan atau dinamakan umpan balik negatif (-).

3.4. Tipe-Tipe Ekosistem

3.4.1. Ekosistem Air

- 1. Ekosistem Air Tawar**
- 2. Ekosistem Air Tenang**
- 3. Ekosistem Air Mengalir**

Estuari (muara sungai), mempunyai air yang dangkal sehingga dapat tertembus cahaya matahari. Contoh hewan: kepiting, remis, dan cacing

Zona Intertidal (zona pantai), zona perbatasan antara ekosistem darat dan ekosistem laut. Contoh hewan: ganggang, timun laut, dan bintang laut.

Zona Neritik, bagian tepi benua atau pulau memanjang sampai ke dalam laut hingga jarak tertentu. Contoh: Terumbu karang

Zona laut terbuka, penetrasi cahaya hanya beberapa ratus meter saja Contoh hewan: Ikan tuna, lumba-lumba, paus dan fitoplankton (sebagai sumber makannya).

3.4.2. Ekosistem Darat

a. *Ekosistem hutan hujan tropis*

Ciri-ciri ekosistem hutan hujan tropis adalah sebagai berikut:

- Suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ sepanjang tahun
- Curah hujan tinggi
- Hewan dan tumbuhan sangat beragam
- Tumbuhan khas, liana (rotan), epifit (angrek)

b. *Ekosistem hutan gugur*

Ciri-ciri ekosistem hutan gugur adalah sebagai berikut:

- Mempunyai empat musim
- Tumbuhannya, campuran pohon beech-maple dan oak-hickory.
- Hewannya, rusa, tupai, salamander, dan beruang hitam

c. *Ekosistem tundra*

Ciri-ciri ekosistem tundra adalah sebagai berikut:

- Terdapat di kutub utara yang mempunyai curah hujan rendah
- Tumbuhannya, lumut kerak dan lumut
- Hewannya, serigala, beruang kutub, dan rusa kutub.

d. *Ekosistem taiga*

Ciri-ciri ekosistem taiga adalah sebagai berikut:

- Terdapat di belahan bumi bagian utara dan pegunungan daerah tropic
- Suhu pada musim dingin rendah
- Hutan yang terdiri atas satu species, seperti conifer, pinus, dan cemara.
- Hewannya merupakan pemakan biji-bijian pohon conifer, seperti tupai, serangga, dan burung finch.

e. *Ekosistem padang rumput*

Ciri-ciri ekosistem padang rumput adalah sebagai berikut:

- Terdapat pada iklim sedang sampai tropis dengan curah hujan 25 cm sampai 75 cm per tahun
- Tumbuhan yang dominant rumput
- Hewannya, seperti jerapah, gajah afrika, bison amerika, dan

f. *Ekosistem gurun*

Ciri-ciri ekosistem gurun adalah sebagai berikut:

- Sangat gersang dan curah hujan sangat rendah
- Suhu pada siang hari sangat dingin mencapai 45°C, sedangkan malam hari sangat dingin sampai 0 derajat Celcius.
- Tumbuhannya, kaktus
- Hewannya, Unta.

3.5 Ekosistem di Indonesia

Indonesia adalah negara kepulauan yang menyimpan banyak sekali kekayaan alam yang menakjubkan. Mulai dari laut, pantai, hutan, sampai dengan pegunungan. Sangat tidak heran jika Indonesia disebut sebagai Zamrud Katulistiwa. Karena Indonesia memiliki zamrud-zamrud kekayaan alam yang mengagumkan dan luar biasa. Selain itu Indonesia juga disebut negara agraris yang sebagian besar penduduknya bermatapencaharian sebagai petani dan bercocok tanam, maka sebab itu Indonesia kaya akan keindahan alam dan juga kaya akan berbagai jenis flora dan fauna asli dari Indonesia. Misalnya saja untuk keragaman flora Indonesia mempunyai bunga raflesia, bunga arnoldi, bunga anggrek, dan masih banyak lagi. Sedangkan untuk keberagaman fauna, Indonesia mempunyai harimau Sumatera, burung cendrawasih, burung jalak bali, badak bercula satu, dan masih banyak lagi.

Indonesia dengan berbagai macam ekosistem yang ada dan menjadi kebanggaan. Ekosistem adalah tempat berinteraksi antara biotik dengan biotik dan biotik dengan abiotik. Pengertian dari ekologi, ekosistem adalah ilmu yang mempelajari interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya. Jika berbicara mengenai ekosistem, maka terdapat hubungan timbal balik antara organisme dan lingkungan yang ada disekitarnya. Oleh sebab itu, suatu proses ekosistem melibatkan komponen biotik dan abiotik. Ekosistem bumi dibagi menjadi dua, yaitu ekosistem buatan dan ekosistem alam.

Ekosistem buatan adalah ekosistem yang dibuat oleh manusia untuk melestarikan makhluk hidup yang hampir punah. Sedangkan ekosistem alam adalah ekosistem yang dibuat oleh alam dan bertugas mengendalikan keseimbangan ekosistem. Jika ekosistem alam rusak, maka keseimbangan ekosistem akan hancur. Di Indonesia sendiri memiliki macam-macam ekosistem yang ada dan tetap dijaga sampai saat ini, berikut macam-macam ekosistem yang ada di Indonesia:

1. Ekosistem Hutan Bakau

Ekosistem hutan bakau terdapat di wilayah pantai dan didominasi oleh tanaman bakau yang hidup di air payau dekat pantai. Ekosistem hutan bakau menjadi tempat tinggal dan berlindung ikan, hewan pantai, hewan laut, dan juga burung-burung. Hutan bakau banyak dijumpai di pantai utara Jawa, pantai Timur Sumatera, dan pantai Selatan Papua.

2. Ekosistem Hutan Hujan Tropis

Macam-macam ekosistem di Indonesia selanjutnya adalah ekosistem hutan hujan tropis. Hutan hujan berupa hutan belantara yang lebat dan kaya akan keanekaragaman hayati. Hutan hujan banyak dijumpai di Sumatera,

Kalimantan, dan Papua. Jenis tanaman yang bisa kalian jumpai di ekosistem hutan hujan tropis ini bersifat heterogen atau memiliki jenis-jenis yang beranekaragam. Jenis-jenis pohon yang ada di hutan ini berjenis besar dan tinggi. Tinggi rata-rata pohon di hutan hujan tropis bisa mencapai 20 meter hingga 40 meter. Dan hewan yang bisa kalian jumpai di hutan hujan tropis ini adalah jenis-jenis kera, harimau, jenis-jenis burung, badak sampai dengan babi.

3. Ekosistem Padang Rumput Sabana

Ekosistem padang rumput sabana ada di Nusa Tenggara Timur dan Papua. Padang rumput sabana didominasi oleh rumput dan semak-semak. Didalam sabana hidup mamalia besar seperti kuda, rusa, dan wallaby. Curah hujan di padang rumput sabana cenderung rendah, hanya berkisar antara 25 hingga 50 cm pertahun. Dengan curah hujan yang sedikit dan tidak teratur membuat hanya sedikit pohon yang mampu hidup di padang rumput.

Rata-rata tanaman yang hidup di padang rumput adalah pohon-pohon yang berjenis pendek. Selain itu, akibat hujan yang tidak merata, membuat sebagian rumput di padang rumput ada yang sangat subur dan ada yang tidak subur. Daerah yang sangat subur mampu menumbuhkan rumput hingga ketinggian 3 cm. Jenis hewan yang hidup di padang rumput adalah kangguru, singa, jerapah, jaguar, zebra, dan jenis-jenis ular.

4. Ekosistem Sawah

Ekosistem sawah menjadi salah satu macam-macam ekosistem di Indonesia dan terdapat di daerah pertanian. Ekosistem sawah merupakan ekosistem binaan dengan adanya tanaman sejenis. Misalnya tanaman padi saja, tanaman jagung saja, atau tanaman kedelai saja. Manusia

perlu mengelola sawah dengan membuat irigasi, memberi pupuk, dan membasmi hama.

5. Ekosistem Kota

Ekosistem kota yang terdapat di perkotaan menjadi pembahasan terakhir dari macam-macam ekosistem yang ada di Indonesia. Ekosistem ini juga merupakan ekosistem binaan yang terdiri dari beberapa komponen biotik dan abiotik yang didominasi manusia. Kota merupakan wujud dari peradaban manusia yang berkembang

Menurut data berita ANTARA News dikemukakan bahwa Indonesia memiliki sedikitnya 47 jenis tipe ekosistem alami, mulai dari alpin es di pegunungan Papua, berbagai variasi ekosistem lahan basah, hingga hutan bakau dan rawa gambut.

"Tipe ekosistem yang mendominasi dataran rendah tropika basah Sumatra dan Kalimantan adalah hutan dipterokarpa campuran (MDF). Tipe hutan yang merupakan ekosistem yang paling tinggi biodiversitasnya di dunia," kata Pakar Ekologi dari LIPI Dr. Herwint Simbolon yang dikonfirmasi di Jakarta, Selasa. Dalam suatu penelitian di Kalimantan Barat, dilaporkan 326 jenis pohon berukuran diameter di atas lima sentimeter dalam satu hektare petak penelitian yang pada pohon-pohon tersebut setidaknya menempel tanaman epifit 56-134 jenis, ujarnya.

Selain itu ada juga tipe ekosistem hutan Kerangas yang kondisi lingkungannya ekstrem dengan tanah yang miskin hara dan tanpa lapisan topsoil dan subsoil, namun masih memiliki 121-152 jenis pohon dalam satu hektare. Indonesia, katanya, juga memiliki hutan rawa gambut dengan kondisi yang bukan saja miskin hara, namun substrat yang ekstrem asam, dan terendam sehingga cenderung bersifat anaerob, namun masih memiliki 72-81 jenis pohon per hektare. "Ini masih sebanding dengan hutan tanah mineral tropika basah pegunungan dan hutan tanah mineral tropika basah subpegunungan di Jawa

yang masing-masing hanya memiliki 116 dan 44 jenis per hektare, " katanya. Masing-masing tipe ekosistem ini memiliki komposisi, ciri, sifat, dan fungsi serta dinamika yang berbeda satu sama lain, katanya. Indonesia, ujarnya, hanya memiliki 1,3 persen total daratan dunia, namun mempunyai 17 persen jenis kehidupan yang ada di bumi, di mana 11 persen tumbuhan tinggi hidup di hutannya. Namun, ia menyayangkan, hutan-hutan tropika basah ini terus mengalami gangguan seperti penebangan liar, kebakaran hutan, konversi menjadi lahan pertanian dan pemukiman, hingga kekeringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, I. A. 2010. Keterkaitan Komunitas Makrozoobentos dengan Ekosistem Lamun Di Kawasan Rehabilitasi Lamun Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Bengen, D. G. 2000. Teknik Pengambilan Contoh dan Analisis Data Biofisik Sumberdaya Pesisir. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Dahuri, R. 2003. *Pendayagunaan Sumberdaya Kelautan untuk Kesejahteraan Masyarakat*. LIPI. Jakarta.
- Herry, A. Pratomo dan H. Irawan. 2015. Keanekaragaman Bivalvia Pada Ekosistem Padang Lamun Pulau Pengujan. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. UMRAH. Batam.
- Odum, E.P. 1998. *Dasar-Dasar Ekologi*. Diterjemahkan oleh Tjahjono Samingan. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Lan. 1995. Progress study on the arthropod community of rice ecosystems in the Mekong Delta, Vietnam. Paper presented at the Workshop on Sustainable IPM in Tropical Rice, Bogor, Indonesia.
- Purnama, A. A. 2011. Pemetaan dan Kajian Beberapa Aspek Ekologi Komunitas Lamun di Perairan Pantai Karang Tirta. *Tesis Pascasarjana Universitas Andalas*. Padang.
- Suharsono. 1999. Condition of coral reef resources in Indonesia. Oceanology Research and Development center (Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi-LIPI).
- Sunarto. 2006. Keanekaragaman Hayati dan Degradasi Ekosistem Terumbu Karang. *Karya Ilmiah*. Universitas Padjadjaran.

- Supriharyono. 2000. *Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang*. Djambatan. Jakarta.
- Wahyudin, Y., T. Kususmanto., L. Adrianto dan Y. Wardianto. 2016. Jasa Ekosistem Lamun Bagi Kesejahteraan Manusia. Vol. 12(3). ISSN: 1858-3873
- Wisnubudi, Gdan E. Wahyuningsih.2014. Kajian Ekologis Ekosistem Sumberdaya Lamun dan Biota Laut Asosiasinya di Pulau Pramuka, Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu (TNKpS). Universitas Nasional, Jakarta.

BAB 4

DAUR BIOGEOKIMIA

Oleh Putri Nurhanida Rizky

4.1 Pendahuluan dan Pengertian Daur Biogeokimia

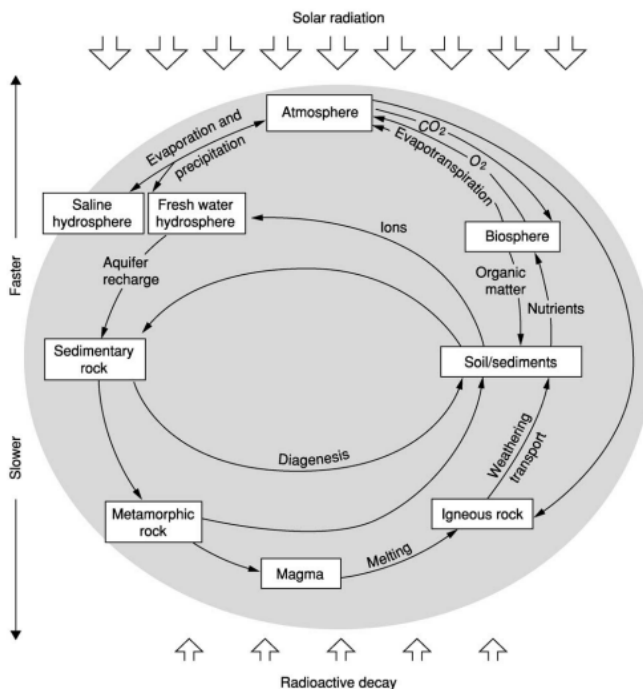
Ilmu sistem bumi didasarkan pada prinsip bahwa bumi pada dasarnya dinamis dan tertutup oleh material, tetapi mempunyai energi yang saling berhubungan. Bumi terus mengakresi materi dari luar angkasa seperti meteorit, asteroid, dan komet yang mencapai ke bumi dalam bentuk radiasi matahari. Variasi radiasi matahari akan berdampak pada dinamika daur biogeokimia. Peningkatan radiasi matahari dapat mengakibatkan pemanasan global, sedangkan penurunan radiasi matahari dapat mengakibatkan pendinginan global.

Daur biogeokimia merupakan sebuah siklus alami dalam ekosistem untuk mempertahankan unsur penting dalam kehidupan di bumi, merubah energi serta unsur – unsur kimia menjadi bentuk yang dapat digunakan untuk mendukung fungsi ekosistem yang digambarkan melalui pergerakan materi antara atmosfer, biosfer, lautan dan geosfer. Mencakup enam elemen paling penting dalam ekosistem yang menjadi dasar – dasar kehidupan seperti karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, fosfor dan sulfur.

Sama seperti kehidupan, daur biogeokimia juga terus berevolusi sepanjang tahun dan saling berketertgantungan bersamaan dengan perubahan metabolisme makhluk hidup. Terdapat dua macam daur dalam daur biogeokimia antara lain daur edafik dan atmosferik. Unsur kimia pada daur edafik tidak membentuk gas di udara, sedangkan unsur kimia pada daur atmosferik mengalami fase pembentukan gas di udara.

Sehingga keseimbangan ekosistem tergantung pada pengulangan yang terjadi secara berputar pada unsur – unsur kimia tertentu.

Daur biogeokimia dijelaskan sebagai reservoir, material, fluks, *sinks* dan jumlah material. Reservior adalah jumlah materi dalam sistem bumi tertentu seperti oksigen di atmosfer, atau air di lautan. Fluks adalah jumlah material yang dipindahkan dari satu reservior ke reservior lain – misalnya, jumlah air yang hilang dari laut ke atmosfer melalui evaporasi. Material adalah aliran material ke dalam reservior, dan sink adalah jumlah material yang dibuang. Budget adalah rata – rata jumlah material yang hilang atau diperoleh dalam suatu sistem (gambar 1).



Gambar 4.2. Proses siklik dan fluxes antara reservior utama pada bumi. Sumber: Jacobson, *et al.*, 2000.

Dalam proses pembentukan daur biogeokimia terdapat beberapa daur diantaranya adalah sebagai berikut:

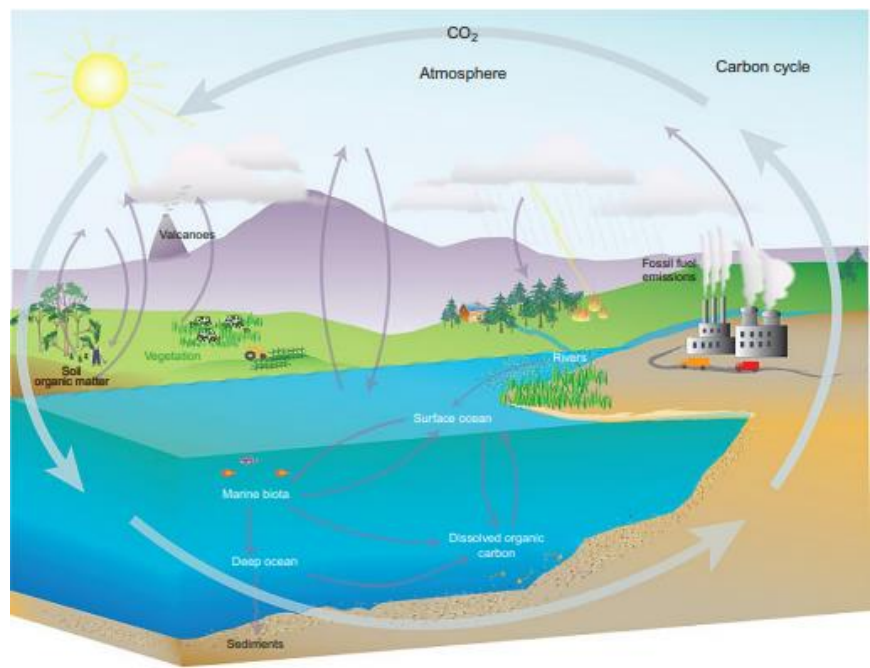
4.2 Daur Karbon

Karbon adalah elemen penting dalam tubuh organisme dan merupakan sumber energi bagi organisme. Dalam atmosfer, CO₂ berbentuk gas rumah kaca yang membantu mengatur suhu bumi. Karbon dalam bentuk minyak, gas alam, dan batu bara, sebagai sumber energi bagi aktivitas manusia. Karbon juga merupakan unsur penting untuk pembuatan produk sehari – hari. Selain itu, karbon juga merupakan sumber dari isu – isu perubahan iklim global saat ini.

Daur karbon merupakan salah satu daur biogeokimia dimana terdapat pertukaran karbon di area biosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Daur karbon melibatkan empat reservoir karbon utama seperti atmosfer, biosfer terestrial (*freshwater system* dan material non-hayati organik seperti karbon tanah (*soil carbon*), lautan (karbon organik terlarut dan biota laut hayati dan non-hayati), dan sedimen (bahan bakar fosil) (Gambar 2). Daur karbon dapat dicirikan sebagai dua subsiklus yang saling berhubungan. Subsiklus pertama terdiri dari pertukaran karbon antara organisme hidup yang terjadi dalam kurun waktu yang cepat. Subsiklus kedua terdiri dari siklus jangka panjang melalui proses geologi.

Substitusi karbon melalui rantai makanan mewakili subsiklus karbon dalam waktu yang cepat. Tumbuhan memindahkan karbon dari atmosfer ke biosfer melalui fotosintesis. Organisme autotrof menggunakan energi dari matahari untuk mengubah CO₂ menjadi molekul organik kompleks (gula). Organisme heterotrof akan mencerna molekul

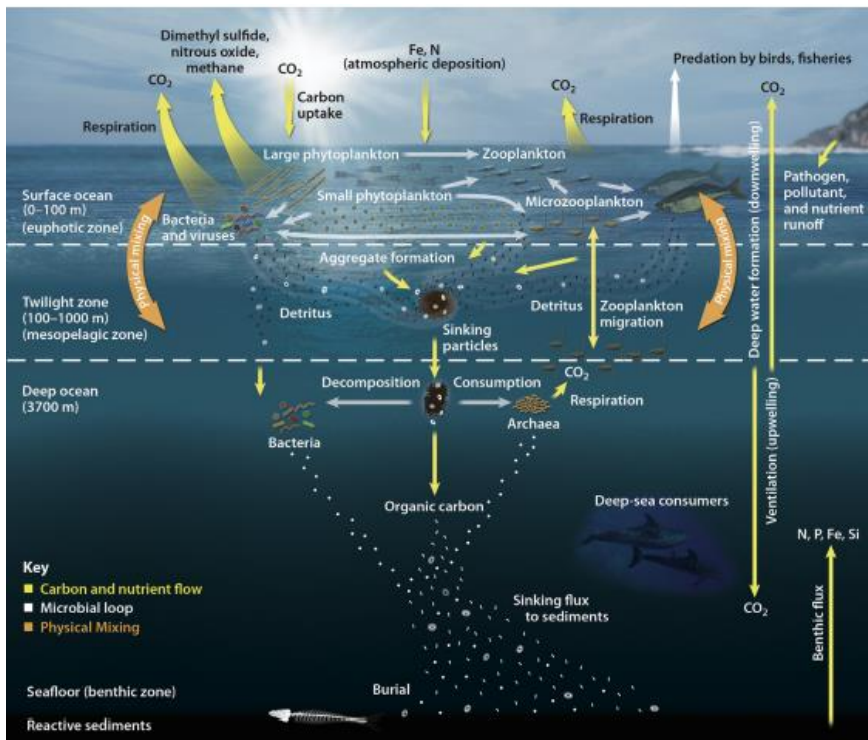
Pergerakan karbon antara reservoir utama bumi, atmosfer, laut, darat, dan geosfer umumnya terjadi sangat lambat (ratusan hingga jutaan tahun). Karbon dioksida adalah bentuk utama karbon di atmosfer yang kadarnya sangat dipengaruhi oleh pertukaran karbon antara laut dan waduk tanah.



Sumber: <http://www.noaa.gov/resource-collections/carbon-cycle>

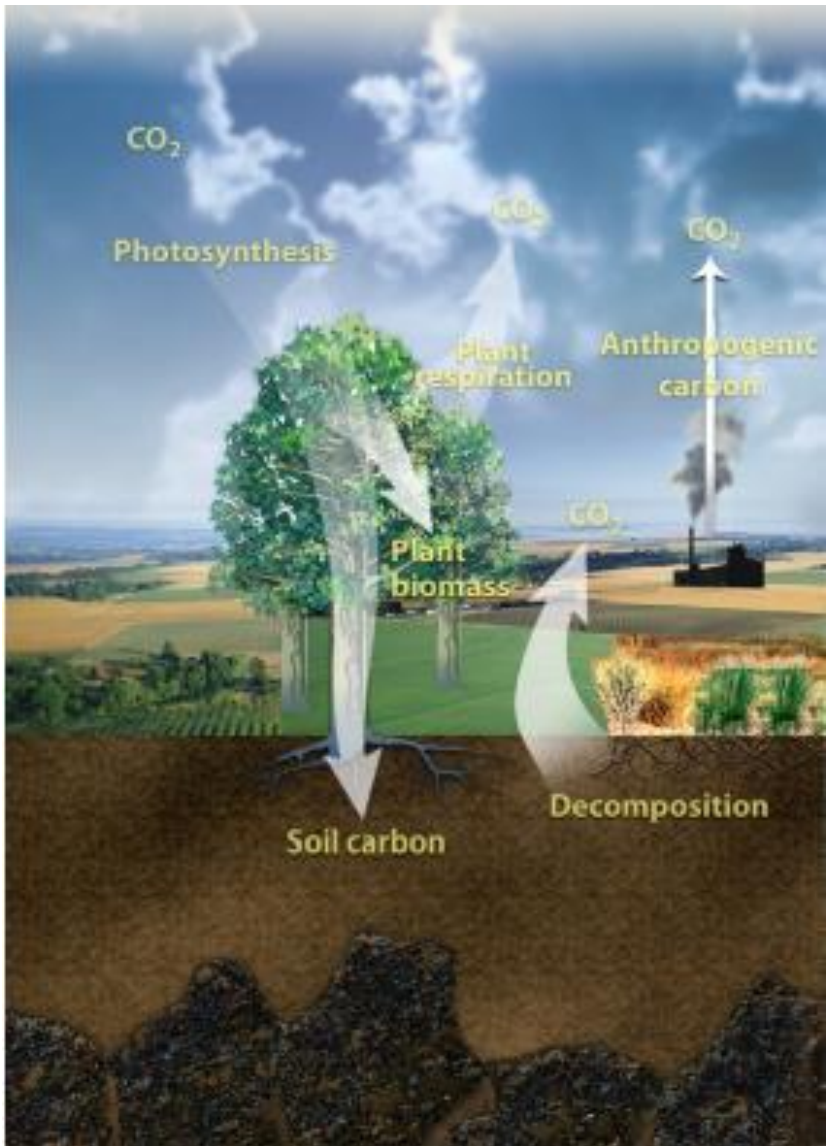
Karbon dioksida di atmosfer larut dalam lautan, setelah itu berubah menjadi berbagai bentuk (Gambar 3). Fitoplankton mengubah karbon menjadi sumber makanan untuk organisme tingkat tinggi melalui proses fotosintesis. Beberapa organisme menggabungkan karbon dengan ion kalsium pada air laut untuk membentuk kalsium karbonat (CaCO_3), komponen utama pembentuk cangkang pada organisme laut. Organisme laut yang telah mati, membentuk sedimen di dasar laut. Selama ribuan tahun, sedimen tersebut akan mengalami proses geologis untuk membentuk batu kapur dan batuan sedimen laut lainnya. Bentuk ini merupakan reservoir karbon terbesar di bumi.

Di darat, karbon terdapat pada tumbuhan dan hewan hidup yang dihasilkan melalui rantai makanan. Transfer karbon antara daratan dan atmosfer terjadi melalui proses fotosintesis – respirasi. Selain itu, aktivitas manusia seperti konsumsi bahan bakar fosil adalah sumber lain dari karbon ke atmosfer. Kedua sumber ini digambarkan pada Gambar 4. Proses transfer karbon didarat terjadi dalam waktu yang relatif singkat. Selain itu, gunung berapi juga merupakan sumber karbon dari darat ke atmosfer. Sedimen yang mengandung karbon di dasar laut bergerak jauh di dalam bumi melalui proses subduksi, yang merupakan gerakan satu lempeng tektonik. Sedimen ini dapat berubah menjadi batuan cair (magma) di bawah suhu dan tekanan tinggi yang ada pada kedalaman tertentu. Proses ini dapat menyebabkan pembentukan gunung berapi yang melepas karbon dalam bentuk CO_2 pada saat erupsi.



Gambar 4.4. Daur Karbon dalam Lautan

Karbon disimpan di tanah sebagai hasil dekomposisi organisme hidup atau dari pelapukan batuan dan mineral. Karbon disimpan lebih dalam di bawah tanah dalam bentuk sisa – sisa tumbuhan dan hewan yang membusuk dan dirubah menjadi minyak bumi, gas alam, dan batu bara.



Gambar 4.5. Daur Karbon di Daratan
Sumber: <https://science.energy.gov/ber/>

4.3 Daur Oksigen

Salah satu unsur terpenting di atmosfer bumi adalah molekul oksigen (O_2) bebas dengan konsentrasi yang relatif tinggi. Tingginya kadar oksigen di bumi menunjukkan bahwa bumi jauh dari kesetimbangan termodinamika. Daur oksigen merupakan daur biogeokimia yang melibatkan pertukaran oksigen di atmosfer secara terus – menerus. Proses ini membentuk siklus yang melibatkan lingkungan hidup yang disebut biosfer, dan lingkungan tak hidup seperti litosfer, atmosfer dan hidrosfer.

Fitoplankton merupakan salah satu organisme penghasil oksigen yang paling tinggi. Oksigen pertama kali diperkenalkan ke bumi oleh cyanobacteria melalui proses fotosintesis. Sebelumnya, sekitar 4,6 miliar tahun yang lalu, tidak ada kehidupan di planet bumi karena atmosfer tidak memiliki oksigen. Kemudian, terdapat peningkatan kadar oksigen secara bertahap pada 299 juta tahun yang lalu. Sebelum adanya proses fotosintesis, semua organisme heterotrof mengoksidasi karbon organik dalam kondisi anaerob.

Daur oksigen terjadi karena semua makhluk hidup membutuhkan oksigen untuk kelangsungan hidupnya. Daur oksigen dimulai dengan proses fotosintesis atas bantuan sinar matahari yang melepaskan oksigen kembali ke atmosfer, dimana manusia dan hewan menghirup oksigen dan mengeluarkan karbondioksida dan kembali ke tanaman. Daur oksigen membantu menjaga tingkat oksigen pada atmosfer, litosfer, dan biosfer (Reinhard *et al.*, 2016).

4.3.1 Daur oksigen pada atmosfer

Atmosfer adalah area di atas permukaan bumi dan merupakan salah satu reservoir oksigen bebas terbesar di bumi. Fotolisis adalah proses pelepasan oksigen ke atmosfer. Dalam prosesnya, sinar matahari memecah molekul pembawa oksigen bebas untuk menghasilkan oksigen bebas. Siklus ozon merupakan hasil dari proses fotolisis. Oksigen bebas ini kemudian bergabung kembali dengan molekul O_2 yang ada untuk membuat O_3 atau ozon. Daur ini sangat penting karena membantu melindungi bumi dari sebagian besar radiasi ultraviolet yang berbahaya dengan mengubahnya menjadi panas yang tidak berbahaya sebelum mencapai permukaan bumi.

4.3.2 Daur oksigen pada biosfer

Pada lingkungan biosfer, proses utama dalam daur oksigen adalah respirasi dan fotosintesis. Selama respirasi hewan dan manusia bernafas dengan mengonsumsi oksigen untuk digunakan dalam proses metabolisme dan menghembuskan karbon dioksida. Fotosintesis adalah kebalikan dari proses ini dan dilakukan oleh tumbuhan dan plankton.

4.3.3 Daur oksigen pada litosfer

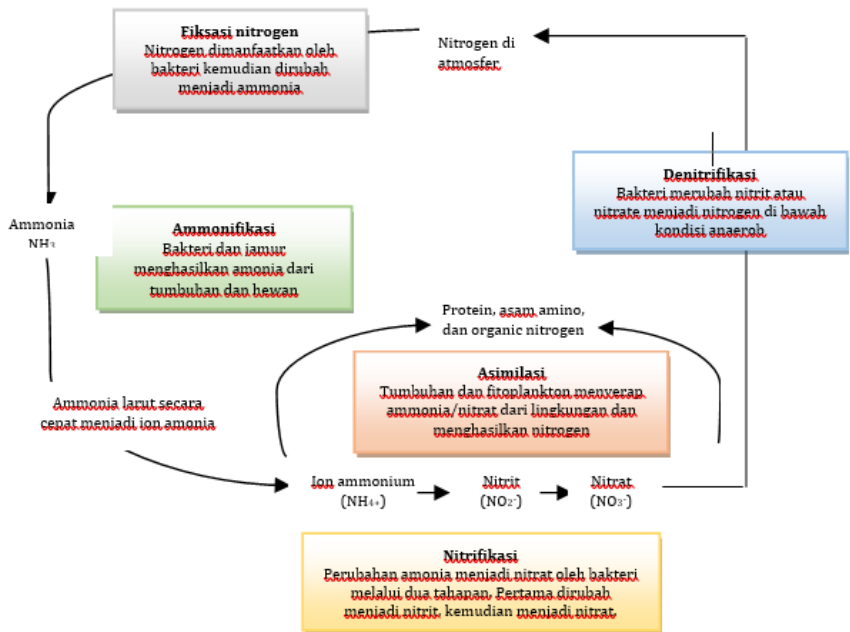
Pada area litosfer, oksigen terikat dan terperangkap dalam mineral seperti silikat. Ini merupakan proses oksidasi alami. Sebagian oksigen dibebaskan oleh pelapukan kimia. Ketika mineral pembawa oksigen terkena unsur – unsur reaksi kimia dalam proses menghasilkan oksigen bebas.

4.4 Daur Nitrogen

Nitrogen merupakan satu komponen utama pembentuk asam amino yang nantinya akan di rubah menjadi protein. Oleh karena itu, daur nitrogen merupakan daur yang sangat kritis bagi kehidupan (Gambar 5) karena mencakup banyak proses ekosistem, seperti produksi primer dan dekomposisi. Pada umumnya, sebagian organisme tidak dapat memanfaatkan nitrogen (N_2) secara langsung dari udara. Akan tetapi, harus dikonversi terlebih dahulu menjadi ammonia (NH_3). Sebagian besar proses konversi ini dilakukan oleh mikroorganisme. Proses daur nitrogen terdiri dari beberapa tahap seperti fiksasi, nitrifikasi, asimilasi, amonifikasi, dan denitrifikasi (Pajares and Ramos, 2019).

4.4.1 Proses Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen adalah proses perubahan nitrogen (N_2) di udara bebas menjadi amonia (NH_3). Selama proses fiksasi, gas nitrogen dari atmosfer dan permukaan air diendapkan ke dalam tanah melalui presipitasi. Proses fiksasi nitrogen ini dilakukan oleh bakteri Diazotrof, azotobacter dan rhizobium. Bakteri ini memiliki enzim nitrogenase yang dapat digunakan untuk menggabungkan gas nitrogen dan hidrogen kemudian diubah menjadi amonia. Fiksasi nitrogen terjadi dibawah suhu dan tekanan yang tinggi.



Gambar 4.6. Siklus nitrogen

4.4.2 Proses Nitrifikasi Nitrogen

Proses nitrifikasi nitrogen dimulai dari perubahan amonia menjadi nitrat oleh bakteri di dalam tanah. Bakteri nitrosomas di dalam tanah akan mengoksidasi amonia menjadi nitrit yang nantinya akan di rubah menjadi nitrat oleh nitrobacter. Proses ini menghasilkan gas amonia yang bersifat racun bagi tanaman.

4.4.3 Proses Asimilasi Nitrogen

Asimilasi nitrogen adalah proses pembentukan asam amino dari nitrogen anorganik. Senyawa asam amino ini didalam tanah kemudian terdegradasi kedalam bentuk ion

nitrit, nitrat, atau amonium untuk pembentukan protein pada tanaman. Melalui proses ini nitrogen akan masuk ke dalam rantai makanan.

4.4.4 Proses Amonifikasi Nitrogen

Proses amonifikasi terjadi ketika nitrogen yang ada di dalam bahan organik dilepaskan oleh tanaman atau hewan mati yang telah mati. Bakteri atau jamur pengurai akan mengubah senyawa nitrogen bebas di dalam tanah menjadi amonium yang kemudian menghasilkan amonia untuk proses biologis lainnya.

4.4.5 Proses Denitrifikasi Nitrogen

Denitrifikasi adalah suatu proses dimana senyawa nitrogen kembali ke atmosfer dengan mengubah nitrat menjadi gas nitrogen (N₂). proses siklus nitrogen ini adalah tahap akhir dan terjadi secara anaerob. Denitrifikasi dilakukan oleh bakteri *pseudomonas* atau *clostridium* yang akan memproses nitrat untuk mendapatkan oksigen dan mengeluarkan gas nitrogen bebas sebagai produk sampingan (Graf *et al.*, 2021).

4.4.6 Fungsi Daur Nitrogen

Daur nitrogen dalam kehidupan sehari – hari berfungsi untuk:

1. Merubah senyawa nitrogen menjadi klorofil yang berguna untuk pertumbuhan tanaman melalui proses biokimia
2. Membantu bakteri untuk menguraikan materi hewan dan tumbuhan yang sudah mati melalui proses amonifikasi untuk membersihkan lingkungan
3. Memperkaya nutrisi tanah

4. Sebagai senyawa dasar untuk membentuk komponen bimolekul penting dalam integral sel.

4.5 Daur Hidrogen

Daur hidrogen juga biasa disebut sebagai daur air karena hidrogen merupakan salah satu komponen utama penyusun air. Daur hidrogen terjadi karena adanya pertukaran antara komponen hidrogen pada senyawa biotik dan abiotik. Daur ini akan terus menerus terjadi berasal dari atmosfer ke bumi, lalu hidrogen (air) akan kembali lagi ke atmosfer dan seterusnya. Sehingga daur hidrogen sangat berperan penting dalam mempertahankan jumlah dan ketersediaan air, menjaga intensitas hujan, menjaga cuaca dan suhu di bumi, dan membantu keseimbangan ekosistem (Konn *et al.*, 2015).

4.5.1 Siklus abiotik

Sumber abiotik gas hidrogen berasal dari air pada batuan reaksi fotokimia. Reaksi serpentinisasi antara air dan mineral pada batuan menghasilkan gas H_2 yang tersimpan di permukaan laut atau zona terestrial. Di lautan, lubang hidrotermal mengeluarkan magma dan mengubah cairan air laut menjadi molekul H_2 . Molekul hidrogen juga dapat diproduksi melalui fotooksidasi (melalui radiasi sinar UV) pada mineral siderite dalam keadaan anoxic (Seewald, 2017).

Molekul hidrogen merupakan molekul paling ringan, sehingga dapat hilang ke atmosfer menuju luar angkasa dengan sangat mudah. Reaksi kimia fotolisis pada komponen CH_4 dan H_2O , juga dapat menghasilkan H_2 ke atmosfer yang nantinya akan membentuk air melalui oksidasi fotokimia.

4.5.2 Siklus biotik

Aktivitas metabolisme mikroba banyak yang menghasilkan atau membutuhkan hidrogen. Pada mikroba/bakteri, hidrogen diproduksi oleh enzim hidrogenase dan nitrogenase yang beberapa diantaranya sedang dikembangkan untuk produksi biofuel. Hidrogen pada mikroba dihasilkan melalui fermentasi anaerob maupun aerob.

Mikroba aerob dan anaerob mengoksidasi senyawa H_2 selama proses respirasi. Selama proses ini, terjadi pertukaran H_2 antar mikroba yang nantinya akan mereduksi CO_2 menjadi CH_4 atau asetat, SO_4^{2-} menjadi H_2S , atau Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} . Pertukaran H_2 antar mikroba ini akan membantu menjaga kadar hidrogen di lingkungan tetap stabil.

4.6 Daur Fosfor

Fosfor merupakan komponen penting dalam sel makhluk hidup sebagai sumber pembentukan asam nukleat untuk proses reproduksi. Fosfor tidak mengalami reaksi redoks seperti karbon, nitrogen, fosfat, atau oksigen. Reaksi kimia fosfor berdasarkan pada proses hidrolisis sehingga atmosfer tidak berperan dalam daur fosfor. Hal ini menyebabkan, daur fosfor terjadi melalui siklus di litosfer, hidrosfer, dan biosfer. Menurut Defforey (2018), di lingkungan, fosfor berpindah melalui tumbuhan dan hewan ke tanah atau laut dalam waktu yang sangat lama. Daur fosfor antara lain:

1. Batuan litosfer mengandung fosfor dan mineral lainnya
2. Pada saat hujan, batuan tersebut akan mengalami erosi dan melepaskan ion – ionnya. Proses ini menghasilkan fosfat

yang bersifat anorganik dan kemudian terdistribusi di tanah dan air.

3. Fosfat anorganik dari tanah kemudian dimanfaatkan oleh tanaman yang kemudian tanaman tersebut di konsumsi oleh hewan. Sehingga fosfat anorganik dapat masuk ke dalam rantai makanan makhluk hidup.
4. Fosfat anorganik yang berada di dalam tubuh tumbuhan, hewan, atau organisme lainnya kemudian masuk kedalam DNA tubuh dan berubah menjadi fosfat organik.
5. Pada saat organisme tersebut mati, terjadi pembusukan dan dekomposisi tubuh sehingga fosfat organik akan kembali masuk ke dalam tanah.
6. Fosfat organik yang berada di dalam tanah akan di pecah oleh bakteri dan dikenal sebagai proses mineralisasi.
7. Dalam hal ini, fosfor akan mengendap di saluran air hingga laut yang kemudian akan masuk ke dalam proses sedimentasi/
8. Proses sedimentasi ini berlangsung dari waktu ke waktu hingga fosfor kembali menjadi batuan atau sedimen yang nantinya daur fosfor akan dimulai kembali.

