

BIOLOGI KELAUTAN

- Lautan sebagai Habitat Biota
- Konsep & Respons Adaptasi Biota Laut
- Aspek Biologis & Adaptasi Tumbuhan Laut, Plankton Laut dan Organisme Benthik
- Respons & Adaptasi Nekton
- Simbiosis Biota Laut



BIOLOGI KELAUTAN

Prof. Andi Iqbal Burhanuddin, M.Fish.Sc., Ph.D



Lily Publisher

BIOLOGI KELAUTAN

Oleh: Prof. Andi Iqbal Burhanuddin, M.Fish.Sc., Ph.D

Hak Cipta © 2019 pada Penulis

Editor : A. Ria P.U

Setting : Ery HS

Desain Cover : Ferryan Nugroho P.

Korektor : Stevani

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

Diterbitkan oleh LILY PUBLISHER

Telp. (0274) 555432 ext. 144

Percetakan: ANDI OFFSET

Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Burhanuddin, Andi Iqbal

Biologi Kelautan/Andi Iqbal Burhanuddin;

– Ed. I. – Yogyakarta: Lily Publisher,

23 22 21 20 19

x + 230 hlm.; 17,5 x 24,5 cm.

5 4 3 2 1

ISBN: 978 – 602 – 53793 – 0 – 7

e-ISBN: 978 – 602 – 53793 – 5 – 2

I. Judul

1. Marine Biology

DDC'23 : 578.77

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil 'alamin, dengan memanjatkan rasa syukur yang sedalam-dalamnya kehadiran Allah SWT berkat kehendak dan ridho-Nya, sehingga setelah melalui proses yang cukup panjang, pada akhirnya keinginan penulis untuk menghadirkan buku Biologi Kelautan di hadapan para pembaca dapat terlaksana.

Kebutuhan akan adanya literatur biologi kelautan dalam disiplin ilmu kelautan dan perikanan yang secara khusus membahas mengenai kehidupan dan interaksi antara organisme yang ada di laut dirasa sangat penting. Biologi Laut/Kelautan termasuk salah satu mata kuliah dasar yang wajib bagi mahasiswa Ilmu Kelautan dan Perikanan, serta sebagai mata kuliah inti dalam Kurikulum Nasional Bidang Perikanan dan Kelautan.

Buku yang disusun secara singkat dan sederhana ini disajikan ke dalam beberapa bab, mencoba untuk memberikan informasi mengenai lautan sebagai habitat dan hubungan timbal balik antara organisme dan lingkungannya yang terjadi dalam habitat laut.

Buku ini sebagian besar bersumber dari hasil pemikiran beberapa penulis terdahulu dalam bidangnya, seperti Levinton, J.S., (1982); Nybakken, J.W., (1988); Sumich, J.L., (1992); Castro, P dan M. E. Huber (2003), dan lain lain yang kesemuanya penulis cantumkan dalam Daftar Kepustakaan.

Meski penulis telah berusaha menyajikan sebaik mungkin, di tengah-tengah keterbatasan, penulis berharap kiranya kekurangan-kekurangan dalam buku ini bisa diperbaiki dikemudian hari berkat masukan dan kritikan dari para pembaca.

Sekali lagi, penulis merasa bersyukur bahwa buku ini dapat selesai sesuai harapan meski ada jadwal yang tertunda akibat gangguan teknis pengetikan dan sebagainya. Semua merupakan pertolongan dari Allah SWT dan bantuan berbagai pihak, terutama keluarga, mahasiswa, dan teman-teman sejawat yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung. Kepada kedua orang tua dan istri penulis,

Prof. Dr. Ir. Sri Rachma Aprilita Bugiwati, M. Sc., dan kedua putri saya A. Meiliqa Rachmi Mutia Larasati dan A. Apriliqa Megumi Adhila Larasati, penulis menyampaikan rasa cinta dan terima kasih atas dukungan moral yang tiada hingga.

Dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada sejawat dan tim pengasuh mata kuliah Biologi Laut, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin, dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang ikut membantu tersusunnya buku ini, baik secara langsung ataupun tidak. Akhirnya, semoga sumbangan yang kecil ini dapat membantu dan bermanfaat bagi para mahasiswa, peneliti dan bagi pembaca lain yang ingin tahu lebih banyak tentang kehidupan di laut.

Makassar, 25 Desember 2018

Penulis,

Andi Iqbal Burhanuddin
Laboratorium Biologi Laut
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan- FIKP
Universitas Hasanuddin

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. BIOLOGI LAUT	2
B. SEJARAH BIOLOGI LAUT	3
BAB 2 LAUTAN SEBAGAI HABITAT BIOTA.....	7
A. SIFAT-SIFAT AIR MURNI	9
1. Viskositas (Kekentalan).....	9
2. Tegangan Permukaan	11
3. Densitas	12
4. Kapasitas Panas	13
5. Kemampuan Melarutkan.....	15
B. SIFAT-SIFAT AIR LAUT	16
1. Garam-Garam Terlarut.....	16
2. Suhu Air Laut	20
3. Gas-Gas Terlarut dan Asam/Buffer Air Laut	23
4. Nutrient Terlarut dalam Air Laut.....	25
5. Pergerakan Air Laut secara Vertikal.....	27
C. PEMBAGIAN LINGKUNGAN LAUT.....	29
1. Zona Litoral	32
2. Zona Neritik	32
3. Zona Batial.....	33
4. Zona Abisal	33
REFERENSI.....	34
SOAL LATIHAN	35

BAB 3 KONSEP ADAPTASI BIOTA LAUT	37
A. ADAPTASI MORFOLOGI	41
B. ADAPTASI FISILOGI	41
C. ADAPTASI TINGKAH LAKU DAN REPRODUKSI	42
D. ADAPTASI MAKANAN	44
REFERENSI.....	50
SOAL LATIHAN.....	51
BAB 4 RESPONS ADAPTASI BIOTA LAUT	53
A. PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN SUHU TERHADAP ORGANISME LAUT	56
B. PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN SALINITAS TERHADAP ORGANISME LAUT	60
C. PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN OKSIGEN TERHADAP ORGANISME LAUT	64
D. PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN CAHAYA TERHADAP ORGANISME LAUT	69
E. PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TURBIDITAS (KEKERUHAN) TERHADAP ORGANISME LAUT.....	71
REFERENSI.....	73
SOAL LATIHAN.....	74
BAB 5 ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI TUMBUHAN LAUT.....	75
A. ADAPTASI MAKRO ALGA	75
B. PIGMEN FOTOSINTESIS RUMPUT LAUT	76
C. GAMBARAN STRUKTURAL DARI RUMPUT LAUT	78
1. Blade (Helaiian Daun).....	78
2. Pneumatosit	79
3. Stipe (Batang)	80
4. Holdfast (Pemegang Substrat)	82
D. REPRODUKSI DAN PERTUMBUHAN	83
E. ADAPTASI TUMBUHAN BERBUNGA.....	87
REFERENSI.....	90
SOAL LATIHAN.....	90

BAB 6 ASPEK BIOLOGIS DAN BENTUK ADAPTASI PLANKTON LAUT	91
A. FITOPLANKTON	93
B. KELOMPOK UTAMA FITOPLANKTON	97
1. Diatom.....	98
2. Dinoflagellata.....	100
3. Kelompok Fitoplankton Lain.....	105
C. ZOOPLANKTON	105
D. KLASIFIKASI ZOOPLANKTON	107
1. Protozoa	108
2. Cnidaria	108
3. Ctenophora	108
4. Annelida	109
5. Artrophoda	109
6. Mollusca	109
7. Echinodermata	109
8. Chordata	110
E. KELOMPOK UTAMA ZOOPLANKTON	110
1. Migrasi Nokturnal	111
2. Migrasi Twilight	111
3. Migrasi Reverse	111
F. KONDISI LINGKUNGAN PELAGIS DAN SEBARAN ZOOPLANKTON.....	115
G. ADAPTASI UNTUK MIGRASI VERTIKAL ZOOPLANKTON.....	118
H. KEBIASAAN MAKANAN.....	125
REFERENSI.....	130
SOAL LATIHAN.....	130
 BAB 7 ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI ORGANISME BENTHIK	 131
A. ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI ORGANISME EPIBENTHOS	132
B. ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI ORGANISME BENTHOS YANG BISA BERENANG	138
C. ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI BENTHOS INFAUNA	140
D. ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI BENTHOS PEMBOR.....	141

E. ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI BENTHOS YANG HIDUP BEBAS, KOMENSALIS DAN MUTUALIS	142
F. ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI BENTHOS YANG PARASIT ...	144
G. ADAPTASI UNTUK ANTIPREDATOR DAN ANTIFOULING.....	146
1. Adaptasi Mekanik.....	146
2. Adaptasi Kimia.....	147
H. STRUKTUR TUBUH YANG BERAGAM DAN WARNA.....	148
I. TINGKAH LAKU MELOLOSKAN DIRI	149