4.7 Daur Sulfur

Sulfur mengandung asam amino, metionin, dan sistein yang sangat dibutuhkan untuk sintesis protein pada organisme. Daur sulfur melibatkan proses metabolisme mikroba. Dalam kondisi anaerob, mikroba heterotrof menyerap sulfat untuk dirubah menjadi H_2S yang kemudian akan dioksidasi oleh beberapa mikroorganisme. Daur sulfur dapat dijelaskan sebagai berikut (Fike *et al.*, 2015):

1. Degradasi protein terjadi pada batuan yang sudah lapuk. Proses ini menyebabkan terjadinya pelepasan asam amino yang mengandung belerang.
2. Asam amino dengan kandungan belerang ini akan dirubah menjadi sulfur, dan teroksidasi menjadi sulfat di udara.
3. Sulfat di udara kemudian dioleh menjadi bentuk organik oleh tanaman dan mikroba.
4. Belerang kemudian masuk ke dalam rantai makanan melalui konsumsi tanaman dan mikroba yang menghasilkan bahan organik
5. Ketika hewan mati, sebagian komposisi belerang didalam tubuh hewan tersebut terdekomposisi dan sisanya masuk ke dalam jaringan mikroba.
6. Belerang juga berasal dari sumber alam seperti letusan gunung berapi, penguapan air dan penguraian bahan organik maupun curah hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Graf, Jon S., Schorn.S., Kitzinger.K., Ahmerkamp.S., Woehle.C., Huettel.B., Schubert.C.J., Kuypers.M., and Milucka.J. 2021. Anaerobic endosymbiont generates energy for ciliate host by denitrification *Nature*. 591, 7850: 445–450. doi:10.1038/s41586-021-03297-6.
- Jacobson, M.C., Charlson, R.J., Rodhe.H., and Orians.H. 2000. *Earth System Science San Diego: Academic Press*.
- Defforey. D., Paytan. A. 2018. Phosphorus cycling in marine sediments: Advances and challenges*Chemical Geology*. 477: 1–11. doi:10.1016/j.chemgeo.2017.12.002.
- Fike,D.A., Bradley,A.S., Rose,C.V. 2015. Rethinking the Ancient Sulfur Cycle*Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 43 (1): 593–622.
- Konn.C., Charlou,J.L., Holm,N.G., and Mousis,O. 2015. The production of methane, hydrogen, and organic compounds in ultramafic-hosted hydrothermal vents of the Mid-Atlantic Ridge*Astrobiology*. 15 (5): 381–99.
- Pajares,M.S., Ramos.R. 2019. Processes and Microorganisms Involved in the Marine Nitrogen Cycle: Knowledge and Gaps*Frontiers in Marine Science*. 6: 739.
- Reinhard,C.T., Planavsky,N.J., Olson, S.L., Lyons, T.W., Erwin, D.H. 2016. Earth's oxygen cycle and the evolution of animal life*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 113 (32): 8933–8.
- Seewald J.S. 2017. Detecting molecular hydrogen on Enceladus*Science*. 356 (6334): 132–133. doi:10.1126/science.aan0444.

BAB 5

PRODUKTIVITAS PRIMER DAN RANTAI MAKANAN PADA EKOSISTEM LAUT

Oleh Tarzan Purnomo

5.1 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 kcal m⁻² tahun⁻¹. Angka ini jauh di atas produktivitas ekosistem darat yang memperoleh masukan energi, yaitu 12000 kcal m⁻² 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 dari 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 mengeksport 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 entropynya 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.

Ekosistem laut merupakan satuan kehidupan (organisme hidup) saling berhubungan dan berinteraksi dengan lingkungan nir-hayatnya (fisik) membentuk suatu sistem. Dengan demikian, ekosistem laut sebagai unit fungsional terdiri dari komponen hayati (biotik) dan nir-hayati (abiotik). Komponen biotik yang menyusun ekosistem laut terdiri dari empat kelompok utama: (1) produser, (2) konsumen primer, (3) konsumen sekunder dan (4) dekomposer. Sebagai produser adalah vegetasi autotrof, algae dan fitoplankton yang memanfaatkan energi matahari untuk proses fotosintesa yang menghasilkan zat organik kompleks dari zat anorganik sederhana. Sebagai konsumen primer adalah hewan-hewan yang memakan produser (herbivora). Herbivora ini menghasilkan pula materi organik (pertumbuhan, reproduksi), tapi mereka tergantung sepenuhnya dari materi organik yang disintesa oleh tumbuhan atau fitoplankton yang dimakannya. Konsumen sekunder adalah karnivora, yaitu semua organisme yang memakan hewan. Selanjutnya konsumen tersier yang memakan konsumen sebelumnya. Banyak spesies organisme yang tidak dengan mudah dapat diklasifikasikan ke dalam tingkatan trofik ini, karena mereka dapat dimasukkan ke dalam

beberapa kelompok: konsumen primer dan sekunder (omnivora), konsumen sekunder dan tersier (predator atau parasit herbivora dan karnivora). Sebagai dekomposer adalah organisme avertebrata, bakteri dan cendawan yang memakan materi organik mati: bangkai, detritus, dan ekskreta.

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 berbaur atau zona persimpangan yang disebut ekoton (misalnya zona intertidal perairan laut).

5.2 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, 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 ($\text{g C}/\text{m}^3/\text{hari}$) atau jumlah gram karbon yang dihasilkan dalam satu meter kubik per hari ($\text{gC}/\text{m}^3/\text{hari}$) (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 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).

5.3 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.

5.3.1 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 CO_2 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.

4. 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.

5.3.2 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 (Wyrski, 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 $0,03^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (Wyrski, 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°C pada lapisan permukaan hingga kedalaman 10 m dan hanya kira-kira 0,12°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 pencampuran 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 (Wyrski, 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 (ρ_s)

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).

5.4 Faktor Utama yang Mempengaruhi Produktivitas Primer di Laut

Berbagai faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas primer lautan meliputi:

5.4.1 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 mengandung klorofil a dan ficobilin (Brown *et al.*, 1998).

5.4.2 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).

5.4.3 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.

5.5 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:

5.5.1 *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 (Wyrтки, 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-a

nya rata-rata 0,39 mm/l dan pada musim Barat 0,18 mm/l. (Nybakken, 2001).

5.5.2 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.

5.5.3 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 percampuran 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/m^3 dan 0,16 mg/m^3 selama Musim Barat, dan 0,21 mg/m^3 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 kebawah meningkat dengan konsentrasi maksimum pada kedalaman 75–100 m. Sementara itu di laut selatan Pulau Jawa dan Bali konsentrasi maksimum klorofil-a berada pada kedalaman 20 m pada Musim Timur dan 80 m pada Musim Barat (Nybakken, 2001). Umumnya kedalaman tersebut merupakan batas atas lapisan termoklin.

5.6. 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

konsumer seperti herbivora dan karnivora. Namun, produktivitas sekunder biasanya hanya dihitung berdasarkan produksi konsumer 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 ekresi. 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.

5.7 Rantai Makanan Pada Ekosistem Laut

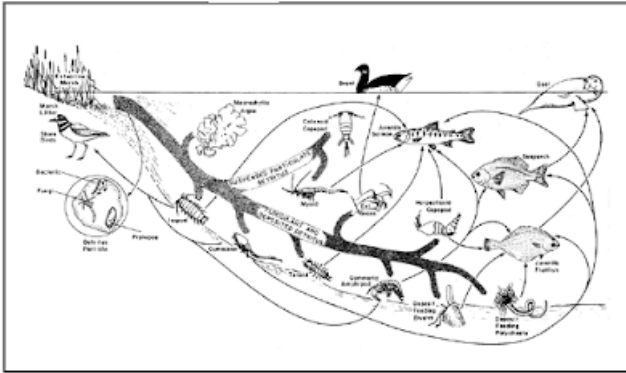
5.7.1 Rantai Makanan Pantai Berlumpur

Pada pantai berlumpur terdapat dua tipe dasar rantai makanan, yaitu:

1. Rantai makanan rerumputan (grazing food chain). Contoh: hidrofita-herbivora-carnivora.
2. Rantai makanan sisa (detritus food chain). Organisme mati-detritivora- mikroorganisme.

Rantai makanan merupakan suatu pola yang kompleks dan saling terhubung, di dalam suatu komunitas yang kompleks antar komunitas mengingat satu spesies dapat

menduduki lebih dari satu tingkatan trofik di dalam suatu rantai makanan (Krebs 1972 dalam Odum, 1998).



Gambar 5.1. Rantai makanan di pantai
(Long, 1982 in Odum, 1998)

Dalam pantai berlumpur tiga bagian terbesar dalam rantai makanan (Odum, 1998) yaitu: fitoplankton, zooplankton, dan infauna benthik. Fitoplankton dan zooplankton adalah komponen rantai makanan utama yang penting, karena sebagai penghasil bahan organik. Sedangkan, infauna benthik melengkapi pentingnya rantai makanan di dalam ekosistem pantai berlumpur.

a. Fitoplankton

Pertumbuhan fitoplankton pada ekosistem pantai berlumpur dipengaruhi interaksi antara matahari, hujan, nutrien, dan gerakan massa air, serta konvergensi yang di akibatkan oleh arus laut. Sampai jumlah tertentu produksi fitoplankton tergantung pada cuaca, dengan pencampuran dan stratifikasi kolom air yang mengendalikan produktivitas utama. Pencampuran massa air secara vertikal yang kuat mempunyai efek negatif terhadap produktivitas, karena meningkatkan turbiditas sehingga mengurangi penetrasi cahaya matahari dan pertumbuhan fitoplankton. Meskipun,

pengadukan vertikal ini menguntungkan karena membawa nutrisi ke permukaan untuk digunakan dalam fotosintesis oleh fitoplankton.

b. *Zooplankton dan heterotrof lain*

Zooplankton dan heterotrof lain di dalam kolom air mengisi suatu relung ekologis penting sebagai mata rantai antara produksi fitoplankton utama dan produktivitas ikan. Misalnya, ikan berukuran panjang 50 - 200 milimeter, (seperti ikan salem dewasa dan ikan hiu kecil), memperoleh makanan terbesar dari zooplankton dan heterotrof lain. Konsumen utama ini adalah mangsa utama untuk sculpins, rockfish, ikan hiu, burung, dan paus ballen (Nybakken, 2001). 85 - 92% zooplankton di teluk adalah calanoid copepods. Secara teknis, zooplankton tinggal di kolom air dan pergerakan utama dikendalikan oleh keadaan arus *insitu*. Mereka mempunyai kemampuan untuk bermigrasi secara vertikal terhadap kolom air dan secara horisontal dari pantai ke laut lepas untuk mencari lokasi yang cocok untuk pertumbuhannya. Migrasi vertikal menciptakan sonik lapisan menyebar ketika zooplankton bergerak ke permukaan pada malam hari dan tempat yang terdalam pada siang hari. Pada daerah berlumpur dengan pergolakan gelombang besar, migrasi vertikal zooplankton akan terhalang, sedangkan migrasi horisontal musiman mengakibatkan zooplankton mengalami *blooming*.

c. *Infauna dan Epifauna Benthik*

Infauna dan epifauna benthik adalah kumpulan taxa yang berbeda-beda mencakup clam, ketam, cacing, keong, udang, dan ikan. Sedangkan burrowers, adalah binatang pemakan bangkai, pemangsa, dan pemberi makan/tempat makan sejumlah fitoplankton, zooplankton, sedimen, detritus dan nutrisi lainnya. Mereka berperan penting dalam jaring makanan di pantai berlumpur, karena

bertindak sebagai konverter untuk menghasilkan bahan-bahan organik pada tingkatan trophic lebih tinggi, sehingga menyokong peningkatan produktivitas alam bebas (*wildlife*) dan ikan. Di sisi lain, ikan-ikan demersal, neritik, dan pemangsa terestrial contohnya elasmobranchs (ikan hiu dan pari manta), *flatfish* dan *bottomdwelling* jenis lainnya; burung pantai, mamalia laut, termasuk paus dan berang-berang laut, serta manusia. Dengan demikian berbagai rantai makanan terhubung ke dalam suatu jaringan makanan terpadu pada komunitas benthik dalam system dinamika pantai berlumpur berperan di dalam keseimbangan produktivitas primer perairan.

5.7.2 Rantai Makanan Pada Estuari

Estuari merupakan kawasan yang sangat penting dalam menunjang rantai makanan pada ekosistem laut. Pada laut tropis, estuari umumnya di tumbuh oleh mangrove yang sangat produktif dalam menghasilkan detritus sebagai sumber unsur hara nitrien. Oleh karena itu pada habitat mangrove ditemukan berbagai spesies hewan yang hidupnya sangat tergantung dari lingkungan estuari.

Komponen biotik yang menyusun rantai makanan pada ekosistem estuari dapat dikelompokkan menjadi:

- a. *Organisme autotrof*, merupakan organisme yang mampu mengubah bahan anorganik menjadi bahan organik melalui proses fotosintesis. Pada ekosistem estuari organisme autotrof dibedakan menjadi dua tipe, yaitu:
 - Fotoautotrof adalah organisme yang dapat menggunakan sumber energi cahaya untuk mengubah bahan anorganik menjadi bahan

organik. Contohnya adalah tumbuhan hijau (mangrove) dan fitoplankton.

- Kemoautotrof adalah organisme yang dapat memanfaatkan energi dari reaksi kimia untuk mensintesis nutrisi dari bahan organik (Welch, 1953).

Organisme autotrof ini merupakan produsen, karena kemampuannya dalam mengubah zat anorganik menjadi bahan organik yang dibutuhkan sebagai makanan oleh organisme lain atau produsen. Berbagai produsen primer terdapat dalam ekosistem estuari, yaitu lamun (*Enhalus acoroides*), alga berfilamen (*Enteromorpha sp.* dan *Padina sp.*) paparan pasir atau lumpur, dan Di fitoplankton (diatom atau dinoflagellata) di dalam kolom air.

- b. *Organisme heterotrof*, yaitu organisme yang memperoleh bahan organik dari organisme lain. Misalnya hewan, jamur, dan bakteri non autotrof (konsumen).

Estuari merupakan ekosistem yang kaya sumber makanan bagi konsumen primer dari rantai makanan. Sumber makanan utama berasal dari detritus yang melimpah di dalam kolom air dan di dasar estuary yang berasal dari ekosistem mangrove dan aliran air sungai. Konsumen primer sebagian besar terdapat di dasar estuari, seperti teritip (Krustasea, Cirripedia), yang berada di permukaan dasar estuari kerang dan keong (Bivalvia dan Gastropoda), yang hidup di dalam lumpur, seperti (cacing), maupun predator besar, seperti: ikan Baronang, Kerapu, Kepiting, Cucut, dan Salmon (Nontji, 1993).

c. Organisme *Pengurai atau dekomposer*

Pengurai atau dekomposer adalah organisme yang menguraikan bahan organik yang berasal dari organisme mati. Pengurai disebut juga konsumen makro (*saprotrof*) karena makanan yang dimakan berukuran lebih besar. Organisme pengurai menyerap sebagian hasil penguraian tersebut dan melepaskan bahan-bahan yang sederhana yang dapat digunakan kembali oleh produsen. Pengurai pada ekosistem estuari adalah kepiting, kerang-kerangan, bakteri, cacing laut, dan jamur.

Estuari mempunyai kisaran salinitas yang cukup lebar (*eurihaline*), sehingga menyimpan berbagai keunikan yang khas. Berbagai organisme yang hidup disini mampu beradaptasi dengan kisaran salinitas tersebut. Selain itu yang paling penting estuari sangat kaya akan nutrient yang menjadi unsur terpenting bagi pertumbuhan fitoplankton, Inilah kunci dari keunikan lingkungan estuari. Karena sangat kaya akan unsur hara (nutrient) estuari di kenal dengan sebutan daerah pembesaran (*nursery ground*) bagi berbagai spesies ikan, invertebrata (Crustacea, Bivalvia, Echinodermata, annelida dan berbagai spesies infauna). Dibandingkan dengan tempat lain, spesies estuaria sangat sedikit.

Variasi sifat habitat terutama salinitas membuat estuaria menjadi habitat yang keras dan sangat menekan bagi kehidupan organisme. Untuk dapat hidup dan berhasil membentuk koloni di daerah ini organisme harus mempunyai kemampuan beradaptasi secara khusus. Adapun bentuk adaptasi tersebut adalah:

1. Adaptasi Morfologis

Organisme yang mendiami substrat berlumpur beradaptasi dengan membentuk rumbai-rumbai halus atau rambut atau setae yang menjaga jalan masuk ke ruang pernafasan agar permukaan ruang pernafasan tidak tersumbat oleh partikel lumpur. Organisme yang memiliki kemampuan adaptasi seperti ini adalah kepiting estuaria, dan beberapa anggota dari *Gastropoda*. Adaptasi lainnya adalah organisme estuaria umumnya mempunyai ukuran tubuh lebih kecil dibandingkan dengan kerabatnya yang hidup di laut. Contoh: kepiting (*Ucha*) memiliki ukuran kecil, hal ini terjadi karena sebagian besar energi yang dimilikinya dipergunakan untuk beradaptasi dengan salinitas lingkungan.

2. Adaptasi Fisiologis

Adaptasi fisiologis untuk kelangsungan hidup organisme estuaria adalah berhubungan dengan keseimbangan ion cairan tubuh menghadapi fluktuasi salinitas eksternal. Kemampuan osmoregulasi sangat diperlukan untuk dapat bertahan hidup. Organisme yang memiliki kemampuan osmoregulasi dengan baik disebut osmoregulator contohnya *Copepoda*, *Cacing Polychaeta* dan *Mollusca*. Organisme yang memiliki kemampuan osmoregulasi rendah disebut osmokonformer. Kemampuan mengatur osmosis sangat dipengaruhi oleh suhu. Di laut tropis dengan suhu air lebih tinggi dan perbedaan suhu antara air tawar dan air laut kecil, biasanya dihuni oleh spesies estuaria lebih banyak, dan spesies lautan yang *stenohalin* dapat masuk lebih jauh ke hulu.

3. *Adaptasi Tingkah laku*

Salah satu bentuk adaptasi tingkah laku organisme estuaria adalah membuat lubang ke dalam lumpur. Ada dua keuntungan yang didapatkan dari organisme yang beradaptasi seperti ini. Pertama, adalah dalam pengaturan osmosis. Berada di dalam lubang berarti mempunyai kesempatan untuk berhubungan dengan air interstitial yang mempunyai variasi salinitas dan suhu lebih kecil dari pada air di atasnya. Kedua, membenamkan diri ke dalam substrat berarti lebih kecil kemungkinan organisme ini dimakan oleh pemangsa yang hidup di permukaan substrat atau di kolom air. Adaptasi tingkah laku lainnya adalah dengan cara bergerak ke hulu atau ke hilir. Tingkah laku ini akan menjaga organisme tetap berada pada daerah dengan kisaran toleransinya. Contohnya beberapa spesies kepiting seperti Rajungan (*Calinectes sapidus*), ikan belanak (*Mugil mugil*), ikan baung, ikan bandeng dan lain-lain (Kramer, 1994).

a. *Aliran Energi*

Dalam ekologi aliran energi mencakup dua hal, yaitu: rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Rantai makanan adalah perpindahan energi makanan dari produsen melalui seri organisme atau melalui jenjang makan (produsen-herbivora-carnivora). Pada setiap jenjang pemindahan energi, 80%-90% energi potensial hilang sebagai panas, karena itu langkah-langkah dalam rantai makanan terbatas 4-5 langkah saja. Dengan perkataan lain, semakin pendek rantai makanan semakin besar energi yang diperlukan.

Berdasarkan bentuk makanan atau cara mengkonsumsi (memperoleh) makanan dikenal 3 (tiga) tipe rantai makanan pada ekosistem estuari, yaitu: grazing, detritus dan osmotik. Fauna di estuaria (udang, kepiting, kerang, ikan, dan berbagai spesies cacing) memproduksi dan saling terkait melalui suatu rantai dan jejaring makanan yang kompleks (produsen di estuari antara lain rumput rawa garam, ganggang, dan fitoplankton). Beberapa invertebrata laut dan ikan laut menjadikan estuari sebagai tempat kawin atau bermigrasi untuk menuju habitat air tawar. Estuari juga merupakan tempat mencari makan bagi vertebrata semi air, yaitu unggas air. Ada tiga tipe dasar rantai makanan:

1. rantai makanan rerumputan (*grazing food chain*); misalnya: tumbuhan - konsumen primer - konsumen sekunder - predator - dekomposer
2. rantai makanan sisa (*detritus food chain*); bahan organik - mikroorganisme - detritivore - predator - dekomposer.
3. rantai makanan osmotik; bahan organik - konsumen sekunder - predator - dekomposer.

Dari ketiga macam rantai makanan ini, akan mempengaruhi organisme satu dengan lainnya.

Suatu rantai adalah suatu pola yang kompleks saling terhubung, rantai makanan di dalam suatu komunitas yang kompleks antar komunitas. Selain itu, suatu rantai makanan adalah suatu kelompok organisme yang melibatkan perpindahan energi dari sumber utamanya (cahaya matahari, fitoplankton, zooplankton, larva ikan, ikan kecil, ikan besar, mamalia). Jenis dan variasi rantai makanan adalah

sama banyak tergantung jumlah spesies yang ada dan habitatnya.

Pada estuari terdapat tiga bagian terbesar dalam rantai makanan yaitu: fitoplankton, zooplankton, dan infauna benthic. Fitoplankton dan zooplankton merupakan komponen rantai makanan utama yang sangat penting, karena berisi informasi yang mendukung keberadaan organisme tersebut. Sedangkan, infauna benthic melengkapi pentingnya rantai makanan di dalam ekosistem pantai berlumpur.

Kondisi perairan estuaria yang keruh menyebabkan hanya tumbuhan mencuat yang dapat tumbuh dengan baik. Akibatnya produktivitas primer di kolom air sangat rendah. Sedikitnya herbivora dan melimpahnya detritus menunjukkan bahwa rantai makanan pada ekosistem estuaria merupakan rantai makanan detritus. Detritus membentuk substrat untuk pertumbuhan bakteri dan algae yang kemudian menjadi sumber makanan penting bagi organisme pemakan suspensi dan detritus. Penumpukan bahan makanan yang dimanfaatkan oleh organisme estuaria merupakan produksi bersih dari detritus ini. Fauna di estuaria, seperti ikan, kepiting, kerang, dan berbagai spesies cacing memproduksi dan saling terkait melalui suatu rantai makanan yang kompleks (Bengen, 2002).

Di kawasan subtropis dan daerah dingin, fungsi estuari selain menjadi daerah pembesaran bagi berbagai spesies hewan penting, juga menjadi titik daerah ruaya bagi jutaan jenis burung pantai. Kawasan estuari di gunakan sebagai daerah istirahat bagi perjalanan panjang jutaan burung dalam

ruayanya mencari daerah yang ideal untuk perkembangannya. Disamping itu juga di gunakan oleh sebagian besar mammalia dan hewan-hewan lainnya untuk mencari makan.

Spesies organisme yang mendiami estuaria jumlahnya jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan organisme yang hidup di perairan tawar dan laut. Hal ini terutama disebabkan oleh fluktuasi kondisi lingkungan, sehingga hanya spesies yang memiliki kekhususan fisiologis yang mampu bertahan hidup di estuaria. Selain miskin dalam jumlah spesies fauna, estuaria juga miskin akan flora.

b. Jaring-jaring makanan

Estuari menjadi tempat perawatan dan penyediaan makanan bagi larva dan ikan-ikan muda bernilai ekonomi tinggi. Ikan herrinh (*Clupea harengus*), ikan pipih (*flat fish*) meliputi *Pleuronectes platessa*, dan *Platichthys flexus*, *Bothus lunatus*, flounders, serta ikan halibut (*Hippoglossus hippoglossus* dan *Arnaglossus imperalis*), dan ikan menhaden, *Brevoortia tyranus*. Ikan pipih, ikan halibut, dan ikan menhaden bertelur di estuari. Ikan-ikan dewasa ditemukan di dasar muara sungai yang tidak berarus kuat. Ketika air pasang ikan-ikan ikut naik ke atas dan masuk di estuari. Ikan-ikan muda mendapat perawatan dan makanan di estuari yang kaya makanan.

Vegetasi (*Spartina sp.*, *Juncus sp.*, *Destichlis sp.*, *Puccinella sp.*, *Enteromorpha sp.*, *Zoostera sp.*, *Salicarma sp.*, *Armeria sp.*, *Spergularia sp.*, *Limonium sp.*) jarang sekali dimakan herbivora. Demikian juga pohon bakau, tidak dimakan hewan. Oleh sebab itu

perairan estuari merupakan daerah yang kaya makanan bagi plankton dan invertebrata yang merupakan makanan bagi ikan. Vegetasi di daerah estuari juga menyediakan makanan bagi belalang, dan gastropoda yang jumlahnya meningkat di musim kemarau di saat ikan-ikan bertelur dan berbiak cepat dengan persediaan makanan yang berlimpah (Brotowidjojo, 1995).

5.7.3 Rantai Makanan Pada Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove mempunyai peran yang sangat vital untuk kesehatan ekosistem pantai. Detritus mangrove, terutama tersusun dari serasah daun dan cabang-cabang mangrove yang gugur, menyediakan nutrien autochthonous bagi ekosistem mangrove dan laut. Hal ini menyediakan bahan organik untuk mendukung berbagai jenis organisme laut dalam jaring-jaring makanan yang kompleks yang terhubung secara langsung dengan detritus atau secara tidak langsung dengan plankton dan alga epifit.

Plankton dan alga merupakan sumber utama karbon pada ekosistem mangrove di samping detritus. Pada lingkungan riverine, nutrien (dan polutan) di bawa dari kawasan hulu sebagai allochthonous. Hutan mangrove merupakan ekosistem produktif yang mendukung sejumlah besar kehidupan melalui rantai makanan yang dimulai dari tumbuh-tumbuhan. Daun tumbuhan mangrove, menggunakan sinar matahari untuk mengubah karbon dioksida menjadi senyawa organik melalui proses fotosintesis. Karbon yang diserap tumbuhan selama fotosintesis, bersama-sama dengan nutrien yang diambil dari tanah, menghasilkan bahan baku untuk pertumbuhan. Terurainya daun, batang, dan akar mangrove yang mati menghasilkan karbon dan nutrien yang digunakan oleh organisme lain dalam ekosistem tersebut. Tidak ada yang

menjadi sampah dalam ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove merupakan lumbung sejumlah besar daun yang kaya nutrisi yang akan diuraikan oleh fungi dan bakteri atau langsung dimakan kepiting yang hidup di lantai hutan. Material organik yang mati diuraikan menjadi partikel-partikel kecil (detritus) oleh sejumlah besar bakteri yang kaya protein. Detritus merupakan sumber makanan bagi beberapa spesies moluska (siput), Crustacea (kepiting dan udang) dan ikan, yang selanjutnya menjadi makanan bagi hewan yang lebih besar. Nutrien yang dilepaskan ke dalam air selama penguraian daun, kayu dan akar juga diserap oleh plankton dan alga.

5.7.4 Rantai Makanan Pada Ekosistem Terumbu Karang

Laut merupakan salah satu bagian utama dari komposisi permukaan bumi. Perbandingan daratan dan lautan adalah 30% bagian dari permukaan bumi adalah daratan, dan 70% sisanya adalah lautan. Luas lautan yang besar ini akan lebih mudah diamati jika dibagi berdasarkan sub-sub bagian, dan prinsip ekologi yang berlangsung didalamnya. Secara garis besar Nybakken (2001) membagi daerah perairan laut, menjadi 2 (dua) kawasan utama yaitu zona pelagik dan zona bentik. Zona pelagik adalah zona permukaan laut yang menerima cahaya matahari (fotik), sedangkan zona bentik adalah zona dasar laut yang kurang atau sama sekali tidak menerima cahaya matahari (afotik). Pada zona pelagik terdapat 3 jenis ekosistem utama, yaitu ekosistem terumbu karang, padang lamun, dan hutan mangrove. Ketiga ekosistem ini memiliki produktivitas primer yang tinggi.

Ekosistem laut yang memiliki produktivitas paling tinggi adalah Terumbu karang, dengan produktivitas primer rata-rata 20.000 Kcal/m²/tahun atau sekitar 10 g/m²/hari (Romimohtarto dan Juwana, 1999). Terumbu karang mampu menahan bahan organik dan menjalankan fungsinya seperti

layaknya sebuah kolam yang akan menampung sesuatu segala dari luar (Nybakken, 2001). Bahan organik yang tertampung merupakan indikator kesuburan ekosistem terumbu karang, karena akan didekomposisi oleh bakteri dan selanjutnya menjadi nutrisi anorganik yang dimanfaatkan oleh produsen untuk kebutuhan fotosintesis. Nutrien tersebut berupa karbon organik, nitrogen, dan fosfat. Kesuburan ekosistem terumbu karang, akan menstimuli hadir dan meningkatnya keanekaragaman (biodiversity) organisme perairan yang berasosiasi di dalamnya.

Organisme yang berasosiasi dengan terumbu karang memiliki fungsi secara ekonomi dan ekologi. Secara ekonomi, Nontji (1993) menyatakan organisme yang hidup di terumbu mempunyai nilai jual seperti udang karang, rajungan, kerang lola dan berbagai jenis ikan karang, yang biasanya dimanfaatkan sebagai ikan hias. Pemanfaatan secara ekonomi semata-mata, akan menyebabkan degradasi lingkungan dan overeksploitasi dimana akan memberikan dampak negatif secara ekologi. Oleh karena itu dibutuhkan kajian yang mendalam tentang materi unsur hara yang mempengaruhi biodiversitasnya dan untuk mengetahui beberapa organisme perairan yang dalam siklus hidupnya berinteraksi dengan ekosistem karang, seperti pada jejaring makanan.

Berdasarkan tingkat trofik dalam jejaring makanan, secara garis besar dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok produsen yang bersifat autotrof karena dapat memanfaatkan energi matahari untuk mengubah bahan-bahan anorganik menjadi karbohidrat dan oksigen yang diperlukan seluruh makhluk hidup, dan kelompok konsumen yang tidak dapat mengasimilasi bahan makanan dan oksigen secara mandiri (heterotrof). Nybakken (2001) mengelompokkan produsen yang terdapat pada jaring-jaring makanan terumbu karang adalah alga koralin, alga hijau, alga coklat, dan

zooxanthella. Produser ini dikonsumsi oleh organisme avertebrata seperti bintang laut raksasa (*Acanthaster planci*) dan invertebrata seperti ikan kepe-kepe (Chaetodontidae). Juga terdapat organisme pemakan alga seperti ikan famili Acanthuridae. Tipe pemangsaan yang ada pada ekosistem terumbu karang adalah 50-70% karnivora. Banyak spesies ikan karnivora di ekosistem terumbu karang yang oportunistik, yaitu mengambil apa saja yang berguna dan memakan mangsa yang berbeda pada tingkatan yang berbeda dalam siklus kehidupannya (Goldman dan Talbot 1976, dalam Nybakken, 2001).

5.7.5 Rantai Makanan Pada Zona Subtidal

Secara ekologis di zona subtidal terdapat 3 kelompok organisme, yaitu:

- a. *Epifauna*; yaitu organisme benthik yang hidup pada atau dalam keadaan lain berasosiasi dengan permukaan suatu substrat atau benda.
- b. *Infauna*; yaitu organisme yang hidup di substrat lunak. Berdasarkan ukurannya organisme infauna digolongkan menjadi *makrofauna* yang berukuran >1 mm, *meiofauna* 1,0 mm sampai 0,1 mm, dan *mikrofauna* $<0,1$ mm.
- c. *Predator-predator besar* dan bergerak aktif seperti ikan, kepiting, dll.

1. Asosiasi infauna

Organisme dominan yang menyusun makrofauna di dasar lunak sublitoral terbagi dalam 4 kelompok taksonomi, yaitu:

- a. Klas Polychaeta; Cacing Polychaeta banyak terdapat sebagai spesies pembentuk tabung dan penggali.

- b. Klas Crustacea; Crustacea yang dominan adalah Ostracoda, Amfipoda, Isopoda, Tanaid, Misid yang berukuran besar, dan beberapa Dekapoda yang lebih kecil.
- c. Filum Echinodermata; Echinodermata sebagai bentos subtidal, terutama terdiri dari bintang mengular dan ekinoid (bulu babi dan dollar pasir).
- b. Filum Molusca; terdiri dari berbagai spesies Bivalvia penggali dengan beberapa Gastropoda di permukaan.

2. Lamun

Padang lamun merupakan komunitas lamun yang berperan sebagai produsen. Selain menghasilkan bahan organik, dan oksigen, padang lamun merupakan habitat bagi berbagai ikan, invertebrata, reptili, dan mammalia laut.

3. Komunitas Khusus

a. Komunitas Pena Laut

Komunitas ini didominasi oleh Pena Laut (*Petilosarkus gurneyi*) Cnidaria berusia panjang. Pena laut merupakan sumber makanan terbesar bagi tujuh predator: empat spesies bintang laut (*Hipasterias spinosa*, *Dermasterias imbricata*, *Crossaster papposus* dan *Mediaster aequalis*) serta tiga spesies molusca apisthobranch (*Armina californica*, *Tritonia festiva* dan *Hermisenda crassicornis*).

b. Komunitas Bunga Laut

Komunitas Bunga Laut di dominasi oleh cnidaria, terutama Bunga laut (*Renilla kollikeri*), dan anemon (*Harenactis attenuata* dan *Zaolutus actius*). Berasosiasi dengan tiga gastropoda (*Nassarius fossatus*, *Nassarius perpinguis*, dan *Polinices recluzionus*) dan dua echinodermata (*Amphiodia occidentalis* dan *Astropecten armatus*).

c. Komunitas Dollar Pasir

Spesies yang dominan adalah bunga Laut (*Renilla kollik*) dan dollar pasir (*Dendraster excentricus*), nudibranch (*Armina californica*), dan bintang laut (*Astropecten armatus*).

5.7.6 Rantai Makanan Pada Zona Oseanik

Proses saling memangsa antar satu dengan yang lainnya disebut rantai makanan (*food chain*) sedangkan rangkaian rantai makanan disebut jejaring makanan (*food web*). Baik pada rantai makanan maupun pada jejaring makanan fitoplankton menempati tempat yang terendah sebagai produser primer. Rantai makanan grazing di laut dimulai dari fitoplankton sebagai produser dan zooplankton sebagai konsumen (grazer). Apabila terjadi kematian baik fitoplankton maupun zooplankton maka akan menjadi mata rantai pertama dalam rantai makan detritus (*detritus food chain*). Kedua rantai makanan tersebut menjadi siklus dasar dalam produksi di laut. Secara garis besar tingkat trofik dalam jejaring makanan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok produsen (autotroph) yang dapat memanfaatkan energi matahari untuk mengubah bahan-bahan anorganik menjadi karbohidrat dan oksigen yang diperlukan oleh seluruh makhluk hidup, dan kelompok konsumen yang tidak dapat mengasimilasi bahan makanan dan oksigen secara mandiri (heterotrof).

Pada ekosistem laut terdapat dua kelompok rantai makanan, yaitu rantai makanan grazing (*grazing food chain*) dan rantai makanan detrital (*detritus food chain*). Kedua jenis rantai makanan tersebut saling melengkapi dan membentuk sebuah siklus yang kontinu. Rantai makanan grazing dimulai dari proses transfer makanan pertama kali oleh organisme herbivora melalui proses grazing. Makanan pertama itu berupa fitoplankton dan herbivor yang memanfaatkan fitoplankton

adalah zooplankton. Mata rantai pertama pada rantai makanan ini adalah fitoplankton yang merupakan sumber pertama bagi seluruh kehidupan di laut. Ujung dari rantai makanan ini adalah konsumen tingkat tinggi (ikan dan konsumen lainnya) yang apabila mengalami kematian akan menjadi detritus pada ekosistem laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bengen. 2002. Studying the role of mudtemperature on the hourly variation of the photosynthetic capacity of microphytobenthos in intertidal areas. *C R Acad Sci Paris Life Sci* 319:1153-1158
- Blanchard, G.F. 1996. Quantifying the short-term temperature effect on light-saturated photosynthesis of intertidal microphytobenthos. *Mar Ecol Prog Ser* 134:309-313
- Brotowidjoyo, M.D. 1995. Pengantar Lingkungan Perairan dan Budidaya Air. Yogyakarta: Liberty.
- 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. Geophys. 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. Samingan). 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
- Welch, P.1953. *Limnology*. New York: McGraw-Hill book, Co.Inc.
- Wyrski, K., 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asean Waters*, NAGA Rep. 2. Scripps Inst. of Oceanography La Jolla, Calif.

BAB 6

KARAKTERISTIK UMUM PERAIRAN LAUT DAN PANTAI DAN EKOSISTEM DAERAH TROPIK

Oleh Andi Perdana Gumilang

6.1 Pendahuluan

Perairan laut dan pantai merupakan kawasan potensial bagi bermacam kegiatan pembangunan seperti pariwisata, perikanan, dan industri. Suatu wilayah laut dapat dikatakan sebagai wilayah perairan yang kaya akan sumber daya perairan, apabila wilayah perairan tersebut terdapat kesuburan tinggi yang bisa dilihat dari produktivitas wilayah perairan tersebut yang erat kaitannya dengan adanya fitoplankton (Simanjuntak, 1998). Semakin tinggi jumlah fitoplankton di perairan maka semakin banyak daya dukung komunitas penghuninya, sebaliknya fitoplankton dengan kuantitas yang sedikit mempunyai daya dukung yang minim. Kehadiran fitoplankton sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni faktor fisik dan kimiawi di dalam perairan, terutama nutrisi, cahaya dan suhu.

Air laut dicirikan oleh beberapa parameter oceanografi, termasuk salinitas, suhu, klorofil-a dan total padatan tersuspensi. Kandungan klorofil-a dan suhu adalah penting untuk kelangsungan hidup stok jenis ikan dan jenis biota laut lainnya (Hasyim, 2010); salinitas berpengaruh terhadap distribusi biota laut (Nybakken, 1988); total padatan

tersuspensi bisa menimbulkan gangguan pertumbuhan pada organisme (Effendi, 2003).

Suhu permukaan laut (SPL) di wilayah perairan Indonesia biasanya berkisar 28-31°C, namun pada waktu musim timur, di sebagian wilayah perairan seperti Laut Banda, SPL bisa turun hingga mencapai 25°C. Di perairan laut, salinitas biasanya antara 34-35, sedangkan di perairan pantai kisaran salinitas menurun karena pengenceran oleh limpasan sungai. Pada musim barat, musim hujan terjadi di seluruh Indonesia, berakibat semua permukaan air laut Indonesia ditempati oleh massa air dengan salinitas di bawah 33. Pada musim timur, keadaan berbalik ketika angin muson timur bertiup menyebabkan musim kemarau di seluruh Indonesia (Nontji, 2005). Informasi mengenai karakteristik umum perairan laut dan pantai serta ekosistem daerah tropik diharapkan dapat memberikan informasi sebagai dasar untuk pengelolaan perairan laut dan pesisir.

6.2 Karakteristik Perairan Laut Dan Pantai

Lautan tropis umumnya bersuhu hangat dengan variasi suhu setiap tahunnya yang rendah tetapi variasi suhu diurnal yang relatif besar. Di wilayah khatulistiwa, perubahan suhu rata-rata tahunan kurang dari 2°C, namun di beberapa wilayah laut seperti Laut Banda, Laut Arafura, Laut Timor, dan Jawa bagian selatan, perubahan suhu rata-rata tahunan berkisar antara 3-4°C.

Secara alami, suhu permukaan laut (SPL) tergolong lapisan hangat sebab menerima radiasi sinar matahari pada kondisi siang hari. Munculnya pergerakan angin berakibat agitasi dari lapisan atas hingga kedalaman sekitar 55-70 m, sehingga terdapat suhu hangat yang seragam (sekitar 28°C) pada lapisan ini. Pada posisi upwelling, suhu dapat turun

menjadi 25°C dikarenakan oleh air dingin yang naik dari arah bawah (Nontji, 2005).

Parameter salinitas di perairan Indonesia sebenarnya sangat bervariasi. Ini karena intensitas hujan yang meningkat dan limpasan yang signifikan dari banyaknya sungai. Di wilayah perairan laut Indonesia yang beriklim tropis, salinitas dapat tinggi dari barat ke timur berkisar antara 31-35. Air laut dengan salinitas lebih dari 34 terdapat di Laut Arafura dan Laut Banda yang diyakini bermula dari Samudera Pasifik (Wyrski, 1961).

Konsentrasi klorofil-a sebesar 0,5-1,0 mg/m³ di wilayah perairan Indonesia tersebar di pesisir Kalimantan, Selat Karimata, pesisir timur Sumatera, Jawa bagian utara, Makassar bagian selatan, dan Papua bagian barat. Kandungan klorofil-a perairan ini tinggi, yang mungkin disebabkan oleh banyaknya sungai yang mengalir melaluinya, membawa sejumlah besar substrat yang memiliki kandungan unsur organik serta nutrisi lainnya.

Wilayah perairan laut Indonesia yang mengandung 0,3-0,5 mg/m³ kandungan klorofil-a terdapat di Laut Sulawesi, sebagian Selat Makassar, pantai barat Sumatera, Laut Flores, utara Laut Jawa, Jawa Timur, dan Laut Banda, sedangkan klorofil-a perairan dengan nilai rendah, yaitu di bawah 0,3 mg/m³, terutama di selatan Jawa dan Samudera Hindia (Arsjad et al., 2004). Pada umumnya perairan dengan nilai klorofil-a rendah merupakan laut lepas yang berjauhan dari pengaruh benua.

6.2.1 Suhu Permukaan Laut (SPL)

Wilayah paling dominan mendapatkan penyinaran matahari yaitu daerah yang terletak di garis lintang 10°LU–10°LS. Oleh sebab itu, temperatur laut paling tinggi akan terjadi di ekuator. Selain aspek cahaya matahari, temperatur atau

suhu wilayah tropis juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca diantaranya kelembaban udara, kecepatan angin, curah hujan, penguapan, sehingga temperatur air permukaan laut umumnya mengarah ke pola musiman (Nontji, 2005).