REFERENSI.....	151
-----------------------	------------

SOAL LATIHAN.....	151
--------------------------	------------

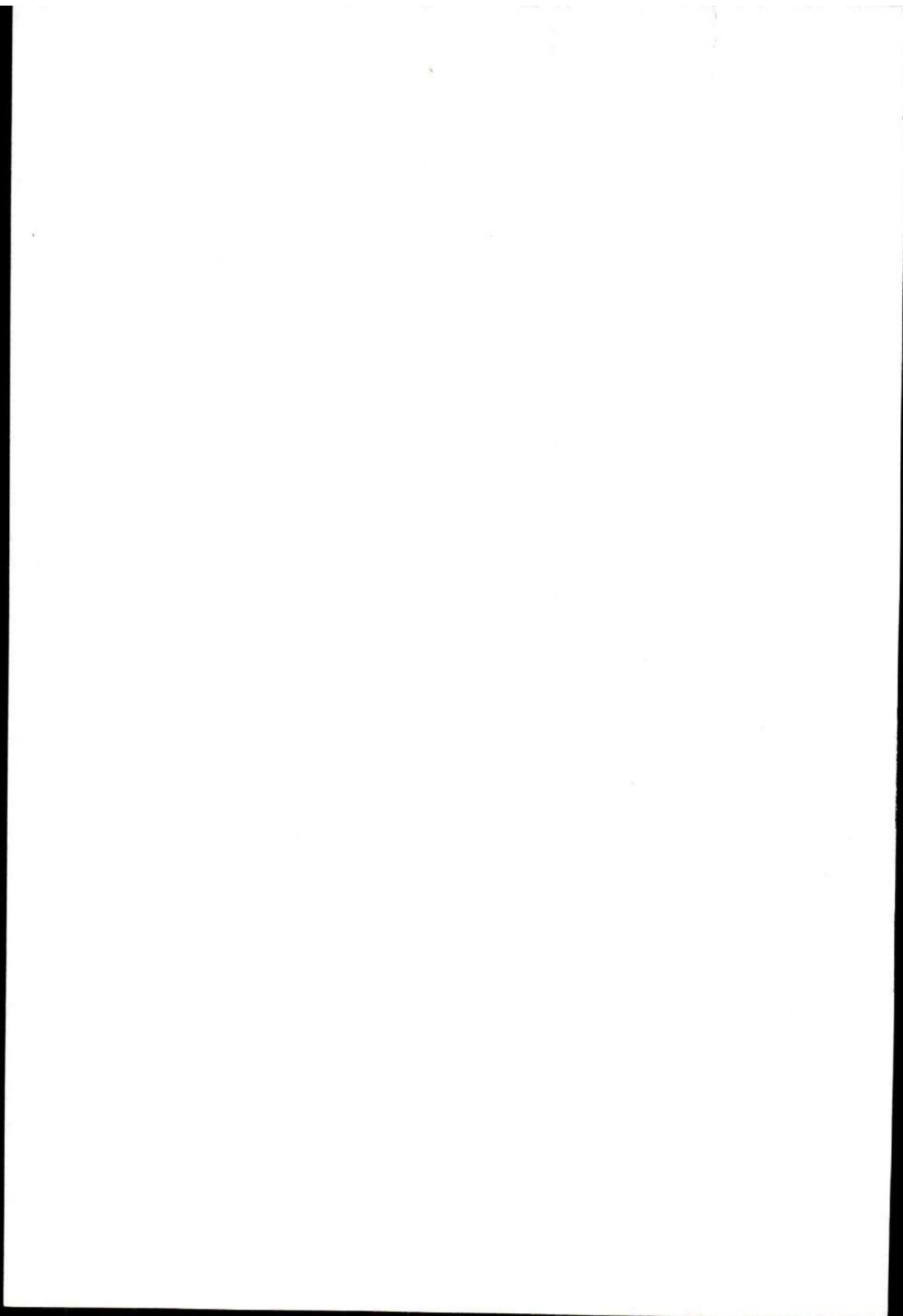
BAB 8 RESPONS DAN ADAPTASI NEKTON.....	153
---	------------

A. VERTEBRATA.....	154
B. BENTUK ADAPTASI NEKTON	157
1. Distribusi Vertikal	157
2. Daya Apung.....	160
3. Gelembung Gas (Vesica Natatoria) & Paru-paru Ikan.....	163
4. Pergerakan	166
5. Bentuk Badan	167
6. Bentuk Sirip	169
7. Migrasi Nekton	174
8. Orientasi (Penyesuaian)	177
9. Organ Sensory.....	178
10. Penerimaan Kimia (Kemoresepsi).....	178
11. Organ Penglihatan.....	179
12. Organ Keseimbangan.....	180
13. Organ Penerima Suara (Indra Pendengar)	182
14. Organ Penerima Mekanik dan Listrik.....	183
15. Adaptasi Pertahanan dan Kamuflase.....	184
16. Ekolokasi	187
17. Adaptasi Reproduksi Nekton	190
18. Reproduksi yang Tidak Bermusim.....	191

REFERENSI.....	192
-----------------------	------------

SOAL LATIHAN.....	194
--------------------------	------------

BAB 9 BIOTA LAUT SIMBIOSA	195
A. SIMBIOSIS ANTARA HEWAN DAN ALGA	197
B. SIMBIOSIS ANTARA HEWAN LAUT	201
C. ARTI DARI SUATU ASSOSIASI.....	209
D. BAKTERI LUMINISENS.....	210
REFERENSI.....	212
SOAL LATIHAN.....	213
GLOSARIUM.....	215
INDEX.....	223
PROFIL PENULIS.....	229



1

PENDAHULUAN

Manusia telah mempelajari tentang kehidupan laut sejak pertama kali mereka melihat samudera. Seiring dengan kemajuan ilmu dan teknologi, rasa ingin tahu manusia terhadap gejala-gejala alam, serta peningkatan jumlah penghuni planet bumi, sehingga pemanfaatan biota yang ada di laut bagi peningkatan kesejahteraan pun semakin tinggi. Namun, terkadang pemanfaatan sumber daya alam itu tidak mempertimbangkan dampak negatif yang diakibatkan oleh hasil samping maupun batas toleransinya. Oleh karenanya, pemanfaatan biota laut yang semakin tinggi tersebut perlu dibarengi pula oleh kemajuan pengetahuan alam laut, meliputi: tumbuhan, hewan, dan organisme lainnya yang hidup di lingkungan laut dan saling berintraksi yang disebut dengan biologi kelautan (*marine biology*).

A. BIOLOGI LAUT

Laut adalah sebuah dunia yang luas yang berisi banyak dan beraneka-ragam serta ukuran makhluk hidup mulai dari ukuran kasat mata yang hanya terlihat di bawah mikroskop seperti plankton kecil hingga ikan paus yang memiliki ukuran raksasa. Biologi kelautan dapat mencakup studi aspek yang berbeda dari organisme, termasuk perilaku binatang di lingkungan laut, adaptasi untuk hidup di air garam dan interaksi antara organisme yang ada di lingkungannya.

Kurang lebih 71% planet bumi ditutupi air asin dan berbagai kehidupan yang indah, menakjubkan dan misteri. Hal tersebut menjadi menarik bagi kalangan pelajar dan mahasiswa maupun peneliti untuk menggali dan belajar lebih dalam mengenai bidang biologi kelautan. Bahkan ahli biologi kelautan profesional pun merasakan sebagai sebuah petualangan dan tantangan dan menarik dalam setiap studi mereka. Alasan lain para peneliti untuk belajar dan menggali lebih jauh pengetahuan tentang biologi kelautan, yaitu kehidupan laut merupakan sumber kekayaan alam yang dapat menyediakan umat manusia berbagai macam hal berupa makanan, obat-obatan, dan bahan baku, serta menawarkan kegiatan rekreasi yang mendukung pariwisata di seluruh dunia. Namun di sisi lain, organisme laut tentunya juga dapat membuat masalah bagi manusia. Sebagai contoh, beberapa organisme merugikan manusia secara langsung dapat menyebabkan penyakit atau menyerang manusia. Organisme laut dapat mengikis dermaga, dinding, dan struktur lain ketika kita membangun di laut, dapat menyebabkan kerusakan pada lambung bagian bawah kapal, dan menyumbat pipa.

Lebih jauh lagi, kehidupan laut membantu menentukan sifat dan kondisi dari planet bumi kita. Organisme laut menghasilkan banyak oksigen yang kita hirup dan mungkin membantu mengatur iklim bumi. Garis pantai dibentuk dan dilindungi oleh kehidupan laut, setidaknya sebagian, dan beberapa organisme laut bahkan menciptakan lahan baru. Oleh karena itu, dalam rangka pemanfaatan sumber daya laut untuk kepentingan dan kemaslahatan manusia dengan tetap menjaga kelestariannya dibutuhkan suatu kebijaksanaan manusia untuk memahami proses-proses biologis yang berlangsung di lautan.

B. SEJARAH BIOLOGI LAUT

Perkembangan pengetahuan kelautan pada umumnya berjalan seiring dengan perkembangan teknologi pemanfaatan sumber daya laut untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia di muka bumi ini. Kehidupan di laut telah menjadi subyek daya tarik selama ribuan tahun. Salah satu alasan yang paling penting bagi studi tentang kehidupan laut adalah hanya untuk memahami dunia di mana kita hidup. Para ilmuwan memperkirakan bahwa tidak lebih dari 5% dari lautan telah dieksplorasi. Namun, kita perlu memahami lingkungan laut yang membantu mendukung kehidupan di planet ini. Dalam perkembangan peradaban, manusia ingin mengetahui banyak tentang seluk beluk tentang makhluk hidup dan kehidupannya. Maka, muncullah biologi yang berasal dari bahasa Belanda *biologie*, turunan dari gabungan kata bahasa Yunani *bios* yang berarti hidup dan *logos* artinya ilmu. Jadi, Biologi adalah ilmu yang mempelajari tentang makhluk hidup dan kehidupannya. Kajian biologi sangat luas dan mencakup segala makhluk hidup. Salah satu cabangnya adalah biologi kelautan.

Biologi kelautan adalah ilmu yang tidak berdiri sendiri atau terpisah dengan ilmu lainnya, melainkan kumpulan pengetahuan yang lahir dan berkembang sebagai respons manusia terhadap gejala-gejala, kejadian dan masalah alam. Hampir semua disiplin ilmu biologi pada umumnya diwakili dalam biologi kelautan. Ada ahli biologi kelautan yang mempelajari kimia dasar makhluk hidup, ada ahli biologi untuk tanaman maupun hewan sebagai organisme keseluruhan, seperti cara mereka berperilaku, di mana mereka tinggal dan mengapa, dan sebagainya. Biologi kelautan adalah bagian dari ilmu yang lebih luas dan terdiri dari berbagai disiplin ilmu yang membahas berbagai sudut pandang.