Distribusi temperatur hingga kedalaman 10 m di bawah permukaan laut diartikan sebagai SPL. Memahami parameter ini penting sebab memberikan informasi tentang arus laut, front, upwelling, perikanan, cuaca/iklim, minyak dan polusi termal (Susilo, 2006). Dari SPL daerah yang terjadi upwelling terlihat bahwa upwelling di laut lebih kecil dibandingkan wilayah sekitarnya. Hal ini dikarenakan air dingin dari arah bawah naik menuju atas (Nontji, 2005; Hutabarat dan Evans, 1985).

6.2.2 Salinitas

Distribusi horizontal salinitas di laut menunjukkan bahwa semakin tinggi garis lintang maka semakin tinggi pula salinitasnya (Rosmawati, 2004). Pada pola sebaran horizontal, daerah salinitas paling tinggi berada pada garis lintang 30°N dan 30°S, kemudian menurun ke arah ekuator. Hal ini dikarenakan curah hujan yang jauh lebih besar di daerah tropis, mengakibatkan pengenceran air hujan. Selain perbedaan garis lintang, salinitas perairan juga mengandalkan pada topografi daerah tersebut. Hal ini berkaitan dengan ada atau tidaknya limpasan air tawar dari air sungai ke muara.

6.2.3 Klorofil-a

Fitoplankton merupakan organisme yang berperan penting dalam kehidupan organisme akuatik. Salah satu peran fitoplankton di suatu perairan adalah sebagai produsen utama dalam jejaring rantai makanan. Fitoplankton di lautan berperan penting sebagai dasar rantai makanan dan bertanggung jawab atas produksi primer.

Fitoplankton ditemukan di semua samudra, danau, dan lautan di Bumi. Meskipun demikian, kelimpahan fitoplankton lokal bervariasi baik secara horizontal maupun vertikal tergantung pada waktu dalam setahun. Kelimpahan dan distribusi fitoplankton sangat bergantung pada beberapa faktor seperti parameter fisik kolom air, nutrisi dan kelimpahan plankton lainnya. Secara umum pemicu utama perubahan distribusi fitoplankton yaitu ketersediaan cahaya. Kehadiran fitoplankton di lautan sangat dipengaruhi oleh cahaya matahari.

Pigmen klorofil-a adalah pigmen yang terbanyak dalam fitoplankton, dengan demikian kandungan klorofil-a bisa dimanfaatkan untuk indikator kelimpahan fitoplankton di wilayah perairan (Prihartato, 2009). Semakin tinggi konsentrasi klorofil-a di suatu perairan, maka semakin banyak biomassa fitoplankton di perairan tersebut. Oleh sebab itu, penilaian kandungan klorofil-a fitoplankton bisa menjadi alat ukur kesuburan perairan berupa produktivitas primer (Sediadi. E, 2000). Kandungan klorofil-a dalam air terutama tergantung pada intensitas cahaya dan keberadaan nutrisi. Profil kandungan klorofil-a di bagian atas lapisan campuran sangat kecil, dan kandungannya mulai banyak pada bagian bawah lapisan, kemudian turun tajam di termoklin, sampai tidak muncul lagi klorofil-a di lapisan tersebut bawah termoklin (Tubawalony, 2007).

Klorofil diartikan pigmen yang memiliki warna pada sel tumbuhan. Pigmen ini tersusun dari beberapa warna dan jenis yang beragam. Lusinan pigmen ditemukan dalam sel tumbuhan, tetapi sekitar 81-90% dari keseluruhan pigmen adalah klorofil-a. Oleh sebab itu, kandungan klorofil-a mewakili kandungan klorofil dalam sel tumbuhan. Klorofil-a yang memiliki warna hijau juga mempunyai nilai optik, secara teoritis dimungkinkan untuk memperkirakan konsentrasi

klorofil-a dengan teknik penginderaan jauh (satelit), umumnya dikenal sebagai satelit sensor warna laut (Nababan, 2009).

6.2.4 Total Suspended Solid (TSS)

Partikel tersuspensi berdiameter $> 1 \mu\text{m}$ yang tertahan pada filter mikropori dengan ukuran pori $0,45 \mu\text{m}$ diklasifikasikan sebagai TSS. Komponen TSS terdiri dari lumpur, pasir halus dan mikroorganisme yang terutama dibawa oleh erosi tanah atau erosi tanah terbawa badan air. Bahan tersuspensi berdampak negatif pada kualitas air karena mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam kolom air dan meningkatkan kekeruhan air, yang berakibat terhambatnya proses tumbuh organisme penghasil (Effendi, 2003). Perkiraan nilai TSS perikanan dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Perkiraan nilai TSS bagi kepentingan perikanan

Nilai TSS (mg/Liter)	Pengaruh bagi kepentingan perikanan
<25	Tidak ada pengaruh
25–80	Cukup berpengaruh
81–400	Kurang baik
>400	Tidak baik

Sumber: Effendi, 2003

Kekeruhan mendeskripsikan sifat optik air dan ditentukan berdasarkan intensitas cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh beberapa zat yang terkandung di dalam air. Kekeruhan dikarenakan oleh adanya bahan organik dan anorganik tersuspensi dan terlarut seperti lanau dan pasir halus, serta bahan organik dan anorganik berupa plankton dan mikroorganisme lainnya (Effendi, 2003).

6.3 Karakteristik Ekosistem Daerah Tropik

Ekologi laut tropis dicirikan oleh sinar matahari yang melimpah dan ekosistem penting terbentuk di wilayah laut dan pesisir, yaitu: ekosistem muara, ekosistem padang lamun, ekosistem mangrove, dan ekosistem terumbu karang.

A. Ekosistem Estuari

Ekosistem estuari atau muara yaitu daerah pantai semi tertutup yang terhubung secara bebas dengan laut lepas dan menerima air tawar dari daratan. Wilayah muara didominasi oleh substrat berlumpur atau sedimen yang dibawakan oleh air tawar dan air laut. Tergantung pada fitur geomorfiknya, muara dapat dibagi menjadi: muara dataran pantai, terbentuk ketika kenaikan permukaan laut menggenangi sungai yang miring ke pantai; laguna (gobah) atau teluk setengah tertutup, dibentuk oleh gundukan pasir yang sejajar dengan garis pantai, sehingga mencegah penyebaran langsung dan membuka kontak dengan air laut.

B. Ekosistem seagrass

Lamun atau seagrass adalah salah satu jenis tumbuhan berbunga (angiospermae) yang berada di perairan pesisir pantai. Tumbuhan air ini membentuk ekosistem penting sebagai penghasil utama air laut tropis selain fitoplankton. Tanaman tersusun rimpang, akar dan daun. Rimpang adalah batang yang tumbuh bersujud di atas substrat, biasanya menghasilkan daun dan bunga pada simpul yang tumbuh ke atas. Akar/rimpang tumbuh di dalam buku, dan dengan akar tersebut, lamun bisa menambatkan diri dengan kuat ke dasar laut, sehingga menahan hempasan ombak.

Fungsi padang lamun yakni penghasil makanan yang kaya akan bahan material organik, helaian daun yang tinggi dan banyak merupakan tempat kelangsungan hidup biologis yang efisien, mengurangi aliran air, mengurangi erosi, dan

mengumpulkan substrat dan sedimen melalui akarnya, dan juga merupakan tempat bagi dugong untuk menemukan makanan dan sejumlah kecil makanan ikan.

C. Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove di dalamnya terdapat komunitas vegetasi pantai tropis dan subtropis. Kebanyakan terdapat beberapa jenis mangrove yang dapat tumbuh dan berkembang di daerah pantai yang berlumpur dan pasang surut. Pembentukan mangrove terjadi akibat perpaduan antara daratan dan lautan. Mangrove mengandalkan air laut (pasang surut) dan air tawar sebagai sumber makanan, dan lumpur dari erosi hulu sebagai bahan substrat pendukungnya.

Mangrove biasanya hidup berkembang di daerah intertidal dengan tipe tanah berlumpur, lempung atau berpasir. Tergenang secara berkala oleh air laut, setiap hari atau hanya pada saat pasang di luar bulan purnama, jumlah genangan ini menentukan komposisi vegetasi mangrove. Selain itu, ekosistem mangrove juga memerlukan suplai air tawar dari daratan dan umumnya hidup di daerah yang terlindung dengan baik dari gelombang tinggi dan pasang surut yang kuat. Salinitas yang ideal bagi pertumbuhan vegetasi mangrove yaitu 2-21 salinitas/mil atau sampai asin di salinitas 38/mil.

Kegunaan mangrove diantaranya sebagai peredam gelombang dan badai, pelindung keausan, penahan lumpur dan perangkap sedimen; penghasil detritus dalam jumlah besar dari daun dan cabang; tempat pembibitan berbagai jenis ikan, udang, tempat makan, tempat pemijahan; penghasil kayu untuk berbagai keperluan; supplier benur, udang, dll; juga sebagai objek wisata alam.

D. Ekosistem *Coral Reef*

Terumbu karang (*coral reefs*) merupakan ekosistem laut yang penghuni dominannya adalah hewan berongga penghasil kapur yang dicirikan dengan karang batu. Karang berbatu yang membentuk berbagai koloni merupakan substrat karang yang sangat keras yang berfungsi sebagai media berteduh, tempat mencari makan, perlindungan, dan berbagai jenis biota (misalnya kerang, udang, kepiting) yang berasosiasi dengan terumbu lain misalnya, ikan, plankton, cacing (polychaeta), bintang laut, bunga karang (porifera).

Terumbu karang memiliki fungsi diantaranya sebagai sumber makanan aneka ikan, udang,; bahan obat-obatan; bahan budidaya; rekreasi bahari; penghalang erosi dari gelombang air laut. tempat memijah, pembesaran mayoritas jenis ikan dan pengasuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsjad, A. B., Y. Siswanto, dan R. S. Dewi. 2004. *Sebaran Chrophyll-a di Perairan Indonesia*. Proyek Inventarisasi dan Evaluasi Sumberdaya Nasional Matra Laut (INEV-SNML). Pusat Survei Sumber Daya Alam Laut Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakorsurtanal), Cibinong.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Hasyim, B. 2010. *Karakteristik Oseanografi Selat Madura Berdasarkan Data Penginderaan Jauh dan Lapangan*. (Prosiding) Pertemuan Ilmiah Tahunan VI ISOI 2009. Hal: 76-86.
- Hutabarat, S. dan S. M. Evans. 1985. *Pengantar Oseanografi*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta.
- Nybakken, J. W. 1988. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Diterjemahkan oleh M. Eidman, Koesbiono dan D. G. Bengen. Gramedia. Jakarta.
- Nababan, B., F.E. Muller-Karger, C. Hu, and D. C. Biggs. 2009. *Chlorophyll Variability in the Northeastern Gulf of Mexico*. International Journal of Remote Sensing.
- Nontji, A. 2005. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta.
- Prihartato, P. K. 2009. *Studi Variabilitas Konsentrasi Klorofil-a dengan Menggunakan Data Satelit Aqua-MODIS dan SeaWiFS serta Data in situ di Teluk Jakarta*. Skripsi. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rosmawati. 2004. *Kondisi Oseanografi Perairan Selat Tiworo pada Bulan Juli–Agustus 2002*. Skripsi. Program Studi Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Sediadi, A. dan Edward. 2000. *Kandungan Klorofil-a Fitoplankton di Perairan Pulau-pulau Lease Maluku Tengah*. Makalah Ilmiah. Puslitbang oseanologi-LIPI, Jakarta.
- Simanjuntak. 1998. *Kandungan Silikon-silikat di Perairan Teluk Bayur dan Teluk Bungus, Sumatera Barat dalam: Pesisir dan Pantai Indonesia II* (Editor: Djoko Prawoto Praseno dkk. 1995). Penerbit Panitia Pengembangan Riset dan Teknologi Kelautan serta Industri Maritim. Jakarta.
- Susilo, S. B. 2006. *Penginderaan Jarak Jauh Kelautan*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Tubawalony, S. 2007. *Pengaruh Faktor-Faktor Oseanografi terhadap Produktivitas Primer Perairan Indonesia*. Tesis. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wyrтки, K. 1961. *Physical Oceanography of the South East Asian Water*. NAGA Report Vol 2 Scripps Inst.Oceanography. The University of California. La Jolla, California.

BAB 7

EKOLOGI ORGANISME LAUT

DALAM

Oleh Wiga Alif Violando

7.1 Zonasi

Laut dalam merupakan bagian perairan laut yang terletak dibawah kedalaman yang dapat dilalui oleh penetrasi cahaya matahari di laut terbuka. Secara umum, perairan laut dalam merupakan area gelap gulita (zona afotik) yang lebih dalam dari paparan benua (>200 m). Pada perairan tropis, zona afotik dimulai dari kedalaman >600 m.

Secara umum, zonasi laut dalam terbagi atas beberapa area sebagai berikut.

1. Zona sublitoral/paparan benua/epipelagik memiliki kisaran kedalaman 0-200 m
2. Zona mesopelagik memiliki kisaran kedalaman 200-1000 m
3. Zona batipelagik memiliki kisaran kedalaman 100-4000m
4. Zona abisalpelagik memiliki kisaran kedalaman 4000-6000m.
5. Zona hadal memiliki kisaran kedalaman 6000-10.000 m.

Biota penghuni laut dalam terbagi atas biota di zona bentik (dasar perairan) dan biota di zona pelagik (berasosiasi dengan laut terbuka). Biota bentik umumnya memiliki keterbatasan jangkauan area dengan menghuni jenis substrat yang sesuai dengan karakteristik hidupnya dan membenamkan

diri di dalamnya. Berbeda dengan biota zona pelagik yang mampu melakukan migrasi antar zona. Banyak sekali biota di zona epipelagik yang melakukan migrasi ke zona mesopelagik, sehingga sebagian besar spesies di zona ini sudah memiliki mata yang berkembang sempurna dengan dilengkapi organ penghasil cahaya. Pada zona ini, umumnya spesies ikan memiliki warna hitam sedangkan spesies udang berwarna merah.

Penghuni zona batipelagik dan abisalpelagik cenderung lebih sedikit dibandingkan penghuni zona mesopelagik. Pada zona ini, biota cenderung tidak berwarna atau berwarna putih serta memiliki mata maupun organ penghasil cahaya yang memiliki tingkat perkembangan rendah.

Zona hadalpelagik dikenal sebagai area palung. Zona ini sangat gelap dan dianggap terpisah dari zona lainnya karena belum pernah teramati. Belum diketahui penghuni pada zona ini adalah organisme pelagik atau bentik yang berasal dari komunitas organisme penghuni zona di atasnya.

7.2 Kondisi Lingkungan Hidup

Karakteristik kehidupan di laut dalam cenderung statis dengan suhu perairan yang sangat rendah. Faktor-faktor kimia dan fisik lingkungan hidup sangat konstan dengan periode waktu yang panjang.

a. Cahaya

Perairan laut dalam memiliki kondisi gelap gulita kecuali perairan di atas zona mesopelagik yang pada waktu tertentu masih mendapat sedikit cahaya matahari. Fotosintesis tidak bisa berjalan karena intensitas cahaya yang sangat rendah. Artinya, tidak ada fitoplankton sebagai produsen primer pada zona laut dalam. Cahaya yang ada pada zona ini dihasilkan oleh biota laut dalam tertentu. Ketiadaan cahaya menyebabkan hewan laut dalam

memiliki indra-indra khusus untuk mendeteksi makanan hingga reproduksi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.

b. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik merupakan faktor lingkungan laut dalam yang paling berpengaruh karena setiap peningkatan kedalaman 10 m mengakibatkan peningkatan tekanan hidrostatik sebesar 1 atmosfer. Beberapa palung tertentu memiliki tekanan hidrostatik 20-1000 atm diakibatkan kedalamannya yang mencapai lebih dari 10.000 m. Selain ekosistem laut dalam, tidak ada habitat lain yang memiliki tekanan hidrostatik sedemikian tinggi yang berperan penting terhadap distribusi organisme di ekosistem laut.

Adanya tekanan hidrostatik yang tinggi menyebabkan organisme yang hidup didalamnya terbiasa bermetabolisme pada kondisi tekanan yang tinggi. Bakteri laut dalam dapat berhenti tumbuh dan berkembang biak pada tekanan hidrostatik yang rendah dan aktif kembali saat dibiakkan pada kondisi sebaliknya. Hal ini menunjukkan biota-biota di perairan laut dalam cenderung memiliki adaptasi khusus terhadap tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik juga sangat mempengaruhi morfologi sel, termasuk kemampuannya dalam melakukan mitosis maupun meiosis.

c. Suhu dan salinitas

Pada kedalaman 100 meter pertama, salinitas perairan laut dalam konstan. Pada kedalaman selanjutnya salinitas cenderung tetap konstan dan tidak berubah kecuali ada perubahan kondisi lingkungan.

Zona laut dalam tidak terlepas dari keberadaan lapisan termoklin yang merupakan zona perubahan suhu yang cepat seiring dengan penambahan kedalaman laut. Termoklin memiliki ketebalan lapisan hingga beberapa

ratus meter atau hampir satu kilometer. Dibawah zona ini, massa air jauh lebih dingin dan lebih homogen dibandingkan zona termoklin dan di atasnya. Pada kedalaman-kedalaman melebihi 3000 m, massa air dikatakan isothermal, yang menunjukkan suhu tidak berubah-ubah dalam jangka waktu yang panjang. Tidak ada perubahan suhu sepanjang musim maupun sepanjang tahun.

d. Ketersediaan oksigen

Sama dengan kadar salinitas, ketersediaan oksigen yang ada di zona laut dalam cenderung stagnan. Oksigen pada massa air laut berasal dari massa air permukaan daerah kutub yang dingin dan kaya oksigen dan tenggelam menjadi bagian dari massa air laut dalam. Kepadatan organisme yang sangat rendah menyebabkan kadar oksigen tidak menurun.

Zona dengan kadar oksigen paling rendah ada pada kedalaman 500-1000 m, dengan kadar oksigen kurang dari 0.5 mg/L. Zona minim oksigen ini disebabkan respirasi organisme yang sejalan dengan ketiadaan massa air kaya oksigen. Sedangkan pada kedalaman di atasnya kadar oksigen lebih tinggi disebabkan keberadaan tanaman dan fitoplankton yang menyumbang oksigen dari proses fotosintesis serta cadangan oksigen tambahan yang berasal dari atmosfer. Pada kedalaman >1000 m, oksigen stagnan diikuti dengan biomassa organisme yang rendah.

e. Ketersediaan Makanan

Laut dalam terletak jauh dari zona fotosintetik yang kaya akan produsen primer, terkecuali area *hydrothermal vents* yang berisi bakteri kemosintetik. Oleh sebab itu, organisme laut dalam bergantung pada makanan yang diproduksi dari zona perairan di atasnya. Makanan-makanan ini tenggelam dari massa air permukaan maupun

kematian organisme pada zona tersebut. Bakteri dasar laut dalam lebih melimpah sehingga dapat menjadi makanan bagi ikan laut dalam. Sumber pakan yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung, seperti kitin dari cangkang crustacea saat ganti kulit maupun selulosa dari tumbuhan, diuraikan terlebih dahulu oleh bakteri. Sumber pakan lain yang potensial adalah bahan organik yang larut dan bahan-bahan yang berasal dari plankton berbentuk gelatin (*marine snow*).

Banyaknya makanan pada zona laut dalam bergantung pada tingginya produksi primer di zona epipelagik di permukaan maupun jarak dari suatu sumber organik. Makanan yang tersedia terletak di bawah massa air permukaan yang produktif atau di dekat daratan. Selain itu, beberapa organisme laut dalam menghabiskan masa awal hidupnya di zona fotik lalu bermigrasi ke laut dalam sehingga menjadi makanan bagi predator. Bangkai ikan maupun mamalia yang mati dan tenggelam juga dimakan seluruhnya oleh organisme laut dalam.

7.3 Adaptasi Organisme

a. Warna

Salah satu bentuk adaptasi yang mencolok dari organisme laut dalam adalah warna. Ikan-ikan mesopelagik cenderung berwarna hitam kelam maupun abu-abu keperakan. Krustasea mesopelagik berwarna merah cerah sedangkan ubur-ubur berwarna ungu kelam. Warna merah merupakan warna yang pertama kali diabsorpsi air laut. Meskipun berwarna merah, di zona laut dalam yang gelap, hewan-hewan avertebrata ini tetap tampak hitam gelap. Pada zona abisal dan batial, organisme yang ditemukan seringkali tidak berwarna, kotor, tidak berpigmen, maupun berwarna hitam kelam.

b. Organ pendeteksi cahaya

Organisme laut dalam terbiasa dengan kondisi yang gelap sehingga memiliki bentuk adaptasi khusus dalam kondisi minim cahaya. Pada zona mesopelagik, ikan-ikan memiliki ukuran mata yang jauh lebih besar dibandingkan ikan-ikan epipelagik. Ikan-ikan ini berenang di bagian atas laut dalam dengan kondisi minim cahaya. Pada malam hari, ikan akan bermigrasi ke zona epipelagik untuk mendapatkan makanan. Ikan-ikan juga memiliki penglihatan senja yang peka karena adanya pigmen rodopsin dan kepadatan batang retina yang tinggi. Contoh dari biota pada zona ini adalah Famili Myctophidae (ikan lentera).

Sebaliknya, ikan-ikan di zona abisalpelagik hingga hadal pelagik cenderung memiliki organ mata yang sangat kecil atau bahkan tidak memiliki mata karena berada di lingkungan gelap gulita. Sebagai contoh belut laut *Saccopharynx* sp. dan ikan pipih *Argyropelecus* sp.

Ikan-ikan pada zona ini juga dapat memiliki mata yang berbentuk pipa (tubular). Mata berbentuk silinder pendek berwarna hitam dengan adanya lensa tembus cahaya di puncak silinder. Setiap mata memiliki dua retina yang masing-masing berasal dari dinding silinder dan pangkal silinder. Ada pula jenis cumi-cumi *Histioteuthis* sp. yang memiliki satu mata berukuran lebih besar dari mata lainnya, dimana mata yang besar mengarah vertikal ke atas untuk mengumpulkan cahaya dari permukaan laut sedangkan mata kecil mengarah vertikal ke bawah untuk merespons cahaya yang dihasilkan fotofor (organ penghasil cahaya).

c. Bentuk tubuh

Kelangkaan makanan menyebabkan hewan laut dalam memiliki adaptasi mulut dengan bentuk rahang bawah yang lebih besar dibandingkan rahang atasnya. Ikan laut dalam juga memiliki ukuran mulut yang relatif lebih besar dibandingkan ukuran tubuhnya. Gigi-gigi panjang dan melengkung ke arah tenggorokan. Ukuran mulut yang tidak normal memungkinkan ikan memakan mangsa yang berukuran lebih besar dari tubuhnya. Pada ikan pemancing *Chauloides* sp., sirip dorsal memiliki modifikasi umpan yang berbentuk organ penghasil cahaya. Setelah mangsa mengikuti cahaya yang berasal dari umpan, ikan mendekatkan mangsa ke dekat mulut dan melahapnya.

Ukuran tubuh organisme laut dalam cenderung berbeda dengan organisme pada perairan laut terbuka. Ikan yang ditangkap dari laut dalam cenderung berukuran lebih kecil dari perairan dangkal. Sebaliknya, kelompok avertebrata tertentu, seperti amphipoda, ostrakoda, isopoda, dan kopepoda, berukuran jauh lebih besar dari biota sekerabat di perairan dangkal. Sebagai contoh, kopepoda *Gaudia princeps* memiliki ukuran 10x lipat lebih besar dari kopepoda perairan bentik dangkal.

Menurut teori, tekanan hidrostatik mengakibatkan terjadinya kelainan pada metabolisme hewan laut dalam. Selain itu, kombinasi kelangkaan pakan dan suhu rendah dapat mengurangi laju pertumbuhan sehingga memperpanjang waktu untuk mencapai dewasa secara seksual yang mengakibatkan ukurannya menjadi lebih besar dari ukuran kerabatnya di perairan zona lain. Penundaan kematangan seksual dan rentang usia yang lebih lama menyebabkan ukuran telur yang dihasilkan menjadi lebih besar. Hal ini menyebabkan cadangan

kuning telur lebih banyak sehingga tidak menggantungkan ketersediaan pakan dari perairan sekitar. Hewan laut dalam yang berukuran lebih besar juga dapat menjelajah wilayah yang lebih luas untuk memperoleh makan dan bereproduksi.

d. Adaptasi biokimiawi

Pada ikan laut dalam, kandungan air dalam jaringan tubuh meningkat dan kadar lipid-protein menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman. Avertebrata seperti crustacea juga cenderung kehilangan banyak protein dan kalori seiring dengan bertambahnya kedalaman. Penurunan ini diduga disebabkan kelangkaan makanan yang dibutuhkan dalam pembuatan protein.

e. Reproduksi

Reproduksi hewan-hewan laut dalam menunjukkan kurang adanya suplai makanan yang cukup untuk perkembangan larva. Tahapan larva dilalui sebagian besar menggunakan kuning telur (yolk) sebagai sumber energi hingga fase dewasa. Zooplankton laut juga menunjukkan kesamaan adaptasi dimana telur-telur kopepoda yang dihasilkan tidak menetas hingga stadia nauplius.

Ikan laut dalam cenderung memiliki sejumlah kecil yolk berukuran besar untuk mengisi telur. Ikan pemancing memiliki sejumlah besar telur-telur kecil yang menetas menjadi larva dan larva tersebut turun menuju kedalaman 1000-3000 meter untuk mengalami metamorfosis menjadi dewasa.

Pada ikan *Ceratias* spp., ikan betina berukuran jauh lebih besar dibandingkan ikan jantan. Ikan jantan menempel pada betina sehingga jantan selalu ada untuk menyediakan sperma yang dibutuhkan pada proses pemijahan. *Ceratias* jantan menemukan betina melalui

indra olfaktorik. Umumnya, ikan laut dalam memiliki indra khusus maupun senyawa kimia yang unik untuk menemukan pasangannya dalam hal reproduksi.

f. Adaptasi bau dan bunyi

Indra penciuman merupakan salah satu organ yang berkembang baik. Bau digunakan untuk mendeteksi lokasi, mangsa, maupun pasangan dalam hal reproduksi. Sedangkan bunyi digunakan untuk menangkap sinyal dari hewan sekerabat yang sudah berkembang dengan baik.

7.4 Bioluminesensi

Bioluminesensi merupakan emisi cahaya dari tubuh suatu makhluk hidup dikarenakan reaksi kimia tertentu. Tidak hanya di perairan terbuka, bioluminesensi juga terjadi pada perairan laut dalam. Secara umum spektrum cahaya yang dihasilkan berbeda antar spesies namun meliputi warna-warna yang dapat dilihat oleh mata, seperti kuning hingga merah. Seperti pada pembahasan sebelumnya, organ penghasil cahaya (*fotofor*) ditemukan pada cumi-cumi laut dalam dengan jumlah yang besar. Selain itu, fotofor juga terdapat pada ikan dan avertebrata laut dalam lainnya. Fungsi fotofor pada biota laut dalam adalah sebagai berikut:

- Menghindarkan diri dari pemangsaan
- Menghasilkan cahaya kilat untuk menyilaukan predator. Seperti pada cumi-cumi *Histiotheuthis dispar* yang menghasilkan gumpalan awan bercahaya untuk melarikan diri dari predator.
- Sebagai umpan untuk mendekatkan mangsa menuju mulut.
- Menerangi area sekeliling perairan untuk melihat mangsa.
- Pengenalan kelompok spesies maupun reproduksi.

Fotofor yang dimiliki oleh organisme laut dalam cenderung bervariasi. Tipe fotofor yang paling sederhana terdiri dari serangkaian sel yang berbentuk mangkuk dan dapat menghasilkan cahaya. Sel ini berupa kelenjar yang berisi kultur bakteri luminesens. Pada beberapa jenis ikan dan krustasea, fotofor terdiri dari beberapa seri kelenjar yang masing-masing memiliki lensa untuk menyaring warna, memusatkan cahaya, hingga diafragma yang berisi sel-sel pigmen. Ada pula jenis ikan laut dalam yang memiliki fotofor yang tertutup oleh kelopak yang dapat menutup maupun membuka pancaran cahaya. Umumnya bioluminesensi ditemukan pada hewan di zona mesopelagik dan zona batipelagik.



Gambar 7.1 Organisme laut dalam dengan kemampuan bioluminesens

7.5 Komunitas Biota Laut Dalam

Sama seperti zona perairan lainnya, biota laut dalam dihuni oleh berbagai kelompok utama hewan yang beraneka ragam. Hanya kepadatan populasi yang lebih sedikit. Sejumlah biota bentik seperti krustasea, holothuroidea, asteroidea, juga ditemukan pada komunitas laut dalam. Terdapat cacing polikaeta, bintang mengular, lili laut, dan bulu babi, terutama pada zona mesopelagik, yang tersebar pada berbagai filum, seperti yang tertera pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Komunitas laut dalam (Sumber: Grassle, 1990)

Filum	Spesies yang ditemukan
Annelida	385
Arthropoda	185
Cnidaria	19
Nemertea	22
Echiurida	4
Sipuncula	15
Pogonophora	13
Mollusca	106
Bryozoa	1
Brachiopoda	2
Echinodermata	39
Hemichordata	4
Chordata	1

Organisme laut dalam pada zona batial dan abisal didominasi oleh ikan-ikan berukuran besar, seperti anglerfish *Melanocetus* spp., *Lophius piscatorius*, cumi *Vampyroteuthis infernalis*, serta komunitas ikan-ikan pemancing.

Komunitas biota laut dalam cukup homogen dengan beragam keterbatasan yang membentuk ekosistem ini sangat unik. Salah satu sumber makanan dasar di ekosistem laut dalam adalah tenggelamnya plankton serta hasil uraian biota dari permukaan yang membentuk butiran salju dikedalaman laut (*marine snowflake*). Salju inilah yang selanjutnya menjadi sumber makanan bagi konsumen primer ikan kecil di laut dalam. Kemudian menjadi makanan bagi predator utama di laut dalam sebelum kembali terurai didasar laut.

Biota laut dalam juga dihuni sekumpulan biota benthik pada zona batial seperti jenis cnidaria *Chondrocladia gutteli*, *Chitonanthus abyssorum*, *Polyplumaria flabellata*, *Umbellula lindahli*. Jenis echinodermata yang didominasi bintang mengular, *sand dollar*, bintang laut, serta jenis teripang *Laetmogone violacea*, *Peniagone azorica*, dan *Psychropotes*

buglossa. Jenis moluska yang hidup pada zona ini adalah *Avicula hirundo* dan *Syndesmya profundorum*. Sementara itu, zona abisalpelagis dihuni oleh jenis porifera bunga karang seperti *Hyalonema thomseni lustanicum*, *Thenia muricata*, dan *Asconema setubalense*.

7.6 Komunitas Biota Hydrothermal Vents

Hydrothermal vents merupakan ekosistem laut dalam yang banyak ditemukan di area pegunungan tengah laut yang tersebar di bagian tengah. Air dingin meresap kedalam kerak dan secara geothermal dipanaskan sebelum dibuang keluar pada suhu yang sangat tinggi. Air ini tidak hanya dingin, namun juga memiliki kadar oksigen yang sangat rendah dan kaya kandungan metal dan hidrogen sulfida. Saat dikeluarkan, suhu air meningkat secara drastis melalui cerobong asap hitam (yang mengandung partikel sulfida gelap) dan asap putih yang mengandung kristal silika dan mineral putih anhidrit.

Komunitas sirkulasi hidrothermal yang memiliki karakteristik jauh berbeda dengan komunitas laut dalam pada umumnya. Meskipun sama-sama independen terhadap cahaya matahari, namun suhu perairan pada area sirkulasi thermal mencapai lebih dari 200°C. Makanan tersedia sepanjang waktu dikarenakan bakteri kemosintetik mensintesis senyawa kimia untuk digunakan sebagai bahan makanan dan energi bagi komunitas biota sirkulasi hidrothermal. Bakteri juga bersimbiosis dengan organisme laut dalam menggunakan energi yang tersimpan dalam ikatan kimia hidrogen sulfida dan metana untuk membuat glukosa dari air serta karbonat yang terlarut dalam air laut. Air yang keluar dari ventilasi hidrothermal dibuat jenuh dengan bahan kimia terlarut. Bakteri menyerap kelebihan hidrogen sulfida dan karbonat serta menghasilkan oksigen dari air laut. Bakteri menggunakan energi yang dilepaskan dengan mengoksidasi sulfur untuk

membuat molekul organik untuk selanjutnya tumbuh dan berkembang biak, dimakan, atau menjadi inang bagi hewan lain.

Beberapa contoh makrofauna pada zona laut dalam sirkulasi hidrothermal diantaranya adalah cacing vestimentiferan *Riftia pachyptila*), cacing *Serpulid polychaeta*, remis raksasa *Calyptogena magnifica*, kerang *Bathymodiolus thermophilus*, cacing pompeli, udang tanpa mata, hingga siput yang dilapisi sisik dengan kadar senyawa besi dan material organik tinggi.

Pada umumnya siklus hidup biota pada lingkungan ini cenderung pendek. Keberadaan erupsi gunung berapi dan gempa bumi serta tingginya suhu perairan mempercepat fase pertumbuhan dan reproduksi biota *hydrothermal vents*.



Gambar 7.2 Ekosistem di area *hydrothermal vents*

DAFTAR PUSTAKA

- Glover AG, AJ Gooday, DM Bailey, DSM Billett, P Chevaldonne, A Colaco, J Copley, D Cuvelier, D Desbruyeres, V Kalogeropoulou, M Klages, N Lampadariou, C Lejeusne, NC Mestre, GLJ Paterson, T Perez, H Ruhl, J Sarrazin, T Soltwedel, EH Soto, S Thatje, A Tselepides, SV Gaever, A Vanreusel. Chapter One - Temporal Change in Deep-Sea Benthic Ecosystems: A Review of the Evidence From Recent Time-Series Studies. In: *Advances in Marine Biology*. Volume 58. 2010. Elsevier. Pages 1-95.
- Grassle JF, NJ Maciolek, JA Blake. 1990. Are Deep-Sea Communities Resilient?. *The Earth in Transition: Patterns and Processes of Biotic Impoverishment*. Cambridge University Press: 385-393.
- Henriques AB, PB Mortensen, E Tokat, A Martins, T Silva, J Jakobsen, JC Clode, K Jakobsen, J Delgado, T Voirand, M Biscoito. 2022. Benthic Community Zonation from Mesophotic to Deep Sea: Description of the First Deep-Water Kelp Forest and Coral Gardens in the Madeira Archipelago (Central NE Atlantic). *Frontiers in Marine Science*. 01-25.
- Kenny AJ & I Sotheran. Characterising the Physical Properties of Seabed Habitats. In: *Methods for the Study of Marine Benthos* 4th Edition. Edited by Anastasios Eleftheriou. 2013. New Delhi: Wiley
- Lilian E. 2020. Marine Snow: The Largest Snowfall on Earth. *Berkeley Scientific Journal*: 8-10.
- Nybakken JW. 2018. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama

- Smet BD, E Pape, T Riehl, P Bonifacio, L Colson, A Vanreusel. 2017. The Community Structure of Deep-Sea Macrofauna Associated with Polymetallic Nodules in the Eastern Part of the Clarion-Clipperton Fracture Zone. *Frontiers in Marine Science*. 4(103): 1-14.
- Suwignyo S, B Widigdo, Y Wardiatno, M Krisanti. 2002. *Avertebrata Air Jilid 1*. Bogor: Penerbit Swadaya.

BAB 8

EKOLOGI INTERTIDAL

Oleh Suryaningsih Ndahawali

8.1 Pendahuluan

Ekologi perairan merupakan ilmu yang mempelajari mengenai ekosistem perairan dari perairan tawar, payau dan laut. Ekologi perairan laut merupakan perairan yang luas di Indonesia, karena Indonesia adalah negara yang perairan lautnya luas dan terdiri dari pulau-pulau kecil atau juga disebut sebagai negara maritim. Ekologi terdiri dari dua yaitu ekologi intertidal dan laut dalam (samudra). Ekologi Intertidal atau dikenal dengan zona intertidal merupakan bagian perairan yang dikenal paling subur dan terdapat keanekaragaman organisme seperti tumbuhan dan hewan (Basith, 2014).

Ekologi intertidal merupakan daerah yang berbatasan dengan daratan, daerah perairan yang dipengaruhi oleh pasang surut (Dewi *et al.*, 2020). Daerah intertidal adalah ekologi yang fluktuasi iklim dapat berubah-ubah sewaktu-waktu. Iklim atau cuaca seperti angin, banjir, hujan, ombak dan pasang surut selalu berhubungan erat dengan ekologi ini. Pasang surut yang terjadi pada daerah intertidal juga mempengaruhi organisme yang hidup atau terdapat pada daerah ini, pada saat surut organisme harus mampu bertahan hidup dengan minimnya air dan oksigen terlarut, sedangkan pada saat pasang organisme ini juga harus mampu bertahan dengan kekuatan arus (Abrahamsz, 2018).

Ekologi intertidal diberbagai daerah atau tempat terbagi dalam 3 zona atau daerah perairan yaitu seperti zona pasir, lumpur dan batuan/karang dengan keanekaragaman organisme yang berbeda-beda. Daerah ini merupakan tempat terdapat berbagai jenis tanaman seperti lamun, mangrove, makroalga. Daerah intertidal juga merupakan daerah yang paling banyak di jama oleh manusia karena merupakan daerah yang paling dekat dengan darat dan daerah pasang surut (Diversity et al., 2014).



Gambar 9.1. Ekologi Intertidal

(Sumber : www.weipedia.com)

Zona intertidal seperti yang telah dijelaskan sangat dipengaruhi oleh pasang surut. Pasang surut merupakan gerakan naik turunnya massa air, yang dipengaruhi gaya tarik menarik antara bulan dan matahari. Pasang surut atau yang disebut dengan pasut, merupakan sesuatu yang terjadi secara alami terjadi secara bertahap, pasang surut yang terjadi mengakibatkan kenaikan massa air, dari dasar ke permukaan dan sebaliknya yang sering disebut dengan *upwelling* dan *downwelling*, sehingga ekologi intertidal termasuk dalam lokasi perairan subur atau mengandung banyak unsur hara dan tingginya keragaman organisme (Basith, 2014).

Pasang surut berbeda setiap daerah dan benua lainnya, karena posisi bulan dan bumi akan mempengaruhi fenomena pasang surut. Jika terjadi bulan purnama, akan terjadi *sparing tide* atau pasang tinggi dan pasang perbani. Pada saat bulan sejajar bumi, matahari akan terjadi pasang purnama atau disebut pasang tertinggi dan surut terendah. Periode waktu pasang surut berbeda-beda atau terjadi variasi seperti 12 jam atau 24 jam dengan tempo yang berbeda-beda setiap jam (Sanur et al., 2012).

Kualitas air pada ekologi intertidal dipengaruhi oleh musim dan iklim. Suhu perairan akan berbeda secara harian yaitu kisaran suhu akan berada antara pagi, siang dan malam serta musim pada saat hujan dan panas. Hal yang sama juga diikuti oleh oksigen terlarut dan tingkat keasaman atau pH perairan. Interaksi dan adaptasi organisme yang hidup pada ekologi intertidal bervariasi, ada yang mampu bertahan pada saat air surut dan pasang dengan tingan arus dan gelombang yang tinggi (Sjafrie et al., 2018).

8.2 Karakteristik Ekologi Intertidal

Ekologi intertidal memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan laut dalam (Samudera). Ekologi intertidal atau pesisir yang memiliki peranan penting bagi biota dan kehidupan manusia dimana selalu dijadikan tempat rekreasi serta mencari makan bagi biota laut. Ekologi intertidal memiliki karakter habitat yang berbeda-beda tetapi saling terikat antara habitat/ekosistem lainnya seperti dinamika dan produktivitas. Ekologi p=intertidal dapat dibedakan dalam beberapa ekosistem yaitu ekosistem lamun, ekosistem mangrove (Dewi et al., 2020)

Ekologi intertidal juga terbagi menjadi 3 zonasi seperti zona pasir, zona lumpur dan zona berbatu/ karang. Daerah ini memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

8.2.1 Ekosistem Mangrove

Ekosistem mangrove atau yang banyak dikenal oleh masyarakat pada umumnya adalah hutan bakau merupakan daerah yang terdapat kumpulan pohon di daerah intertidal atau perairan pesisir tropis. Ekosistem mangrove merupakan daerah yang teratur tergenang oleh air laut karena berada di daerah pasang surut, tetapi ekosistem mangrove tidak terpengaruh oleh iklim, karena pohon mangrove akan sesuai memiliki daun dan bunga disetiap musim seperti pada daerah yang memiliki iklim tropis (Pramudji, 2017).



Gambar 8.2. Ekosistem Mangrove

(Sumber : [www. Weipedia.com](http://www.Weipedia.com))

Mangrove atau bakau merupakan jenis makhluk hidup yang masuk dalam kelas botani dan mampu beradaptasi dengan berbagai spesies seperti ikan, jenis molusca, echinodermata dan satwa lain seperti populasi burung serta organisme hewan lainnya. Ekosistem mangrove adalah daerah khas ekologi intertidal dan terdapat hampir di semua pesisir dan hilir sungai. Mangrove merupakan tumbuhan yang mampu hidup di perairan yang memiliki salinitas, karena pada daun mangrove terdapat kelenjar garam yang dapat mensekresi garam, sehingga mangrove dapat hidup di perairan bersalinitas. Mangrove memiliki berbagai jenis seperti

Avicennia, *Sonneratia*, *Xylocarpus*, *Rhizophora*. Ekosistem mangrove memiliki fungsi sebagai penahan abrasi dari daratan ke perairan laut, atau sebaliknya dari laut ke daratan.

Substrat pada ekosistem mangrove lumpur berpasir, yang termasuk dalam zona lumpur pada ekologi intertidal, sehingga kotoran yang berasal dari darat tidak mengganggu ekosistem lain seperti ekosistem lamun dan ekosistem terumbu karang (Sanur et al., 2012).

8.2.2 Ekosistem Lamun

Lamun merupakan tumbuhan tingkat tinggi yang hidup pada perairan laut (Arfianti, 2019). Tumbuhan yang memiliki akar dan bunga ini hidup pada zona lumpur berpasir, tetapi pada umumnya lamun hidup pada zona berpasir yang memiliki air jernih dan masih terkena sinar matahari untuk proses fotosintesis (Firmandana et al., 2014).

Ekosistem lamun banyak dihuni oleh organisme lain seperti teripang, bulu babi, ikan-ikan kecil dan juga merupakan tempat hidup ikan dugong (Abrahamsz, 2018).



Gambar 8.3. Ekosistem Lamun

(Sumber : [www. Weikpedia.com](http://www.Weikpedia.com))

Ekosistem lamun memiliki substrat berpasir dan berlumpur, dengan partikel pasir yang cukup besar. Di perairan tropis daerah ekosistem lamun merupakan bagian perairan yang paling bersih, karena kurangnya sedimen yang membuat air menjadi keruh atau kotor (Tarigan et al., 2020).

8.3 Zonasi Ekologi Intertidal

Ekologi intertidal terdiri dari tiga zona yaitu zona pasir, batuan dan lumpur dengan adaptasi organisme yang berbeda setiap zona pada ekologi intertidal.

8.3.1 Zona Pasir

Zona berpasir pada ekologi intertidal merupakan daerah yang selalu dijadikan tempat rekreasi dan daerah ini tidak terdapat banyak biota atau kurangnya keanekaragaman di daerah berpasir. Daerah berpasir kurang akan nutrisi karena substrat pasir jarang menyimpan unsur hara atau sering disebut dengan miskin nutrisi yang dibutuhkan oleh biota. Kandungan oksigen pada sedimen berpasir berlimpah, tetapi karena kurangnya nutrisi maka tidak terdapat banyak biota pada zona ini (Tajuddin & Pendahuluan, 2016).



Gambar 8.4. Zona Berpasir
(Sumber : www.Weikpedia.com)

Pola adaptasi biota yang hidup pada zona berpasir adalah dengan menggali pasir dan bersembunyi di dalam pasir, seperti teripang, kepiting, kerang dan bulu babi, lamun dan makrolaga (Diversity et al., 2014).

9.3.2 Zona Berbatu

Pantai berbarbatu atau zona berbatu pada ekologi intertidal merupakan bagian yang paling banyak terdapat keanekaragaman organisme, seperti ikan, kerang-kerangan, tumbuhan air. Zona berbatu merupakan daerah berbatu yang berada di pesisir laut, dengan bentuk topografi yang landai dan terdapat batu-batuan karang, dan patahan terumbu karang, zona berbatu atau yang sering disebut zona cadas ini pola arus dan gelombang cukup kuat dan besar.

Sistem adaptasi biota di perairan ini adalah bersembunyi dibawah karangan atau mampu bergerak melawan arus. Dengan banyaknya organisme, daerah ini adalah daerah yang banyak terdapat nutrisi atau kaya akan nutrisi bagi biota, karena banyaknya plankton sebagai produsen pertama yang hidup melekat pada batu-batuan, sehingga dapat menarik konsumen kedua dan predator (Biru, 2019).

Zona berbatu pada perairan laut jarang menjadi tempat untuk berekreasi bagi manusia, karena substratnya yang keras dan tajam diakibatkan bentuk batu yang memiliki rongga (Budi Setyawan et al., 2015)



Gambar 8.5. Zona Cadas (Berbatu)

(Sumber : (Basith, 2014)

8.3.2 Zona Berlumpur

Zona berlumpur adalah daerah yang paling banyak di tumbuhan mangrove. Merupakan daerah estuari atau biasanya tempat pertemuan air laut dan air tawar. Zona berlumpur adalah zona yang memiliki substrat dengan diameter yang sangat halus. Hewan atau biota yang dapat hidup pada zona ini adalah salah satunya bersifat filterfider atau dapat menyaring makanan, contohnya seperti kerang- kerangan, gastropoda, cacing, udang dan kepiting. Zona ini adalah bagian yang miskin oksigen terlarut, sehingga biota yang hidup adalah biota yang dapat hidup pada daerah anaerob (Dewi et al., 2020).

Zona berlumpur adalah zona yang airnya keruh, sulit untuk ditembus sinar matahari langsung, sehingga tidak ada tumbuhan air yang hidup di dalamnya selain tumbuhan mangrove. Daerah ini juga terdapat bakteri karena dapat hidup pada daerah yang kurang oksigen atau tidak ada sama sekali (Diversity et al., 2014).



Gambar 8.6. Zona Berlumpur
(Sumber : www.wikipedia.com)

8.4 Faktor Lingkungan

Ekologi intertidal adalah daerah yang berdekatan dengan daratan atau yang dikenal dengan pesisir atau pantai. Ekologi ini banyak dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pasang surut, ada peran manusi, iklim, musim, daratan, hujan dan banjir.

Kualitas perairan dapat berubah sewaktu dalam harian atau musiman, seperti kisaran suhu dan oksigen akan berbeda setiap jam, pada saat pagi, siang dan malam. Sama halnya dengan salinitas atau kandungan garam, salinitas daerah intertidal dengan saudara atau bisa juga kisaran salinitas akan berbeda sesuai dengan lapisan perairan secara vertikal maupun horizontal.

Adaptasi organisme pada daerah intertidal juga dipengaruhi oleh lingkungan, sehingga pola adaptasi berupa adaptasi fisiologi, adaptasi tingkah laku dan adaptasi struktur yang merupakan adaptasi organisme dengan mengubah struktur secara fisiologi maupun morfologi untuk dapat bertahan hidup didaerah pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamsz, J. 2018. *Government Policies Influence On Fisheries Area Development In Central Maluku Regency Vulnerability Indices And Their Utilization , Usefulness And Problems: Maluku Case. April 2011.*
- Arfianti, D. 2019. Struktur Komunitas Makrozoobentos Pada Ekosistem Lamun Di Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. *Jfmr-Journal Of Fisheries And Marine Research*, 3(1), 1–7.
<https://doi.org/10.21776/Ub.Jfmr.2019.003.01.1>
- Basith, A. 2014. *Tantangan Dalam Akuisisi Data Hidrografi Di Zona Intertidal Untuk Pemetaan Lingkungan Pantai Indonesia (Challenges In Hydrographic Data Acquisition In The Intertidal Zone For Indonesian Coastal. 20(2), 87–94.*
- Biru, S. 2019. Jurnal Segara. *Segara*, 13(1), 25–35.
- Budi Setyawan, I., Prihanta, W., & Purwanti, E. (2015). Identifikasi Keanekaragaman Dan Pola Penyebaran Makroalga Di Daerah Pasang Surut Pantai Pidakan Kabupaten Pacitan Sebagai Sumber Belajar Biologi. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 1(1).
<https://doi.org/10.22219/Jpbi.V1i1.2305>
- Dewi, P. K., Rossiana, N., & Indrawati, I. 2020. Diversitas Mikrofungi Zona Intertidal Dan Subtidal Pantai Barat Pananjung Pangandaran. *Jurnal Agrinika: Jurnal Agroteknologi Dan Agribisnis*, 4(1).
<https://doi.org/10.30737/Agrinika.V4i1.795>
- Diversity, E., Jeding, Z., Baluran, B., Park, N., Aris, M., Huda, I., Fajariyah, S., Biologi, J., Matematika, F., Alam, P., Unej, U. J., & Kalimantan, J. 2014. *Keanekaragaman Jenis Echinoidea Di Zona Intertidal Pantai Jeding Taman Nasional Baluran.*
- Firmandana, T. C., Suryanti, & Ruswahyuni. 2014. Kelimpahan Bulu Babi (Sea Urchin) Pada Ekosistem Karang Dan

- Lamun Di Perairan Pantai Sundak, Yogyakarta. *Maquares*, 3(4), 41–50.
[Http://Ejournal-S1.Undip.Ac.Id/Index.Php/Maquares%0avolume](http://Ejournal-S1.Undip.Ac.Id/Index.Php/Maquares%0avolume)
- Pramudji. 2017. Ekosistem Hutan Mangrove Dan Peranannya. *Oseana*, Xxvi(4), 13–23.
- Sanur, P., Perwira, I. Y., Pi, S., Ulinuha, D., Pi, S., Geriet, F., & Titaheluw, O. 2012. Studi Karakteristik Jenis Dan Keragaman Fauna Pantai Berpasir , Berbatu Dan Berlumpur Di Kawasan Pesisir Tim Peneliti Program Studimanajemen Sumberdaya Periaran. *Laporan Hibah Penelitian Udayana*, 1–50.
- Sjafrie, N. D. M., Hernawan, U. E., Prayudha, B., Rahmat, Supriyadi, I. H., Iswari, M. Y., Suyarso, Anggraini, K., & Rahmawati, S. 2018. Status Padang Lamun Indonesia 2018. In *Pusat Penelitian Oseanografi-Lipi* (Vol. 53, Issue 9).
- Tajuddin, M., & Pendahuluan, I. 2016. *Pemetaan Daerah Penangkapan Ikan Dengan Pendekatan Ruang Di Perairan Kabupaten Sumba Timur Perairan Kabupaten Sumba Timur Yang Begitu Luas Menyebabkan Distribusi Dan Sebaran Potensi Perikanan Tangkap Sulit Untuk Dimanfaatkan, Oleh Karena Itu Diperlukan A.* 16(2), 56–63.
- Tarigan, N., Ndahawali, S., & Meiyasa, F. 2020. *Eksplorasi Keanekaragaman Makroalga Di Perairan Londalima Kabupaten Sumba Timur.* 5(1).

BAB 9

EKOSISTEM BENTIK

Oleh Nur Maulida Safitri

9.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas mengenai ekosistem perairan laut yang berada diantara batas surut terendah di pantai hingga perairan ujung paparan benua yang memiliki kedalaman 200 m. Ekosistem bentik mencakup suatu area ekologi yang ada pada bagian dasar dari perairan, termasuk sedimen. Sebagian besar zona pada area ini memiliki jenis sedimen dengan substrat yang lunak, lumpur, pasir, serta daerah dengan substrat keras.

Secara ekologis, ekosistem bentik dihuni oleh komunitas dasar laut yang khas karena lebih mudah dijangkau. Ekosistem ini memiliki kondisi lingkungan yang cenderung bervariasi dari waktu ke waktu bergantung pengaruh arus gelombang serta ketersediaan nutrisi. Ekosistem bentik tersebar meluas dari perairan dasar danau, perairan laut dangkal yang secara ekologis memiliki penyusun substrat dasar seperti terumbu karang maupun lamun, perairan substrat keras berbatu, hingga perairan dasar laut dalam.

9.2 Kondisi Lingkungan

Menurut Nybakken (2018), secara umum ekologi bentik perairan dangkal hingga paparan benua memiliki karakteristik lingkungan yang bervariasi dibandingkan dengan perairan laut dalam maupun epipelagik laut terbuka. Faktor fisik yang paling mempengaruhi kondisi ini ialah keberadaan turbulensi

gelombang dan arus yang menyebabkan perairan pantai tidak terstratifikasi secara termal. Hal ini menyebabkan produktivitas nutrisi menjadi lebih tinggi dibandingkan perairan lepas pantai karena nutrisi yang menyangga populasi biota-biota bentos melimpah.

a. Gerakan ombak

Pergerakan arus dan gelombang mempengaruhi tipe sedimen perairan. Pergerakan arus dan gelombang yang kuat dapat menentukan karakteristik partikel yang membentuk sedimen.

Pada ekosistem benthik di perairan laut, periode pergerakan laut dan keberadaan gelombang badai akan mempengaruhi dasar perairan dangkal, terutama dalam hal stabilitas substrat. Saat pergerakannya kuat, maka partikel halus akan tersuspensi dan menyisakan pasir. Sehingga, sedimen lumpur akan terbentuk pada dasar perairan yang memiliki pergerakan ombak rendah atau terletak pada zona yang tidak terpengaruh arus gelombang yang tinggi. Dasar yang lunak menyebabkan gerakan substrat tidak teraduk sempurna dan tersuspensi. Hal ini sangat mempengaruhi organisme infauna yang ada pada sedimen.

b. Suhu dan salinitas

Berbeda dengan ekosistem benthik di daerah danau, suhu lebih bervariasi pada ekosistem benthik di perairan pantai serta menunjukkan perubahan musim yang sangat jelas pada wilayah yang memiliki iklim subtropis/sedang. Suhu perairan yang cenderung berubah-ubah dapat menjadi penanda bagi organisme benthik dalam bermetabolisme, termasuk aktivitas reproduksi.

Gerakan arus dan gelombang yang begitu kuat juga menyebabkan tingginya variasi salinitas di perairan ini dibandingkan laut dalam maupun laut terbuka. Terkecuali

area sungai, danau, maupun perairan dekat dengan daerah sungai besar yang mengeluarkan air tawar dalam jumlah besar.

c. Penetrasi cahaya matahari

Pada ekosistem benthik, penetrasi cahaya matahari lebih kecil dibandingkan dengan perairan laut terbuka. Tingginya kekeruhan sedimen halus, sekumpulan partikel-partikel *runoff* daratan maupun kepadatan plankton yang tinggi menghambat penetrasi cahaya matahari hingga beberapa meter.

d. Ketersediaan nutrisi

Persediaan fitoplankton meningkat dengan adanya tambahan tumbuhan yang melekat, seperti rumput laut dan kelp. Sumber makanan ini menjadi sangat penting bagi zooplankton dan biota benthik tingkat tinggi. Sumber makanan tambahan didapatkan dari adanya nutrisi yang berasal dari muara dan *runoff* daratan. Pada umumnya zona ini dihuni oleh ikan karnivora, biota pemakan deposit yang mencerna detritus, serta pemakan suspensi yang menyaring plankton atau detritus yang melayang dalam kolom air. Pada perairan laut dalam, ketersediaan nutrisi sangat terbatas dikarenakan ketiadaan fitoplankton sebagai produsen primer. Ikan-ikan serta avertebrata benthik pada zona ini bergantung pada keberadaan bangkai serta penguraian bahan sulit terurai (seperti kitin dan selulosa) menjadi makanan oleh bakteri.

9.3 Ekologi Benthik

Benthik merupakan berbagai flora dan fauna yang hidup pada substrat dasar perairan, termasuk danau, kolam, sungai, hingga laut. Istilah inilah yang berfungsi membedakan biota benthik dari biota perairan terbuka atau “zona pelagis”. Organisme benthik juga bervariasi, beberapa dapat bergerak di

berbagai substrat padat, *sessile* dan memiliki ketergantungan terhadap substrat yang keras, serta hewan penggali lubang pasir maupun lumpur untuk mendapatkan makanan. Organisme bentos juga meliputi ikan bentik yang secara aktif mendapatkan makanan.

Sebagai contoh, terumbu karang pada perairan bentik dangkal merupakan biota bentos yang terdiri dari sebuah substrat keras yang mengandung kalsium karbonat (terumbu) yang dihuni oleh hewan karang (cnidaria dan coelenterata) dan berasosiasi dengan zooxanthellae. Hewan karang merupakan makanan alami dari bintang laut (*Acanthaster planci*), siput pemakan karang (*Drupella* spp. dan *Coralliophila* spp.), hingga ikan kakatua (Famili Scaridae) (Nybakken, 2018).

Organisme yang dominan menyusun makrofauna di area bentik umumnya didominasi oleh beberapa kelompok taksonomi, seperti: filum mollusca, echinodermata, crustacea, annelida, hingga platyhelminthes. Ekologi bentik juga dihuni oleh filum cnidaria dan coelenterata (Sugara, Siregar dan Agus, 2020).

Perairan dangkal hingga paparan benua memiliki karakteristik lingkungan yang bervariasi dibandingkan dengan perairan laut dalam maupun epipelagik laut terbuka. Faktor fisik yang paling mempengaruhi kondisi ini ialah keberadaan turbulensi gelombang dan arus yang menyebabkan perairan pantai tidak terstratifikasi secara termal. Hal ini menyebabkan produktivitas nutrisi menjadi lebih tinggi dibandingkan perairan lepas pantai karena melimpahnya nutrisi yang menyangga populasi biota-biota bentos (Reynolds, 2001).



Gambar 9.3 Contoh organisme benthik. Echinodermata *Astropecten indicus* (kiri), Polychaeta *Chaetopterus* sp. (tengah), dan Cnidaria *Acropora digitifera* (kanan).

Terdapat beberapa kelompok organisme benthik yang tinggal pada wilayah ini, seperti pada Gambar 10.1:

1. Epifauna adalah kelompok organisme benthik yang hidup dengan berasosiasi di permukaan substrat. Contoh: Porifera, Coelenterata, dan Echinodermata.
2. Infauna merupakan sekelompok organisme benthik yang hidup di sedimen dengan menggali lubang. Dikelompokkan berdasarkan ukuran:
 - Makrofauna: Berukuran lebih besar dari 1 mm. Contoh: Crustacea (udang, lobster, kepiting) dan bivalvia.
 - Meiofauna: Berukuran 0.1 - 1 mm. Contoh: Copepoda, Foraminifera, Cacing polychaeta, Gastropoda.
 - Mikrofauna: Berukuran lebih kecil dari 0.1 mm. Contoh: Bakteri, fitoplankton, zooplankton.
3. Biota epifauna maupun infauna yang masih tahap larva (planktonik).
4. Tanaman air, seperti: lamun, rumput laut, maupun kelp.
5. Ikan karnivora, seperti pari (ordo Myliobatiformes) maupun sebelah (famili Pleuronectidae).

9.4 Cara Makan dan Macam Makanan

Berdasarkan jenis makanannya, organisme infauna terbagi menjadi tiga (Woodin, 1976)

- a. Pemakan deposit
- b. Organisme ini biasanya melimpah di sedimen lunak, termasuk sedimen lumpur, karena kandungan bahan organiknya yang tinggi.
- c. Pemakan suspensi
- d. Organisme ini berlimpah pada substrat berpasir dengan sedikit bahan organik. Pemakan deposit akan lebih sulit menggali dan tidak akan menemukan banyak makanan di area ini.
- e. Pembentuk tabung

Organisme tipe ini merupakan biota-biota yang dapat berupa pemakan deposit maupun suspensi. Di dalam substrat, hewan ini hidup dengan membentuk tabung sehingga dapat menstabilkan substrat. Substrat yang stabil mencegah partikel halus tersuspensi kembali sehingga memungkinkan organisme yang pemakan suspensi untuk bertahan hidup. Kehadiran tabung pada substrat berpasir maupun berlumpur membatasi ruang yang dapat digali oleh pemakan deposit. Keberadaan tabung ini berguna untuk memperbaiki lingkungan tempat tinggal pemakan suspensi serta menghambat pemakan deposit. Terjadi kompetisi yang disebabkan interaksi yang berbeda antar organisme benthik.

Pada jenis epifauna seperti bintang mengular, biota ini dikelompokkan menjadi hewan karnivora dan pemakan partikel-partikel kecil (mikrofauna). Bintang mengular tipe karnivora memiliki tangan-tangan berduri pendek serta kaki tabung untuk memindahkan mangsa ke arah mulut. Contohnya adalah famili Ophiidermatidae, Ophiomyxidae, dan Ophiuridae. Kelompok hewan mikrofauna merupakan

kelompok yang paling umum, dengan mengambil langsung partikel kecil dari substrat (*surface deposit feeder*) atau dari massa air disekitarnya (*filter feeder*). Tangan dan duri relatif lebih panjang. Selain menggunakan kaki tabung, penangkapan partikel juga dibantu mukus yang ada di sepanjang sisi ventral dari tangannya. Contoh dari bintang mengular kelompok ini adalah famili Amphiuroidae, Ophiuridae, Ophiocomidae, dan Ophiactidae (Aziz, 1991).

9.5 Komunitas larva pada ekologi bentik

Faktor utama dalam pembentukan komunitas ekologi bentik terutama berhubungan dengan ekologi larva. Umumnya, komunitas epifauna dan infauna bentik mengalami tahapan berenang secara bebas sebagai larva (bersifat planktonik) sebelum bermetamorfosis sebagai hewan bentik dewasa. Terdapat tiga cara perkembangbiakan yang berlaku dalam proses reproduksi biota bentik (Reynolds, 2001):

1. Planktotrofik: Menghasilkan telur berukuran kecil dalam jumlah banyak sehingga telur tersebut dapat segera menetas menjadi larva planktonik. Karena dalam telur hanya ada sedikit kuning telur, selanjutnya larva akan bergantung pada ketersediaan fitoplankton sebagai nutrisi. Tipe larva ini bergerak di kolom air disebabkan oleh adanya pergerakan arus, intensitas cahaya, dan perubahan salinitas. Setelah melewati fase tumbuh dan makan, larva ini akan menetap di dasar perairan. Contoh: Tiram mutiara *Pinctada fucata* (Wirasatriya dan Suprijanto, 2004).
2. Lesitotrofik: Kebalikan dari planktotrofik dimana telur yang dihasilkan dalam jumlah sedikit namun memiliki cadangan kuning telur yang banyak sebagai sumber energi. Larva ini tidak memakan fitoplankton dan memanfaatkan fase

plankton yang singkat untuk menyebar ke substrat yang sesuai untuk dihuni. Contoh: *Mytilus edulis*.

3. Juvenil/Non pelagik: Tidak memiliki tahap larva sama sekali. Organisme dewasa menghasilkan sangat sedikit telur dengan kandungan yolk sangat tinggi. Telur mengalami perkembangan yang lama tanpa sumber energi tambahan. Tahap larva dijalani dalam bentuk telur kemudian menetas sebagai juvenil sehingga tidak ada tahapan berenang bebas seperti plankton. Contoh: bintang mengular *Amphiopus abditus* (Aziz, 1991).

Pada umumnya komunitas bentik laut memiliki tahap larva berenang bebas, kecuali pada perairan kutub. Produktivitas ekosistem bentik di perairan kutub cukup rendah dan tersedia hanya pada musim panas yang pendek. Selain itu, hewan bentik membutuhkan waktu yang lama untuk menghasilkan energi yang cukup untuk bereproduksi (Nybakken, 2018).

9.6 Interaksi Biologis dan Adaptasi

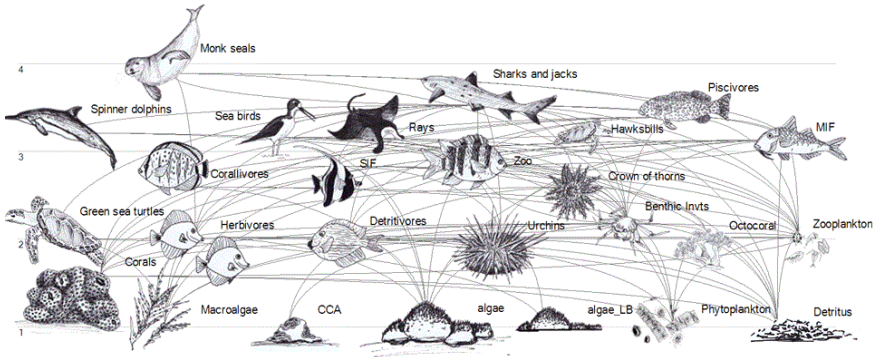
Terdapat dua pola daur hidup organisme bentik, baik di perairan danau hingga laut lepas. Tipe yang pertama adalah oportunistik, dengan karakteristik biota memiliki masa hidup pendek, perkembangan reproduksi secara cepat dengan periode reproduksi beberapa kali setiap tahun, serta larva tersedia sepanjang tahun di perairan meskipun tingkat kematiannya tinggi. Umumnya, tipe hewan ini menetap. Tipe yang kedua merupakan ekuilibrium, dengan karakteristik memiliki daur hidup yang panjang dengan perkembangan yang relatif lebih lama menuju dewasa, memiliki satu atau lebih periode reproduksi per tahun, serta angka kematian yang

relatif lebih rendahrendah. Pada umumnya, spesies berukuran lebih besar dan dapat berpindah-pindah ke lingkungan perairan yang lebih cocok (Reynolds, 2001).

Pada perairan dangkal dengan fluktuasi parameter lingkungan yang bervariasi, adanya gangguan dapat menyebabkan kematian organisme benthik oportunistik. Larva oportunistik yang tersedia sepanjang tahun selanjutnya akan menghuni lokasi tersebut kembali, tumbuh dewasa, dan kembali bereproduksi sebelum datang gangguan berikutnya yang mengancam kehidupannya. Sebaliknya, spesies benthik ekuilibrium cenderung mendiami area dengan gangguan yang sedikit untuk mempertahankan siklus hidupnya. Adanya gangguan yang terlalu banyak dapat memusnahkan mereka sebelum dapat mencapai tahapan dewasa sehingga larva tidak ada yang menetap kembali di area tersebut (Nybakken, 2018).

Pada perairan yang memiliki arus dan gelombang tinggi, sejumlah spesies makrobenthos melakukan adaptasi dengan cara bersembunyi/berlindung (limpet), memiliki tubuh yang lentur terhadap terjangan arus (crinoidea), bentuk tubuh kecil dan kuat (anemon), memiliki akar yang kuat (lamun), *basal disc* (hydra), serta memiliki *holdfast* untuk mencengkeram sedimen (rumput laut dan kelp). Pada biota bentos yang bersifat *mobile* (berpindah-pindah), memiliki kaki tabung, otot pedal, kaki berjalan, serta jangkar penembus sebagai gerakan otot transversal dan sirkular pada jenis infauna (Desmawati, Adany dan Java, 2020).

9.7 Pemangsaan, Persaingan, dan Hubungan Simbiosis



Gambar 9.4 Jejaring makanan pada biota benthik.

Sumber: Pauly and Palomares (2005).

Salah satu faktor biologis yang dapat menentukan struktur spesies komunitas infauna adalah pemangsaan. Predator vertebrata maupun invertebrata memangsa infauna yang menyebabkan hilangnya mikrofauna di area yang sempit. Akibatnya, terdapat gangguan yang diikuti dengan serangkaian pembentukan koloni kembali dengan distribusi yang tidak merata (Gambar 10.2). Aktivitas pemangsaan bisa disebabkan aktivitas makan dari ikan pari maupun ikan sebelah. Kebiasaan jenis-jenis ikan ini yang menggali sedimen untuk mencari makanan dapat menghancurkan ekosistem mikrofauna benthik secara meluas sehingga memerlukan waktu untuk kolonisasi kembali.

Beberapa decapoda seperti lobster dan kepiting menjadi predator siput dan ikan kecil di ekosistem benthik. Decapoda lain, seperti lobster *Panulirus argus* menjadi mangsa yang empuk bagi ikan kerapu *Epinephelus striatus* dan ikan trigger silver *Balistes capricus* (Boudreau dan Worm, 2012).

Selain pemangsaan, persaingan pada organisme benthik juga dapat terjadi. Persaingan ini umumnya disebabkan oleh

kompetisi ruang dan makanan yang terbatas pada dasar perairan. Sebagai contoh, pada daerah lunak subtidal, terjadi persaingan antara organisme pemakan deposit dan suspensi untuk memperebutkan tempat karena melimpahnya makanan dalam sedimen yang berbentuk detritus.

Persaingan tempat juga dapat menyebabkan adanya simbiosis komensalisme antara spesies-spesies tertentu. Persaingan yang begitu tinggi untuk memperebutkan tempat dan nutrisi menyeleksi organisme-organisme yang hidup pada tempat yang sama. Sebagai contoh jenis kerang *Cryptomya* sp. yang hidup melekat pada udang *Callinassa* sp dan *Upogebia pugettensis*. Kerang ini memiliki sifon yang sangat pendek sehingga dapat memasukkan sebagian cangkangnya pada lubang tubuh *Callinassa* sp (Nara, Akiyama dan Itani, 2008). Meskipun hidup dengan menempel pada udang, tidak ada hambatan pertumbuhan yang terjadi termasuk persaingan makanan antara kerang dan udang, karena merupakan tipe pemakan yang berbeda.

Berbeda dengan simbiosis komensalisme, hubungan simbiosis mutualisme yang saling menguntungkan juga dapat terjadi pada ekosistem benthik, sebagai contoh simbiosis antara terumbu karang dengan zooxanthellae (Thamrin, 2012). Selain sebagai habitat dan penyedia makanan biota-biota yang hidup di karang, terumbu karang juga memiliki peran ekologis sebagai penyerap karbon yang dapat memperkecil kadar gas rumah kaca. Simbiosis antara hewan karang dengan fitoplankton zooxanthellae dapat menyerap kadar karbon yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis dan menghasilkan oksigen sehingga dapat mengurangi karbon yang ada di air dan atmosfer. Sebagai ganti oksigen serta pigmen warna karang yang didapatkan dari zooxanthellae, hewan karang menyediakan nutrisi dan perlindungan berupa tempat tinggal

dari ikan-ikan karang maupun biota bentik lain yang akan memangsa zooxanthellae.

Contoh lain simbiosis mutualisme terjadi pada ekosistem bentik di danau, antara ganggang dan jamur. Kedua organisme ini bekerjasama untuk membuat komunitas. Ganggang menghasilkan oksigen yang diperlukan oleh jamur dan sebaliknya jamur menyediakan makanan yang dibutuhkan oleh ganggang (Purnami, Sunarto dan Setyono, 2010).

Pada interaksi parasitisme, organisme parasit mengandalkan inang sebagai tempat hidup sehingga dapat melaksanakan sebagian besar siklus hidupnya serta menjadi sumber makanan. Biota parasit memiliki tingkat ketergantungan yang tinggi terhadap inang, meskipun tidak akan membunuhnya meskipun parasit ini bersifat patogen. Beberapa biota bentik gastropoda bersifat parasit bagi organisme lain, seperti moluska dan echinodermata. Sebagian gastropoda menempel di bagian dorsal, aksial, diantara duri bagian dorsal, hingga di seluruh bagian permukaan luar, seperti gastropoda *Parvioris fulvenscens*, *Melanella shaplandi*, serta *Echineulina robusta*. Bahkan, jenis gastropoda *Thyca crysralline* dan *Stilifer ophidiastericola* dapat mengebor ke dalam lengan bintang laut *Ophidiaster granifer* dan bintang laut biru *Linckia laevigata*. Berdasarkan penelitian Arbi (2015), sedikitnya 12 genus parasit dari Famili Eulimidae yang berasosiasi dengan Echinodermata.

9.7 Flora Bentik



Gambar 9.5. Flora Bentik. Kelp *Macrocystis pyrifera* (kiri), rumput laut *Padina pavonica* (tengah), dan lamun *Halodule uninervis* (kanan).

Beberapa biota bentik dapat ditemui pada tipe yang dominan dengan substrat keras, seperti jenis alga cokelat besar (kelp) serta rumput laut cokelat, yang menempel pada substrat sehingga kuat terhadap arus dan gelombang yang tinggi. Seperti halnya fitoplankton, tanaman-tanaman ini mendapatkan makanan langsung dari air laut yang berasal dari gerakan air yang melewati untuk menghindari kekurangan nutrisi.

Kelp menempel pada substrat tidak dengan akar, namun struktur menyerupai akar yang disebut dengan holdfast. Kebun kelp ditemukan di sepanjang perairan subtropis dengan ketinggian mencapai 20-30 m. Kelp dapat tumbuh pada area dengan kekeruhan rendah sehingga cahaya dapat terpenetrasi dengan baik. Beberapa jenis avertebrata seperti bulu babi dan ikan merupakan predator dari kelp. Meskipun produktivitas dan pemangsaan kelp cukup tinggi, namun hanya 10% kelp masuk ke jejaring makanan. Sisanya memasuki rantai makanan dalam bentuk bahan organik terlarut (Nybakken, 2018).

Sementara itu, komunitas rumput laut memiliki peranan yang tinggi sebagai produsen primer di perairan bentik. Rumput laut merupakan makanan utama bagi penyu, manate, herbivora avertebrata, ikan herbivora, hingga bebek dan angsa pada perairan daratan. Rumput laut yang mati akan menjadi

cadangan bahan organik untuk dapat diuraikan oleh bakteri sehingga menjadi bahan makanan fitoplankton. Rumput laut yang mati juga menjadi detritus untuk diurai oleh jamur, bakteri, serta biota benthik pemakan detritus.

Jika rumput laut merupakan jenis alga yang tidak memiliki akar, batang, dan daun, maka lamun (*seagrass*) merupakan tipe ekosistem yang berbeda. Lamun merupakan tumbuhan sejati yang memiliki produktivitas primer sangat tinggi. Ekosistem lamun menyediakan makanan bagi ikan herbivora, foraminifera, gastropoda (Batuwael dan Rumahlatu, 2019), serta moluska lainnya (Khozin, Nuraini dan Riniatsih, 2018). Beberapa jenis organisme pemakan lamun adalah bulu babi, penyu, dugong, ikan botana, hingga ikan kakatua.

9.8 Organisme Benthik sebagai Bioindikator Kesehatan Perairan

Organisme benthik merupakan bioindikator yang sangat baik dari kondisi kesehatan ekosistem perairan. Karakteristik hidup yang menetap, pola distribusi, serta struktur komunitas, dapat menunjukkan adanya perubahan signifikan di dalam struktur dan fungsinya, yang umumnya disebabkan oleh buangan antropogenik maupun gangguan alam. Organisme-organisme ini dapat mencerminkan efek jangka panjang dari berbagai sumber polutan karena tetap hidup dalam sedimen dalam periode waktu yang lama. Makrofauna benthik ($>500\ \mu\text{m}$) dan meiofauna ($42\text{-}500\ \mu\text{m}$) merupakan organisme yang cocok untuk menjadi biota yang dapat dianalisis dalam mempelajari kadar gangguan lingkungan pada sedimen perairan (Custodio, Penaloza dan Cruz, 2020).

Organisme benthik dapat digunakan sebagai bioindikator pencemaran karena memiliki kisaran toleransi yang berbeda-beda terhadap pencemaran. Perubahan kualitas perairan yang terjadi akan mempengaruhi keberadaan dan perilaku

organisme. Sebagai contoh, terumbu karang dan lamun merupakan bioindikator perairan yang sehat karena kedua biota ini sulit tumbuh pada kondisi pencemaran tinggi. Sebaliknya, beberapa jenis gastropoda maupun bivalvia yang dapat menanggapi pencemaran tinggi dapat digunakan untuk menilai tingginya kadar pencemaran di suatu perairan (Batuwael dan Rumahlatu, 2019).

Menurut Desmawati, Adany dan Java (2020), Hewan makrobentos banyak digunakan untuk memantau kondisi perairan karena beberapa kriteria sebagai berikut:

- Dapat ditemukan pada berbagai habitat akuatik dengan kondisi kualitas air yang bervariasi
- Memiliki sifat hidup yang relatif menetap serta sulit menghindari gangguan lingkungan
- Memiliki siklus hidup yang relatif lama sehingga dapat diteliti perubahan yang terjadi akibat gangguan dari waktu ke waktu.
- Relatif mudah diidentifikasi dan mudah dalam pengambilan sampel
- Sejumlah besar spesies makrobentos menunjukkan respon berbeda-beda terhadap perubahan kualitas perairan.

9.9 Penutup

Komunitas benthik dicirikan dengan adanya distribusi organisme yang tidak merata dengan beberapa variasi dalam kelimpahan dan komposisi spesies. Keberlanjutan komunitas dipastikan dengan menetapnya larva, yang pada awalnya bersifat planktonik. Kemampuan larva untuk memilih daerah pemukiman dan kemampuannya menunda metamorfosis membuat penyebarannya menjadi acak. Organisme benthik meliputi biota epifauna, infauna, hewan karnivora, hingga tumbuhan yang bersifat menetap/sesil. Mereka bertahan hidup

dengan memakan deposit, suspensi, membentuk tabung dalam substrat, pemangsaan, hingga membentuk hubungan simbiosis dengan biota bentik lainnya. Perubahan dari waktu ke waktu yang dihasilkan dari berbagai interaksi biologis dengan lingkungan menghasilkan kemelimpahan dan komposisi spesies yang berbeda di berbagai ekosistem bentik. Karakteristiknya yang menetap, membentuk struktur komunitas, serta dapat menunjukkan adanya perubahan signifikan dalam struktur dan fungsi menunjukkan bahwa organisme bentik cocok untuk dianalisis sebagai bioindikator dalam mempelajari kadar gangguan lingkungan pada sedimen perairan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arbi, U. Y. 2015. Gastropoda parasit pada ekhinodermata. *Oseana*, XL(4), pp. 41–52.
- Aziz, A. 1991. Beberapa Catatan tentang Bintang Mengular (Ophiuroidea) sebagai Biota Bentik. *Oseana*, XVI(1), pp. 13–22.
- Batuwael, A. W. and Rumahlatu, D. 2019. Asosiasi Gastropoda Dengan Tumbuhan Lamun Di Perairan Pantai Negeri Tiouw Kecamatan Saparua Kabupaten Maluku Tengah. *Biopendix: Jurnal Biologi, Pendidikan dan Terapan*, 4(2), pp. 109–116.
doi: 10.30598/biopendixvol4issue2page109-116.
- Boudreau, S. A. and Worm, B. 2012. Ecological role of large benthic decapods in marine ecosystems: A review. *Marine Ecology Progress Series*, 469, pp. 195–213. doi: 10.3354/meps09862.
- Custodio, M., Penaloza, R. and Cruz, H. D. La 2020. Benthic Macroinvertebrate Communities as Indicators of the Environmental Health of the Cunas River in the High Andes, Peru. in Soto, L. (ed.) *Advances in the Studies of the Benthic Zone*. 1st edn. London: IntechOpen. Available at: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>.
- Desmawati, I., Adany, A. and Java, C. A. 2020. Studi Awal Makrozoobentos di Kawasan Wisata Sungai Kalimas, Monumen Kapal Selam Surabaya', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(2), pp. 2337–3520.
doi: 10.12962/j23373520.v8i2.49929.
- Khozin, Nuraini, R. A. T. and Riniatsih, I. 2018. Struktur Komunitas Moluska Bentik Pada Ekosistem Lamun Asli dan Transplantasi di Perairan Pulau Panjang, Jepara. *Journal of Marine Research*, 7(4), pp. 257–262.

- Nara, M., Akiyama, H. and Itani, G. 2008. Macrosymbiotic association of the myid bivalve *Cryptomya* with thalassinidean shrimps: Examples from modern and Pleistocene tidal flats of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 261(1–2), pp. 100–104. doi: 10.1016/j.palaeo.2008.01.001.
- Nybakken, J. W. 2018. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. 1st edn. Jakarta: PT Gramedia.
- Pauly, D. and Palomares, M. L. 2005. Fishing down marine food web: It is far more pervasive than we thought. *Bulletin of Marine Science*, 76(2), pp. 197–211.
- Purnami, A. T., Sunarto and Setyono, P. 2010. Study of Benthos Community Based on Diversity and Similarity Index in Cengklik dam Boyolali. *EKOSAINS*, II(2), pp. 50–65.
- Reynolds, C. S. 2001. Benthic Ecology. *Encyclopedia of Environmetrics*, (September 2006). doi: 10.1002/9780470057339.vab010.
- Sugara, A., Siregar, V. P. and Agus, S. B. 2020. Klasifikasi Habitat Bentik Perairan Dangkal Dari Citra Worldview-2 Menggunakan Data in-Situ Dan Drone. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), pp. 135–150. doi: 10.29244/jitkt.v12i1.26448.
- Thamrin. 2012. *Ekosistem Terumbu Karang. Hubungan antara Karang dan Zooxanthellae*, UR Press Pekanbarubaru. Pekanbaru: UR Press.
- Wirasatriya, A. and Suprijanto, J. (2004) 'Perkembangan Awal Tiram Mutiara (*Pinctada fucata*) Pada Tingkat Salinitas yang Berbeda. *Ilmu Kelautan*, 9(1), pp. 14–19.
- Woodin, S. A. 1976. Larval Interactions in Dense Infaunal. Assemblages: Pattern of abundance. *Journal of Marine Research*, 43(1), pp. 25–34.

BAB 10

EKOSISTEM INTERSTITIAL

Oleh Suci Andiewati

10.1 Pendahuluan

Ekosistem laut merupakan suatu kumpulan integral dari berbagai komponen abiotik (fisika-kimia) dan biotik (organisme hidup) yang berkaitan satu sama lain dan saling berinteraksi membentuk suatu unit fungsional. Komponen-komponen ini secara fungsional tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Apabila terjadi perubahan pada salah satu dari komponen-komponen tersebut (misalnya perubahan nilai parameter fisika-kimia perairan), maka akan menyebabkan perubahan pada komponen lainnya (misalnya perubahan kualitatif dan kuantitatif organismenya). Perubahan ini tentunya dapat mempengaruhi keseluruhan sistem yang ada, baik dalam kesatuan struktur fungsional maupun dalam keseimbangannya. Kelangsungan suatu fungsi ekosistem dapat menentukan kelestarian dari sumberdaya hayati sebagai komponen yang terlibat dalam sistem tersebut. Oleh sebab itu, untuk menjamin sumberdaya hayatinya, maka hubungan-hubungan ekologis yang berlangsung di antara komponen-komponen sumberdaya hayati yang menyusun suatu sistem, perlu diperhatikan (*Zulkifli, 2010*).