Aristoteles (384 SM–322 SM) dianggap sebagai ahli biologi laut pertama. Dia menjelaskan beberapa bentuk kehidupan laut dan banyak penjelasannya yang dianggap tepat pada saat ini. Aristoteles juga melakukan studi ilmu lain. Sebagai contoh, berdasarkan hasil pengamatannya, dia menyimpulkan bahwa insang adalah alat pernapasan pada ikan.

Ketertarikan manusia terhadap lautan khususnya dalam biologi laut dapat dilihat dari perjalanan observasi yang dibuat pada abad ke-4 oleh Aristoteles, yang memperkenalkan dasar-dasar taksonomi yang masih dipakai hingga saat ini. Beliau mengelompokkan hewan menjadi hewan berdarah dan hewan yang tidak berdarah. Hewan berdarah mencakup kelompok mamalia, burung, amfibi, reptile, dan ikan. Hewan tak berdarah dibagi menjadi kelompok Cephalopoda, udang-udangan serangga, dan testacea yang terdiri dari hewan-hewan kecil. Aristoteles juga menjelaskan dan membuat katalog 180 spesies hewan laut.

Ekspedisi besar-besaran pada abad 15 dan 16 menghasilkan pengetahuan geografi lautan dan menambah hasil pengamatan biologi, namun studi yang modern tentang biologi laut baru di mulai pertengahan abad 19.

Edward Forbes, *the founding father of oceanography* adalah orang pertama yang melakukan desain studi yang sistematis tentang biota laut. Beliau juga yang memelopori penggunaan peralatan jaring dalam pengambilan sampel dari hewan bentik dan dia memaparkan adanya jenis spesies yang berbeda pada kedalaman air laut yang berbeda. Bukunya yang berjudul "*The Natural History of the European Seas*" dipublikasi setelah 5 tahun meninggal dunia, pada waktu yang sama munculnya teori Darwin tentang asal-usul spesies. Namun, Forbes lebih diingat sebagai penemu hipotesis azoik melalui publikasinya pada tahun 1843, yang mengatakan bahwa tidak ada organisme laut pada kedalaman di bawah 550 meter. Forbes tidak menyadari bahwa telah ada penemuan adanya kehidupan pada bagian yang lebih dalam di laut.

Pada tahun 1818, John Ross menemukan sampel dasar laut berupa cacing dan bintang laut pada kedalaman 1920 meter di Teluk Baffin, sebelah barat Greenland. James Ross, memimpin ekspedisi ke Samudra Antartika pada tahun 1839-1843 dan mengumpulkan hewan-hewan bentik dari kedalaman 730 meter. Penemuan ini memengaruhi pendapat Forbes tentang hipotesis azoik. Pada tahun 1873, memublikasikan buku oseanografi yang pertama "*The Depths of the Sea*", berdasarkan *review* ekspedisi sebelumnya.

Ekspedisi lautan pertama mengelilingi dunia yang disebut *Challenger Expedition* tahun 1872-1876 yang menempuh jarak 110.900 km dengan mengunjungi semua samudra, kecuali samudra Artik. Ekspedisi tersebut diorganisir oleh *Royal Society* dengan tujuan khusus melakukan survei samudra dalam kaitannya dengan fisika, kimia, dan biologi.

Perkembangan biologi modern cukup pesat. Sonar misalnya, pada awalnya dikembangkan selama Perang Dunia ke II untuk mendeteksi kapal selam lawan, namun kemudian digunakan untuk mempelajari dasar lautan, mencari kumpulan ikan dan pada belakangan ini dikembangkan untuk menentukan lokasi dan konsentrasi zooplankton. Gelombang suara bawah laut dengan dikembangkan untuk mempelajari komunikasi antara hewan-hewan mamalia dan menentukan lokasi kelimpahan makanan bagi hewan mamalia dan ikan. Pengembangan satelit dan penginderaan jauh memudahkan dalam pemetaan suhu laut dan menentukan pergerakan arus, pengaruh dari perubahan lingkungan pada satu sel phytoplankton untuk mendapatkan gambaran global dari produksi tumbuhan pada permukaan laut.

Kemajuan teknologi peralatan yang dibutuhkan untuk mengeksplorasi laut dalam telah membuka pintu untuk mempelajari ruang ini yang sangat kurang dikenal di laut, dan karakteristik biologis dan proses yang ada dalam lingkungan laut dalam sangat menarik bagi para ilmuwan. Penelitian mencakup studi gas laut dalam sebagai sumber energi alternatif, bagaimana hewan yang hidup jauh di lingkungan yang gelap dan dingin, tekanan tinggi, ventilasi hidrotermal laut dalam dan komunitas biologis yang subur mereka dukung.

Biologi molekular atau ilmu yang mempelajari fungsi dan organisasi jasad hidup (organisme) ditinjau dari struktur dan regulasi molekular unsur atau komponen penyusunnya yang pertama kali dikemukakan oleh William Astbury pada tahun 1945 kini juga semakin berkembang. Perkembangan ilmu biologi molekular yang pada dasarnya mempelajari satu subjek yang sama, yaitu makhluk hidup, namun dengan pendekatan dan sudut pandang yang berbeda. Makhluk hidup yang menjadi objek dalam biologi molekular meliputi dua kelompok besar, yaitu: organisme selular, bakteri, jamur, tumbuhan, hewan, dan manusia, sedangkan organisme nonselular meliputi prion, viroid, dan vi-

rus. Ilmu genetika molekular modern sekarang ini juga memiliki peran penting dalam mengungkap misteri kehidupan biota di laut, sehingga dapat menghasilkan produk yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, seperti bahan pangan, obat-obatan, dan lain-lain. Melalui peta keragaman genetik maka kegiatan yang dijalankan pada usaha budi daya pun akan dapat dilakukan secara rasional berdasarkan peta genom suatu individu, sehingga akan mampu memproduksi benih-benih unggul yang diharapkan. Selain dari aspek tersebut kemungkinan upaya *restocking* terhadap sumber daya hayati yang perlu diperbaiki dapat dilakukan dengan cepat.

2

LAUTAN SEBAGAI HABITAT BIOTA

Planet bumi yang berada dalam sistem tata surya hanya berdiameter sekitar 8000 mil atau sekitar 12.000-an km. Namun, sebagian besar permukaan bumi yang luasnya berkisar 197 juta mil persegi (509 juta km persegi) ini berupa perairan (laut) dan menyediakan berbagai sumber penghidupan yang luar biasa bagi kehidupan umat manusia. Di bawah permukaan laut, kedalaman air rata-rata 3,8 km dengan volume air $1370 \times 10^6 \text{ km}^3$ merupakan tempat hunian organisme terbesar di planet bumi ini.

Lingkungan laut selalu berubah atau dinamik, perubahan-perubahan yang terjadi di lingkungan laut akan berpengaruh bagi suatu kehidupan di laut. Air laut mempunyai beberapa sifat yang pengaruhnya sangat penting dan besar terhadap kelangsungan hidup penghuninya dan organisasi komunitas di lautan. Air laut meru-

pakan medium tempat terjadinya reaksi kimia, baik di dalam maupun di luar tubuh organisme yang diperlukan untuk menopang kehidupan. Berkisar 80-90% dari volume kebanyakan organisme laut terdiri dari air, berfungsi sebagai penyokong tubuh dan pelampung untuk hewan dan tumbuhan yang berenang dan mengapung. Kerapatan air laut yang lebih besar daripada kerapatan udara menyebabkan organisme dan partikel-partikel yang relatif lebih besar dapat terapung-apung di dalamnya. Air laut juga menyokong beberapa hewan-hewan yang ekstrim besarnya seperti cumi-cumi di laut yang panjangnya lebih dari 15 meter dan paus biru mencapai berat 200 ton. Air merupakan suatu substansi yang sangat umum di permukaan bumi, hampir merupakan pelarut universal, dengan kemampuan melarutkan lebih banyak zat-zat dari pada cairan apa pun. Air melimpah dalam bentuk cair dan dalam jumlah yang besar, air juga berada sebagai gas di atmosfer serta sebagai sesuatu yang padat dalam bentuk es dan salju. Meskipun molekul-molekul air memiliki struktur yang sederhana, namun kandungan kolektif dari banyak molekul air secara bersama-sama menjadikannya lebih kompleks. Setiap molekul air memiliki satu atom Oksigen (O) dan dua atom Hidrogen (H), yang secara bersama-sama membentuk air (H_2O).

Banyak kandungan yang tidak umum dari bentuk molekular air tersebut: dua atom Hidrogen (H) membentuk suatu sudut kira-kira 105 derajat atau berikatan dengan atom Oksigen (O). Konfigurasi tersebut menghasilkan suatu molekul air yang tidak simetris dan bipolar, dengan atom oksigen yang mendominasi salah satu ujung molekul dan atom-atom hidrogen mendominasi ujung yang lainnya. Ikatan antara setiap atom hidrogen dengan oksigen dibentuk melalui kepemilikan bersama dua elektron negatif. Atom oksigen yang lebih besar menarik pasangan elektron dari setiap ikatan, sehingga menyebabkan ujung oksigen dari molekul air menerima suatu muatan sedikit negatif. Ujung hidrogen dari molekul, dengan melepaskan bagian dari elektron pelengkapannya, tinggal suatu muatan positif yang kecil. Akibat dari adanya pemisahan muatan listrik menyebabkan setiap molekul air bersifat seperti suatu miniatur magnet, ujung yang satu bermuatan positif dan ujung yang lain bermuatan negatif. Setiap ujung dari satu molekul air menarik ujung muatan yang berlawanan dari molekul air lain. Gaya tarik menarik ini menimbulkan suatu ikatan yang lemah, yang dikenal dengan ikatan hidrogen (ikatan-H), antara molekul-molekul air yang berdekatan.