Dari seluruh komponen biotik yang ada, maka salah satu di antaranya yang menarik untuk dikaji adalah organisme interstitial, yaitu suatu kelompok fauna benthik yang hidup dalam ruang interstitial yaitu ruang di antara partikel-partikel sedimen atau di sela-sela butiran sedimen (Higgins & Thiel

1988; Funch *et al.* 2002; Linhart *et al.* 2002; Bartolomaeus & Schmidt-Rhaesa 2006). Karena fauna ini hidupnya secara interstisial, maka di dalam makalah ini disebut sebagai organisme interstisial (Zulkifli, 2010).

Organisme interstisial merupakan biota laut yang masih sedikit dikenal oleh sebagian orang bila dibandingkan dengan biota laut lainnya, seperti ikan, kepiting, penyu, siput, cumi-cumi dan udang. Hal ini disebabkan oleh ukuran tubuhnya yang sangat kecil dan posisinya yang tersembunyi di dalam sedimen serta tidak memberikan manfaat langsung bagi manusia (manfaat ekonomi). Umumnya organisme interstisial ini baru dikenal oleh para ilmuwan yang menekuni bidang biologi dan ekologi laut. Selain organisme makrofauna besar yang mendiami pantai pasir, masih ada dunia lain yang hadir disini yaitu organisme yang mendiami ruang yang sangat sempit (mikrospace) diantara butir – butir yang berdekatan. Inilah yang disebut organisme interstitial. Keberadaan asosiasi organisme yang khas ini baru disadari oleh ilmuwan biologi pada abad ke-20, pada saat ilmuwan eropa mulai menyelidiki lingkungan ini. Sejak itu, banyak ilmuwan di seluruh dunia melakukan kajian di daerah yang khas ini. Pengkajian awal terutama tentang taksonomi, untuk menentukan organisme apa saja yang ditemukan dan menamakannya. Selanjutnya, pengkajian ekologi telah dimulai, yang memberikan pengertian yang lebih baik kepada kita mengenai kondisi khas tempat hidup binatang-binatang ini (Nybakken, 1988).

Suatu kumpulan fauna dan flora interstitial telah dijumpai dalam substrat pasir daerah intertidal dan subtidal di seluruh dunia, baik di air tawar maupun di air laut. Kelompok interstitial utama telah ditemukan oleh Coull *et al.* (1977) sampai di kedalaman 5000m. Pengkajian asosiasi ini, bagaimanapun, tidak merata penyebarannya. Fauna interstitial lautan lebih dikenal daripada yang di air tawar, dan organisme

serta asosiasi dari laut eropa merupakan yang paling dikenal dibandingkan berbagai daerah geografik lainnya. Fauna interstitial pantai Pasifik Amerika Utara boleh dikatakan belum dikenal dan belum dikaji, sedangkan pantai atlantik amerika utara telah menjadi tempat banyak pengkajian (*Nybakken, 1988*).

Kondisi yang mempengaruhi fauna interstitial agak berbeda dengan kondisi yang mempengaruhi makrofauna di daerah yang sama. Mungkin faktor paling penting, yang menentukan keberadaan, ketiadaan, dan tipe organisme interstitial adalah ukuran butiran. Ukuran butiran sangat penting dalam menentukan besarnya ruangan interstitial yang tersedia untuk tempat tinggal. Makin besar ukuran butiran, makin besar volume ruangan interstitial dan oleh sebab itu makin besar pula organisme yang dapat mendiami tempat itu. Sebaliknya, makin kecil ukuran butiran, makin kecil pula ruangan yang tersedia dan dengan demikian makin kecil organisme yang dapat mendiaminya. Oleh karena itu ukuran butiran boleh bertindak sebagai suatu pembatas yang jelas terhadap penyebaran organisme psammon (*Zulkifli, 2010*).

Meskipun secara ekonomi tidak memberikan manfaat langsung bagi manusia, namun secara ekologis organisme interstitial ini memiliki peranan yang sangat penting dalam ekosistem laut. Peranan ekologis yang diberikan oleh organisme interstitial ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, ikut menentukan keberadaan biota laut lainnya, seperti ikan, kepiting, penyu, siput, cumi-cumi dan udang yang mempunyai nilai ekonomi yang tinggi bagi manusia. Peranan penting dari meiofauna interstitial ini adalah: 1) sebagai salah satu mata rantai penghubung dalam aliran energi dan siklus materi dalam ekosistem laut; 2) sebagai penyedia makanan bagi berbagai tingkat trofik yang lebih tinggi; 3) berperan aktif dalam meningkatkan penghancuran bahan organik

(dekomposisi aerob), terutama dalam proses biodegradasi sisa-sisa tumbuhan yang nantinya berlanjut ke proses mineralisasi oleh mikroba; 4) meningkatkan regenerasi nutrisi di lingkungan bentik; 5) berperan dalam menyuburkan dasar perairan dan meningkatkan produktivitas bentik; 6) sebagai bagian dari komunitas bentos yang dapat menyumbangkan pengaruh interaktif kepada biota laut lainnya melalui kompetisi, simbiosis, predasi dan asosiasi; 7) sebagai bioindikator dalam menilai kondisi lingkungan laut (bioindikator pencemaran atau pengkayaan bahan organik) (Lee *et al.* 2000; Mirto *et al.* 2000; Raffaelli 2000; Beier & Traunspurger 2001; Smith *et al.* 2001; Mistri *et al.* 2002; Vezzulli *et al.* 2003; Buat 2006). Dari berbagai peranan meiofauna interstisial seperti yang disebutkan di atas, maka sangat jelas pentingnya organisme ini dalam menunjang produktivitas perairan (Zulkifli, 2010).

10.2 Definisi Interstitial

Istilah *interstitial* adalah suatu istilah umum yang ditujukan pada organisme yang menempati ruangan di antara butiran-butiran pasir. *Psammion* adalah sinonim untuk organism interstitial, mengenai semua yang hidup diantara butiran-butiran. Istilah mesopsammon membicarakan semua organisme interstitial yang berhubungan dengan tepi pantai air tawar dan air payau, sedangkan thalassopsammon membicarakan organism yang berasosiasi dengan tepian laut dan daerah pasir. Meiofauna adalah istilah yang sering dipakai sebagai padanan kata interstitial atau *psammon*. Meiofauna adalah organisme yang hidup secara interstitial. Sinonimnya adalah meiobentos. Meiofauna dapat pula diartikan sebagai kelompok metazoa kecil yang berada di antara mikrofauna dan makrofauna. Meiofauna adalah kelompok hewan berukuran antara 63–1000 μm atau hewan-hewan multiseluler yang lolos

pada saringan 0.063–1 mm dan merupakan organisme yang melimpah pada komunitas dasar yang bersubstrat lunak atau pada sedimen laut mulai dari zona litoral atas sampai pada zona abisal. Istilah endobentik digunakan bagi meiofauna yang berpindah dalam sedimen. Meiofauna yang hidup dan berpindah dalam ruang interstitial disebut mesobentik, sedangkan meiofauna yang hidup pada batas antara sedimen dan air (*sediment- water interface*) disebut epibentik (Zulkifli, 2010).

10.3 Habitat Organisme Interstitial

Berdasarkan pada tipe habitatnya, meiofauna dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok, yaitu :

- 1) Meiofauna yang hidup pada substrat kasar (pasir), seperti Copepoda, Ostracoda, Gastrotricha, Turbellaria, Oligochaeta, Tardigrada dan Archiannelida;
- 2) Meiofauna yang hidup pada substrat lunak (lumpur), seperti Nematoda, Copepoda, Foraminifera, Ostracoda dan Annelida; dan
- 3) Meiofauna yang hidup di lapisan sedimen yang miskin oksigen dan/atau tanpa oksigen, seperti Nematoda, Turbellaria, Ciliata, Rotifera, Gastrotricha, Gnathostomulida dan Zooflagellata.

Terkait dengan habitatnya, meiofauna dapat dijumpai di berbagai tipe habitat baik habitat yang bervegetasi maupun yang tidak bervegetasi. Habitat bervegetasi (seperti alga, lamun dan mangrove) dan habitat yang tidak bervegetasi (seperti hamparan pasir pantai yang luas dan pantai berbatu) dapat menciptakan habitat tersendiri bagi meiofauna dan memiliki karakteristik yang khas yang berbeda satu dengan lainnya (Zulkifli, 2010).

10.4 Habitat Bervegetasi Lamun

Karakteristik yang khas dari habitat bervegetasi lamun adalah adanya meiofauna yang cukup melimpah dan beragam. Daun, rhizoma dan akar lamun dapat menyediakan sejumlah habitat dan tempat perlindungan yang penting bagi meiofauna. Daun lamun yang memanjang seperti pita dan terjuntai ke bawah dapat berperan sebagai jalan bagi meiofauna dalam upayanya bermigrasi dari sedimen ke daun lamun. Habitat lamun ini mengandung sejumlah besar detritus yang berasal dari tumbuhan lamun dan mengandung fauna yang khas. Biasanya daun lamun banyak detritus yang terakumulasi dan merupakan tempat yang cocok bagi alga epifit dan meiofauna. Hamparan lamun dapat dihuni oleh meiofauna yang kelimpahannya mencapai dua kali dibandingkan dengan kelimpahan meiofauna pada sedimen di dekatnya. Kelimpahan meiofauna di hamparan lamun dapat mencapai 106 individu/m² yang setara dengan 10% dari biomassa makrofauna yang hidup di habitat ini (Zulkifli, 2010).

Di habitat sedimen yang ditumbuhi oleh vegetasi lamun dengan tingkat deposit sedimen lumpur dan detritus yang tinggi, meiofauna Nematoda merupakan kelompok khas yang dominan, sedangkan pada perairan yang makrofitya lebih bersih pada wilayah yang salinitasnya tinggi cenderung didominasi oleh taksa Copepoda dan Ostracoda (Arunachalam & Nair 1988). Sementara itu, keberadaan meiofauna di permukaan daun lamun lebih disebabkan oleh adanya pengadukan sedimen oleh arus. Meiofauna bersama dengan butiran sedimen terangkat dan akhirnya menempel pada daun lamun. Meiofauna Foraminifera dijumpai di permukaan tumbuhan laut misalnya lamun dan makroalga. Meiofauna yang hidup di padang lamun dikelompokkan ke dalam dua kelompok hewan, yaitu meiofauna bersifat *infauna* (seperti Copepoda harpacticoid, Ostracoda, Nematoda, Polychaeta), dan

meiofaunayang bersifat *mobile epifauna* (seperti Copepoda, Ostracoda, Nematoda, Rotifera). Di antara kelompok meiofauna, Copepoda umumnya melimpah di dalam ekosistem lamun dan merupakan organisme yang umum menempati permukaan daun (Hall & Bell 1993; De Troch *et al.* 2003). Dinamika komunitas meiofauna di habitat yang bervegetasi lamun ini sangat bergantung pada musim dan siklus pertumbuhan serta pembusukan serasah dari vegetasi ini. Hal ini disebabkan oleh adanya keterkaitan antara struktur tubuh meiofauna, khususnya organ mulut dan alat pencernaan meiofauna, dengan jenis vegetasi yang dimakan. Ketertarikan meiofauna terhadap jenis vegetasi tertentu disebabkan oleh adanya cairan atraktan yang dikeluarkan oleh lamun yang dapat menarik kedatangan meiofauna (Zulkifli, 2010).

10.5 Habitat Bervegetasi Mangrove

Habitat yang bervegetasi mangrove juga dapat menciptakan karakteristik tersendiri bagi kehidupan meiofauna. Vegetasi mangrove merupakan tumbuhan yang sangat adaptif di daerah pasang surut. Di satu sisi, sistem perakaran mangrove dan naungan kanopinya memberikan habitat dan tempat berlindung bagi meiofauna. Hal ini tentunya bersifat positif bagi meiofauna. Sementara di sisi lain, senyawa tannin yang terkandung dalam serasah mangrove (busukan daun, busukan kulit batang dan akar) bersifat negatif menekan populasi dan kelimpahan meiofauna. Terkait dengan kandungan tannin pada vegetasi mangrove, beberapa vegetasi mangrove yang mengandung tannin antara lain adalah *Bruguiera gymnorhiza* (20–43%), *Ceriopstagal* (20–40%), *Rhizophora mucronata* (8–40%), *Ceriops decandra* (25–37%), *Xylocarpus granatum* (20–34%), dan *Sonneratia caseolaris* (9–15%). Keberadaan senyawa tannin dalam lapisan sedimen yang mengandung detritus mangrove, kadarnya bertambah

tinggi sejalan dengan bertambahnya kedalaman sedimen). Dalam kaitannya dengan kehidupan meiofauna di dalam lapisan sedimen, senyawa tannin mangrove berpengaruh negatif bagi kelimpahan meiofauna di sekitar akar mangrove. Hal ini berarti bahwa penurunan jumlah meiofauna berhubungan dengan tannin mangrove yang mempunyai pengaruh negatif yang signifikan terhadap kelimpahan meiofauna (Tietjen & Alongi 1990; Coull 1999; Gwyther 2000) dan nilai nutrisi detritus mangrove yang sangat rendah (Alongi & Christoffersen 1992; Gwyther 2000). Kepadatan populasi meiofauna dari kelompok Nematoda lebih tinggi terdapat pada serasah mangrove *Avicennia marina* (kadar tannin rendah) dibandingkan dengan serasah *Rhizophora stylosa* (kadar tannin tinggi). Ini berarti bahwa sedimen yang mempunyai kadar tannin rendah lebih cepat dikolonisasi oleh meiofauna kelompok Nematoda ini. Namun, hasil penelitian Dittmann (1999) di hamparan pantai yang bervegetasi mangrove *Avicennia* menemukan bahwa di lokasi ini kepadatan meiofauna sangat rendah (Zulkifli, 2010).

10.6 Habitat Tanpa Vegetasi (*Bare Area*)

Habitat yang tidak bervegetasi biasanya terdapat di daerah intertidal yang merupakan wilayah pantai terbuka yang terletak antara titik pasang tertinggi dan titik surut terendah, atau disebut juga dengan zona pasang surut. Zona ini merupakan zona yang paling dinamis karena di zona ini terjadi fenomena pasang surut air laut dan adanya energi gelombang yang besar (Nybakken & Bertness 2005). Dengan adanya fenomena ini, habitat di daerah ini memiliki beberapa sifat yang khas, yaitu: 1) sedimen mengalami pergantian kondisi terekspos (terdedah) dan terendam secara periodik sejalan dengan siklus pasang surut yang terjadi; 2) sedimen mengalami dinamika yang cukup hebat sebagai konsekuensi

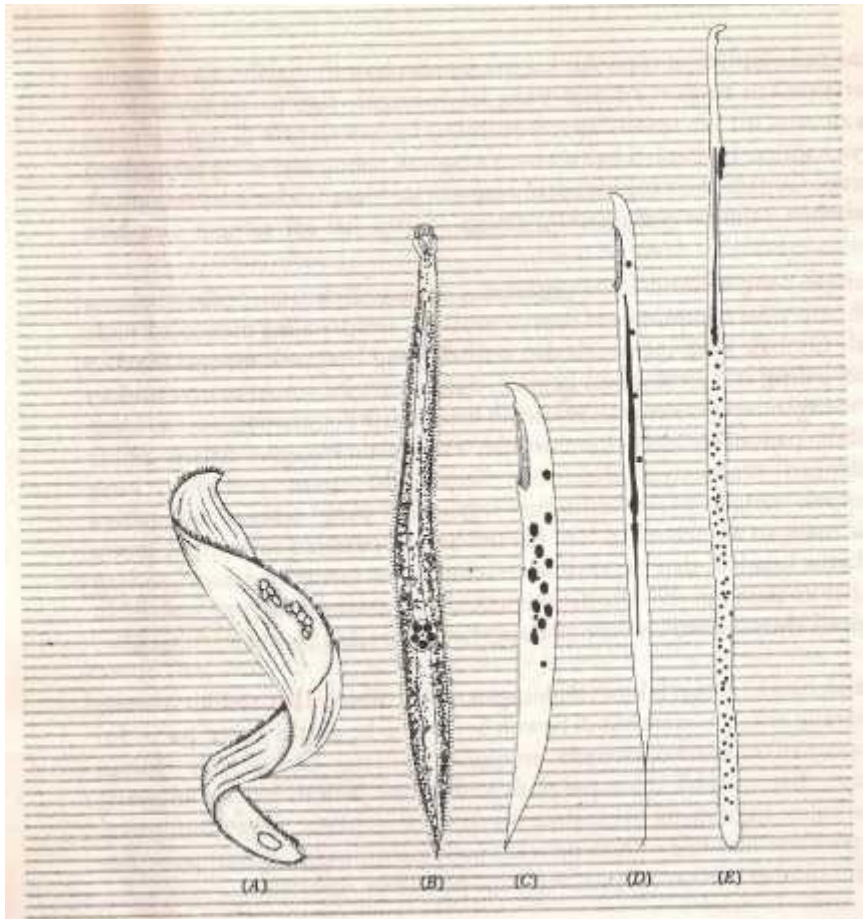
dari konsekuensi dari posisinya yang berbatasan langsung dengan daerah teresterial. Karakteristik habitat yang khas ini dapat mempengaruhi kehidupan organisme bentik pada umumnya, dan khususnya sangat berpengaruh terhadap keberadaan meiofauna di daerah ini (Mann & Lazier 1991; Hall 1994; McLachlan & Turner 1994; Valiela 1995; Mann 2000; Rodríguez *et al.* 2001; Rodríguez 2004; Nybakken & Bertness 2005; Skilleter 2006). Sifat habitat yang khas ini dapat menciptakan karakteristik meiofauna yang hidup di habitat tersebut. Meiofauna yang hidup di habitat pantai terbuka ini juga akan mengalami kondisi tereksposis (terdedah) dan terendam di saat panas sangat terik, suhu sedimen meningkat dan pengaliran air ke dalam ruang-ruang interstitial menjadi terhenti. Hal ini menyebabkan meiofauna terancam kekeringan sehingga dapat menekan kehidupan meiofauna yang sifat mobilitasnya lamban. Dalam menghadapi kondisi yang demikian, meiofauna dapat beradaptasi yaitu dengan mengembangkan kemampuan migrasi vertikal untuk mencegah kekeringan tubuhnya. Dinamika sedimen yang diakibatkan oleh turbulensi air laut yang kuat, kemungkinannya akan menyebabkan: 1) struktur dan kondisi habitat meiofauna di daerah ini menjadi tidak stabil, sehingga berakibat fatal bagi larva-larva meiofauna yang masih lemah (Snelgrove & Butman 1994; Arroyo *et al.* 2004); 2) meiofauna yang ada di permukaan sedimen akan terangkat dan tersuspensi ke kolom air sehingga mudah dimangsa oleh predator yang bersifat pemakan suspensi (Boström & Bonsdorff 2000; Aarnio 2000; Rodríguez 2004); 3) meiofauna akan disebarkan oleh arus ke tempat yang baru dan membentuk kolonisasi pada substrat yang lain (Kurdziel & Bell 1992; De Troch *et al.* 2003); dan 4) meiofauna dapat bertahan hidup di habitatnya dengan mengembangkan mekanisme pelekatan tubuh pada sedimen dan mekanisme perlindungan

tubuh untuk mencegah terhempasnya dan cederanya tubuh meiofauna oleh hempasan air laut yang kuat (Giere 1993; Nybakken & Bertness 2005). Adanya tekanan faktor-faktor daratan sebagai konsekuensi dari posisinya yang berbatasan langsung dengan daerah teresterial, dapat bersifat positif (menguntungkan) dan bersifat negatif (merugikan) bagi kehidupan meiofauna di daerah ini. Bersifat positif apabila masukan unsur-unsur seperti busukan sampah organik, organisme yang mati dari daratan dapat menjadi sumber makanan bagi meiofauna, sedangkan bersifat negatif apabila masukan unsur-unsur kimia (polutan) dari daratan bersifat toksik dan mengancam kehidupan meiofauna (Zulkifli, 2010).

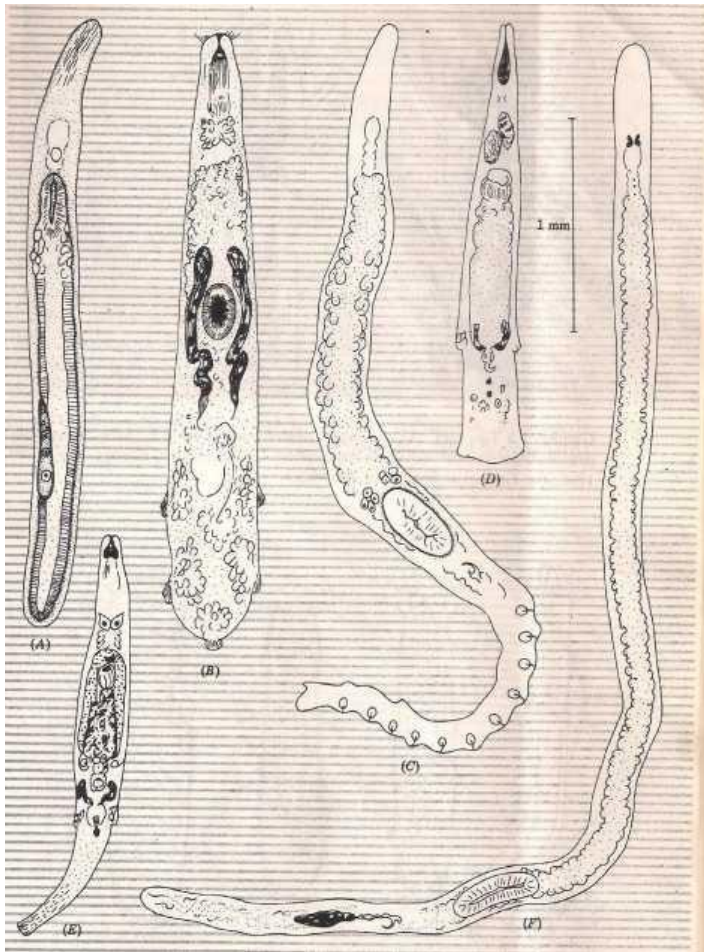
10.7 Komposisi Kelompok Interstitial

Tipe-tipe organisme yang membentuk psammon macamnya sangat banyak dari fila invertebrata, sebagian diwakili oleh satu atau sejumlah kecil spesies saja, sedangkan yang lain melimpah baik dalam jumlah individu maupun spesies (Nybakken, 1988).

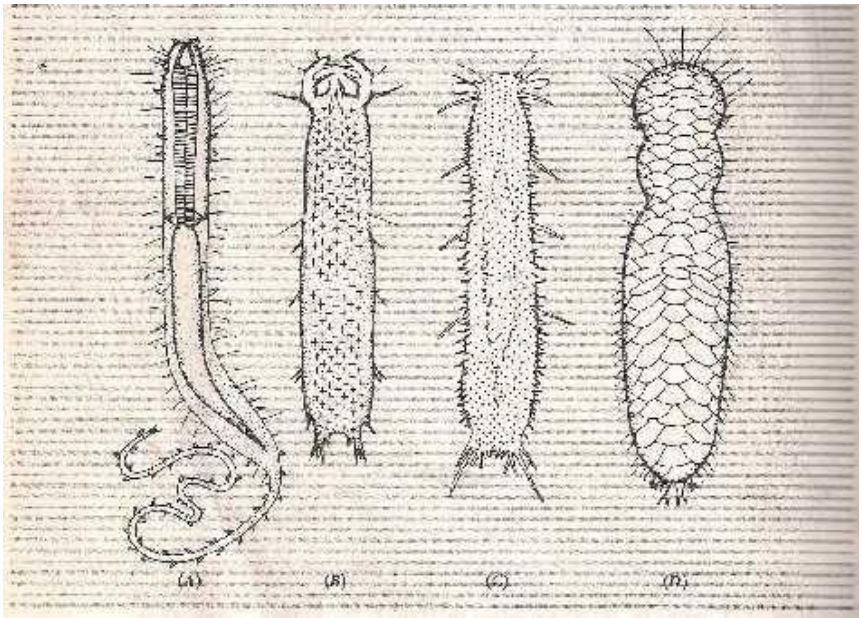
Filum invertebrata yang bertubuh kecil (meiofauna) sejak permulaan beradaptasi dan hidup di ruangan yang kecil antara butiran pasir dan lumpur, dan diwakili oleh banyak individu dan genus. Filum Protozoa diwakili oleh sejumlah besar spesies siliata, yang sangat beragam dalam bentuk dan cukup menarik, sering kali hewan metazoa lebih banyak. Kelas Turbellaria, filum Platyhelminthes, juga banyak terdapat cacing-cacing kecil, pipih dan memanjang. Beberapa filum invertebrata yang sedikit terdapat dalam jumlah yang memadai sebagai psammon, hewan ini termasuk filum Gastroticha, Tardigrata, dan Rotifera. Gastrotricha khususnya banyak terdapat sebagai thalassopsammon sedangkan Rotifera sebagai mesopsammon (Nybakken, 1988).



Gambar 10.1. Tipe protozoa siliata interstitial. (A) *Loxophyllum verniform* dengan tubuh memipih. (B) *Trachelotaphis remanei* dengan tubuh silindris. (C) *Remanella caudata* dengan tubuh dan ekor memanjang. (E) *Geleia gigas* dengan tubuh seperti benang. (Dari B. Swedark, 1964, the interstitial fauna of marine sand, *Biological reviews*, vol. 39, Cambridge University Press



Gambar 10.2. Beberapa contoh cacing pipih Turbellaria dari pantai pasir laut interstitial di Florida. (A) Satu anggota dari famili Macrostomidae. (B) Satu anggota dari famili Kalyptorhynchidae. (C) *Polystylophora* sp. (D) *Proschizorhynchus* sp. (E) *Cicerina* sp. (F) *Nematoplana* sp. (Dari L. Bush, 1968, *Trans. Amer. Microsc.*, vol. 87, no. 2, hlm. 244-251.)



Gambar 10.3. Beberapa gastrotricha interstitial. (A) *Urodasys viviparus*. (B) *Pseudostomella roscovita*. (C) *Thaumastoderma heideri*. (D) *Diplodasys ankelli*. (Dari B. Swedmark, 1964, biological reviews, vol.39, Cambridge University Press.)

Ada sekitar 38 taksa meiofauna yang hidup di sedimen perairan payau dan laut. Berdasarkan pada karakteristik hidupnya, meiofauna dapat dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu (1) meiofauna yang bersifat permanen; dan (2) bersifat temporer. Meiofauna permanen adalah meiofauna sejati yang berukuran kecil sampai dewasa menghabiskan seluruh masa hidupnya di dalam ruangan antarbutiran sedimen atau sepanjang siklus hidupnya bersifat meiobentos, contohnya Nematoda, Gastrotricha, Tardigrada, Copepoda, Mystacocarida, Ciliophora, Archiannelida, Ostracoda, Rotifera, Kinorhyncha, dan Halacarida, beberapa kelompok Turbellaria, Oligochaeta, beberapa Polychaeta. Meiofauna temporer atau sementara

merupakan larva makrofauna dan juvenil organisme yang baru saja menetap, contohnya Bryozoa, Hydrozoa, Gastropoda, Nemertina, Brachiopoda, Amphipoda, Aplousobranchia, Holothuroidea, dan Tunicata (Nybakken & Bertness 2005) (Zulkifli, 2010).

Berdasarkan morfologi dan cara makannya, meiofauna dapat dikelompokkan menjadi empat, yaitu :

- a. Meiofauna pemakan deposit yang selektif (*selective deposit feeders*) dengan bentuk morfologi mulut yang sempit;
- b. Meiofauna pemakan deposit yang tidak selektif (*non-selective deposit feeders*) dengan bentuk morfologi mulut yang lebar;
- c. Meiofauna pemakan alga (*herbivorous feeders*); dan
- d. Meiofauna omnivora/predator juga mengelompokkan meiofauna ke dalam *deposit feeders*, *epigrowth feeders*, *omnivores/predators*. Mengelompokkan meiofauna ke dalam *bacteriovores*, *non-selective deposit feeders*, *epigrowth feeders*, *omnivores/predators*.

Kehidupan meiofauna sangat dipengaruhi oleh karakteristik sedimen. Berdasarkan pada hal ini, maka meiofauna dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

- 1) Meiofauna penggali liang di dalam substrat lumpur, dan
- 2) Meiofauna penghuni ruang interstitial yang hidupnya menetap di lapisan sedimen. Meiofauna yang termasuk kelompok penggali liang menembus sedimen dengan memindahkan partikel dalam pergerakannya dan bentuk tubuhnya cenderung lurus memanjang (*streamline*) sehingga memudahkan penggalian. Umumnya, komunitas meiofauna interstitial ini cenderung lebih beragam dibandingkan dengan meiofauna penggali liang.

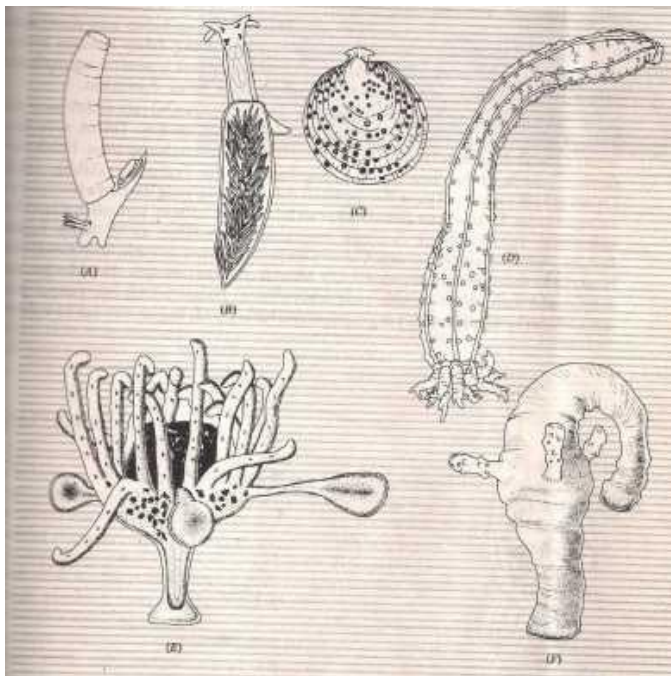
Cacing dari filum Annelida yang bertubuh memanjang sesuai sekali dalam lingkungan yang demikian, sehingga terdapat dalam jumlah yang melimpah. Pada komunitas alami, genus yang berukuran kecil (<1mm) memiliki ukuran populasi yang besar, laju penyebaran tinggi dan laju pemusnahan rendah, sifat habitat tersebut diperlukan untuk menjelaskan kehadiran organisme dan faktor historisnya (Zulkifli, 2010).

Di dalam sedimen lumpur biasanya lebih dari 90% meiofauna, terutama Nematoda, hidup pada kedalaman 5 cm di bawah permukaan sedimen. Meiofauna ini dapat hidup pada kedalaman beberapa desimeter di pantai berpasir dan pada hamparan pasir yang halus, kelimpahan tertinggi biasanya pada kedalaman ± 10 –

20 cm. Kebanyakan meiofauna ini tidak memerlukan oksigen dalam jumlah banyak dan kemungkinan secara fakultatif anaerob. Beberapa taksa meiofauna dapat hidup menetap pada permukaan sedimen yang mengandung sulfat, dan satu di antaranya merupakan organisme yang hidup pada kondisi tidak beroksigen, yaitu Nematoda. Secara umum, Nematoda mendominasi jumlah dari total meiofauna, kemudian biasanya diikuti oleh Copepoda dan Gastrotricha. Terkait dengan habitatnya, meiofauna dapat dijumpai di berbagai tipe habitat baik habitat yang bervegetasi maupun yang tidak bervegetasi. Habitat bervegetasi (seperti alga, lamun dan mangrove) dan habitat yang tidak bervegetasi (seperti hamparan pasir pantai yang luas dan pantai berbatu) dapat menciptakan habitat tersendiri bagi meiofauna dan memiliki karakteristik yang khas yang berbeda satu dengan lainnya (Zulkifli, 2010).

Filum yang biasanya terdiri dari organisme besar atau bentuk-bentuk yang hidup didasar atau menetap jarang di dapatkan sebagai psammon. sedangkan filum yang bertubuh besar dan tidak memungkinkannya masuk kedalam ruangan

sempit. Contoh dari filum ini adalah echinodermata dan cnidaria. Filum ini mempunyai kehidupan menetap karena sifat substrat yang dinamis membuat hewan ini sukar mempertahankan keberadaannya dan harus hidup secara permanen pada satu tempat. Hidupnya bergantung kepada organisme yang tersaring dari air. Di lingkungan interstitial, relatif hanya ada sedikit air dan sedikit organisme dalam air yang dapat disaring, karena sebagian besar menempelkan diri pada butiran pasir. Jenis hewan yang termasuk filum Bryozoa dan kelas Tunicata (Ascidiacea) (Nybakken, 1988).



Gambar 10.4. Wakil-wakil Mollusca, Cnidaria, Echinodermata, dan Brachiopoda. (A) *Caceum glabra* (Mollusca, Gastropoda). (B) *Hedylopsis brambeli* (Mollusca, Gastropoda). (C) *Gwynia capsula* (Brachiopoda). (D) *Labidoplax buskii* (Echinodermata). (E) *Stylocoronella riedli* (Cnidaria, Scyphozoa). (F) *Psammohydra nanna* (Cnidaria, Hydrozoa). (Dari N. C.

Hulings, editor, Proceedings of the first international conference on meiofauna, *Smithsonian Contributins to zoology*, no. 76)

10.8 Reproduksi

Beberapa spesies organisme interstitial bersifat hermaphrodit, satu individu memiliki system jantan dan betina. Dalam system reproduksinya hewan interstitial yang memiliki ukuran yang sangat kecil, gamet yang dapat dihasilkannya pada suatu waktu jumlahnya sangat terbatas. Berbeda dengan makrofauna yang sering kali menghasilkan ribuan bahkan ratusan ribu telur, produksi telur oleh thalassopsammon hampir selalu kurang dari 100 per individu dan biasanya antara satu dan sepuluh (*Nybakken, 1988*).

Karena jumlah telur yang sangat sedikit, suatu spesies tak boleh kehilangan banyak telur agar dapat menghasilkan generasi penerus. Oleh karena itu binatang ini telah mempunyai berbagai adaptasi untuk menjamin kelangsungan hidup turunannya yang sedikit. Pertama ada adaptasi yang menjamin terjadinya fertilisasi. Salah satu caranya adalah dengan berkopulasi, dalam hal ini terjadi perubahan sperma yang tak langsung kepada binatang betina. Inilah yang terjadi pada kopepoda harpaktikoid. Cara lain ialah membungkus suatu sperma dalam satu unit yang disebut spermatofora dan melekatkannya pada betina, dengan demikian tersedia sperma untuk membuahi telur yang dikeluarkan, misalnya yang terjadi pada cacing polikaeta dan moluskaakoklidiasea tertentu (*Nybakken, 1988*).

Sekali fertilisasi terjadi, embrio harus dilindungi dari kemusnahan. Biasanya organisme bentik menempatkan embrionya secara planktonik untuk memungkinkan penyebaran yang maksimal. Tetapi plankton merupakan lingkungan yang berbahaya, kebanyakan embrio musnah Karena pemangsaan. Untuk menghindari dari bahaya tersebut, hewan bentik ini menggunakan cara ini untuk memproduksi

banyak larva. Oleh karena thalassopsammon tidak dapat menghasilkan banyak telur, berarti menempatkan larva secara planktonik bukanlah suatu strategi yang baik untuk mempertahankan kehidupan. Dalam kasus ini telur dipelihara hewan betina sampai anak-anaknya mencapai ukuran cukup besar hingga berdiri sendiri. Dapat disimpulkan bahwa perlindungan terjadi pada kelompok invertebrata yang tidak mempunyai kebiasaan demikian, misalnya Cnidaria (*Otohydra*) dan Gastrotricha (*Urodasys viviparus*) (Nybakken, 1988).

Bagi sebagian kecil yang tidak melindungi anak-anaknya didapati cara pengamanan tambahan. Telur yang dikeluarkan memiliki perekat sehingga memiliki kemampuan cepat melekat pada pasir, atau terbungkus dalam kokon yang mudah melekat. Dalam kasus manapun perkembangan biasanya langsung, yaitu telur menetas mengeluarkan juvenile dan tidak mempunyai larva perenang- bebas atau larva yang non-pelagik dan tetap berada pada ruangan antarbutiran pasir (Nybakken, 1988).

Walaupun kebanyakan spesies mempunyai potensi reproduktif yang rendah, periode reproduktif musiman tampak pada banyak spesies. Pengkajian yang dilakukan oleh Gerlach (1971) menyimpulkan bahwa waktu generasi organisme interstitial bervariasi antara beberapa hari sampai lebih dari satu tahun. Rata-rata dihasilkan tiga generasi per tahun (Nybakken, 1988).

10.9 Adaptasi Organisme interstitial

Lingkungan merupakan sesuatu yang dinamis dengan tiap-tiap butiran pasir di lapisan atas secara tidak henti-hentinya tersuspensi dan terendapkan, dengan demikian baik letaknya maupun besarnya ruangan interstitial selalu berubah. Meiofauna interstitial dapat memberikan respon terhadap lingkungan dalam beberapa cara, yaitu:

- 1) Melalui perkembangan hidupnya

- 2) Respon fisiologi (ekofisiologi dan ekotoksikologi)
- 3) Pergerakan
- 4) Tingkah laku yang lain (seperti tingkah laku dengan isyarat)
- 5) Kemahiran dalam mendapatkan makanan

Interaksi ini sebagai konsekuensi dari meiofauna interstisial untuk mempertahankan hidupnya. Meiofauna interstisial pemakan deposit (*deposit feeder*) akan dipengaruhi oleh ukuran partikel dalam lingkungan, sedangkan meiofauna interstisial pemakan suspensi (*suspension feeder*) dapat dipengaruhi oleh proses hidrodinamika lokal dan proses-proses fisika lainnya dalam kolom air (Rodríguez *et al.* 2001). Untuk dapat mempertahankan hidupnya terhadap kondisi lingkungan, maka meiofauna interstisial memiliki beberapa adaptasi, yaitu:

a. Adaptasi Morfologi

Masing-masing genus meiofauna memiliki kisaran toleransi tertentu terhadap kondisi ekologi sejalan dengan seberapa jauh keberhasilannya mengembangkan mekanisme adaptasi. Hal tersebut memungkinkan faktor-faktor ekologi mengatur komposisi dan ukuran komunitas meiofauna. Dalam menghadapi perubahan kondisi lingkungan di habitatnya, meiofauna telah mengembangkan berbagai bentuk adaptasi morfologi. Adaptasi morfologi yang dimaksud adalah adaptasi ukuran tubuh, adaptasi bentuk tubuh, penyederhanaan organ dan memperkuat dinding tubuh serta mengembangkan alat pelekak (Riemann 1988; Webber & Thurman 1991; Giere 1993; Chen *et al.* 2004; Nybakken & Bertness 2005).

Semua organisme meiofauna berukuran sangat kecil. Adaptasi yang sangat nyata terhadap lingkungan dinamis adalah ukuran dan bentuk tubuh. Ukuran tubuh

meiofauna interstisial berkisar 0.63–1 mm (63–1.000 μm). Bersamaan dengan tubuh yang kecil, terjadi juga penyederhanaan dalam keruwetan dan banyaknya sistem organ tubuh pada binatang interstitial ini, sebagai contoh, perlengkapan faring (pharynx) yang kompleks, insang parapodia dan bahkan ginjal (nephridia) seringkali tidak ditemukan pada polikaeta makrofauna.

Kebanyakan organisme meiofauna mempunyai bentuk tubuh memanjang atau seperti plat, dan ada juga berbentuk silinder. Umumnya meiofauna melakukan pelangsingan tubuh dan meningkatkan fleksibilitas tubuh. Bentuk tubuh seperti flat, organisme meiofauna dapat melekatkan dirinya pada ruang yang sempit pada butiran sedimen. Adaptasi ini agar meiofauna dapat tetap tinggal dalam ruang sedimen yang sempit, sehingga terbebas dari pengaruh selama proses suspensi kembali (resuspensi) ke atas. Dalam lingkungan sedimen yang gelap, meiofauna melakukan adaptasi dengan mereduksi mata dan pigmen tubuhnya (Webber & Thurman 1991; Nybakken & Bertness 2005; Castro & Huber 2007) (Zulkifli, 2010).

b. Adaptasi Fisiologi

Meiofauna mampu mengembangkan adaptasi fisiologi terhadap kondisi lingkungan bentik untuk kelangsungan hidupnya di bawah kondisi yang kurang oksigen. Adaptasi fisiologi genus meiofauna terhadap kandungan oksigen yang rendah adalah dengan cara:

- 1) Mengurangi (mereduksi) aktivitas dan metabolisme,
- 2) Mengembangkan pigmen darah dengan mengikat oksigen yang sangat tinggi
- 3) Respirasi anaerob dengan menghasilkan dan mengeluarkan hasil akhir pernafasan. Kondisi lingkungan bentik yang kurang oksigen ini berkaitan

dengan keberadaan senyawa sulfida (H_2S) dalam sedimen.