Ikatan tersebut menjadi makin lemah daripada ikatan kovalen antara suatu molekul air tunggal dan secara terus menerus pecah dan terbentuk lagi dengan molekul air lainnya. Tanpa ikatan H antara molekul-molekul, maka air akan mendidih pada suhu -80°C dan membeku pada suhu -100°C , jika hal itu terjadi maka tidak mungkin ada kehidupan seperti yang kita ketahui sekarang ini. Ikatan hidrogen juga merupakan catatan bagi banyak keunikan lain dari kandungan air.

A. SIFAT-SIFAT AIR MURNI

Air adalah pelarut yang kuat, melarutkan banyak jenis zat kimia. Zat-zat yang bercampur dan larut dengan baik dalam air (misalnya garam-garam) disebut sebagai zat-zat "hidrofilik", dan zat-zat yang tidak mudah tercampur dengan air (misalnya lemak dan minyak), disebut sebagai zat-zat "hidrofobik". Kelarutan suatu zat dalam air ditentukan oleh dapat tidaknya zat tersebut menandingi kekuatan gaya tarik-menarik listrik (gaya intermolekul dipol-dipol) antara molekul-molekul air. Jika suatu zat tidak mampu menandingi gaya tarik-menarik antar molekul air, molekul-molekul zat tersebut tidak larut dan akan mengendap dalam air.

Air merupakan medium tempat terjadi berbagai reaksi kimia dan merupakan komponen terbesar pembentuk tubuh organisme di laut. Sifat perubahan air laut yang selalu dinamik, cepat atau lambat akan berpengaruh nyata pada kehidupan yang ada. Faktor-faktor lingkungan yang banyak memengaruhi kehidupan di laut adalah faktor fisika maupun kimia seperti suhu salinitas, pergerakan air, dan cahaya.

1. Viskositas (Kekentalan)

Pengertian viskositas adalah sifat kekentalan suatu fluida yang memengaruhi daya tahan terhadap suatu gaya geser. Sifat-sifat fisika air merupakan faktor pemisah antara lingkungan air dengan lingkungan udara. Selain itu, faktor fisika juga banyak memengaruhi kehidupan organisme di dalam air. Adanya perbedaan yang amat besar dari masing-masing faktor fisika di lingkungan air dengan lingkungan udara, mengakibatkan pengaruh yang berbeda terhadap tumbuhan dan hewan pada masing-masing lingkungan

tersebut. Di samping itu, air juga berfungsi untuk menjaga tekanan osmosis, sebagai pelarut dan penghantar listrik yang baik.

Viskositas adalah salah satu sifat air yang digunakan sebagai pengukur besarnya daya yang diperlukan untuk memisahkan molekul-molekul zat cair agar dapat dilewati. Adanya ikatan hidrogen, air mempunyai kecenderungan untuk melawan kekuatan luar yang akan memisahkan molekul-molekul tersebut atau dengan istilah kohesi. Peristiwa tersebut memberi efek nyata pada kehidupan organisme yang mengapung dan berenang. Sifat tersebut mengurangi kecenderungan tenggelam dari beberapa organisme melalui peningkatan kekuatan melawan gesekan antara mereka sendiri dan di dekat molekul-molekul air. Pada saat yang bersamaan, viskositas menambah masalah tarikan bagi hewan-hewan perenang aktif.

Faktor-faktor yang memengaruhi kekentalan air, antara lain adalah suhu. Suhu air merupakan faktor yang banyak mendapat perhatian dalam pengkajian kelautan. Data suhu air laut dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Misalnya, untuk mempelajari gejala fisika dalam perairan laut dan kaitannya dengan kehidupan organisme. Organisme laut hidup dalam batas-batas suhu yang tertentu. Ada organisme yang mempunyai toleransi yang besar terhadap suhu (*euriterm*). Sebaliknya ada yang memiliki toleransi yang sempit (*stenoterm*).

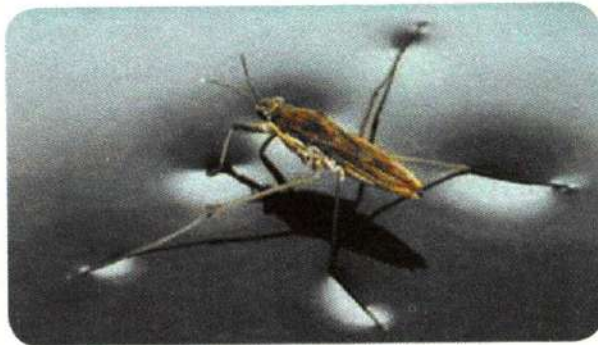
Faktor suhu sangat berpengaruh terhadap kekentalan air, jika suhu naik, maka kekentalan air akan menurun, sehingga kekentalan air pada suhu 0°C dua kali lebih besar daripada suhu 25°C pada keadaan faktor lainnya sama (Tabel 2.1). Jasad plankton pada suhu 25°C akan tenggelam dua kali lebih cepat daripada 0°C. Kekentalan air kira-kira 100 kali lebih besar daripada udara, maka hewan-hewan air harus mengatasi tekanan yang lebih besar jika dibandingkan dengan hewan yang hidup di udara.

TABEL 2.1 Hubungan antara kekentalan air dengan suhu.

Suhu (°C)	Kekentalan (°C)
0	100,0
5	84,9
10	73,0
15	63,7
20	56,1
25	49,8
30	44,6

2. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan air timbul akibat aktivitas molekul-molekul air yang tidak seimbang pada dan di bawah permukaan air. Saling tarik menarik dari molekul-molekul air pada permukaan massa air (seperti perbatasan antara air dan udara) menimbulkan suatu "kulit" molekuler yang fleksibel di atas permukaan air. Binatang-binatang dan tumbuh-tumbuhan yang ringan dapat berjalan atau bergerak di atas "kulit" permukaan air ini dan tegangan permukaan cukup kuat untuk menopang keberlangsungan asosiasi organisme baik yang berada hidup di bawahnya maupun yang bergerak di atasnya. Baik viskositas maupun tegangan permukaan, keduanya bergantung pada suhu, yaitu meningkat dengan menurunnya suhu. Contoh pengaruh tegangan permukaan cukup kuat untuk menopang berat penuh insekta laut *Halobates* (Gambar 2.1).



GAMBAR 2.1 Insekta air *Halobates*, salah satu insekta laut yang bisa berdiri di atas permukaan air laut karena adanya tegangan permukaan air.

Faktor-faktor yang memengaruhi tegangan permukaan air adalah: a) Suhu; pada suhu tinggi tegangan permukaan air berkurang; b) Bahan organik dan garam-garam terlarut. Kenaikan kadar garam menyebabkan kenaikan tegangan permukaan.

3. Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter terpenting dalam mempelajari dinamika laut. Perbedaan densitas yang kecil secara horisontal (misalnya akibat perbedaan pemanasan di permukaan) dapat menghasilkan arus laut yang sangat kuat. Air laut itu sendiri memberikan dukungan bagi banyak organisme, dan sampai pada tingkat tertentu menghilangkan kebutuhan akan struktur rangka tubuh. Sebagai contoh: ubur-ubur dan berbagai hewan kecil dapat mengapung di laut, dan laut dapat mendukung kehidupan ikan paus yang sangat besar. Densitas air laut merupakan jumlah massa air laut per satu satuan volume. Densitas merupakan fungsi langsung dari kedalaman laut, serta dipengaruhi juga oleh salinitas, temperatur, dan tekanan. Pada umumnya nilai densitas (berkisar antara $1,02-1,07 \text{ gr/cm}^3$) akan bertambah sesuai dengan bertambahnya salinitas dan tekanan serta berkurangnya temperatur, kecuali pada temperatur di bawah densitas maksimum. Densitas air laut terletak pada kisaran 1025 kg/m^3 . Densitas maksimum terjadi di atas titik beku sedangkan untuk salinitas di bawah 24,7 dan di bawah titik beku untuk salinitas di atas 24,7. Hal ini mengakibatkan adanya peristiwa konveksi panas. Densitas yang hanya dipengaruhi oleh tekanan nilainya lebih besar dari pengaruh salinitas dan suhu. Sebagai contoh, densitas di permukaan laut = 1.028 gram/cm^3 , sedangkan di kedalaman 5000 meter densitasnya 1.051 gram/cm^3 .

Kebanyakan cairan mengerut dan menjadi lebih padat apabila mereka dingin. Bentuk padat dari bahan tersebut adalah lebih padat dari pada bentuk cairnya. Struktur cair dari air pada suhu rendah tidak diketahui, namun beberapa model telah dicobakan untuk menjelaskan tingkah laku tersebut.

Pada suhu 4°C atau di atasnya, densitas meningkat dengan menurunnya suhu. Di bawah 4°C , pola yang normal hubungan densitas dengan suhu air murni adalah terbalik. Satu model mengindikasikan bahwa di dekat suhu yang membekukan, kelompok-kelompok

(klaster) seperti es yang kurang padat terdiri dari beberapa bentuk molekul air dan terpisah dengan cepat dalam badan air yang berbentuk cair. Sebagaimana air dalam bentuk cair terus menerus dingin, maka bentuk-bentuk klaster (kelompok) lebih banyak yang terbentuk dan kelompok tersebut bertahan lebih lama. Akhirnya pada suhu 0°C , seluruh molekul air menjadi terkunci ke dalam kristal-kristal kaku dari kisi-kisi es. Es yang terbentuk kira-kira 8% kurang padat dari pada air dalam bentuk cair. Bagi organisme yang hidup, ini adalah sesuatu yang tidak biasa, namun sangat beruntung dari sifat air ini. Tanpa keunikan hubungan densitas dengan suhu ini, es akan tenggelam sebagaimana dia terbentuk dan danau, lautan dan badan-badan air lainnya akan membeku menjadi padat mulai dari dasar hingga permukaan. Sehingga, pada musim dingin kelangsungan hidup organisme pada beberapa lingkungan akan menjadi sangat sulit.

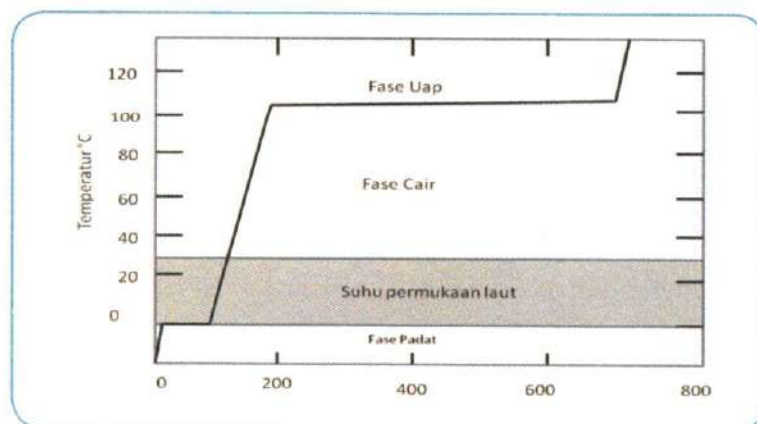
4. Kapasitas Panas

Suhu adalah ukuran energi gerakan molekular. Suhu air sangat berpengaruh terhadap proses kimia, fisika, dan biologi di dalam perairan, sehingga dengan perubahan suhu pada suatu perairan akan mengakibatkan berubahnya semua proses di dalam perairan termasuk kepada biota laut. Hal ini dilihat dari peningkatan suhu air, maka kelarutan oksigen akan berkurang. Peningkatan suhu perairan 10°C mengakibatkan meningkatnya konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sekitar 2–3 kali lipat, sehingga kebutuhan oksigen oleh organisme akuatik meningkat.

Suhu secara langsung atau tidak langsung sangat dipengaruhi oleh sinar matahari. Panas yang dimiliki oleh air akan mengalami perubahan secara perlahan-lahan antara siang dan malam serta dari musim ke musim. Selain itu, air mempunyai sifat di mana berat jenis maksimum terjadi pada suhu 4°C dan bukan pada titik beku. Panas adalah suatu bentuk energi, yaitu energi dari pergerakan molekul. Pada permukaan laut, energi radiasi di ubah ke dalam energi panas. Di dalam laut panas di transfer dari satu tempat ke tempat lain utamanya melalui konveksi (percampuran) dan yang kedua melalui konduksi (pertukaran molekul panas). Energi panas diukur dengan kalori.

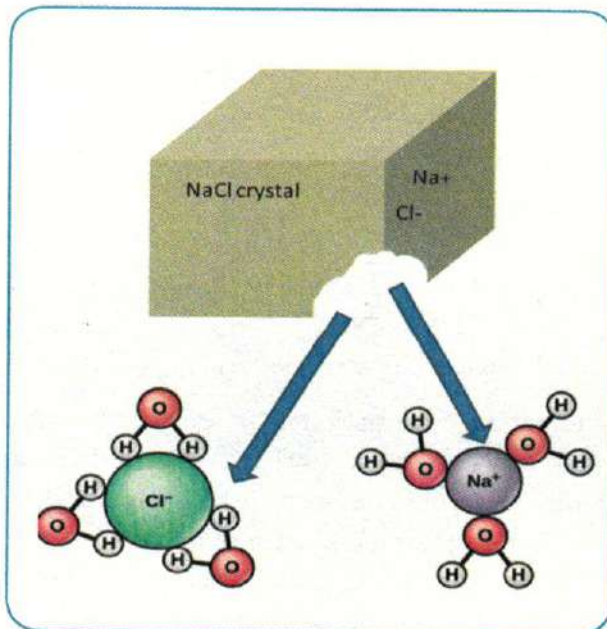
Air memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan panas tanpa mengalami perubahan suhu yang besar. Untuk mengilustrasikan tingginya kapasitas panas air, bayangkan satu gram balok es yang memiliki suhu -20°C di atas suatu pemanas yang menyediakan panas yang konstan. Memanaskan air dari suhu -20°C hingga 0°C memerlukan 10 kalori atau 0,5 kalori setiap peningkatan suhu satu derajat. Padahal, untuk mengubah satu gram es pada suhu 0°C menjadi cair pada suhu 0°C memerlukan 80 kalori. Sebaliknya 80 kalori dari panas harus diekstrak dari satu gram air pada suhu 0°C untuk mengubahnya menjadi es pada suhu yang sama. ini disebut sebagai panas laten dari peleburan (*latent heat of fusion*). Pemanasan yang terus menerus dari satu gram air sampel dari 0°C memerlukan satu kalori dari energi panas untuk setiap satu derajat perubahan suhu hingga titik didih (100°C) yang diterima. Pada titik ini, peningkatan suhu lebih lanjut dihentikan hingga seluruh air diubah menjadi uap air. Untuk perubahan ini, 540 kalori energi panas yang dibutuhkan disebut sebagai panas laten dari penguapan (*latent heat of vaporization*). Gambar 2.2 meringkaskan energi yang diperlukan untuk setiap perubahan suhu air. Makin tinggi kapasitas panas dan makin besar jumlah panas yang diperlukan untuk evaporasi yang memungkinkan badan air yang besar untuk melawan fluktuasi suhu yang ekstrim. Energi panas diserap secara lambat oleh air apabila udara di atasnya lebih hangat dan secara perlahan-lahan dilepaskan apabila udara menjadi lebih dingin. Proses ini menimbulkan suatu efek suhu yang moderat untuk lingkungan laut dan areal daratan yang berdekatan.

GAMBAR 2.2
Energi panas yang diperlukan menyebabkan suhu dan fase air berubah



5. Kemampuan Melarutkan

Air laut dapat melarutkan dan membawa banyak material untuk memenuhi kebutuhan berbagai mineral dan gas yang dibutuhkan bagi kehidupan organisme laut. Ukuran yang kecil dan muatan kutub dari setiap molekul air memungkinkan air untuk berinteraksi dan melarutkan kebanyakan bahan-bahan alami lainnya. Kristal-kristal terikat bersama melalui ikatan ionik (ikatan-ikatan antara muatan yang berlawanan dari ion-ion yang berdekatan dari suatu kristal, seperti garam) mudah untuk aksi melarutkan dalam air. Gambar 2.3 mengilustrasikan proses dari suatu kristal garam yang dilarutkan dalam air. Awalnya beberapa molekul air dari ikatan H yang lemah dengan setiap ion Na^+ dan Cl^- dan akhirnya mereka mengatasi daya tarik menarik ion-ion tersebut yang lebih dulu mengikat mereka bersama-sama dalam struktur kristal. Sebagaimana lebih banyak ion-ion Na^+ dan Cl^- dipindahkan dalam cara ini, struktur kristal yang padat terpisah dari garam dan bahan-bahan yang tidak berlawanan seperti oksigen umumnya yang kurang dapat larut dalam air.



GAMBAR 2.3 Suatu kristal garam (atas) dan aksi dari molekul air yang bermuatan dalam melarutkan kristal untuk memisahkan ion Na^+ dan Cl^- .

B. SIFAT-SIFAT AIR LAUT

Air adalah senyawa yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi. Air merupakan bagian terbesar pembentuk tubuh organisme yang hidup di lingkungan perairan dan merupakan media terjadinya proses berbagai reaksi kimia baik di dalam maupun di luar tubuh organisme hidup. Air laut adalah air murni yang di dalamnya terlarut berbagai zat padat dan gas yang merupakan akumulasi selama miliar tahun dari aksi pengikisan air pada batu-batuan dan tanah, pemecahan organisme dan pengembunan hujan dari atmosfer. Kira-kira 3,5% air laut tersusun dari senyawa-senyawa terlarut dari sumber-sumber tersebut. 96,5% lainnya merupakan air murni. Jejak dari seluruh bahan-bahan alami yang kemungkinan ada di lautan dapat dipisahkan ke dalam tiga kategori umum: (1) Bahan anorganik biasanya dirujuk sebagai garam-garam termasuk nutrien yang diperlukan untuk pertumbuhan tumbuh-tumbuhan; (2) Gas-gas terlarut, dan (3) Senyawa-senyawa organik yang berasal dari organisme hidup.

Senyawa-senyawa organik terlarut dalam air laut meliputi lemak, minyak, karbohidrat, vitamin, asam amino, protein, dan bahan-bahan lainnya. penelitian terakhir mengindikasikan bahwa senyawa organik terutama yang sintetis seperti DDT dan hidrokarbon berklor lainnya yang terakumulasi dalam air laut dapat memiliki efek yang merusak pada beberapa bentuk kehidupan di laut.

1. Garam-Garam Terlarut

Ciri paling khas pada air laut adalah rasanya yang asing. Hal tersebut disebabkan karena di dalam air laut terlarut bermacam-macam garam, utamanya adalah garam natrium klorida (NaCl).

Air laut mengandung 3,5% garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Keberadaan garam-garaman memengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperatur di mana densitas menjadi maksimum) beberapa tingkat, tetapi tidak menentukannya. Beberapa sifat (viskositas, daya serap cahaya) tidak terpengaruh secara signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan

oleh jumlah garam di laut (salinitas) adalah daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis.

Air laut merupakan suatu medium kimia yang lengkap untuk kehidupan karena menyediakan seluruh bahan-bahan yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan memelihara jaringan tubuh tumbuhan dan hewan. Menurut teori, zat-zat garam yang terdapat dalam air laut berasal dari dasar laut melalui proses *outgassing*, yakni rembesan dari kulit bumi di dasar laut yang berbentuk gas ke permukaan dasar laut.

Sebagian besar komponen air laut adalah garam-garam yang beraneka ragam. Jumlah masing-masing garam yang terkandung di dalam air laut berbeda-beda. Bahkan, komposisi garam antara air laut di daerah satu dengan daerah lainnya pun berbeda. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari biokarbonat, bromida, asam borak, strontium, dan florida.