Terkait dengan adaptasi meiofauna pada sedimen yang mengandung H_2S dengan kondisi oksigen yang rendah, maka meiofauna mempunyai hubungan simbiotik yang berkembang sehingga dapat beradaptasi terhadap kondisi tersebut. Meiofauna yang toleran terhadap H_2S dan mampu hidup pada kadar oksigen yang rendah atau miskin oksigen disebut dengan *thiobios*. Beberapa meiofauna yang mampu hidup pada kondisi yang demikian adalah Nematoda, Ciliata, Platyhelminthes, Gnathostomulida, Gastrotricha, Oligochaeta dan Aschelminthe. (Heip *et al.* 1985; Giere 1993; Coull 1999) (Zulkifli, 2010).

Meiofauna interstisial permanen memiliki ukuran tubuh yang sangat kecil, sehingga gamet yang dihasilkannya pada suatu waktu terbatas jumlahnya. Produksi telur yang dihasilkan meiofauna hampir selalu kurang dari 100 per individu dan biasanya antara satu dan sepuluh. Karena jumlah telur yang dihasilkan sangat sedikit, maka suatu genus tak boleh kehilangan banyak telur agar dapat menghasilkan generasi penerusnya. Untuk dapat menjamin kelangsungan hidup generasinya, maka meiofauna telah mempunyai berbagai strategi adaptasi, yaitu:

1. Adaptasi yang menjamin terjadinya fertilisasi dengan cara:
 - a) Berkopulasi, dalam hal ini terjadi pemindahan sperma langsung kepada meiofauna betina (misalnya pada Copepoda harpacticoid).
 - b) Membungkus semua sperma dalam satu unit spermatophora dan melekatkannya pada

meiofauna betina, dengan demikian tersedia sperma untuk membuahi telur yang dikeluarkan (misalnya pada Polychaeta).

- c) Genus meiofauna yang bersifat hermafrodit memiliki sistem jantan dan betina, sehingga dapat menjamin fertilisasi (misalnya Gastrotricha dan Polychaeta).

2. Adaptasi pemeliharaan telur dan perlindungan anak-anaknya.

Selain itu, strategi adaptasi yang dikembangkan oleh meiofauna adalah melengkapi perekat pada telur yang dikeluarkannya sehingga dengan cepat menempel pada substrat atau terbungkus dalam kokon yang mudah melekat. Ketika telur menetas mengeluarkan larva, maka larva tersebut tetap berada pada ruangan antarbutiran sedimen karena larva yang dihasilkannya tidak bersifat planktonik (Zulkifli, 2010).

c. Adaptasi Perilaku (*Behavior*)

Perilaku migrasi juga dapat diperlihatkan oleh meiofauna. Dalam beberapa kasus, genus meiofauna lebih atau kurang mengandalkan transpor pasif oleh arus pasang. Ketika munculnya pasang, meiofauna akan ditranspor secara pasif walaupun meiofauna bergerak dengan pelan-pelan pada permukaan sedimen (Zulkifli, 2010).

Beberapa genus meiofauna dapat beradaptasi untuk menghadapi pengaruh arus pasang, yaitu dengan mengembangkan mekanisme organ renang. Bagi meiofauna yang dapat berenang secara aktif dapat melakukan migrasi ke kolom air. Pada fase muda, meiofauna berenang secara aktif ke lapisan air di atasnya

dan disebarkan ke laut oleh arus. Sementara itu, meiofauna fase dewasa cenderung berada dekat dasar dan kemudian disebarkan kembali oleh arus. Meiofauna yang terbawa oleh arus pasang tersebut akan mengembangkan adaptasi perilaku untuk membuat dan menempati habitat yang baru. (Zulkifli, 2010)

Meiofauna dapat beradaptasi terhadap perubahan musim. Pada musim dingin di daerah mangrove, ketika bahan organik terakumulasi ke dalam sedimen, genus meiofauna dari family Chromadoridae (taksa Nematoda) tetap berada di dalam sedimen. Meiofauna ini dapat beradaptasi terhadap kondisi lingkungan sedimen yang sangat dingin. Pada musim panas, mereka bermunculan kembali untuk membentuk koloni yang baru. Strategi adaptasi perilaku meiofauna terhadap perubahan musim dari famili Chromadoridae ini berbeda dengan famili Monhystiridae yang hanya tercatat pada waktu pertumbuhan alga mencapai puncaknya, dan fauna ini berasosiasi dengan proses dekomposisi makrofita (Jensen 1984, diacu dalam Gwyther & Fairweather 2002). Kehadirannya pada musim ini menggambarkan peranannya dalam proses dekomposisi dengan memangsa bakteri (Villano & Warwick 1995; Gwyther & Fairweather 2002) (Zulkifli, 2010).

Adaptasi perilaku juga berpengaruh dengan kondisi anaerobik yang merata di seluruh substrat. Jika organisme ingin tetap hidup ketika terkubur dalam substrat, mereka harus beradaptasi untuk hidup dalam keadaan anaerobik atau harus membuat beberapa jalan yang dapat mengalirkan air dari permukaan yang mengandung oksigen ke bawah. Untuk mendapat air dari permukaan yang kaya akan oksigen dan makanan maka muncul berbagai lubang dan saluran di permukaan dataran

lumpur. Meskipun hampir semua organisme dataran lumpur tidak dapat bertahan dalam kondisi anaerobik, tetapi banyak dari mereka yang dapat beradaptasi hingga dapat hidup dalam tekanan oksigen yang rendah (Zulkifli, 2010).

10.10 Faktor Pembatas Organisme Interstitial

Kondisi yang mempengaruhi fauna interstitial agak berbeda dengan kondisi yang mempengaruhi makrofauna di daerah yang sama. Faktor yang paling penting, yang menentukan keberadaan, ketiadaan, dan tipe organisme interstitial adalah sebagai berikut :

1. Ukuran Butiran

Ukuran butiran sangat penting dalam menentukan besarnya ruangan interstitial yang tersedia untuk tempat tinggal. Makin besar ukuran butiran, makin besar volume ruangan interstitial dan oleh sebab itu makin besar pula organisme interstitial yang dapat mendiami tempat itu. Sebaliknya, makin kecil ukuran butiran, makin kecil pula ruangan yang tersedia dan demikian makin kecil organisme yang dapat mendiaminya. Oleh karena itu ukuran butiran boleh jadi bertindak sebagai suatu pembatas yang jelas terhadap penyebaran organisme psammon. Organisme tertentu akan terdapat pada tepian dengan ukuran butiran tertentu atau pada daerah tertentu di tepian, semata-mata karena ukurannya lebih besar untuk dapat menetap di antara butiran-butiran di daerah yang berdekatan, dan oleh karena itu tak dapat menyebar ke seluruh daerah. Organisme psammon memperlihatkan suatu zonasi yang jelas berdasarkan ukuran butiran. Selain itu ukuran butiran juga sangat penting karena menentukan kemampuan suatu tepian untuk penahanan dan sirkulasi air. Apabila ukuran butiran terlalu kasar, daya kapiler

pasir tak dapat menahan air sehingga air akan mengalir ke luar. Sebaliknya, pantai yang berbutir halus mampu menahan cukup banyak air di ruangan antarbutiran. Sirkulasi air yang paling baik terdapat pada pantai yang butiran pasirnya halus, misalnya pada pantai lumpur, sirkulasi sama sekali terhenti, dan akibatnya terbentuk lapisan anaerobic pada sedimen. Jumlah sedimen thalassopsammon didapatkan pada tempat yang garis tengah butiran pasirnya antara 0,175 dan 0,275 mm (*Zulkifli, 2010*).

2. Kondisi Mineral Butiran

Kondisi Mineral Butiran juga penting artinya penentuan komposisi psammon. Asosiasi organisme yang terdapat di pasir silica akan berbeda dengan yang terdapat di pasir karbonat (*Zulkifli, 2010*).

3. Arus

Arus dapat mempengaruhi keberadaan dan distribusi organisme meiofauna di suatu habitat sedimen serta mempengaruhi kebiasaan makan meiofauna. Kelimpahan beberapa meiofauna secara negatif dipengaruhi oleh arus. Meiofauna taksa Gastrotricha lebih menyukai daerah yang kecepatan arusnya rendah. Meiofauna yang meninggalkan sedimen dimungkinkan untuk disebarkan oleh arus ke tempat lain tanpa mengeluarkan banyak energi (*Zulkifli, 2010*).

4. Ketersediaan Oksigen

Oksigen merupakan factor penting di lingkungan ini. Sumber utama oksigen terlarut di perairan adalah berasal dari: 1) aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air (lamun) dan fitoplankton; 2) difusi oksigen secara langsung dari

udara ke dalam air melalui lapisan permukaan sehingga proses aerasi dapat berlangsung terus; 3) agitasi atau pergolakan massa air akibat adanya ombak atau gelombang; 4) aliran air/ arus; dan 5) melalui air hujan. Dapat dipastikan semua sedimen laut mempunyai suatu lapisan yang mendapat oksigen di permukaannya, sedangkan di bawahnya terdapat lapisan yang sungguh-sungguh anoksik. Oleh karena itu, organisme interstitial yang hidup di bawah kedalaman tertentu akan menghadapi kondisi bebas oksigen. Ketebalan lapisan yang mendapat oksigen bergantung pada beberapa factor umpamanya ukuran butiran, jumlah bahan organik, dan turbulensi air (Zulkifli, 2010).

Sementara, kandungan oksigen terlarut dapat berkurang disebabkan oleh:

- 1) respirasi biota perairan; 2) pemakaian dalam proses dekomposisi bahan organik secara biokimia; 3) pemakaian dalam proses dekomposisi bahan anorganik secara kimia; 4) kenaikan suhu dan salinitas terutama pada daerah pasang-surut (Zulkifli, 2010).

5. Suhu

Suhu adalah factor lingkungan lain yang penting dalam menentukan keberadaan atau ketiadaan dan distribusi organisme interstitial kisaran suhu paling ekstrim terjadi di pantai intertidal dan di lapisan pantai paling atas. Suhu perairan dipengaruhi oleh musim, komposisi sedimen, sirkulasi udara, kekeruhan, penutupan awan, air hujan, luas permukaan perairan yang langsung mendapat sinar matahari, aliran dan kedalaman perairan. Perubahan suhu dapat menyebabkan perubahan kelimpahan meiofauna. Populasi meiofauna menurun secara gradual dengan meningkatnya suhu pada

permukaan sedimen lumpur. Suhu berpengaruh terhadap waktu generasi meiofauna. Suhu yang optimum untuk perkembangan meiofauna adalah 20–30°C. Pada kisaran suhu yang tinggi sekitar 33–50°C, menyebabkan terjadinya gangguan perkembangan daur hidup, dan penurunan suhu menyebabkan perpanjangan waktu pergantian generasi. Kelimpahan meiofauna berfluktuasi secara musiman di daerah subtropis, di mana kelimpahan tertinggi umumnya terjadi pada saat kondisi terhangat dalam setahun pada kisaran suhu minimum terjadi di pasir subtidal dan di pasir intertidal pada kedalaman di bawah 10-15 cm. Di daerah beriklim sedang daerah kutub, suhu dapat jadi cukup rendah untuk membekukan lapisan atas. Beberapa organisme interstitial yang sudah beradaptasi untuk hidup dalam keadaan beku (misalnya, cacing turbelaria *Coronhelms lutheri*, gastrotrika *Turbanella hyaline*, dan enkitraeida *Marionina southerni*. Hewan yang kemampuan toleransinya cukup besar terhadap perubahan disebut disebut euritermal (Zulkifli, 2010).

6. Salinitas

Salinitas merupakan faktor yang penting pada pantai interstitial. Secara umum, meiofauna dapat hidup dengan keragaman yang tinggi pada berbagai tipe salinitas di perairan yang berbeda mulai dari perairan tawar, payau hingga perairan laut. Hal ini mengindikasikan bahwa keragaman meiofauna yang tinggi di dalam komunitasnya, meiofauna memiliki keragaman kemampuan fisiologis untuk beradaptasi terhadap berbagai tipe salinitas. Salinitas di dalam sedimen dapat berfluktuasi baik secara spasial maupun secara temporal. Secara spasial, gradien salinitas dapat terjadi baik secara vertikal maupun horizontal, sedangkan secara temporal bergantung pada

musim dan siklus pasang surut air laut. Salinitas di dalam sedimen dapat meningkat tajam hingga mencapai kondisi hipersalin sebagai akibat dari penguapan yang tinggi di musim panas ketika air laut sedang surut dan panas yang cukup tinggi. Sementara itu, salinitas di dalam sedimen dapat menurun drastis ketika hujan lebat dan air laut sedang surut. Penurunan salinitas terjadi di pantai interstitial karena limpahan air tawar karena turunnya hujan lebat perubahan salinitas biasanya terbatas pada lapisan atas pantai karena lapisan bawah melalui daya kapiler mampu mempertahankan tingkat air asin yang lebih tinggi. Karena air tawar lebih ringan daripada air asin, air tawar tak dapat menembus ke bawah titik dimana air laut di tahan oleh daya kapiler, sehingga lapisan atas yang mengalami perubahan salinitas. Organisme yang mendiami lapisan ini biasanya beradaptasi untuk mentolerir perubahan salinitas yang cukup tinggi (kira-kira 15 ppt) (Zulkifli, 2010).

7. Potensial Redoks (E_h) dan Derajat Keasaman (pH) Sedimen

Dalam suatu perairan, pencampuran biogenik intensif terjadi di atas permukaan sedimen, sedangkan proses kimia seperti pembusukan, perombakan dan reduksi terjadi di bawah permukaan sedimen yaitu pada lapisan 10-30 cm. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam sedimen, yaitu:

- 1) absorpsi dan pelarutan ion, senyawa antara air dan sedimen;
- 2) perubahan nilai E_h dan pH sedimen;
- 3) transfer senyawa hasil reduksi dari lapisan bawah ke lapisan atas sedimen;
- 4) siklus karbon, nitrogen, sulfur dan fosfor; dan

- 5) perubahan konsentrasi ion, baik dalam jaringan organisme maupun dalam sedimen. Sedangkan Faktor pH sedimen memiliki peranan yang tidak begitu besar dalam kehidupan meiofauna. Hal ini disebabkan oleh nilai pH air laut yang cukup tinggi sekitar 7.5–8.8 dapat berperan sebagai penyangga (*buffer*) yang dapat mencegah terjadinya perubahan pH yang terlalu besar.

8. Ketersediaan Makanan (Nutrisi)

Di habitat sedimen lunak perairan dangkal, konsumen infauna benthik sering didominasi oleh organisme pemakan deposit, termasuk organisme interstitial, yang sebagian besar nutrisi makanannya diambil dari pengendapan bahan organik. Bahan organik di sedimen termasuk ke dalamnya organisme hidup seperti bakteri dan mikroalga, dianggap sebagai salah satu makanannya, dan material mati pada tingkat degradasi yang berbeda. Organisme interstitial pemakan detritus (*detritivor*) mengandalkan sumber makanannya pada tingkat trofik yang berbeda dan memainkan peranan fundamental dalam transfer energi dalam jaring makanan.

10.11 Distribusi Spesies Interstitial

Distribusi meiofauna interstitial ini dipengaruhi oleh faktor fisika, kimia dan biologi. Faktor-faktor ini bergantung pada beberapa variabel, yaitu sirkulasi air, ukuran butir sedimen, kandungan mineral dan oksigen dalam sedimen serta kekuatan ombak (Nybakken & Bertness 2005), pH sedimen, senyawa sulfida (H_2S) dan bahan organik yang terjebak di dalam sedimen (Giere 1993; Mazzola *et al.* 1999; Mirto *et al.* 2000) dimana hal ini penting untuk kolonisasi meiofauna.

Pola kolonisasi meiofauna dipengaruhi oleh kondisi habitat ini (Zulkifli, 2010).

Di perairan laut dangkal, meiofauna menunjukkan pola zonasi dan distribusi yang khas, baik secara vertikal maupun horizontal (Coull 1988; Higgins & Thiel 1988; Gambi *et al.* 1998; Arroyo *et al.* 2004). Zonasi dan distribusi vertikal meiofauna ini terutama dikontrol oleh tingkat diskontinuitas potensial redoks (RPD) sedimen, yaitu batas antara sedimen aerob dan sedimen anaerob. Sementara itu, zonasi dan distribusi horizontal meiofauna lebih ditentukan oleh gradien salinitas yang terjadi pada meiofauna yang hidup di dasar estuaria, dan juga ditentukan oleh gradien kedalaman air yang terjadi pada meiofauna yang hidup di antara perairan paparan benua dan laut dalam (Zulkifli, 2010).

Sebagian besar genus meiofauna cenderung untuk menempati lapisan sedimen atas atau pada lapisan di bawah permukaan yang beroksigen, dan jumlahnya menurun dengan meningkatnya kedalaman dan kompaksi sedimen serta berkurangnya suplai oksigen. Sedimen yang terkompaksi tinggi (sedimen padat) mempunyai kandungan sedimen halus (fraksi lumpur) dan bahan organik yang tinggi, potensial redoks yang rendah, dan meiofauna interstisial yang berasosiasi sebagian besar terdiri atas genus yang bersifat oportunistik. Beberapa meiofauna seperti Nematoda dan Polychaeta, mampu hidup dengan meningkatnya kedalaman sedimen, karena meiofauna ini mempunyai toleransi yang besar terhadap konsentrasi oksigen yang rendah. Sebaliknya, meiofauna akan terdistribusi secara seragam pada kedalaman sedimen 15 cm, hal ini berhubungan dengan rendahnya kandungan sedimen halus, kandungan bahan organik yang rendah, oksigen yang tinggi dan kompaksi (kepadatan) sedimen yang rendah (Palacín *et al.* 1991; Martin *et al.* 1993, 2000) (Zulkifli, 2010).

10.12 Hubungan Trofik Meiofauna Interstitial

Komunitas interstitial dapat dipengaruhi oleh fauna bentik dan ikan melalui peristiwa makan memakan. Terlepas dari pemangsaan yang dilakukan oleh organisme lain, sebenarnya dalam komunitas interstitial itu sendiri terdapat mekanisme pengaturan melalui berbagai pola interaksi sebagai akibat hidup dalam habitat dan sumberdaya yang sama. Bentuk interaksi yang terjadi dapat berupa kompetisi dan predasi (Coull 1988; Livingston 2003; Barnes & Hughes 2004; Nybakken & Bertness 2005) (Zulkifli, 2010).

Beberapa penelitian menyimpulkan bahwa organisme interstitial tidak dimakan langsung oleh organisme yang lebih besar, tetapi organisme interstitial penting dalam proses penghancuran detritus. Sementara yang lain menunjukkan bahwa beberapa meiofauna (khususnya Copepoda Harpacticoida) merupakan makanan penting bagi makrofauna (Webber & Thurman 1991; Zobrist & Coull 1992). Meiofauna dimanfaatkan secara aktif oleh larva ikan *Leiostomus xanthurus* (Coull 1988; Street *et al.* 1998; Mann 2000; Nybakken & Bertness 2005), juvenil ikan *Clinus superciliosus*, *Syngnathusscovelli* dan *Hippocampus zosterae*, juvenil ikan *Pleuronectes platessa*, *Microchirrus boscanion* dan *Limanda limanda* (Coull 1999; Nybakken & Bertness 2005), juvenil ikan *Platichthys flesus* (Coull 1999; Aarnio 2000; Nybakken & Bertness 2005), juvenil ikan *Sillago maculata* (Coull *et al.* 1995), dan ikan dewasa *Gobionellus boleosoma* (Gregg & Fleeger 1997; Barnes & Hughes 2004; Nybakken & Bertness 2005) (Zulkifli, 2010).

Pemakan deposit (*deposit feeders*) seperti Polychaeta dan Holothurian juga memakan meiofauna yang lain (Zobrist & Coull 1994). Meiofauna memakan sekitar 70–80% bahan organik yang tersedia di habitatnya, yang pada gilirannya meiofauna dimakan oleh juvenil udang, kepiting dan ikan.

Meiofauna Copepoda Harpacticoida merupakan makanan utama bagi juvenil dari beberapa spesies ikan predator, misalnya ikan demersal atau ikan dasar, ikan gobi, dan ikan *mullet*, mempunyai sejumlah besar meiofauna dalam perutnya dan hewan lainnya seperti udang, Polychaeta besar, dan Hydroida (McLusky & McIntyre 1988; Gregg & Fleeger 1997; Barnes & Hughes 2004; Nybakken & Bertness 2005) (Zulkifli, 2010).

10.13 Peranan Ekologi Organisme Interstitial

Organisme yang menempati sedimen merupakan komponen utama lingkungan benthik (Metcalf 2005; Soltwedel & Prena 2006). Sebagai fauna interstisial, meiofauna merupakan komponen penting dalam ekosistem pantai dan laut. Di sedimen laut, meiofauna memiliki peranan ekologis yang sangat penting, yaitu :

1. Sebagai penyedia makanan bagi berbagai tingkat trofik yang lebih tinggi;
2. Memainkan peranan penting dalam biodegradasi bahan organik;
3. Memudahkan biomineralisasi bahan organik dan meningkatkan regenerasi nutrient;
4. Berperan dalam menyuburkan dasar perairan dan meningkatkan produktivitas benthik;
5. Sebagai anggota komunitas bentos yang dapat menyumbangkan pengaruh interaktif kepada biota laut lainnya melalui kompetisi, simbiosis, predasi dan asosiasi;
6. Karena sensitivitasnya yang tinggi terhadap masukan antropogenik dan bahan-bahan pencemar, membuatnya sebagai organisme yang baik sekali untuk studi pencemaran dan digunakan sebagai bioindikator dalam menilai kondisi lingkungan laut (Herman & Heip 1988; Aller & Aller 1992; Green & Montagna 1996; Montagna &

Harper 1996; Gee & Somerfield 1997; Coull 1999; Lee *et al.* 2000; Mirto *et al.* 2000; Raffaelli 2000; Beier & Traunspurger 2001; Smith *et al.* 2001; Mistri *et al.* 2002; Vezzulli *et al.* 2003; Barnes & Hughes 2004; Stead *et al.* 2005; Buat 2006).

Organisme interstitial benthik merupakan komponen penting di perairan pantai dan estuaria (Metcalf 2005). Sebagai pemangsa mikroalga dan bakteri, organisme interstitial telah menunjukkan pengaruhnya terhadap produksi primer, siklus nutrisi dan proses-proses metabolik benthik lainnya (Carman *et al.* 1996, 1997; Manini *et al.* 2000; Pinckney *et al.* 2003). Bahan organik dan nutrisi yang dimangsa oleh organisme interstitial, kemudian diasimilasinya dan dijadikan sebagai produksi bersih atau direspirasi. Ketika hewan mati, nutrisi diremineralisasi sehingga tersedia untuk proses mikroba dan produksi primer (Coull 1999).

Kehadiran organisme interstitial dalam suatu ekosistem dapat mempengaruhi struktur komunitas makrofauna secara nyata. Organisme interstitial yang berasosiasi dengan ekosistem tersebut memiliki peranan yang amat penting, yaitu sebagai salah satu mata rantai penghubung dalam aliran energi dan siklus materi dari alga planktonik sampai konsumen tingkat tinggi (Mann 2000), dan memberikan kontribusi dalam menopang kehidupan organisme trofik yang lebih tinggi (Coull 1988, 1999), seperti kepiting, ikan dan udang (Heip *et al.* 1985; Webber & Thurman 1991) (Zulkifli, 2010).

Terkait dengan responnya terhadap lingkungan, organisme interstitial mempunyai kepekaan terhadap perubahan-perubahan yang terjadi terhadap lingkungannya, sehingga jenis tertentu dari organisme interstitial, seperti Nematoda dan Copepoda sering digunakan sebagai indikator dalam menyatakan kelimpahan bahan organik. Perbandingan

Nematoda dan Copepoda (rasio N/C) dapat digunakan sebagai alat *biomonitoring* pencemaran organik dalam komunitas bentik (Hodda & Nicholas 1985; Montagna & Harper 1996; Pati *et al.* 1999). Pengaruh utama akumulasi bahan organik adalah pengurangan kandungan oksigen dalam sedimen dan selanjutnya menstimulasi pembentukan lapisan hidrogen sulfida (Zulkifli, 2010).

Keuntungan menggunakan organisme interstitial untuk studi pencemaran diantaranya adalah :

- 1) Biasanya organisme interstitial mempunyai kemampuan untuk bertambah dalam lingkungan bentik yang terganggu/tercemar, tidak seperti makrofauna;
- 2) Umumnya organisme interstitial mempunyai siklus hidup yang pendek (sekitar 30–40 hari), menghasilkan generasi dalam setahun, organisme yang terekspos tahan terhadap toksikan dan siklus hidupnya lebih komplit
- 3) Ukuran organisme interstitial yang kecil dapat diberikan untuk ukuran sampel yang kecil pula;
- 4) Komunitas interstitial sifatnya lebih stabil, baik kualitas maupun kuantitasnya terhadap musim dan dari tahun ke tahun daripada makrofauna (Coull & Chandler 1992).

Organisme interstitial selain berperan melapukkan dan menghancurkan bahan-bahan organik di dalam sedimen, juga berperan dalam menyuburkan dasar perairan dan meningkatkan produktivitas bentik. Organisme interstitial memakan/menghisap apa saja yang ada di muka mulutnya, sedimen, sisa tumbuhan/binatang yang sudah lapuk, bakteri dan mikroflora bentik, yang selanjutnya dicerna dan dikeluarkan sebagai kotoran, organisme interstitial yang bergerak secara meliang membuat lubang-lubang dengan dorongan tubuhnya di dalam lapisan sedimen, sehingga kotoran-kotorannya dapat menyuburkan lapisan tersebut,

karena kotoran organisme interstisial merupakan hasil pencernaan yang banyak mengandung berbagai hasil persenyawaan kimiawi yang kompleks. Sisa-sisa tanaman, mikroflora benthik, mikrofauna yang mengandung zat protein, karbohidrat, lemak dengan enzim-enzim diubahnya dalam tubuh organisme interstisial menjadi zat-zat mineral yang bermanfaat yang terkandung dalam kotoran-kotorannya yang biasanya ditempatkan di pintu lubang/lorong-lorongnya secara bertumpukan, pembuatan lubang/lorong-lorong dalam sedimen oleh organisme interstisial sampai jauh ke dalam sedimen, berarti organisme interstisial telah mengangkat bagian-bagian sedimen dari lapisan bawah ke atas. Akibatnya, bagian-bagian dari zat mineral akan ikut terangkat ke lapisan atas yang dapat memperkaya bahan-bahan mineral dalam sedimen dan lubang-lubang yang dibuat oleh organisme interstisial didalam sedimen sangat membantu masuknya air, udara dan makanan ke dalam sedimen (Aljetlawi *et al.* 2000).

Kedudukan biomassa meiofauna biasanya lebih rendah daripada makrofauna, tetapi kepadatan, laju metabolik dan produksi hewan-hewan kecil secara proporsional lebih tinggi. Walaupun ukuran mereka lebih kecil, aktivitas metabolik lebih tinggi, dan laju pergantian juga tinggi, produktivitas organisme meiofauna per unit biomassa lebih besar daripada makrofauna (Webber & Thurman 1991; Nybakken & Barnes 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- Zulkifli.2010. *Dinamika Komunitas Meiofauna Interstisial Di Perairan Selat Dompok Kepulauan Riau*.
<http://www.damandiri.or.id/detail.php?id=804>. Diakses tanggal 20 Februari 2010.
- Nybakken, James W. 1992. *Biologi Laut (Suatu Pendekatan Ekologis)*. Jakarta: P.T Gramedia.

BAB 11

EKOSISTEM ESTUARI

Oleh Elfa Verda Puspita

11.1 Karakteristik Estuari

Keterkaitan antara unsur biotik dan abiotik yang membentuk ekologi disebut ekosistem (Arpaci *et al*, 2008). Menurut Nybakken (1992), muara adalah daerah pantai semi tertutup yang memiliki akses bebas ke laut lepas dan menerima suplai air tawar dari daratan. Muara adalah teluk pantai yang sebagian tertutup di mana air tawar dan air asin bertemu dan bercampur. Ekosistem muara merupakan bagian ekosistem pesisir yang dikenal produktif dan paling rentan terhadap tekanan lingkungan dari proses alam dan aktivitas manusia (Dahuri, 1992).

Kehidupan biota muara atau estuaria sangat bergantung kepada beberapa sifat fisik. Beberapa sifat fisik muara antara lain :

1. Salinitas

Salinitas air menggambarkan jumlah garam dalam air, dinyatakan dalam jumlah permil (Effendie, 2003). Salinitas di muara lebih bervariasi dengan musim, volume air tawar, topografi muara, dan pasang surut. Salinitas dipengaruhi juga oleh perubahan musim. Salinitas menjadi tinggi pada daerah hulu karena daerah tersebut terdapat debit air tawar selama setengah tahun. Gradien salinitas bergerak ke hilir menuju muara jika aliran air tawar menjadi naik (Nybakken, 1992). Menurut Budianto (2015),

pada musim kemarau, jumlah air berkurang dan air laut masuk ke hulu, yang meningkatkan kadar garam di hulu.

Rotasi bumi mempengaruhi salinitas muara, yang dikenal sebagai gaya Coriolis. Rotasi bumi dapat membuat arah pembelokan aliran air di belahan bumi. Pada bagian bumi utara, gaya Coriolis membelokkan air tawar yang mengalir ke luar muara ke kanan bila muara dilihat dari laut, dan air asin yang mengalir ke muara bergerak ke kanan bila muara dilihat dari laut. Sebaliknya, pembelokan arus di bagian bumi utara berlawanan dengan di bagian bumi selatan (Nybakken, 1992). Air interstitial berawal dari air yang terletak di substrat muara. Air interstitial, lumpur dan pasir bertindak sebagai penyangga air di atasnya. Salinitas lebih tinggi di zona intertidal atas (hulu) daripada di zona intertidal bawah (hilir).

Terdapat perbedaan nilai salinitas waktu Perbani (*Neap tide*) di hulu muara, semakin rendah salinitas di hulu. Sumber massa air tawar dapat berasal dari benua sebagai aliran air permukaan akibat aktivitas penduduk setempat, melalui air yang keluar dari dalam tanah atau melalui kapal yang membuang air tawar ke laut, maupun aliran air dari sungai-sungai kecil di wilayah perairan (Budianto, 2015).

Air laut menjauh dari muara hulu dan menggeser isosalinitas ke hulu saat air pasang. Saat air pasang, isosalinitas bergerak ke hilir. Akibatnya, salinitas bervariasi dengan pasang surut, dan daerah dengan fluktuasi salinitas terbesar (Nybakken, 1992). Pada saat pasang, temperatur di daerah muara cenderung naik dan semakin ke arah hulu suhu semakin menurun (Budianto, 2015).

2. Substrat

Lumpur yang berasal dari sedimen yang di bawa oleh air laut maupun air tawar adalah dominasi substrat pada estuaria. Sungai membawa partikel lumpur dalam bentuk endapan. Partikel lumpur menggumpal membentuk partikel yang lebih besar, lebih berat dan mengendap membentuk lapisan lumpur yang khas karena ion-ion yang berasal dari air laut. Partikel yang lebih besar mengendap lebih cepat daripada partikel yang lebih kecil. Material terapung dari laut masuk ke muara yang pergerakan airnya lebih tenang, kemudian mengendap di dasar lumpur atau pasir. Proses sedimentasi (pengendapan) tergantung pada arus dan ukuran partikel. Endapan lumpur merupakan bahan organik, sehingga estuari menjadi sumber makanan yang kaya bagi organisme (Nybakken, 1992).

3. Suhu

Fluktuasi harian suhu air muara lebih besar daripada suhu air perairan pantai terdekat, karena volume air muara lebih kecil daripada luas permukaan yang lebih besar. Hal ini menyebabkan air muara menjadi lebih cepat dingin dan lebih cepat panas tergantung dari suhu atmosfer sekitarnya. Fluktuasi suhu di muara juga disebabkan oleh aliran air tawar yang suhunya dipengaruhi oleh fluktuasi suhu musiman. Suhu di muara lebih tinggi di musim panas dan lebih rendah di musim dingin daripada di perairan sekitarnya. Suhu air muara juga bervariasi secara vertikal. Perairan permukaan cenderung memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan perairan yang lebih dalam. Pada muara yang positif, hal ini menunjukkan bahwa perairan dalam didominasi oleh air laut, sedangkan perairan permukaan didominasi oleh air

tawar (Nybakken, 1992). Semakin tinggi suhu air maka semakin rendah konsentrasi oksigen terlarut di dalamnya, sebaliknya semakin rendah suhu air maka semakin tinggi konsentrasi oksigen terlarut di dalamnya. Pasokan oksigen di kolom air cukup karena masuknya air tawar dan air laut secara teratur, yang bercampur dan tercampur oleh angin di perairan dangkal. Karena konsentrasi bahan organik yang tinggi dan populasi bakteri sedimen, oksigen dalam substrat berkurang secara signifikan (Ferdinandus, 2016). Salinitas mempengaruhi umur organisme dalam air, yaitu laju pertumbuhan, jumlah makanan yang dikonsumsi, nilai konversi makanan dan kemampuan bertahan hidup (Khairul *et al*, 2018).

4. Aksi ombak dan arus

Munculnya gelombang tergantung pada permukaan air dan juga angin. Kedalaman dan sempitnya mulut muara merupakan penghambat terbentuknya gelombang besar. Karena air muara yang dangkal, ombaknya tidak besar. Arus di muara disebabkan oleh pasang surut dan sungai. Aliran biasanya terdapat pada suatu saluran (Nybakken, 1992). Mekanisme transport sedimen didominasi oleh pola angin lokal yang membangkitkan arus dan ombak. Estuaria ini dipengaruhi oleh arus dan debit dari sungai-sungai (Iwan, 2005). Kecepatan aliran arus tertinggi terjadi di bagian tengah sungai/muara. Arus muara sering menyebabkan erosi dan pengendapan berikutnya di mulut muara (Iwan, 2005).

5. Kekeruhan

Banyaknya partikel tersuspensi di perairan muara pada waktu tertentu menyebabkan kekeruhan. Kekeruhan minimal di dekat mulut, yang semuanya air laut, dan

meningkat di hulu (Nybakken, 1992). Kekeruhan adalah proses pencampuran di dasar badan air, akibat proses pencampuran massa air akibat pasang surut dan aliran air tawar yang sangat dominan mempengaruhi perairan (Suhendar dan Agus, 2005). Konsekuensi dari kekeruhan adalah penurunan penetrasi sinar matahari ke dalam air, yang menyebabkan penurunan fotosintesis fitoplankton dan tumbuhan di dalamnya.

6. Oksigen

Kelarutan oksigen dalam air menurun dengan meningkatnya temperatur dan salinitas, sehingga kandungan oksigen di dalam air berubah. Kandungan oksigen substrat berkurang secara signifikan. Jumlah oksigen terlarut tergantung pada temperatur air, salinitas, pencampuran (agitasi) dan aktivitas organisme. Ukuran butir halus sedimen membatasi pertukaran antara air interstisial dan kolom air bagian atas, menyebabkan batas oksigen yang cepat (Nybakken, 1992). Kadar oksigen yang rendah di muara juga sangat terkait dengan kekeruhan, dengan kekeruhan yang tinggi mengurangi difusi oksigen bebas di udara (Khairul *et al*, 2018). Pada musim kemarau, ketika masukan air tawar menurun dan suhu dan salinitas meningkat, hal ini menyebabkan oksigen mengalir dari permukaan ke muara dasar DAS. Proses pencampuran dan pemisahan terhambat, yang mengurangi kandungan oksigen air tanah. Penurunan konsentrasi oksigen di dasar perairan juga dapat disebabkan oleh bahan organik yang besar dan populasi yang besar serta bakteri individu yang terakumulasi di dasar sedimen (Brotowidjoyo *et al*, 1995).

Secara ekologis, perairan muara tergolong subur karena mengandung unsur hara dalam jumlah tinggi yang diperoleh dari air tawar dan air laut. Menurut Zahid (2011), fungsi muara bagi kehidupan ikan seperti sebagai daerah pemijahan, daerah pendederan dan tempat penyimpanan makanan serta jalur perpindahan (migrasi) menjadikan muara kaya akan biodiversitas ikan pada semua tahapan stadia hidupnya (larva, juvenil, dewasa). Melimpahnya unsur hara di zona muara menyebabkan tumbuhan terutama makrofita dan fitoplankton di zona muara.

Mengenai produktivitas flora di muara, Kamal dan Suardi (2004) menyatakan, produktivitas makrofita (rumput laut) ditemukan jauh lebih tinggi dibandingkan fitoplankton.

Dibalik suburnya perairan daerah muara, karena sedimennya juga memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat, kemungkinan juga terdapat "*pollutan trapped*" atau perangkap polutan di daerah muara. Proses biodeposisi oleh "*filter feeders*" dapat memindahkan dan memusatkan apapun yang terdapat dalam endapan, termasuk bahan-bahan pencemar. Hal tersebut yang menyebabkan banyak biota estuari mengandung logam berat karena tempat yang ditinggali terdapat bahan-bahan pencemar berupa logam berat yang terakumulasi di dalam tubuh biota estuari (Kamal dan Suardi, 2004).

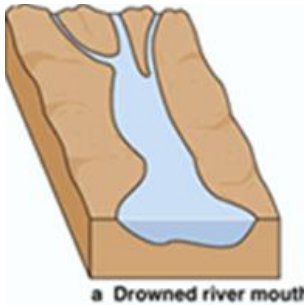
11.2 Tipe-tipe Estuari

Tipe-tipe estuari terbagi menjadi 4 macam secara geomorfologi (Pritchard, 1976), yaitu :

1. Estuari yang berupa rataaan tergenang (*Drowned river valley*)

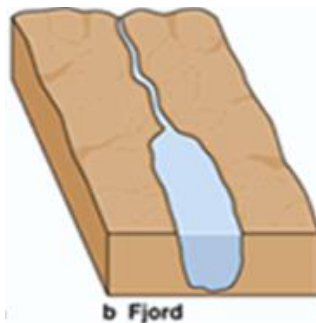
Sebagian besar muara ini terbentuk di sepanjang pantai, dengan pantai yang lebar dan dangkal. Air sungai yang mengangkut sedimen ke muara biasanya pada musim

hujan, sedangkan air laut masuk ke lingkungan muara pada musim kemarau, karena jumlah air yang datang dari sungai sangat sedikit.



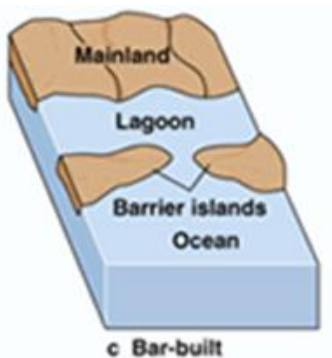
2. Estuari bertipe fyord

Muara jenis ini sebenarnya merupakan lembah yang telah diperdalam oleh gletser dan genangannya dibanjiri air asin. Ciri khas dari jenis ini adalah pembentukan ambang dangkal di mulut muara (Kramer, 1994). Bentuk dasar perairan muara biasanya menyerupai seperti huruf U. Periode pembentukannya diduga dimulai pada Zaman Es (*ice age*), dan dengan demikian dapat diklasifikasikan sebagai formasi geologi kuno.



3. Estuari dengan pasir penghalang (*Bar-built estuaries*)

Muara ini merupakan kolam dangkal yang sebagian dasar airnya terlihat saat air surut. Perairan ini dapat diklasifikasikan sebagai perairan semi-tertutup dengan penghalang seperti gundukan pasir atau pulau penghalang. Pembentukan sekat tersebut disela oleh kanal-kanal kecil (pintu masuk) yang terhubung langsung dengan laut lepas. Dalam beberapa kasus, tumpukan pasir diendapkan di laut, dalam kasus lain, tumpukan pasir penghalang adalah bekas formasi bukit pasir yang telah berubah karena terisolasi oleh kenaikan permukaan laut secara bertahap.



4. Estuari yang terbentuk oleh proses vulkanik

Jenis muara ini dibentuk oleh depresi litoral (pantai), dengan depresi ini disebabkan oleh patahan geologis atau penurunan muka tanah setempat. Proses ini biasanya diikuti dengan aliran air tawar yang melimpah. Estuaria yang terbentuk di daerah pantai yang terangkat secara tektonik akan menjadi semakin dangkal dan dapat menjadi daratan. Perkembangan estuaria dapat terjaga dan bahkan dapat menjadi lebih dalam dan lebih luas apabila tektonik penurunan terjadi (Iwan, 2005).



11.3 Organisme-organisme Pada Estuari

Muara/estuari adalah wilayah peralihan antara sungai dan air asin/laut. Biota estuaria terdiri dari tiga bagian yaitu fauna asal laut, fauna air tawar dan fauna air payau. Hewan laut yang tidak dapat mentoleransi perubahan kadar garam yang ekstrim biasanya hanya ditemukan di batas laut terbuka, yang kadar garamnya di atas 30‰. Beberapa hewan laut toleran (euryaline) dapat menembus lebih dalam ke muara di mana kadar garam turun hingga 15‰ atau kurang. Di sisi lain, fauna air tawar pada umumnya tidak dapat mentoleransi salinitas di atas 5‰, sehingga penyebarannya hanya terbatas pada bagian hulu muara (Agus, 2012).