Jumlah total garam-garam terlarut dalam air laut mengindikasikan salinitasnya, yang diukur dalam satuan bagian per seribu (‰). Salinitas didefinisikan sebagai berat garam dalam gram per kilogram air laut. Salinitas diukur dengan mengukur klor yang takarannya adalah klorinitas, dengan rumus:

$$S‰ = 0,03 + 1,805 Cl‰$$

Nilai salinitas berkisar dari hampir nol pada mulut sungai (muara) hingga lebih dari 40‰ pada beberapa daerah di laut merah. Namun, di daerah lautan terbuka yang jauh dari pengaruh-pengaruh pesisir, salinitas bervariasi hanya pada jarak-jarak yang besar.

Di daerah subtropis (atau semi tropis, yaitu daerah antara 23,5°–40°LU atau 23,5°–40°LS), salinitas di permukaan lebih besar dari pada di kedalaman akibat besarnya evaporasi (penguapan). Di kedalaman sekitar 500 sampai 1000 meter nilai salinitasnya rendah dan kembali bertambah secara monotonik terhadap kedalaman. Sementara itu, di daerah tropis salinitas di permukaan lebih rendah daripada di kedalaman akibat tingginya presipitasi (curah hujan).

Salinitas berubah melalui proses yang menambah atau menghilangkan garam-garam atau air dari laut. Mekanisme utama yang menambah atau mengurangi garam dan air adalah evaporasi (penguapan), presipitasi (hujan), aliran sungai (*runoff*), dan pembekuan dan pencairan es di kutub. Apabila penguapan melebihi hujan, penguapan tersebut akan memindahkan air dari permukaan laut, sehingga meningkatkan konsentrasi garam-garam dan salinitas. Sedangkan apabila terjadi kelebihan hujan akan menurunkan salinitas melalui pengenceran garam-garam laut. Apabila air laut membeku, hanya molekul-molekul air yang bergabung ke dalam pembentukan kristal-kristal es. Garam-garam terlarut dikeluarkan, sehingga meningkatkan salinitas air laut yang tidak membeku. Proses tersebut akan berbalik menurunkan salinitas apabila es mencair. Pembekuan dan pencairan air laut biasanya merupakan fenomena yang musiman, sehingga menghasilkan perbedaan salinitas sedikit agak lama.

Sebaran salinitas di laut dipengaruhi oleh berbagai faktor dan keadaan lingkungannya seperti pola sirkulasi air, curah hujan, penguapan, musim, aliran sungai, serta interaksi antara laut dengan daratan/gunung es. Apabila terlarut dalam air, garam-garam terpisah-pisah menghasilkan ion-ion bermuatan positif dan negatif. Sebagai contoh, garam meja (sodium klorida) jika terpisah-pisah membentuk ion-ion sodium bermuatan positif (Na^+) dan ion klorid yang bermuatan negatif (Cl^-). Ion-ion yang lebih banyak ditemukan dalam air laut disajikan dalam Tabel 2 dan dikelompokkan sebagai unsur pokok major atau minor menurut kelimpahan mereka. Ion-ion major jumlahnya lebih dari 98% dari total konsentrasi garam dalam air laut. Dalam hubungan satu sama lain, konsentrasi dari ion-ion utama (major) berada dalam keadaan konstan meskipun kelimpahan total mereka mungkin berbeda dari tempat yang satu dengan tempat yang lain.

Garam-garam bernilai untuk kebanyakan bahan terlarut dalam air laut dibutuhkan untuk pertumbuhan dan memelihara jaringan tubuh tumbuhan dan hewan. Magnesium, kalsium, bikarbonat, dan silikat merupakan komponen penting bagi bagian-bagian tulang/rangka keras organisme laut. Tumbuh-tumbuhan memerlukan nitrat dan pospat untuk mensintesis material organik. Lagi pula,

3

KONSEP ADAPTASI BIOTA LAUT

Setiap lingkungan di bumi ini memiliki karakteristik tersendiri dan setiap makhluk hidup untuk bisa sukses dalam kehidupannya harus bisa berinteraksi dengan lingkungannya melalui pemberian respons untuk setiap perubahan. Cara makhluk hidup menyesuaikan diri dengan lingkungan di mana mereka tinggal tersebut diistilahkan dengan adaptasi, sedangkan lingkungan tempat makhluk hidup berkembangbiak disebut dengan habitat. Adaptasi sendiri dibagi menjadi beberapa macam seperti adaptasi morfologi, adaptasi fisiologi, adaptasi tingkah laku dan reproduksi, dan adaptasi makanan.

Organisme laut memiliki beragam cara untuk menyesuaikan diri dengan perubahan faktor lingkungan. Faktor internal dari organisme seperti suhu badan, dapat berfluktuasi secara langsung

dengan berubahnya faktor lingkungan atau organisme dapat memelihara suhu badannya. Organisme dapat mengalami kerugian karena pengaruh perubahan kondisi lingkungan, pengaruh yang biasa dapat diukur adalah peningkatan kematian, menurunnya pertumbuhan dan berkurangnya aktivitas.

Setiap organisme memainkan peran tertentu dalam ekosistemnya. Peran spesies yang dimainkannya dalam ekosistem tersebut diistilahkan dengan niche (relung). Dengan kata lain, niche adalah bagaimana organisme "membuat hidup." Suatu niche akan mencakup peran organisme dalam aliran energi melalui ekosistem. Hal ini melibatkan bagaimana organisme mendapatkan energi, yang biasanya ada hubungannya dengan apa yang organisme makan, dan bagaimana organisme melewatkan energi yang melalui ekosistem. Niche juga mencakup bagaimana organisme berinteraksi dengan organisme lain, dan perannya dalam daur ulang nutrisi.

Suatu konsep yang bagus mengenai kerangka respons biota laut terhadap lingkungan adalah niche dasar (*fundamental niche*), yakni lingkungan dapat dianggap sebagai suatu ruangan multidimensi yang setiap komponen sumbunya adalah aspek lingkungan di mana spesies biota laut itu hidup (Karleskint, 2009). Niche merupakan tempat makhluk hidup berfungsi di habitatnya, bagaimana cara hidup, atau peran ekologi makhluk hidup tersebut. Jadi, pada dasarnya makhluk hidup secara alamiah akan memilih habitat dan relung ekologinya sesuai dengan kebutuhannya, dalam arti bertempat tinggal, tumbuh berkembang dan melaksanakan fungsi ekologi pada habitat yang sesuai dengan kondisi lingkungan. Misalnya, iklim, nutrien, dan interaksi antara makhluk hidup yang ada.

Dalam ekologi, seluruh peranan dan fungsi makhluk hidup dalam komunitasnya dinamakan relung atau niche ekologi. Jadi, relung ekologi merupakan semua faktor atau unsur yang terdapat dalam habitatnya yang mencakup jenis-jenis organisme yang berperan, lingkungan, dan tempat tinggal yang sesuai dan spesialisasi populasi organisme yang terdapat dalam komunitas. Relung ekologi bukan konsep yang sederhana, melainkan konsep yang kompleks yang berkaitan dengan konsep

populasi dan komunitas. Relung ekologi merupakan peranan total dari semua makhluk hidup dalam komunitasnya.

Spesies tidak selalu ada dalam seluruh niche dasar mereka. Kadang-kadang spesies pesaing memerlukan sumber daya yang mirip yang tersedia, sehingga membatasi spesies pertama hingga suatu kisaran yang lebih sempit. Bagian dari niche dasar yang sesungguhnya ditempati oleh spesies disebut niche yang didapat/dicapai (*realized niche*). Tersirat disini bahwa niche dasar dapat dihuni oleh spesies sebagai hasil dari evolusi dan adanya penampakan genetik spesies itu, sementara niche yang dicapai adalah suatu kisaran yang lebih sempit dari faktor lingkungan yang dapat ditempati oleh suatu spesies yang kemungkinan hanya sebentar atau sesaat saja.

Jika suatu faktor membatasi niche dasar spesies hingga mendekati niche yang dicapai oleh spesies tersebut terjadinya cukup lama, maka spesies tersebut tidak akan berhasil hidup dan tidak mengalami adaptasi genetik pada kisaran lingkungan tersebut. Dengan demikian adaptasi fisiologis akan hilang apabila suatu spesies hidup pada suatu lingkungan yang konstan selama beberapa generasi.

Dalam menguji respons biota terhadap perubahan lingkungan, maka perlu dibedakan antara waktu ekologis dan waktu evolusi. Waktu ekologis adalah suatu skala waktu di mana individu-individu atau populasi harus respons terhadap perubahan lingkungan sambil memaksa susunan genetik setiap individu. Sementara skala waktu evolusi adalah skala waktu perubahan struktur genetik dari spesies melalui evolusi yang memungkinkan terjadinya adaptasi baru terhadap perubahan lingkungan. Jika terjadi suatu perubahan lingkungan dan berlangsung selama beberapa generasi (lama), maka selanjutnya seleksi alam akan mengubah genotip-genotip tersebut yang lebih mampu beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi yang akan diturunkan pada generasi selanjutnya. Proses perubahan genetik populasi ini terjadi dalam skala waktu yang berevolusi (lama).

Setiap organisme merupakan subjek dari kisaran variasi lingkungan selama mereka hidup. Kemampuan untuk hidup dalam lingkungan yang selalu berubah akhirnya ditentukan oleh komposisi genetik dan genom-

nya. Apabila terjadi perubahan faktor lingkungan misalnya peningkatan suhu, maka individu harus memiliki *receptor* (penerima) untuk mengetahui perubahan. Informasi perubahan tersebut selanjutnya disampaikan dan diterjemahkan ke dalam suatu respons penyesuaian (*adaptive response*) seperti organisme yang menggali lubang ketika pemaparan oleh udara panas. Kadang-kadang terjadi suatu hirarki respons organisme terhadap perubahan lingkungan tergantung pada seberapa ekstrimnya perubahan faktor lingkungan tersebut. Tingkah laku reproduksi sering terjadi dalam suatu kisaran suhu yang sempit untuk beberapa hewan avertebrata dibanding tingkah laku makan mereka. Tingkah laku makan juga terjadi dalam suatu kisaran suhu yang sempit, kadang suatu organisme berhenti makan untuk sementara ketika terjadi suatu keadaan yang memaksa mereka harus diam untuk mempertahankan kehidupan (seperti siput yang masuk ke dalam cangkangnya untuk menghindari panas dan tekanan pemaparan udara terbuka).