Perairan estuari sangat kaya akan zat makanan yang menjadi unsur terpenting bagi pertumbuhan fitoplankton dan zooplankton. Hal ini merupakan ciri khas dari keunikan lingkungan estuari. Lingkungan muara dikenal sebagai tempat berkembang biak bagi banyak ikan, invertebrata (krustasea, bivalvia, echinodermata, annelida dan banyak kelompok hewan lainnya). Berbagai jenis ikan seperti, belanak (*Nugil dussumieri*), sembilang (*Platosus canius*), ketam (*Mystus sp*), gabus (*Channa striata*), dan sepat (*Trichogaster pestolaris*) terdapat di perairan estuaria. Kelas crustaceae yang juga sering

ditemukan pada perairan estuaria adalah udang (*Paneus sp*) dan kepiting kelapa (*Birgus latro*) (Sugiarti *et al*, 2005).

Fauna khas muara yang khas adalah yang dapat mentoleransi salinitas 5-30‰, tetapi tidak ditemukan di daerah yang benar-benar segar atau payau. Ini termasuk beberapa spesies tiram dan kerang (*Ostrea*, *Scrobicularia*), siput *Hydrobia*, udang *Palaemonetes* dan cacing (*polichaeta*). Misalnya, jenis udang tertentu menghabiskan masa remajanya di sekitar muara sebelum pergi ke laut saat dewasa. Belut (*Anguilla*) dan salmon (*Salmonus*, *Onchorhynchus*) hidup sementara di muara dalam migrasinya dari hulu ke laut, dan sebaliknya untuk bertelur. Berbagai jenis hewan lain, termasuk ikan, reptil, burung, dan lainnya, hadir ke muara untuk mendapatkan makan (Nybakken, 1992). Menurut Sugiarti *et al* (2005) keanekaragaman jenis satwa pada estuaria didominasi oleh jenis burung, mammalia, reptilia, ikan dan crustaceae.

Organisme di lingkungan estuaria mempunyai 3 (tiga) macam adaptasi untuk bertahan hidup (Kennish, 1990). yaitu :

1. Adaptasi morfologis

Adaptasi morfologis makhluk hidup estuaria antara lain yang mendiami substrat berlumpur memiliki rambut-rambut halus/rumbai (*setae*) untuk menghambat penyumbatan-penyumbatan permukaan ruang pernafasan oleh lumpur. Adaptasi morfologi lainnya adalah ukuran tubuh yang umumnya kecil. Contohnya adalah kepiting dan beberapa anggota gastropoda, hal ini karena sebagian dari energinya digunakan untuk beradaptasi dengan jumlah garam lingkungannya.

2. Adaptasi fisiologis

Adaptasi fisiologis terkait dengan menjaga keseimbangan ion-ion cairan tubuh selama fluktuasi kadar garam eksternal. Organisme estuaria memiliki kemampuan

osmoregulasi dengan baik. Contohnya adalah *copepoda*, cacing *polychaeta* dan *mollusca*.

3. Adaptasi tingkah laku

Adaptasi tingkah laku makhluk hidup muara diantaranya adalah membuat lubang ke dalam sedimen. Kelebihan dari organisme yang membenamkan ke lumpur adalah dalam pengaturan osmosis dan melindungi diri dari predator. Adaptasi tingkah laku lainnya adalah bergerak ke hulu atau hilir agar menjaga selalu berada di dalam toleransinya. Contoh organismenya adalah rajungan (*Calinectes sapidus*), ikan belanak (*Mugil mugil*), ikan baung dan ikan bandeng.

Komponen flora pada estuari bervariasi. Sebagian besar muara banjir terdiri dari matriks lumpur. Selain substrat, paparan cahaya yang minim menyebabkan terbentuknya dua lapisan. Lapisan bawah tidak memiliki tanaman hidup dan lapisan atas memiliki vegetasi yang terbatas. Di dasar muara terdapat rumput laut (*Zostera* dan *Cymodeca*) dan hamparan rumput laut dengan pasir atau lumpur. Rumput laut (*Enhalus acorides*) adalah tanaman berbunga (keluarga Angiospermae) yang beradaptasi sempurna dengan perairan bersalinitas tinggi atau hidup di air, dengan rimpang, daun, dan akar sejati. Para ahli juga mengatakan lamun sebagai tanaman air berbunga yang hidup di air asin, memiliki ikatan pembuluh, berdaun, memiliki rimpang, memiliki akar, dan berkembang biak dengan biji dan kuncup (Agus, 2012). Selain lamun, ada juga beberapa jenis alga seperti *Enteromorpha sp* dan *Padina sp*. Pada perairan estuaria juga dijumpai fitoplankton seperti dinoflagellata dan jenis-jenis diatom.

Selain minim fauna, flora di muara juga miskin. Kekurangan perairan muara mengakibatkan dominasi hanya vegetasi yang menonjol seperti padang lamun (Zosfera

thalassia, Cymodocea), yang juga ditumbuhi alga hijau dari genus *Ulva*, *Entheromorpha* dan *Chadophora*. Muara bertindak sebagai perangkap nutrisi, menghasilkan daur ulang yang konstan dari semua elemen penting oleh berbagai kerang, cacing dan detritus atau bakteri, menghasilkan produktivitas primer yang tinggi. Ada beberapa spesies plankton di muara. Oleh karena itu, hanya diatom dan dinoflagellata yang ditemukan. Jenis utama diatom adalah *Skeletonema*, *Asterionella* dan *Melosira*. Dinoflagellata yang paling umum adalah *Gymnodinium*, *Gonyaulax* dan *Ceratium*. Besarnya jumlah zooplankton yang tumbuh menunjukkan bahwa produktivitas fitoplankton terbatas (Agus, 2012).

Fitoplankton membutuhkan unsur hara atau nutrisi yang optimal di perairan untuk mencapai produktivitas primer. Distribusi nutrisi terbesar berasal dari sungai yang mengalir ke laut. Nutrisi kaya yang terdapat dalam air dapat memberikan nilai produktivitas primer yang tinggi, dalam hal ini dapat mendukung pengembangan jaringan rantai makanan yang berkelanjutan dan mempengaruhi khususnya kondisi sosial masyarakat, misalnya kelimpahan ikan yang tersedia untuk dimakan. Tetapi sebaliknya dapat terjadi dalam keadaan yang sama. Efek negatif dari jumlah nutrisi yang tinggi dapat menyebabkan ledakan alga. Ledakan ganggang dapat berdampak negatif pada ekosistem perairan dengan mengurangi jumlah oksigen terlarut, menyebabkan kematian massal kehidupan laut seperti ikan. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian jumlah unsur hara yang masuk ke muara dengan membangun instalasi pengolahan air (IPAL) yang membersihkan limbah dari aktivitas manusia dan aktivitas industri. Sistem pengolahan air terpadu diharapkan mampu mengolah limbah pemukiman dan industri, mengontrol jumlah nutrisi yang masuk ke muara, sehingga konsentrasi nutrisi tercukupi (Deny, 2020).

11.4 Peran Ekologis Estuaria

Menurut Nybakken (1992), peran ekologis muara adalah sebagai berikut:

1. Dengan sirkulasi pasang surut merupakan sumber nutrisi dan bahan organik di bagian muara yang terletak jauh dari pantai atau dekat pantai.
2. Menyediakan habitat bagi banyak jenis ikan yang penting secara ekonomi sebagai tempat tinggal dan makanan.
3. Untuk kebutuhan semua jenis ikan dan udang pesisir yang bermigrasi ke perairan dangkal dan tempat berlindung untuk produksi dan pembibitan.
4. Potensi produksi muara dalam hal makanan laut dalam kondisi yang kurang lebih alami.
5. Budidaya Tiram Rakit

Secara umum manusia menggunakan muara dengan cara sebagai berikut (Nybakken, 1992):

1. Pemukiman
2. Tempat penangkapan ikan dan penangkaran sumber daya ikan
3. Jalur transportasi
4. Pelabuhan dan kawasan industri/pabrik
5. Kawasan Hutan
6. Tempat berbagai wisata
7. Dunia Perkebunan

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, 2012. <https://www.bp3ambon-kkp.org/2012/08/03/identifikasi-kekayaan-sumberdaya-ekosistem-estuari/>. Diakses 4 Desember 2022. Pukul 17.00 WIB.
- Brotowidjoyo, Mukayat, D. 1995. *Pengantar Lingkungan Perairan dan Budidaya Air*. Yogyakarta: Liberty.
- Budianto. 2015. Pola Sebaran Salinitas dan Suhu di Perairan Estuari Sungai Kawal Kabupaten Bintan Provinsi Kepulauan Riau. *Skripsi*. Tanjungpinang: Jurusan Ilmu kelautan. Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Arpaci O, Kency B, Ozet m, Dengzy Z, Kala D. 2008. *Ecology*. Istanbul (TR): Zambak Yayinlari.
- Dahuri, R. 1992. *Strategi Penelitian Estuari di Indonesia*. Pros. Loka. Nas. Peny. Prog. Pen. Bio. Kelautan dan Proses Dinamisasi Pesisir. Undip. Semarang.
- Deny, Y. 2020. Distribusi dan Siklus Nutrien di Perairan Estuari serta Pengendaliannya. *Oseana*. Vol 45. Nomor 1: 28-39.
- Effendie, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan* (lima). Yogyakarta: Kanisius
- Ferdinandus, D.P. 2016. Studi Pola Sebaran Salinitas, Temperatur, dan Arus Perairan Estuari Sungai Wonokromo Surabaya. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Iwan, G.T. 2005. Geologi Lingkungan Estuaria. *Alami*. 10 (3): 35-38.
- Kamal E, Suardi ML. 2004. Potensi Estuaria Kabupaten Pasaman Barat Sumatera Barat. *Mangrove dan Pesisir*. 4(3): 42-46.
- Kenish, M. J. 1990. *Ecology of Estuaries*. Vol II: *Biological*. CRC Press, Inc Boca Raton. USA. 391p.

- Khairul A, Muchlizar, Asep M. 2018. Variasi Bulanan Salinitas, PH dan Oksigen Terlarut di Perairan Estuari Bengkalis. *Majalah Ilmiah Globe*. 20(2): 57-66.
- Kramer, K.J.M. 1994. *Idal Estuaries: Manual of Sampling and Analitical Procedure*. AA Balkema.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis*. Penerjemah; H. Muhammad Eidman. PT. Gramedia Pustaka. Jakarta.
- Pitchard, D.W. 1976. What is an estuary : Physical view point. *In Estuaries* (G.H. Lauff, es.). Amer. Assoc. Adv. Sci. Publ. No. 83. Washington D.C. p 3-5.
- Sugiarti, Kuswanda, Rozza, T.W, Pidin M. 2005. Keanekaragaman Jenis Hayati pada Ekosistem Estuaria di Suaka Margasatwa Langkat Timur Laut. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. II (3): 259-268.
- Suhendar, I.S dan Agus, K. 2005. Pengkajian Kondisi Hidro-Oceanografi Perairan Estuaria Teluk Klabat, Bangka pada Musim Timur. *Alami*. 10(3): 1-6.
- Zahid A, Simanjuntak CPH, Rahardjo MF, Sulistiono. 2011. Iktiofauna ekosistem estuari Mayangan, Jawa Barat. *Jurnal Iktiologi Indonesia*. 11(1): 77-85.

BAB 12

DEGRADASI SUMBER DAYA

HAYATI LAUT (SDHL) DAN

STRATEGI PENGELOLAANNYA

Oleh Halvina Grasela Saiya

12.1 Pendahuluan

Manusia membutuhkan laut. Ini adalah fakta yang sering terlupakan dalam upaya-upaya eksplorasi sumber daya alam. Laut adalah salah satu komponen utama yang membentuk permukaan bumi, karena lebih dari 70% permukaan bumi didominasi oleh laut (Tolba, 1992; Schneider, 2011). Selain itu, laut juga berperan sebagai penyuplai makanan, energi dan berbagai jenis sumber mineral bagi manusia (Tolba, 1992). Tidak hanya itu, peran penting laut dapat juga dilihat melalui beberapa aspek.

Dilihat dari aspek konektivitas, maka keberadaan laut merupakan jalur transportasi yang vital bukan saja untuk perpindahan manusia, namun juga untuk perdagangan, perekonomian, pasokan energi, makanan, dan berbagai kebutuhan primer lainnya. Tentu saja, jalur laut adalah jalur yang lebih ekonomis dibandingkan jalur udara. Aspek berikutnya adalah iklim. Laut berperan penting dalam mengatur kondisi iklim di bumi (Schneider, 2011). Manusia boleh memetakan laut secara administratif dengan menggunakan nama-nama samudera yang berbeda-beda. Namun, pada hakekatnya laut itu satu. Semua samudera, teluk dan selat di bumi ini saling terhubung. Dan oleh karena itulah,

laut dapat mengontrol pergerakan suhu dan arus sehingga terdapat keseimbangan antara wilayah yang suhunya tinggi dan wilayah yang bersuhu rendah. Poin yang terakhir adalah, laut merupakan salah satu produsen penghasil oksigen dan penyerap emisi karbon. Peran ini adalah poin yang sangat vital bagi keberadaan manusia di bumi. Jadi, bukan hanya hutan yang berperan penting untuk peran tersebut. Dalam tingkatan trofik rantai makanan di perairan, produsen-produsen autotrof di laut dapat juga melakukan fungsi fotosintesis seperti produsen-produsen di area terestrial. Dengan demikian, laut juga menghasilkan oksigen dan menyerap karbon.

Namun, fakta keberadaan laut saat ini tak berbanding lurus dengan peran pentingnya bagi manusia. Berbagai laporan pencemaran laut, tumpahan minyak, sampah, *over fishing*, dan berbagai aktivitas manusia lainnya telah membuat kondisi laut semakin parah.

12.2 Penyebab Degradasi SDHL

Degradasi yang terjadi di laut adalah ancaman bagi manusia. Kondisi ini adalah seperti senjata yang pada akhirnya melukai tuannya sendiri. Hal ini dikarenakan, aktivitas manusia yang menjadi penyebab utama degradasi ekosistem laut yang semakin memburuk, pada akhirnya akan memberi dampak signifikan bagi penurunan suplai kebutuhan primer manusia. Kebutuhan primer itu adalah udara, makanan, energi dan mineral. Kelangsungan hidup manusia sangat bergantung pada keempat aspek tersebut. Dan keempat aspek tersebut terkait dengan keberadaan fungsi-fungsi hayati yang ada di laut.

Sumber Daya Hayati Laut (SDHL) tersebar mulai dari perairan laut dangkal hingga laut dalam. Berikut ini akan dibahas faktor-faktor penyebab kerusakan yang menjadi ancaman bagi potensi-potensi sumber daya hayati di laut:

12.2.1 Mangrove

Mangrove merupakan ekosistem penting di pesisir. Fungsi ekologis mangrove sangat vital bagi pesisir dan juga bagi pemenuhan berbagai kebutuhan manusia. Lapisan hutan mangrove adalah barier perlindungan bagi organisme terestrial dari hantaman badai, gelombang besar, tsunami dan potensi bencana lainnya. Selain itu, mangrove merupakan habitat penting bagi berbagai jenis organisme laut. Hutan mangrove merupakan salah satu tempat memijah, tempat mencari makan dan tempat tinggal bagi berbagai fauna laut seperti: ikan, kepiting, udang, kerang dan lain sebagainya.

Selain itu, jenis-jenis tanaman di hutan mangrove memiliki sistem perakaran yang berbeda dengan tumbuhan terestrial. Sistem perakaran mangrove berperan penting dalam menjernihkan air sekaligus juga memerangkap sedimen yang akan masuk ke laut. Sehingga wajar bila kondisi substrat di area mangrove sangat berlumpur. Potensi lain adalah, jenis-jenis tumbuhan di hutan mangrove dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, yaitu: sebagai bahan baku kayu, sumber bahan baku pangan, kosmetik, obat-obatan dan industri. Dan, yang terpenting, hutan mangrove sangat berperan penting dalam menyerap emisi karbon dan sebagai penghasil oksigen.

Indonesia bahkan diakui sebagai negara yang paling banyak memiliki hutan mangrove (sekitar 21% dari total ekosistem mangrove di dunia), baik dari segi luas hutannya dan juga jumlah spesiesnya (Ilman, Wibisono and Suryadiputra, 2011). Namun, ekosistem hutan mangrove juga mengalami kerentanan akibat degradasi yang terus menerus terjadi. Penyebab pertama adalah konversi hutan mangrove. Secara global, konversi hutan mangrove

menjadi peruntukan lain terjadi dimana-mana. Khusus di Indonesia, hutan mangrove yang luasannya terus berkurang diakibatkan oleh area mangrove sering dialihfungsikan menjadi tambak, pemukiman, sawah, lokasi industri, tegalan dan berbagai peruntukan lainnya (Ardli and Wolff, 2005; Pujiono *et al.*, 2013; Murdiyarso *et al.*, 2015).

Ancaman lain bagi ekosistem mangrove adalah limbah industri, limbah pertanian dan perkebunan, sampah organik maupun limbah rumah tangga yang berlebihan, sampah plastik hingga deposisional sedimen yang berlebihan di pesisir akibat pembukaan lahan yang berlebihan. Semua beban pencemaran ini terlalu banyak intensitasnya dari segi kandungan pencemar dan kuantitas pencemar. Kondisi ini mengakibatkan ketidakseimbangan bagi kemampuan ekosistem mangrove untuk mereduksi bahan pencemar dan memulihkan diri. Akibatnya banyak jenis-jenis mangrove yang mati.

12.2.2 Lamun

Lamun atau "*Sea Grass*" adalah ekosistem yang sering dilupakan. Ekosistem lamun juga disebut padang lamun. Hal ini dikarenakan kondisinya yang terlihat seperti hamparan hijau di laut. Lamun merupakan ekosistem penting yang berada diantara ekosistem mangrove dan terumbu karang.

Lamun memiliki posisi penting sebagai salah satu produsen di laut dengan produktivitas yang tinggi. Selain itu, padang lamun juga merupakan habitat bagi berbagai jenis ikan, organisme bentos, udang, kerang dan organisme lain. Lamun juga sering hidup berasosiasi dengan alga, serta merupakan area mencari makan bagi organisme

seperti Penyu dan Ikan Duyung. Selain itu, lamun juga berperan penting dalam menstabilkan dan menahan arus laut serta sedimen yang terbawa oleh gelombang laut. Peran penting lainnya adalah, sebagai salah satu produsen di laut, lamun juga turut berperan penting dalam menyerap dan menyimpan karbon (*blue carbon stock*) (Rustam *et al.*, 2014).

Kerusakan ekosistem padang lamun disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor pertama adalah sedimentasi yang berlebihan. Sedimentasi yang merusak lamun dapat disebabkan oleh pembukaan lahan yang berlebihan di darat, dan hancurnya ekosistem mangrove. Ketiadaan ekosistem mangrove membuat sedimen yang terbawa dari darat langsung masuk ke laut. Sehingga, kekeruhan air akan cepat meningkat dan ini sangat menghambat proses fotosintesis di padang lamun. Lambat laun, lamun akan melampaui ambang batas toleransinya, dan kemudian mati.

Kerusakan lain yang dapat terjadi adalah adanya aktivitas reklamasi yang tidak tepat. Area laut dangkal yang memiliki luasan padang lamun yang luas akan ditimbun untuk membuat area daratan yang baru. Aktivitas ini dengan serentak akan menghilangkan ekosistem lamun.

Faktor-faktor lain yang menjadi penentu kerusakan ekosistem lamun adalah: limbah rumah tangga, limbah industri, limbah pertanian dan sebagainya yang langsung dibuang ke laut; pencemaran sampah plastik; penangkapan ikan dengan alat-alat yang tidak tepat; *over fishing*; eutrofikasi; hingga aktivitas pariwisata atau rekreasi yang berlebihan dan tidak terkontrol (Tangke, 2010; Prayitno, 2017; Syukur, Wardiatno and Muchsin, 2017).

12.2.3 Terumbu Karang

Ekosistem terumbu karang merupakan ekosistem yang sangat rentan terhadap degradasi. Berdasarkan bahan pembentuknya, maka terumbu karang memiliki kadar kalsium karbonat yang tinggi (Kordi, 2010). Terumbu karang dikategorikan sebagai hewan karang yang bersimbiosis dengan zooxanthela (Zooxanthellae). Zooxanthela adalah jenis mikroalga yang berasosiasi dan hidup bersama terumbu karang. Zooxanthela bersimbiosis dengan hewan karang dengan cara hidup di dalam jaringan karang. Hewan karang menyuplai karbon dioksida bagi zooxanthela untuk melakukan fotosintesis. Hasil fotosintesis dari zooxanthela menghasilkan nutrisi dan suplai oksigen yang cukup bagi seluruh organisme disekitarnya. Kondisi ini membuat area terumbu karang selalu menjadi habitat hidup yang cocok bagi berbagai biota laut lainnya.

Terumbu karang di Indonesia memiliki luas yang lebih dari 280 ribu km persegi, dengan perkiraan jumlah jenis karang adalah 590 jenis (Mulyono, Firdaus and Alka, 2018). Ekosistem terumbu karang bukan hanya sebagai tempat hidup berbagai jenis biota laut, namun juga berfungsi sebagai peredam gelombang laut; melindungi pantai dari abrasi; serta merupakan area ekosistem penting yang menyuplai bahan baku makanan, kosmetik, obat-obatan, dan berbagai macam hal lainnya (Kordi, 2010; Mulyono, Firdaus and Alka, 2018).

Ancaman bagi ekosistem terumbu karang bersumber dari berbagai hal. Secara global, tren degradasi terumbu karang diakibatkan oleh naiknya suhu permukaan air laut sehingga terjadinya pemutihan karang (*coral bleaching*) (Rumambi, 2022). Jika terjadi peningkatan atau penurunan suhu permukaan air laut yang diatas atau dibawah suhu

ideal yang dibutuhkan terumbu karang, maka hewan karang akan mengalami stres. Stres yang dialami karang, akan memicu zooxanthela dan organisme-organisme lain yang hidup bersimbiosis dengan karang juga mengalami stres, dan pada akhirnya berbagai organisme akan meninggalkan karang atau ada juga yang turut mati. Dalam kondisi yang demikian, zooxanthela bahkan tidak akan mampu melakukan fotosintesis, sehingga tidak akan ada asupan nutrisi dan oksigen ke perairan. Ketika organisme-organisme tersebut mati atau dengan terpaksa harus keluar dari karang, maka warna karang akan memudar hingga menjadi putih, dan akhirnya mati.

Selain *coral bleaching*, ancaman lain yang dialami ekosistem terumbu karang adalah aktivitas manusia yang menangkap ikan menggunakan bom atau alat tangkap lainnya yang dapat merusak karang dan spesies lain yang hidup disekitarnya; sedimentasi; sampah plastik; pencemaran berbagai limbah, dan lain sebagainya.

12.2.4 Laut Dalam

Pada poin-poin sebelumnya terlihat jelas bahwa ketersediaan ikan beserta organisme nekton lain, alga (rumput laut/*sea weed*), bentos dan berbagai biota laut lainnya sangat bergantung pada keberlangsungan tiga ekosistem penting yaitu mangrove, lamun dan terumbu karang. Tiga ekosistem tersebut berperan penting sebagai habitat hidup bagi sebagian besar biota laut. Namun, tiga ekosistem tersebut merupakan ekosistem di laut dangkal, bagaimana dengan sumber daya hayati di laut dalam.

Area laut yang disebut laut dalam adalah area yang berada dibawah zona eufotik (zona bercahaya), dimana penetrasi cahaya sulit untuk menembusi zona ini, dan

umumnya lebih dalam dari 200 meter (Nybakken, 1992; Nontji, 1993). Laut dalam masih menyimpan banyak misteri untuk diteliti. Organisme-organisme yang hidup di laut dalam umumnya adalah ikan-ikan dan organisme nekton lain yang berukuran besar. Sumber makanan di laut dalam bukan berasal dari proses fotosintesis, melainkan dari zooplankton, detritus dan organisme-organisme kecil lainnya yang akan dikonsumsi oleh organisme-organisme yang lebih besar.

Terkait degradasi SDHL di laut dalam, maka ancaman degradasi SDHL yang terjadi di laut dalam bersumber dari beberapa faktor yaitu: perubahan iklim, *over fishing*, penambangan di dasar laut, mikroplastik dan pencemaran logam berat. Tidak ada bagian bumi yang tidak terkena dampak dari perubahan iklim. Perubahan iklim juga berdampak nyata bagi ekosistem laut dalam. Salah satu dinamika yang terjadi adalah hipoksia. Hipoksia adalah kondisi kehilangan oksigen atau kadar oksigen yang rendah. Ketika terjadi peningkatan suhu, maka kadar oksigen akan menurun, namun organisme akan membutuhkan asupan oksigen yang lebih banyak untuk beradaptasi dengan perubahan temperatur (Abel, 2002). Ini adalah kondisi yang tidak seimbang, sehingga kemampuan bertahan hidup organisme sangat dibutuhkan di kondisi ini. Organisme dapat melakukan berbagai bentuk adaptasi secara fisiologis maupun morfologis agar dapat bertahan hidup, sedangkan organisme yang kalah bersaing dalam memperoleh oksigen dan tidak dapat beradaptasi, sudah pasti tidak akan bertahan.

Penangkapan ikan yang berlebihan di laut dalam adalah masalah global yang terjadi di berbagai zona area penangkapan ikan. Kapal-kapal penangkap ikan kini semakin berkembang dengan teknologi yang canggih dan

dengan daya tangkap yang lebih besar. Dengan demikian, akses ke area laut yang lebih dalam menjadi tidak terlalu sulit. Aktivitas ini berdampak pada penyusutan populasi ikan-ikan besar yang semakin cepat (Atmaja, Sadhotomo and Nugroho, 2017). Kecepatan penyusutan populasi ikan pun tidak sebanding dengan lamanya waktu dan siklus reproduksi ikan (Atmaja, Sadhotomo and Nugroho, 2017). Selain ikan, jenis cumi-cumi dan udang yang hidup di antara zona laut dalam dan zona permukaan juga menjadi incaran para nelayan. Tak heran, maka volume penangkapan jenis biota lain selain ikan juga meningkat. Masalahnya adalah, hewan-hewan ini bukan hanya sebagai makanan bagi ikan-ikan besar, namun juga merupakan agen pembawa karbon dari permukaan ke area laut dalam. Aktivitas ini sangat membantu distribusi dan kemampuan penyerapan karbon oleh laut. Namun, sejak hewan-hewan ini juga menjadi incaran objek penangkapan yang masif, maka ini juga sekaligus mendegradasi kemampuan laut menyerap karbon.

Aktivitas pengeboran minyak dan berbagai jenis penambangan mineral di dasar laut juga menjadi salah satu faktor penentu degradasi laut dalam. Masalahnya terletak pada batas pengetahuan kita akan kondisi organisme dan habitat laut dalam. Tidak semua biota laut dalam dan kontur bentik laut dalam telah terpetakan. Kondisi ini membuat akan sulitnya menelaah organisme-organisme apa saja yang terkena imbas dari pengeboran di laut. Selain itu, proses membawa mineral dari dasar laut dalam ke permukaan juga memiliki resiko yang sangat besar jika terjadi kesalahan dalam pengoperasian sistemnya.

Ancaman berikutnya adalah fakta yang sangat terkait dengan prinsip akumulasi melalui rantai dan jaring-jaring makanan. Dampak akumulasi mikroplastik dan logam

berat pada ikan-ikan besar dan jenis-jenis biota laut lain penghuni laut dalam sangat terbukti dan sudah sering ditemui (Chiu and Mok, 2011; Cunningham *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2020). Bahkan, bukan hanya terakumulasi parah pada biota-biota laut di tingkat trofik atas, namun pada ekosistem laut dangkal di tingkat trofik bawah dan menengah juga telah terjadi akumulasi yang tinggi (Chiu and Mok, 2011). Organisme-organisme bentik pun juga terakumulasi dengan kadar logam berat yang tinggi, dan ini tentu saja berpengaruh langsung pada tercemarnya sedimen perairan. Ini semua dapat terjadi dikarenakan masukan pencemar plastik dan logam berat yang berlebihan dan terus menerus masuk ke perairan. Pencemar-pencemar ini belum dapat terurai seluruhnya, sehingga pada akhirnya terakumulasi di dalam tubuh biota-biota laut.

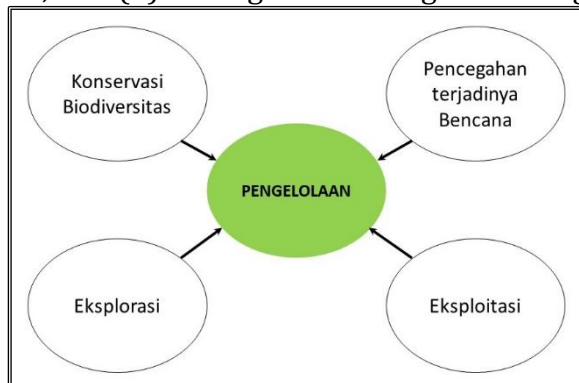
12.3 Strategi Pengelolaan SDHL

Berdasarkan berbagai ancaman yang dihadapi oleh masing-masing ekosistem di laut dangkal maupun di ekosistem laut dalam, maka strategi pengelolaannya harus diawali dengan upaya untuk mengurangi tekanan antropogenik dalam skala lokal. Hal ini sangat penting, karena laut adalah satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan oleh batasan administrasi. Suatu wilayah dapat menerima imbas akibat dampak kerusakan yang dilakukan oleh wilayah lain. Oleh karena itu, masyarakat di skala lokal perlu meningkatkan ketahanannya dengan tidak turut memberi tekanan antropogenik berlebihan bagi ekosistem laut dangkal dan laut dalam yang ada disekitarnya. Upaya ini dapat membantu mengoptimalkan daya pulih ekosistem.

Selanjutnya, strategi pengelolaan Sumber Daya Hayati Laut (SDHL) tidak cukup ditinjau dari segi eksplorasi dan

eksploitasi saja. Faktor konservasi biodiversitas dan faktor pencegahan kerusakan area perairan yang mengarah pada semakin rentannya suatu wilayah terhadap bencana, juga harus dimasukkan sebagai bagian dari perumusan strategi pengelolaan (Gambar 13.1). Konservasi biodiversitas menjadi sangat vital, karena itulah modal dasar suatu negara dalam ketahanan nasional. Biodiversitas atau keanekaragaman hayati sangat terkait dengan pemenuhan kebutuhan primer masyarakat. Sedangkan, fungsi ekologis ekosistem sebagai penjaga pantai, pencegah abrasi, pemecah ombak, dan hal terkait lainnya merupakan suatu nilai ekologis yang sangat berharga dalam ketahanan menghadapi bencana serta meminimalisasi resiko dan kerentanan bencana. Maka, kedua faktor tersebut menjadi poin-poin krusial yang harus digunakan dalam merumuskan strategi pengelolaan SDHL (Gambar 13.1).

Selain hal tersebut, cakupan strategi pengelolaan dapat dibagi menjadi dua cakupan, yaitu: (1) strategi di skala lokal dan nasional; dan (2) strategi di skala regional dan global.



Gambar 12.1. Faktor-Faktor Perumusan Pengelolaan SDHL
(sumber: hasil analisis)

12.3.1 Strategi di Skala Lokal dan Nasional

Masyarakat di skala lokal adalah basis dasar dalam pengelolaan SDHL. Upaya-upaya di tingkat lokal dan nasional adalah aksi yang sangat esensial untuk mengelola SDHL secara berkelanjutan. Beberapa contoh strategi dan aksi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

(1) Penguatan Kesadaran Masyarakat Lokal

Tidak dapat dipungkiri bahwa dengan peningkatan populasi manusia Indonesia dari tahun ke tahun, maka eksploitasi sumber daya alam juga semakin masif. Adalah hal yang lumrah bagi masyarakat untuk berusaha memenuhi kebutuhan hidupnya, namun tindakan-tindakan eksploitasi yang tidak memperhatikan keberlangsungan sumber daya alam, akan menyengsarakan masyarakat dan generasi di masa depan. Untuk itu, pola pikir masyarakat perlu diarahkan lagi ke prinsip keberlanjutan sumber daya alam. Jika masyarakat ingin terus dapat makan ikan, maka habitatnya juga harus dijaga. Mengubah pola pikir memang hal yang sulit (Najmi *et al.*, 2020), namun hal ini dapat dimulai dengan langkah-langkah praktis yang sederhana melalui berbagai aksi pemberdayaan masyarakat.

Masyarakat perlu dilibatkan secara aktif sehingga dapat tumbuh rasa tanggung jawab dan rasa memiliki untuk menjaga SDHL (Najmi *et al.*, 2020). Disamping itu, masyarakat perlu juga diarahkan dan didukung bahkan difasilitasi dengan program-program pemerintah yang terkait, serta pelibatan para akademisi untuk mengedukasi masyarakat (Agunggunanto and Darwanto, 2017; Najmi *et al.*, 2020). Hal penting lainnya adalah, aksi-aksi lokal akan lebih efektif jika dimulai atau dipelopori oleh

kelompok-kelompok kecil di masyarakat (Agunggunanto and Darwanto, 2017). Kelompok-kelompok kecil ini akan menjadi motor penggerak bagi masyarakat setempat.

(2) Mengembangkan Nilai Tambah Sumber Daya Alam

Dalam upaya meningkatkan nilai tambah SDHL maka contoh nyata dapat dilihat dari hutan mangrove. Hutan mangrove memiliki banyak potensi yang lebih bernilai dibandingkan hanya sekedar alih fungsi lahan mangrove dan pemanfaatan kayunya (Agunggunanto and Darwanto, 2017). Masyarakat perlu diarahkan untuk lebih memanfaatkan bagian-bagian lain dari mangrove, sehingga tidak gampang bagi masyarakat untuk menebang pohon mangrove atau pun melakukan alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak, dan fungsi-fungsi lahan lainnya. Dalam hal ini, peran hasil-hasil riset dari universitas dan lembaga-lembaga riset akan sangat membantu masyarakat untuk mengembangkan nilai tambah SDHL. Hal yang sama juga dapat dilakukan untuk ekosistem lamun dan terumbu karang.

(3) Penguatan Peran dan Posisi Kearifan Lokal

Pada beberapa daerah di Indonesia, kearifan lokal terkait pengelolaan SDHL yang berkelanjutan telah terbangun sejak lama (Najmi *et al.*, 2020; Pramudianto *et al.*, 2022). Tantangan saat ini adalah, sampai sejauh mana kearifan lokal dapat bertahan, dan apakah pengetahuan itu diwariskan secara informatif dan efektif antar generasi. Ini adalah kunci utama untuk terus melestarikan kearifan lokal. Jika tradisi-tradisi dalam kearifan lokal dapat terus bertahan, maka ini akan menjadi salah satu instrumen yang kuat

yang dapat dijalankan secara berkelanjutan (Pramudianto *et al.*, 2022).

(4) Pengawasan dan Sanksi Hukum

Alih fungsi lahan mangrove dan penebangan yang dilakukan di areal hutan mangrove adalah suatu fakta yang terjadi di berbagai daerah di Indonesia. Padahal, Indonesia telah memiliki instrumen-instrumen hukum untuk mengawasi dan memberi sanksi terkait penyimpangan dalam aktivitas pengelolaan SDHL. Beberapa contoh instrumen hukum tersebut adalah: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Kehutanan; Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2021 tentang Tata Hutan Dan Penyusunan Rencana Pengelolaan Hutan, Serta Pemanfaatan Hutan Di Hutan Lindung Dan Hutan Produksi; Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan; Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan; Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 1985 tentang Perlindungan Hutan; Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2007 tentang Konservasi Sumber Daya Ikan; Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2009 tentang Perikanan; dan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil; serta masih banyak instrumen-instrumen lainnya.

Instrumen-instrumen hukum yang dimiliki Indonesia sudah mumpuni untuk menjalankan fungsinya dalam menjaga pengelolaan SDHL. Namun,

yang menjadi kunci adalah bukan sekedar keberadaan instrumen hukum, namun juga pelaksanaan instrumen hukum dan ketaatan terhadapnya. Inilah yang menjadi kendala berkepanjangan bagi upaya-upaya pengelolaan SDHL berkelanjutan. Hal ini dikarenakan, instrumen hukum adalah suatu sarana yang memberi nilai dayaguna (Wattimena, 2021), dan oleh karenanya harus dilaksanakan dan ditaati oleh penggunanya. Karena setajam apapun suatu instrumen hukum, tidak akan memiliki dayaguna jika yang menggunakannya tidak dapat menaatinya (Wattimena, 2021).

12.3.2 Strategi di Skala Regional dan Global

Seperti yang ditegaskan sebelumnya bahwa pengelolaan laut adalah pengelolaan yang bersifat kesatuan yang tidak bisa dibatasi oleh batas administratif. Untuk itu, strategi pengelolaan SDHL di tingkat regional dan global juga tak kalah penting bagi keberlanjutan sumber daya. Hal mendasar untuk hal ini sudah dilakukan, yaitu telah tersedianya berbagai kerjasama, kesepakatan dan regulasi di tingkat regional dan global. Tantangannya adalah bagaimana mengintegrasikan dan menggunakan instrumen-instrumen internasional ini kedalam kebijakan nasional dan daerah. Hal ini menjadi sangat vital karena pengelolaan sumber daya alam mengacu pada kesatuan ekosistem, dan untuk itu sangat diperlukan adanya saling keterkaitan dalam upaya pengelolaannya.

Beberapa contoh kerjasama, kesepakatan dan regulasi di tingkat regional terkait pengelolaan SDHL adalah: *Declaration for a Decade of Coastal and Marine Environmental Protection In The South China Sea* (2017-2027); *Bangkok Declaration on Combating Marine Debris In ASEAN Region* 2019; *Agreement on The Establishment of The ASEAN Centre For Biodiversity* 2005; *ASEAN Declaration on Heritage Parks and Reserves* 1984; dan

Agreement on the Conservation of Nature and Natural Resources 1985 (Pramudianto et al., 2022). Sedangkan, beberapa contoh di tingkat global adalah: *Coral Reef Triangle Initiative*; *Stockholm Declaration* (1972); *Agenda 21* (*United Nations Conference on Environment & Development*, Rio de Janeiro, 1992); *Johannesburg Declaration* (2002); *United Nations Conference on Sustainable Development*, Rio+20 (Rio de Janeiro, 2012); *SDGs* (2015); *Ramsar Convention* (1971); *World Heritage* (1972); *Convention for International Trade in Endangered Species/CITES* (1973); *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)* 1982; *United Nations Convention on Biological Diversity (UNCBD)* 1992; dan *Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals* (1990) (Pramudianto et al., 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, P.D. 2002. *Water Pollution Biology*. CRC Press.
- Agunggunanto, E.Y. and Darwanto, D. 2017. Penguatan Ekosistem Mangrove Untuk Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Pesisir. *Eko-Regional: Jurnal Pembangunan Ekonomi Wilayah*, 11(1).
- Ardli, E.R. and Wolff, M. 2005. Spatial and Temporal Dynamics of Mangrove Conversion at The Segara Anakan Cilacap Indonesia. *A Trophic Flow Model of The Segara Anakan lagoon Cilacap Indonesia* [Preprint].
- Atmaja, S.B., Sadhotomo, B. and Nugroho, D. 2017. Overfishing pada perikanan pukat cincin semi industri di Laut Jawa dan Implikasi Pengelolaannya. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 3(1), pp. 51–60.
- Chiu, K.-H. and Mok, H.-K. 2011. Study on the accumulation of heavy metals in shallow-water and deep-sea hagfishes. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 60(4), pp. 643–653.
- Cunningham, E.M. *et al.* 2020. High abundances of microplastic pollution in deep-sea sediments: evidence from Antarctica and the Southern Ocean. *Environmental Science & Technology*, 54(21), pp. 13661–13671.
- Ilman, M., Wibisono, I.T.C. and Suryadiputra, I.N.N. 2011. State of the art information on mangrove ecosystems in Indonesia. *Wetlands International-Indonesia Programme*, Bogor, 19.
- Kordi, K.M.G.H. 2010. *Ekosistem Terumbu Karang*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Mulyono, M., Firdaus, R. and Alka, C.M.N. 2018. *Sumberdaya Hayati Laut Indonesia: Sebuah Pengantar Sumber daya hayati laut Indonesia*. STP Press.

- Murdiyarso, D. *et al.* 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature climate change*, 5(12), pp. 1089–1092.
- Najmi, N. *et al.* 2020. Peran Masyarakat Pesisir Terhadap Pengelolaan Terumbu Karang Di Kawasan Konservasi Perairan Pesisir Timur Pulau Weh. *Jurnal Perikanan Tropis*, 7(1), pp. 73–84.
- Nontji, A. 1993. *Laut Nusantara*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Pereira, J.M. *et al.* 2020. Microplastic in the stomachs of open-ocean and deep-sea fishes of the North-East Atlantic', *Environmental Pollution*, 265, p. 115060.
- Pramudianto, A. *et al.* 2022. The Use of Ecosystem Services Model in Sustainable Coral Reefs Management: Some Legal Reflections. *Environmental Policy and Law*, (Preprint), pp. 1–15.
- Prayitno, H.B. 2017. Asesmen Eutrofikasi Perairan Pesisir Menggunakan Metode Indeks Trofik (TRIX). *OSEANA*, 42(2), pp. 23–33.
- Pujiono, E. *et al.* 2013. RGB-NDVI color composites for monitoring the change in mangrove area at the Maubesi Nature Reserve, Indonesia. *Forest science and technology*, 9(4), pp. 171–179.
- Rumambi, F.J. 2022. *Mengatasi Kerusakan Ekosistem Terumbu Karang: Metode dan Aplikasi*. Haura Utama.
- Rustam, A. *et al.* 2014. Peran ekosistem lamun sebagai blue carbon dalam mitigasi perubahan iklim, studi kasus Tanjung Lesung, Banten. *Jurnal Segara*, 10(2), pp. 107–117.

- Schneider, S.H. 2011. Encyclopedia of climate and weather (Vol. 1). Oxford University Press.
- Syukur, A., Wardiatno, Y. and Muchsin, I. 2017. Kerusakan lamun (seagrass) dan rumusan konservasinya di tanjung luar Lombok Timur. *Jurnal Biologi Tropis*, pp. 69–80.
- Tangke, U. 2010. Ekosistem padang lamun (manfaat, fungsi dan rehabilitasi). *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 3(1), pp. 9–29.
- Tolba, M.K. 1992. *Saving our planet: challenges and hopes*. Springer Science & Business Media.
- Wattimena, R.M. 2021. Perlindungan Hukum Terhadap Hutan Mangrove Pada Areal Pesisir Pantai. *Balobe Law Journal*, 1(2), pp. 109–118.

BAB 13

ANALISIS KADAR PENCEMARAN LOGAM BERAT (PB, CU)

Oleh Eva Pratiwi Pane

13.1 Pengertian Logam Berat

Logam adalah zat dengan konduktivitas tinggi listrik, kelenturan, dan kilau, yang secara sukarela kehilangan trons pemilu mereka untuk membentuk kation. Distribusi logam di atmosfer dipantau oleh sifat dari logam yang diberikan dan oleh berbagai faktor lingkungan. Logam berat tergolong kriteria yang sama dengan logam lainnya. Hal yang membedakan adalah pengaruh yang dihasilkan saat logam berat berikatan dan atau masuk ke dalam organisme hidup. Contoh ketika unsur logam besi atau Fe masuk ke dalam tubuh, walaupun dengan kadar berlebihan, seringkali tidak menimbulkan dampak negatif bagi tubuh. Karena sejatinya unsur besi (Fe) diperlukan dalam darah untuk mengikat oksigen. Lain hal dengan unsur logam berat, baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga atau Cu, bila masuk kedalam tubuh dengan kadar yang berlebih akan menimbulkan dampak negatif terhadap fungsi fisiologi tubuh. Ketika unsur logam berat beracun seperti hidragyrum (Hg).

Logam berat umumnya disebut sebagai orang logam yang memiliki kepadatan spesifik lebih dari 5 g/cm³ dan mempengaruhi lingkungan dan organisme hidup. Logam ini

klasik untuk mempertahankan berbagai biokimia dan fungsi fisiologis dalam organisme hidup ketika dalam konsentrasi yang sangat rendah, namun mereka menjadi berbahaya ketika mereka melebihi ambang batas konsentrasi yang tertentu. Meskipun diakui bahwa logam berat memiliki banyak efek yang merugikan kesehatan dan terakhir untuk jangka waktu yang panjang, paparan logam berat terus dan meningkat di banyak bagian dunia. Logam berat adalah polutan lingkungan yang signifikan dan toksisitas mereka adalah masalah peningkatan signifikansi untuk alasan ekologi, evolusi, gizi dan lingkungan. Sifat logam berat yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia adalah:

1. Logam berat sulit didegradasi, sehingga cenderung akan terakumulasi pada lingkungan
2. Logam berat dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dan konsentrasi dapat semakin tinggi, atau dapat mengalami bioakumulasi dan biomagnifikasi
3. Logam berat mudah terakumulasi pada sedimen, sehingga konsentrasi selalu lebih tinggi daripada konsentrasi logam dalam air

Sumber pencemaran logam berat terbagi menjadi dua sumber yaitu sumber alami dan sumber buatan. Sumber alami cirinya :

1. Berasal dari daerah pantai (coastal supply), yang bersumber dari sungai, abrasi oleh aktivitas gelombang
2. Berasal dari logam yang dibebaskan aktivitas gunung berapi dan logam yang dibebaskan proses kimiawi
3. Berasal dari lingkungan daratan dan dekat pantai, termasuk logam yang dibawa oleh ikan dari atmosfer berupa partikel debu.

Sumber buatan berupa logam-logam berat yang dibebaskan oleh proses industri atau kegiatan pertambangan. Beberapa jenis logam yang termasuk kategori logam berat sebagai berikut: Aluminium (Al), Antimony (Sb), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Merkuri (Hg), Cufrum(Cu), Ferrum(Fe), Manganese (Mn), Molybdenum (Mo), Salenium (Se), Silver (Ag), Tin (Sn), Plumbum(Pb), Vanadium(V) dan Zinc (Zn). Logam berat seperti; Merkuri (Hg), Cadmium (Cd), Plumbum (Pb), Chromium (Cr), Cufrum (Cu), Cobalt (Co) sangat berbahaya bila kadar yang terlarut dalam tubuh manusia cukup tinggi atau melebihi ambang batasbaku. Logam-logamberat tersebut bersifat sangat toksik yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui beberapa cara yaitu makanan, pernafasan dan penetrasi.

13.2 Toksisitas Logam Berat

Logam berat adalah bahan pencemar yang tidak dapat di-degradasi atau dihancurkan, sehingga akan terakumulasi di alam dan di dalam tubuh organisme. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi toksisitas setiap jenis logam berat, antara lain: bentuk senyawa, daya kelarutan logam berat di dalam cairan, ukuran partikel dan beberapa sifat kimia dan fisika lainnya. Mekanisme toksisitas logam berat di dalam tubuh organisme dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu:

1. Logam berat dapat memblokir dan menghalangi kerja gugus biomolekul esensial untuk proses-proses metabolisme
2. Logam berat dapat menggantikan ion-ion logam eensial yang terdapat dalam molekul terkait

3. Logam berat dapat mengadakan modifikasi atau perubahan bentuk (konformasi) dari gugus aktif yang dimiliki biomolekul.

Klasifikasi toksisitas dapat digolongkan menjadi:

1. Berdasar durasi waktu timbulnya efek Toksisitas dikelompokkan menjadi: toksisitas akut sifatnya mendadak, waktu singkat, efeknya reversibel, serta kronis, durasi lama, konstan serta terus menerus, efeknya permanen atau irreversibel.
2. Berdasar tempat bahan kimia (toksikan) tersebut berefek: yaitu toksikan lokal (efek terjadi pada tempat aplikasi atau exposure, di antara toksikan dan sistem biologis) dan toksisitas sistemik (toksikan diabsorpsi ke dalam tubuh dan di distribusi melalui aliran darah dan mencapai organ di mana akan terjadi efek).
3. Berdasar respons yang terjadi dan organ di mana bahan kimia tersebut mempunyai efek toksisitas dibedakan : hepatotoksin, nefrotoksin, neurotoksin, imunotoksin, teratogenik karsinogenik serta allergen sensitizers atau bahan kimia/fisika yang bisa merangsang timbulnya reaksi alergi, karsinogenik.

Persyaratan logam berat dalam pangan sebagai berikut:

1. Produk pangan yang di produksi, diimpor dan diedarkan di wilayah Indonesia harus memenuhi persyaratan keamanan, mutu dan gizi pangan termasuk persyaratan batas maksimum cemaran logam berat.
2. Jenis cemaran logam berat dalam pangan adalah arsen (As), cadmium (Cd), merkuri (Hg), timah (Sn) dan timbal (Pb).
3. Cemaran logam berat telah dikaji keamanannya.

4. Batas maksimum logam berat pada pangan dihitung sebagai total kandungan masing-masing logam berat.

13.3 Jenis Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal tersebar di alam dalam jumlah yang sangat sedikit. Penyebaran logam ini diseluruh lapisan bumi hanya sekitar 0,0002% dari kerak bumi. Timbal dapat berbentuk logam murni maupun senyawa inorganik dan organik. Dalam bentuk apapun logam ini memiliki dampak toksisitas yang sama bagi makhluk hidup.

Timbal sifatnya lunak dan berwarna cokelat kehitaman, serta mudah dimurnikan dari pertambangan. Senyawa ini banyak ditemukan dalam pertambangan seluruh dunia. Logam ini bertitik lebur rendah, mudah dibentuk, mempunyai sifat kimia yang aktif, sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan. Bila dicampur dengan logam lain, membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya, mempunyai kepadatan melebihi logam lain. Kegiatan manusia seperti pertambangan, manufaktur dan pembakaran bahan bakar fosil telah mengakibatkan akumulasi timbal dan senyawanya di lingkungan, termasuk udara, air dan tanah. Timbal digunakan untuk produksi baterai, kosmetik, produk logam seperti amunisi, solder dan pipa, dll. Sifat toksik dari Pb memberikan efek klinis, seperti:

1. Pada saluran cerna terjadi kolik usus disertai konstipasi berat pada system hematopoietik menghambat aktivitas enzim α -aminolevulinat dehidratase (ALAD) dalam eritroblas sumsum tulang dan eritrosit, sehingga memperpendek umur sel darah merah.
2. Efek pada sistem syaraf (organ yang paling sensitif), keracunan Pb dapat mengakibatkan epilepsi, halusinasi, dilerium, dan kerusakan otak besar.

3. Pada ginjal dan urinaria terjadinya kerusakan ginjal oleh adanya gagal ginjal.
4. Pada sistem reproduksi terjadi penurunan kemampuan reproduksi.
5. Pada jantung pada anak-anak ditemukan ketidaknormalan fungsi jantung.
6. Pada sistem indokrin mengakibatkan kekurangan iodium.

Timbal sangat beracun dan karenanya penggunaannya dalam berbagai produk, seperti cat, bensin, dll, telah sangat berkurang saat ini. Sumber utama paparan timbal adalah cat memimpin berbasis, bensin, kosmetik, mainan, debu rumah tangga, tanah yang terkontaminasi, emisi industri. Keracunan timbal yang disebabkan oleh pekerjaan dapat terjadi dalam industri baterai, cat, percetakan, pembuatan tembikar, dan proses peleburan timbal.

Paparan timbal dapat terjadi selama proses pembuatan tangki, pemasangan pipa, dan peralatan lain yang membawa gas dan cairan yang bersifat korosif superkonduktor, teknologi serat optik, selama magnetic resonance imaging (MRI) obat-obatan nuclear. Tanpa disadari, timbal dapat mengontaminasi tubuh melalui udara tercemar, timbal yang terhirup, berkontak dengan kulit, makanan dan minuman yang tercemar, serta benda-benda mengandung timbal yang tertelan.

Efek keracunan timbal secara akut dan subakut sangat khas, berkaitan dengan paparan dosis yang relatif tinggi, waktu paparan yang relatif singkat, baik dalam hitungan hari atau bulan. Efek keracunan timbal secara akut juga dapat terjadi secara dramatis, kematian yang tiba-tiba, kram perut yang parah, anemia, perubahan perilaku, dan kehilangan nafsu makan. Pada kejadian keracunan timbal, tidak semua efek yang telah dipaparkan muncul secara lengkap, tetapi hanya sebagian efek saja yang teramati dengan jelas.

13.4 Karakteristik Logam Berat

Berdasarkan daya hantar panas dan listrik, semua unsur kimia yang terdapat dalam susunan berkala unsur-unsur dapat dibagi atas dua golongan yaitu logam dan non logam. Golongan logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi, sedangkan golongan non logam mempunyai daya hantar listrik yang rendah. Berdasarkan densitasnya, golongan logam dibagi atas dua golongan, yaitu golongan logam ringan dan logam berat. Golongan logam ringan (light metals) mempunyai densitas 5. Karakteristik logam berat sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar (>4).
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktanida.
3. Mempunyai respon biokimia yang spesifik pada organisme hidup.

Namun sebagian dari logam berat tersebut memang dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup dalam jumlah tertentu (sedikit), yang juga apabila tidak terpenuhi akan berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari makhluk hidup tersebut. Salah satu polutan yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia adalah logam berat. WHO (World Health Organisation) dan FAO (Food Agriculture Organisation) merekomendasikan untuk tidak mengkonsumsi makanan laut (seafood) yang tercemar logam berat.

13.5 Sifat dan Karakteristik Timbal (Pb)

Selain dalam bentuk logam murni, timbal dapat ditemukan dalam bentuk senyawa inorganik dan organik.

Tabel 13.1 Bentuk Persenyawaan Pb dan Kegunaannya

Bentuk Persenyawaan	Kegunaan
Pb – Sn	Kabel telepon
Pb + As + Sm + Bi	Kabel listrik
Pb + Ni	Senyawa azida untuk bahan peledak
Pb + Cr + Mo + Ce	Untuk pewarnaan pada cat
Pb – Asetat	Pengkilap keramik dan bahan anti api
Pb + te	Pembangkit listrik tenaga panas
$(\text{CH}_3)_4 \text{Pb}$ – Tetramil Pb}	Additive untuk kendaraan bermotor
$(\text{C}_2\text{H}_5)_4 \text{Pb}$ – Tetramil Pb	

Limbah dari industri-industri di atas mengandung Pb. Sedang bahan additive yang biasa dimasukkan ke dalam bahan bakar kendaraan bermotor pada umumnya terdiri dari 62% tertracil Pb, atau timbal tertracil sebagai anti knocking. Setelah pembakaran akan keluar sebagai senyawa PbCl_2 atau PbBr_2 .

13.6 Reaksi Logam Berat Dalam Lingkungan Air

Logam berat merupakan zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Terdapat kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia. Kegiatan industri yang intensif dan aktivitas manusia dalam kegiatan pertambangan, industri penggilingan dan industri manufaktur telah mengakibatkan pelepasan limbah logam berat ke lingkungan.

Pada kadar yang tinggi logam berat dapat mengakibatkan kematian berbagai jenis biota perairan. Dalam kadar yang rendah logam berat juga dapat mengakibatkan kematian

makhluk hidup, namun dengan proses akumulasi terlebih dahulu didalam tubuh biota yang terpapar logam berat tersebut. Aadaanya peningkatan kadar yang melebihi ambang batas logam berat didalam air dapat bersifat toksik bagi organisme. Disamping bersifat toksik, logam berat juga akan terakumulasi dalam sedimen dan biota melalui proses gravitasi, biokonsentrasi, bioakumulasi dan biomagnifikasi.

13.6.1 Kadar Logam Berat Dalam Lingkungan Air

Kadar logam berat dapat meningkat jika terjadi peningkatan limbah yang mengandung logam berat masuk ke dalam laut. Limbah ini dapat berasal dari aktivitas manusia di laut yang berasal dari pembuangan sampah kapal-kapal, penambangan logam di laut dan lain-lain dan yang berasal dari darat seperti limbah perkotaan, pertambangan, pertanian dan perindustrian. Kadar normal dan maksimum logam berat yang masuk ke lingkungan laut dapat di lihat pada Tabel 14.2 di bawah ini.

Tabel 13.2 Kadar Normal dan Maksimum Logam Berat yang Masuk ke Lingkungan Laut

Unsur	Kadar (ppm)	
	Normal(A)	Maksimum (B)
Kadmium(Cd)	0,00011	0,01
Timbal(Pb)	0,00003	0,01
Tembaga(Cu)	0,002	0,05

13.6.2 Sumber Logam Berat dalam Lingkungan Air

Secara alamiah masuknya logam berat kedalam muara dapat melalui berbagai cara yaitu:

1. Aliran dari daerah hulu sungai akibat erosi yang disebabkan oleh gerakan gelombang air.
2. Aliran dari laut-dalam yang termasuk logam didalamnya yang dilepaskan gunung berapi di laut-dalam, serta dari partikel atau endapan akibat proses kimiawi
3. Aliran yang berasal dari lingkungan sekitar muara. Termasuk logam yang diangkat kedalam atmosfer sebagai partikel debu.

Dalam perairan, logam ditemukan dalam bentuk:

1. Terlarut, yaitu ion logam bebas air dan logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik.
2. Tidak terlarut, terdiri dari partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kompleks metal yang terabsorpsi pada zat tersuspensi.

13.6.3 Proses Perjalanan Logam Berat dalam Lingkungan Air

Ada dua hal yang menjadi penyebab logam berat dapat menjadi sumber pencemaran yang berbahaya. Pertama karena keberadaan logam berat tersebut tidak dapat dihancurkan oleh mikroorganisme yang hidup di lingkungan itu, dan kedua logam ini terakumulasi dalam komponen-komponen lingkungan, terutama air yang akan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi.

Pengolahan dan penghilangan logam berat dari perairan sangat diperlukan. Contoh proses pengambilan logam berat yang telah ada diantaranya adalah penanaman vegetasi mangrove: merupakan salah satu langkah efektif dalam menurunkan kadar toksisitas logam berat. Mekanisme dari metode ini dilakukan dengan cara ameliorasi dan toleransi.

Ameliorasi adalah meminimumkan pengaruh toksin yang bisa dilakukan dengan melokalisasi toksin pada organ tertentu, sedangkan toleransi yaitu dilakukan pengembangan sistem metabolik pada vegetasi mangrove yang dapat berefek pada konsentrasi toksik. Disamping itu, tumbuhan mangrove sendiri berperan dalam mengurangi pencemaran dengan menjadi pendukung kehidupan mikroorganisme pengurai limbah. Logam berat dalam perairan dapat dipindahkan dari badan air melalui proses absorpsi oleh biota air, baik itu secara langsung maupun tidak langsung melalui rantai makanan.

13.6.4 Indikator Pencemaran Logam Berat dalam Lingkungan Air

Salah satu bioindikator pencemaran di lingkungan perairan adalah analisis kandungan logam berat yang terakumulasi di dalam biota air di perairan tersebut. Biota yang dapat digunakan sebagai indikator adalah ikan dan kerang. Karena sifat alamiahnya yang menetap di habitat tertentu kerang dapat digunakan sebagai indikator yang baik dalam memonitor suatu pencemaran lingkungan. Apabila didapatkan kandungan logam yang tinggi pada ikan dan kerang yang melebihi ambang batas normal disuatu perairan, hal ini dapat dikatakan telah terjadi pencemaran disana. Kadar dari logam berat yang terserap dan terdistribusi pada ikan dan kerang tergantung pada bentuk senyawa dan konsentrasi polutan.

Apabila konsentrasi logam berat tinggi dalam air, ada kecenderungan konsentrasi logam berat tersebut tinggi dalam sedimen, dan akumulasi logam berat dalam tubuh hewan demersal semakin tinggi. Bila tingkat pencemaran air / COD (chemical oxygen demand) perairan relatif tinggi, ada kecenderungan kandungan logam berat dalam air dan sedimen akan tinggi, karena COD menunjukkan kadar bahan organik yang bersifat non biodegradable yang umumnya bersumber

dari limbah industri. Demikian juga kadar sulfur (S) dalam sedimen juga mempengaruhi kandungan logam berat dalam sedimen, karena unsur sulfur sangat mudah berikatan dengan logam berat membentuk logam-sulfida yang mengendap di dasar perairan.

13.6.5 Pengaruh Logam Berat pada Pencemaran Laut

Gejala pencemaran laut telah berlangsung sepanjang zaman. Beberapa dasawarsa akhir ini laut mendapat tambahan zat-zat pencemar baik yang berupa limbah padat maupun berupa limbah cair, sehingga laut tidak mampu lagi melakukan purifikasi karena telah melampaui daya dukungnya. Sebagai akibatnya, laut menjadi kotor bahkan kadang sangat kotor. Kotoran tersebut tersebar merata sehingga mempengaruhi lingkungan laut tersebut. Karena faktor-faktor diatas laut berada dalam situasi dan kondisi yang dapat dikatakan sebagai keadaan tercemar. Menurut peraturan RI N0. 19 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan laut.

GESAMP (Group of Expert on the Scientific Aspect on Marine Pollution) mendefinisikan; “pencemaran laut adalah masuknya atau dimasukkannya zat atau energi oleh manusia baik secara langsung maupun tidak langsung ke lingkungan laut yang menyebabkan efek merugikan karena merusak sumber daya hayati, membahayakan kesehatan manusia, menghalangi aktifitas di laut termasuk perikanan, menurunkan mutu air laut yang digunakan serta mengurangi kenyamanan dilaut”.

Sumber pencemara laut secara umum disebabkan oleh kegiatan atau aktivitas di darat (land based pollution) maupun kegiatan di laut (sea based pollution). Diperkirakan sekitar 80% sumber pencemaran laut berasal dari aktivitas didarat seperti penebangan hutan, buangan limbah industri, limbah pertanian dan budaya, limbah cair domestik, limbah padat

serta reklamasi pantai. Sedangkan aktifitas dilaut yang berpotensi mencemari lingkungan laut adalah kegiatan transportasi pelayaran, pertambangan, eksplorasi dan eksplotasi minyak dan gas bumi.

13.7 Logam Berat Timbal (Pb) di Lingkungan Udara dan Sistem Pencemaran Udara

Pencemar udara logam berat Timbal (Pb) dihasilkan dari pembakaran yang kurang sempurna pada mesin kendaraan. Logam Pb yang mencemari udara terdapat dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk gas dan partikel-partikel. Saat ini pemerintah telah mengupayakan penghapusan Pb dalam bensin dan menggunakan bahan pengganti Tetra Etil Lead (TEL) guna menghilangkan efek buruk yang ditimbulkan oleh Pb terhadap kesehatan.

Emisi Pb ke udara dapat berupa gas atau partikel sebagai hasil samping pembakaran yang kurang sempurna dalam mesin kendaraan bermotor. Semakin kurang sempurna proses pembakaran dalam mesin kendaraan bermotor, maka semakin banyak jumlah Pb yang akan di emisikan ke udara” (Soemirat, 2005). Senyawa yang terdapat dalam kendaraan bermotor yaitu $PbBrCl$, $PbBrCl \cdot 2PbO$, $PbCl_2$, $Pb(OH)Cl$, $PbBr_2$, dan $PbCO_3 \cdot 2PbO$, diantara senyawa tersebut, $PbCO_3 \cdot PbO$ merupakan senyawa yang berbahaya bagi kesehatan.

Menurut Environment Project Agency, sekitar 25% logam berat Timbal (Pb) tetap berada dalam mesin dan 75% lainnya akan mencemari udara sebagai asap knalpot. Emisi Pb dari gas buangan tetap akan menimbulkan pencemaran udara dimanapun kendaraan itu berada, tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Sebanyak 10% akan mencemari lokasi dalam radius kurang dari 100 m, 5% akan mencemari lokasi dalam radius 20 km

2. 35% lainnya terbawa atmosfer dalam jarak yang cukup jauh. Asap kendaraan bermotor mengeluarkan logam berat diantaranya timbal. Timbal ini tetap berada di udara selama 4-40 hari, sehingga hal ini menyebabkan partikelnya dapat tersebar oleh angin hingga mencapai jarak 100-1000 km dari sumbernya. Di alam diketahui 200 jenis mineral timbal, tetapi hanya beberapa saja yang penting misalnya galena (PbS), rusit ($PbCO_3$), anglesit ($PbSO_4$). Timbal juga terbentuk bersama dengan Zn dalam batuan. WHO menetapkan batas maksimal serapan timbal oleh manusia dewasa sebesar 400 - 450 μg /hari.

13.8 Cara Penanggulangan Logam Berat

Proses pencegahan terjadinya pencemaran lebih baik daripada penanggulangan pencemaran yang telah terjadi. Usaha-usaha tersebut dapat dilakukan, diantaranya melalui menjaga air tanah agar tetap bersih misalnya :

1. Menempatkan daerah industri atau pabrik jauh dari daerah perumahan atau pemukiman
2. Pembuangan limbah industri diatur sehingga tidak mencermari lingkungan atau ekosistem
3. Pengawasan terhadap penggunaan jenis pestisida dan zat-zat kimia lain yang dapat menimbulkan pencemaran
4. Memperluas gerakan penghijauan
5. Tindakan tegas terhadap perilaku pencemaran lingkungan
6. Memberikan kesadaran terhadap masyarakat tentang arti lingkungan hidup sehingga manusia lebih lebih mencintai lingkungan hidupnya
7. Melakukan intensifikasi pertanian

Mengingat dampak bahaya yang mungkin ditimbulkan akibat pencemaran logam berat, upaya pengendalian pencemaran logam berat harus mendapat perhatian yang

serius dari pemerintah dan masyarakat. Perkembangan ilmu pengetahuan pada dasarnya telah menghasilkan berbagai teknologi yang dapat digunakan oleh manusia untuk mengendalikan pencemaran termasuk juga pencemaran logam berat.

13.8.1 Bioremoval dan Bioabsorpsi

Istilah bioabsorpsi tidak dapat dilepaskan dari istilah bioremoval karena bioabsorpsi merupakan bagian dari bioremoval. Bioremoval dapat diartikan sebagai terkonsentrasi dan terakumulasinya bahan penyebab polusi atau polutan dalam suatu perairan oleh material biologi, dan material tersebut mempunyai kemampuan untuk me-recovery polutan sehingga dapat dibuang dan ramah terhadap lingkungan.

13.8.2 Mekanisme Proses Bioabsorpsi

Sebagian besar mekanisme pembersihan logam berat oleh mikroorganisme adalah proses pertukaran ion yang mirip pertukaran ion pada resin. Mekanisme pertukaran ion ini dapat dirumuskan sebagai: $A^{2+} + (B\text{-biomassa}) \rightarrow B^{2+} + (A\text{-biomassa})$. Mekanisme ini dapat dibagi atas 3 cara yakni berdasarkan metabolisme sel. Sedangkan jika berdasarkan posisi logam berat di-remove, dapat dibagi atas; akumulasi ekstraseluler (presipitasi), akumulasi intraseluler dan penyerapan oleh permukaan sel. Untuk mekanisme yang terakhir adalah berdasarkan cara pengambilan (absorpsi) logam berat. Cara pengambilan (absorpsi) logam berat dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu :

a. Passive Uptake

Proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben. Mekanisme passive uptake dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion di mana ion pada dinding sel digantikan

oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil secara bolak balik dan cepat. Sebagai contoh adalah pada *Sargassum* sp. dan *Eklonia* sp. dimana Cr(6) mengalami reaksi reduksi pada pH rendah menjadi Cr(3) dan Cr(3) di-remove melalui proses pertukaran kation.

b. Active Uptake

Mekanisme masuknya logam berat melewati membran sel sama dengan proses masuknya logam esensial melalui sistem transpor membran, hal ini disebabkan adanya kemiripan sifat antara logam berat dengan logam esensial dalam hal sifat fisika kimia secara keseluruhan. Proses aktif uptake pada mikro organisme dapat terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi intraselular ion logam.

13.8.3 Fitoteknologi

Tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam berat dari media lingkungan. Percobaan terhadap daya serap tumbuhan secara alami terhadap konsentrasi Pb dan Cd adalah 8 mg/l. Pada daun konsentrasi toksisitas untuk Pb adalah 30-300 ppm dan Cd adalah 5-30 ppm. Namun jenis tumbuhan yang dipergunakan dalam fitoteknologi lingkungan masih sangat terbatas. Sehingga jenis tumbuhan lokal dan liar di alam perlu dikonservasi dan digali kemampuannya terhadap pencemaran logam berat.

Meskipun demikian respon tumbuhan terhadap logam berat untuk setiap jenis tumbuhan sangat beragam dalam kemampuan tumbuhan toleran ataupun tidak toleran terhadap keracunan unsur logam. Tumbuhan memiliki 3 strategi dasar untuk tumbuh pada media yang tercemar logam berat, yaitu :

1. Metal excluder, tumbuhan mencegah masuknya logam dari bagian aerial atau menjaga agar konsentrasi logam tetap rendah dalam tanah
2. Metal indicator, tumbuhan mentoleransi keberadaan konsentrasi logam dengan menghasilkan senyawa pengikat logam atau mengubah susunan logam dengan menyimpan logam pada bagian yang tidak sensitif
3. Metal accumulator, tumbuhan mengkonsentrat konsentrasi logam yang tinggi pada bagian aerial tumbuhan, tumbuhan ini menyerap kadar kontaminan yang tinggi dan diendapkan dalam akar, batang, daun atau tunas.

Sebagai upaya untuk mencegah keracunan logam terhadap sel dan jaringan, tumbuhan mempunyai mekanisme detoksifikasi, misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar. Adanya akumulasi logam merupakan usaha lokalisasi yang dilakukan oleh tumbuhan, dengan mengumpulkan dalam satu organ.

Ada beberapa antioksidan yang dapat menangkal ROS yang dipicu dari terakumulasinya ion-ion logam berat pada tubuh manusia, sehingga menonaktifkan enzim-enzim antioksidan. Berikut beberapa antioksidan yang dapat menangkal ROS :

1. Vitamin C

Asam askorbat tidak dapat disintesis dalam tubuh manusia sehingga asam askorbat didapat dari buah, sayur-sayuran dan hewani. Sintesis asam askorbat dalam hewan di sintesis dengan jalur metabolisme asam glukuronik, metabolisme ini memakai jalur metabolisme gula dibawah normal, dalam kondisi sakit dan regulasi fungsi psikologi. Ini merupakan jalur penting detoksifikasi. Metabolisme asam askorbat terjadi dalam liver dan sebagian lagi terjadi pada ginjal. Dalam metabolisme, Asam askorbat akan

kehilangan 2 elektron hidrogen yang akan menghasilkan Dehydroaskorbat (DHA) yang dapat memicu terjadinya askorbat radikal bebas (AFR).

2. Vitamin E

Kandungan antioksidan dari vitamin E ini memiliki potensi yang besar untuk melindungi tubuh kita dari keracunan yang disebabkan oleh logam berat seperti cadmium. Vitamin E merupakan antioksidan untuk proses peroksida asam lemak tak jenuh. (GAS) yang terdapat pada fosfolipid membran seluler. Vitamin E sendiri mempunyai kemampuan untuk menurunkan kadar kreatinkinase yang menyebabkan kerusakan otot, Vitamin E juga mampu menurunkan kadar malondialdehida (MDA). Vitamin E juga mampu melindungi DNA dari kerusakan, serta mampu juga menurunkan jumlah produk peroksida lipid dari mitokondria.

3. Karotenoid

Karotenoid adalah salah satu sumber antioksidan alami yang dibutuhkan oleh tubuh kita guna sebagai penangkal radikal bebas, karotenoid bersumber dari hewan dan tumbuhan yang bertanggung jawab dalam pewarnaan seperti warna kuning, oranye, dan merah dan mendampingi klorofil dalam proses fotosintesis.

4. Flavanoid

Senyawa Flavanoid salah satu antioksidan yang terdapat pada buah, sayuran, flavanoid merupakan senyawa yang tidak dapat disintesis oleh tubuh manusia sehingga untuk mendapatkan senyawa kaya antioksidan perlu kita mengkonsumsi buah dan sayuran dalam bentuk yang bervariasi seperti dalam bentuk jus dan flavanoid merupakan senyawa fenol dalam tumbuhan. Banyak manfaat farmakologi flavanoid yang berhubungan dengan sistem biologi tubuh manusia seperti dapat menangkal

radikal bebas dan logam kelat (logam kompleks dengan asam amino), flavanoid juga berfungsi sebagai antiinflamatori, antialergi, dan juga dapat mencegah penyakit kardiovaskuler dan neurodegenerative. Flavanoid banyak ditemukan pada buah, sayuran, biji-bijian, kulit batang, akar, bunga, teh, anggur.

DAFTAR PUSTAKA

- Albretsen J. 2006. The toxicity of iron, an essential element. *Veterinary medicine* 82–90.
- Alina M, Azrina A, Mohd Yunus AS, Mohd Zakiuddin S, Mohd Izuan Ef endi H, Muhammad Rizal R. 2012. Heavy metals (mercury, arsenic, cadmium, plumbum) in selected marine f sh and shellf sh along the Straits of Malacca. *Int Food Res J*; 19(1): 135–140.
- Darmono. 1995. Logam dalam sistem Biologi Makhluk Hidup. Penerbit Universitas Indonesia, UI-Press. Jakarta.
- Darmono, 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Hoque MA, dkk. 2011. Delineating low-arsenic groundwater environments in the Bengal Aquifer System, Bangladesh. *Appl Geochem*; 26(4): 614–623.
- Khan NA, Ibrahim S, dan Subramaniam P. 2004. Elimination of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural Wastes as Adsorbents. *Malaysian Journal of Science*; No. 23 Hal (43-51).
- Morais S, Costa FG, Pereira ML. 2012. Heavy metals and human health, in *Environmental health – emerging issues and practice* (Oosthuizen J ed), pp. 227–246, InTech.
- Smedley PL, Kinniburgh DG. 2002. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Appl Geochem* 17: 517–568.
- Titin A. 2010. Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan. *Teknubuga*; 2(2): 53-65.
- WHO. 2004. Guidelines for drinking-water quality. Sixty-f rst meeting, Rome, 10–19 June 2003. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.

BIODATA PENULIS



Annisa Bias Cahyanurani, M.P.

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

Penulis lahir di Batam tanggal 10 Januari 1994. 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). Saat ini penulis menekuni berbagai penelitian di bidang Budidaya Perikanan. Penulis juga merupakan salah satu dosen pengampu mata kuliah Ekologi Perairan.

BIODATA PENULIS



Indah Puspitasari, S.Si., M.Sc.

Dosen Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo

Penulis lahir di Bandung tanggal 14 Mei 1981. Penulis adalah dosen tetap pada Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo, Jurusan Teknik Budidaya Perikanan sejak tahun 2005 dan Program Studi Teknik Penanganan Patologi Perikanan sejak Tahun 2015 sampai dengan sekarang. Pendidikan S1 telah ditempuh pada Jurusan Biologi di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2004 dan tahun 2012 menyelesaikan S2 pada Marine Biology Department di Pukyong National University, Korea Selatan.

BIODATA PENULIS



Dr. H. Iwan Hen ri Kusnadi, S. Sos, M.Si

Dosen Program Studi Ilmu Administrasi Negara
Fakultas Ilmu Administrasi Universitas Subang

Penulis merupakan Dosen Bidang ilmu Administrasi Publik dan Kebijakan Publik Pada Program Studi Ilmu Administrasi Negara pada Fakultas Ilmu Administrasi Universitas Subang. Sebagai seorang yang sepenuhnya mengabdikan dirinya sebagai dosen, selain pendidikan formal yang telah ditempuhnya penulis juga mengikuti berbagai pelatiha untuk meningkatkan kinerja dosen, khususnya di bidang Pengajaran, Penelitian Dan Pengabdian. Beberapa buku yang penulis telah hasilkan, di antaranya Ilmu Administrasi Publik, Manajemen Sumber Daya Manusia, Manajemen Strategi, Sistem Administrasi Negara Republik Indonesiaa, Ekonomi Kreatif, dan lain-lain. Selain itu, penulis juga aktif melakukan penelitian yang diterbitkan di berbagai jurnal nasional maupun internasional. Penulis juga aktif menjadi pemakalah diberbagai kegiatan dan menjadi narasumber pada Workshop/Seminar/Lokakarya tertentu.
Email: iwanhenri01@gmail.com

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, dan Administrasi bisnis.

BIODATA PENULIS



Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.

Dosen Program Studi Biologi Jurusan 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, Jurusan Biologi Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi 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* di Victoria University of Wellington, New Zealand (2013). Penulis menekuni bidang Biologi Perairan, Ekologi Perairan, Ilmu Lingkungan, Konservasi Sumber Daya Alam, Manajemen Ekosistem Perairan, serta Ekologi Pesisir dan Kelautan.

BIODATA PENULIS

Andi Perdana Gumilang, S.Pi., M.Si.

Dosen Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon

Penulis lahir di Cirebon tanggal 11 September 1986. Penulis adalah dosen pada Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknologi Perikanan Laut Institut Pertanian Bogor. Penulis menekuni bidang Menulis.

Beberapa tulisan telah terbit pada berbagai jurnal, prosiding dan buku antara lain jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan, jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, jurnal Barakuda, prosiding Semnas Sosial Ekonomi Kelautan Perikanan, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science terindeks Scopus dan Buku Dinamika Nilai Tukar Nelayan.

BIODATA PENULIS



Wiga Alif Violando

Dosen Program Studi Ilmu Kelautan
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya

Lahir di Gresik pada tahun 1992. Menamatkan studi Ilmu Kelautan di Universitas Brawijaya pada tahun 2014 dengan gelar Sarjana Kelautan. Melanjutkan studi S2 *Double Degree* pada 2015 dengan gelar Magister Perikanan dari Universitas Brawijaya serta Master of Science di bidang akuakultur dari National Pingtung University of Science and Technology pada tahun 2017.

Saat ini, penulis merupakan pengajar di Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel Surabaya. Beberapa mata kuliah yang pernah diampu oleh penulis diantaranya adalah: Akuakultur, Biologi Laut, Dinamika Populasi Ikan, Ekologi Laut, serta Ekowisata. Fokus bidang keilmuan penulis yakni bioekologi laut dan manfaat kelestariannya.

Email: wiga.alif@uinsby.ac.id

BIODATA PENULIS



Suryaningsih Ndahawali, S.Pi., M.P

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Perikanan
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Kristen Wira Wacana Sumba

Penulis lahir di Waikabubak pada tanggal 17 Januari 1993. Pada tahun 2015, Penulis menyelesaikan studi S1 di Program Studi Budidaya Perairan, Universitas Nusa Cendana. Selanjutnya, di tahun yang sama ia melanjutkan studi S2 di Program Studi Budidaya Perairan pada Universitas Brawijaya dan lulus pada tahun 2019. Sejak tahun 2019 hingga kini aktif sebagai dosen tetap di Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Topik Penelitian yang ditekuninya adalah kajian mengenai senyawa bioaktif alam yang dimanfaatkan sebagai bahan baku fitofarmaka dan kosmetik dan Penulis juga telah mempublikasikan hasil penelitian pada beberapa jurnal nasional terakreditasi

BIODATA PENULIS



Nur Maulida Safitri, S.Kel., MP., M.Sc

Dosen Program Studi Akuakultur,
Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Gresik

Nur Maulida Safitri, lahir di Sidoarjo pada tahun 1991. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya pada tahun 2014. Kemudian, penulis melanjutkan studi ke jenjang S2 *Double Degree* pada tahun 2015 dan mendapatkan gelar Magister Perikanan dari Universitas Brawijaya serta Master of Science di bidang bioteknologi dari National Pingtung University of Science and Technology pada tahun 2017.

Saat ini, penulis merupakan staf pengajar di Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Gresik. Beberapa mata kuliah yang pernah diampu oleh penulis diantaranya adalah: Biologi Laut, Biokimia Perikanan, Bioteknologi Perikanan, Komoditas Unggulan Akuakultur (Rumput laut dan Kerang Hijau), serta oseanografi. Email: nur.maulida@umg.ac.id / nurmsafitri@gmail.com

BIODATA PENULIS



Suci Andiewati H. Sabolla, S.Pi., M.Sc.

Dosen Program Studi Budi Daya Ikan
Fakultas Logistik Militer, Universitas Pertahanan RI

Penulis lahir di Kolonodale tanggal 24 juni 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Budi Daya Ikan Fakultas Logistik Militer, Universitas Pertahanan Republik Indonesia. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan (MSP) di Universitas Hasanuddin, Makassar kemudian melanjutkan pendidikan S2 (Magister) di *Hiroshima University, Japan* pada bidang *Aquaculture*. Penulis menekuni bidang Menulis dan hingga saat ini masih aktif dalam penulisan jurnal artikel dan penelitian yang sangat membuatnya menjiwai dan bahagia ketika melakukannya. Motto penulis “Man Jadda Wa Jadda” Teruslah berusaha menggapai cita cita dan bekerja cerdas dan tekun, jangan lupa berdoa dan tetap Semangat. *Ganbatte !*

BIODATA PENULIS



Halvina Grasela Saiya, S.Si., M.Sc.

Dosen Prodi Ilmu Lingkungan, Sekolah Ilmu Lingkungan,
Universitas Indonesia

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Pattimura; pendidikan S2 bidang Ilmu Lingkungan di Universitas Gadjah Mada; dan saat ini sedang menempuh pendidikan S3 untuk pemodelan konservasi di School of Biosciences, University of Sheffield, Inggris. Penulis juga aktif sebagai peneliti di Pusat Studi Sumber Daya Manusia dan Lingkungan (PPSML), Universitas Indonesia dan juga sebagai peneliti di klaster riset *Biodiversity for Environmental Sustainability*/Diverling, Universitas Indonesia.

BIODATA PENULIS



Eva Pratiwi Pane, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Kimia
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar

Penulis lahir di Padang tanggal 13 September 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar. Menyelesaikan pendidikan S1 (2005-2010) pada Jurusan Kimia, Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Medan dan melanjutkan S2 (2014-2016) pada Program Pascasarjana, Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan. Penulis menekuni bidang Pendidikan Kimia. Mata kuliah yang diampu antara lain Dasar-Dasar Proses Pembelajaran Kimia, Perencanaan Pembelajaran Kimia, E-learning Kimia, Metodologi Penelitian, Praktikum Kimia Dasar, Praktikum IPA di SD (UT), Pembaharuan Pembelajaran di SD (UT). Penulis aktif melakukan Tri Dharma Perguruan Tinggi.