Beberapa perubahan lingkungan akan membawa organisme ke suatu keadaan yang mematikan, di mana adaptasi perlawanan (*resistance adaptation*) harus dilakukan untuk mencegah kematian. Dengan demikian variasi kemampuan toleransi di antara spesies terhadap suhu yang ekstrim dapat dipertimbangkan sebagai variasi dalam adaptasi perlawanan. Variasi faktor lingkungan yang lain adalah tidak begitu ekstrim dan kondisinya bagus dalam kisaran toleransi suatu organisme. Respons penyesuaian terhadap setiap perubahan dikenal sebagai kapasistas atau kemampuan adaptasi. Sebagai contoh hewan avertebrata dapat mengatur kandungan garam dalam selnya dalam merespons perubahan salinitas. Dalam praktiknya sangat sulit membedakan antara adaptasi perlawanan dengan kemampuan adaptasi. Pada saat air surut misalnya, jika kerang bivalvia tidak menutup cangkangnya untuk mempertahankan kelembaban tubuhnya dia akan mati kekeringan. Padahal respons semacam ini akan dilakukan dengan baik pada kisaran lingkungan yang normal yang dia alami.

A. ADAPTASI MORFOLOGI

Adaptasi morfologi adalah penyesuaian bentuk tubuh makhluk hidup atau alat-alat tubuh makhluk hidup terhadap lingkungan tempat tinggalnya. Pada adaptasi ini biasanya bentuk penyesuaian bentuk tubuhnya seperti pada bentuk paruh, bentuk kaki, maupun bentuk seluruh tubuh secara keseluruhan. Adaptasi pada bentuk tubuh ini berfungsi untuk menyesuaikan bentuk tubuhnya dengan cara ia mendapatkan makanan dan menyesuaikan bentuk tubuhnya dengan bagaimana ia tinggal di tempat tersebut. Misalnya, pada organisme yang hidup di laut-dalam harus beradaptasi dengan berbagai kondisi yang mereka temukan di sana. Bentuk dan struktur tubuh organisme laut dalam disesuaikan dengan kondisi dasar laut. Makanan pada twilight zone (zona senja) hingga zona gelap di lautan adalah sumber daya yang langka. Makanan yang langka juga memengaruhi struktur tubuh. Oleh karena itu, ikan laut dalam cenderung untuk menghemat energi. Energi yang mereka miliki harus dialokasikan untuk pertumbuhan, pemeliharaan dan reproduksi. Ikan laut dalam menurunkan penggunaan energi mereka dengan menyesuaikan tubuh terhadap kondisi, yaitu dengan memiliki otot yang lemah, tulang yang kurang padat, tingkat metabolisme yang lebih rendah, dan memperlambat kecepatan bernapas (respirasi).

B. ADAPTASI FISILOGI

Adaptasi Fisiologi adalah penyesuaian fungsi alat tubuh suatu makhluk hidup terhadap keadaan lingkungannya yang memerhatikan perubahan sistem metabolisme dalam tubuhnya. Adaptasi ini tidak dapat dilihat langsung oleh mata. Karena pada adaptasi fisiologi menyangkut tentang fungsi organ-organ bagian dalam tubuh makhluk hidup dengan lingkungannya. Seperti fungsi jantung manusia untuk beradaptasi dengan daerah tinggi. Misalnya pada ikan yang hidup di air asin lebih pekat mengeluarkan urin daripada ikan yang hidup di air tawar. Ikan yang hidup di air asin mengeluarkan urin yang lebih pekat agar jumlah garam ditubuh ikan tersebut tidak berlebihan. Ikan air laut menghasilkan urin lebih pekat dibandingkan ikan air tawar. Hal ini disebabkan karena, kadar garam air laut lebih tinggi daripada kadar garam air tawar. Tingginya kadar garam air laut menyebabkan ikan air laut kekurangan

air. Air dari dalam sel tubuh ikan laut keluar melalui proses osmosis. Karena kekurangan air, ikan harus banyak minum air laut. Akibatnya, kadar garam dalam darahnya menjadi tinggi (pekat). Untuk mengurangi kepekatan cairan tubuhnya, ikan mengeluarkan urin yang pekat pula. Untuk mengimbangi banyaknya air yang keluar dari tubuhnya, ikan air laut hanya mengeluarkan sedikit urin. Hal sebaliknya terjadi pada ikan air tawar. Karena cairan di lingkungan lebih encer daripada cairan di dalam tubuh ikan, air dan lingkungan masuk ke tubuh ikan secara osmosis. Untuk mengatur keseimbangan osmotik dan ion, insang menyerap garam (NaCl). Untuk membuang kelebihan air, ikan air tawar banyak mengeluarkan urin yang encer. Peristiwa semacam ini merupakan adaptasi fisiologi ikan terhadap lingkungannya.

Mamalia laut, berang-berang, dan anjing laut menggunakan udara yang terperangkap pada lapisan bawah rambutnya yang lebat sebagai daya apung. Cumi-cumi mengatur daya apung netral dengan mengganti ion kimia berat dalam cairan tubuh dengan yang lebih ringan. Mekanisme lain untuk meningkatkan daya apung adalah dengan menyimpan lipida di dalam tubuh.

C. ADAPTASI TINGKAH LAKU DAN REPRODUKSI

Tingkah laku adalah reaksi terhadap keadaan tertentu yang faktor penyebabnya dapat berasal dari luar dan dari dalam tubuh. Faktor dari dalam tubuhnya dinyatakan sebagai faktor motivasional yang menentukan arah intensitas dari penampilan tingkah laku. Reaksi dari suatu biota ditemukan oleh kemampuan potensial indera. Potensi alat indra itu menyangkut beberapa aspek yaitu, kepekaan, diskriminasi dan lokasi.

Adaptasi tingkah laku adalah cara makhluk hidup beradaptasi dengan lingkungannya dalam bentuk tingkah laku. Adaptasi tingkah laku ini berhubungan dengan tindakan makhluk hidup untuk beradaptasi atau melindungi diri dari pemangsa. Selain itu juga, adaptasi tingkah laku berhubungan dengan kebiasaan makhluk hidup untuk beradaptasi dan mempertahankan hidupnya disuatu lingkungan. Misalnya, pada ikan

paus dan lumba-lumba yang bernapas dengan paru-paru secara berkala muncul ke permukaan air untuk bernapas. Karena minimnya cahaya dan stok makanan, maka organisme laut-dalam mengembangkan evolusi mereka sebagai predator pasif. Mereka hanya menunggu dengan diam dan lama untuk menangkap mangsa. Jumlah populasi juga tidak banyak karena akan makin memperketat kompetisi memperoleh makanan. Kondisi itu juga menyebabkan mereka mengembangkan kemampuan hermafrodit untuk berkembang biak. Hermafrodit, yaitu organisme yang memiliki dua jenis kelamin, jantan dan betina. Bentuk adaptasi reproduksi juga terlihat pada migrasi ikan salmon untuk melakukan reproduksi di daerah air tawar.

Salah satu segi terpenting pada makhluk hidup adalah kemampuannya mengembangbiak (reproduksi) sebagai suatu proses dalam usaha mempertahankan keberadaan jenisnya di alam. Tingkah laku reproduksi pada banyak hewan, termasuk ikan merupakan suatu siklus yang dapat dikatakan berkala dan teratur. Secara umum ikan dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu jantan dan betina (biseksual/dioecious) di mana sepanjang hidupnya memiliki jenis kelamin yang sama. Istilah lain untuk keadaan ini disebut gonokhoristik yang terdiri atas dua kelompok yaitu: kelompok yang tidak berdiferensiasi, artinya pada waktu juvenil, jaringan gonad belum dapat diidentifikasi apakah berkelamin jantan atau betina, dan kelompok yang berdiferensiasi, artinya sejak juvenil sudah tampak jenis kelaminnya apakah jantan atau betina. Selain gonokhoristik, dikenal pula istilah hermafrodit yang artinya di dalam tubuh individu ditemukan dua jenis gonad (jantan dan betina). Bila kedua jenis gonad ini berkembang secara serentak dan mampu berfungsi, keduanya dapat matang bersamaan atau bergantian maka jenis hermafrodit ini disebut hermafrodit sinkroni. Contoh ikan yang bersifat seperti ini adalah *Serranus cabrilla*, *Serranus subligerius* dan *Hepatus hepatus*, *Sparrus auratus* dan *Pagellus centrodontus*. Bila pada awalnya berkelamin jantan, jika sudah semakin tua akan berubah kelamin menjadi betina, hal ini disebut sebagai hermafrodit protandri. Sedangkan, hermafrodit protogini adalah istilah untuk individu yang pada awalnya berkelamin betina, namun semakin tua akan berubah menjadi kelamin jantan seperti dijumpai pada ikan belut.

D. ADAPTASI MAKANAN

Hubungan antara organisme-organisme yang berbeda dapat dijelaskan melalui hubungan rantai makanannya. Pendekatan ini meliputi penentuan apa yang dimakan oleh suatu organisme dan apa yang memakannya. Organisme yang hidup memerlukan dua hal dasar dari makanannya, yaitu zat yang dikandung makanan dan energi. Zat-zat makanan diperlukan untuk pertumbuhan individu dan untuk reproduksi. Energi dibutuhkan untuk memelihara atau mempertahankan kondisi kimia yang diharapkan dalam tubuh organisme hidup, inilah yang membedakannya dari kelompok yang tidak hidup.

Untuk memenuhi energi yang diperlukannya, seluruh organisme hidup menggunakan Adenosin Trifosfat (ATP) sebagai molekul-molekul dasar untuk pertukaran energi mereka. Suatu molekul ATP tersusun dari suatu senyawa adenosin dengan tiga kelompok fosfat: Adenosin - P ~ P ~ P. simbol ~ mewakili suatu ikatan kimia yang tidak stabil yang apabila pecah menghasilkan energi yang diperlukan untuk melakukan metabolisme. Biasanya hanya ujung ikatan yang pecah untuk melepaskan energi, suatu unit P dan Adenosin - P ~ P (adenosin difosfat atau ADP):



Fotosintesis merupakan suatu proses biokimia yang menggunakan pigmen-pigmen klorofil untuk menyerap beberapa energi sinar matahari yang melimpah. Dalam proses ini ATP dan substansi energi tinggi lainnya dibuat dan selanjutnya digunakan untuk mensintesis gula, asam amino, dan lipid dari CO_2 dan H_2O . Sekarang, fotosintesis dapat diringkaskan mengikuti persamaan umum berikut ini:

4

RESPONS ADAPTASI BIOTA LAUT

Kepekaan terhadap stimulus merupakan salah satu ciri utama kehidupan. Tujuan akhir dari respons adalah untuk mempertahankan hidupnya. Apabila kondisi lingkungan menjadi sangat tidak baik, maka yang terjadi adalah: *Pertama*, hewan meninggalkan tempat itu dan mencari tempat dengan kondisi yang lebih baik. *Kedua*, hewan memberikan respons tertentu yang mampu mengatasi efek negatif perubahan tersebut. *Ketiga*, hewan itu akan mati. Adaptasi umumnya diartikan sebagai penyesuaian makhluk hidup terhadap lingkungannya. Respons dan adaptasi perilaku hewan merupakan aktivitas terarah berupa respons terhadap kondisi dan sumber daya lingkungan. Terjadinya suatu perilaku melibatkan peranan reseptor dan efektor serta koordinasi saraf dan hormon.

Bagaimana kita dapat menguji secara sistematis perubahan lingkungan yang nyata terhadap individu? Hal ini merupakan tugas sulit, karena respons organisme umumnya sangat lengkap dan melibatkan komponen-komponen genetik, biokimia, fisiologis, dan tingkah laku. Untuk suatu organisme yang menjalani aklimatisasi di laboratorium atau aklimatisasi di lapangan, maka perubahan lingkungan di luar kisaran yang diaklimatisasi maupun diaklimatisasikan dapat saja terjadi. Hal tersebut diistilahkan dengan tekanan lingkungan (*environmental stress*). Untuk organisme konformer perubahan peluang kematian organisme pada suatu perubahan lingkungan yang ditentukan dapat dianggap sebagai suatu ukuran stres. Lamanya lingkungan berubah dapat menentukan apakah akan meningkatkan peluang kematian suatu organisme. Jika perubahan lingkungan diperpanjang, peluang stres karena faktor lingkungan yang lain juga akan meningkat. Pada banyak contoh, dua faktor lingkungan yang ekstrim akan bekerja bersama-sama untuk menyebabkan kematian organisme, namun apabila salah satunya yang bekerja tidak akan menyebabkan kematian.

Dalam suatu lingkungan yang ekstrim sehubungan dengan alokasi energi maka ada beberapa hal yang dilakukan: (a) organisme memerlukan suatu respons penyesuaian diri yang memakan banyak energi untuk membiayai fungsi-fungsi tubuh yang lain dan (b) akan meningkatkan peluang kematian bagi organisme. Efek yang pertama dapat dikuantitatifkan melalui estimasi energi relatif yang tersedia pada saat itu untuk pertumbuhan dan reproduksi dengan kondisi fisiologis organisme pada saat tersebut. Faktor ini dapat diketahui dari persamaan energi berikut:

$$E_A = E_G + E_R + E_M$$

Di mana E_A adalah energi yang diasimilasi per unit waktu, E_G energi yang dikeluarkan untuk pertumbuhan, E_R energi yang dikeluarkan untuk pembentukan gamet dan E_M energi yang diperlukan untuk respirasi. Sekarang kita dapat mendefinisikan jangkauan untuk pertumbuhan (S) sebagai berikut:

$$S = E_G + E_R - E_M$$

Untuk mengestimasi energi yang diasimilasi dengan formula tersebut maka kita perlu mengukur laju makan, persentase makanan yang diasimilasi dan laju respirasi. Apabila terjadi kelebihan energi (S positif), maka energi akan dibagi untuk pertumbuhan jaringan somatik dan gamet. Konsep ini sangat berguna karena hal tersebut memadukan proses fisiologis dengan tingkah laku, sehingga akan menyediakan indeks respons seluruh organisme.

Kematian karena kondisi lingkungan yang ekstrim lebih umum ditaksir daripada mengukur jangkauan (S) pertumbuhan seperti rumus di atas. Populasi-populasi yang dicobakan biasanya disimpan pada suatu kondisi standar di laboratorium selama suatu periode yang memungkinkan terjadinya aklimasi. Selanjutnya suhu yang mematikan (sebagai contoh), dapat ditentukan melalui: (a) penurunan atau kenaikan yang bertahap dari suhu air; atau (b) transfer yang cepat individu yang diaklimatisasi di laboratorium ke suatu suhu ekstrim konstan. Alternatif selanjutnya adalah dosis (suhu) yang diperlukan untuk mematikan 50% dari populasi yang dicobakan setelah suatu waktu spesifik (umumnya 24 jam) dapat ditentukan. Dosis tersebut dikenal sebagai *Lethal Dosage* 50 atau LD_{50} (selama 24 jam). Untuk mendapatkan LD_{50} dapat dilakukan dengan membiasakan mencoba beragam parameter ekstrim seperti suhu. Langkah ini akan menghasilkan suatu rentetan titik-titik yang berhubungan dengan suhu terhadap persentase kematian, selanjutnya LD_{50} dapat diinterpolasi.

Suatu indeks peluang bertahan hidup individu di bawah kondisi banyak faktor dapat diperoleh melalui melakukan percobaan-percobaan kombinasi yang berbeda dari lebih dari satu faktor. Sebagai contoh, seseorang dapat mengestimasi persen kematian individu/populasi setelah suatu waktu tertentu melalui kombinasi suhu dan salinitas. Pendekatan ini memungkinkan mendefinisikan arti peluang dari niche dasar, terutama jika kita memplot hasil akhir reproduksi sebagai suatu fungsi dari variabel-variabel yang sama. Costlow dkk (1960) telah mengukur persen kelangsungan hidup larva kepiting *Sesarma cinereum* pada kombinasi yang berbeda suhu dan salinitas. Fluktuasi lingkungan dapat menghasilkan perubahan yang cepat derajat/tingkat stres lingkungan terhadap individu yang merupakan subjek. Individu-individu pada setiap lingkungan harus memiliki tingkah laku fisiologi yang sangat besar atau

kelenturan morfologis yang lebar jika mereka organisme konformer atau harus memiliki kemampuan ekstra untuk mengatur.

Interaksi dari perubahan musiman suhu dan cahaya dapat memiliki akibat yang penting untuk fisiologi organisme laut. Lintang-lintang di daerah utara pada musim dingin, kondisi suhu dingin dan ketersediaan makanan kurang, sehingga pertumbuhan juga menurun. Sedikitnya bahan makanan mengarah pada perubahan jalur metabolisme, banyak avertebrata lebih bergantung pada jalur metabolisme anaerobik karena kurangnya bahan makanan sebagai bahan bakar dalam metabolisme aerobik. Demikian halnya pada musim panas di daerah lintang pertengahan kondisinya dapat tertekan akibat suhu tinggi, sehingga ketersediaan makanan juga sedikit dan tidak mencukupi kebutuhan metabolisme, akibatnya metabolisme secara anaerobik juga dapat terjadi.

A. PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN SUHU TERHADAP ORGANISME LAUT

Suhu adalah ukuran energi gerakan molekul. Faktor suhu selalu mendapat perhatian dalam pengkajian-pengkajian kelautan. Di samudera, suhu bervariasi secara horizontal sesuai garis lintang dan juga secara vertikal sesuai dengan kedalaman. Proses kehidupan yang vital yang secara kolektif disebut metabolisme, hanya berfungsi di dalam kisaran suhu yang relatif sempit biasanya antara 0-40°C, meskipun demikian beberapa beberapa ganggang hijau biru mampu mentolerir suhu sampai 85°C. Selain itu, suhu juga sangat penting bagi kehidupan organisme di perairan, karena suhu memengaruhi baik aktivitas maupun perkembangan dari organisme tersebut. Oleh karena itu, tidak heran jika banyak dijumpai bermacam-macam jenis ikan yang terdapat di berbagai tempat di dunia yang mempunyai toleransi tertentu terhadap suhu.

Suhu ini merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat penting. Hampir semua populasi ikan yang hidup di laut mempunyai suhu optimum untuk kehidupannya, maka dengan mengetahui suhu optimum dari suatu spesies ikan, kita dapat menduga keberadaan kelompok ikan, yang kemudian dapat digunakan untuk tujuan perikanan.

Mamalia dan burung laut mengatur suhu badan mereka pada suatu level yang konstan dan dikenal sebagai organisme Homoitherm. Berlawanan dengan ikan, hewan yang tidak bertulang belakang (avertebrata) dan alga mereka tidak mengatur suhu badan hingga suatu level konstan seperti yang dilakukan mamalia dan burung laut, sehingga organisme seperti ikan dikenal sebagai hewan *Poikilotherm*. Pada banyak kasus, *poikilotherm* memiliki suhu badan yang sama dengan suhu air laut di mana mereka hidup. Beberapa ikan yang aktif seperti ikan cakalang dan tuna memiliki suhu badan yang lebih tinggi. Hal ini terjadi kemungkinan disebabkan oleh panas metabolisme yang dibangkitkan oleh otot saat aktivitas renang dan dalam pengaturan suhu badan ikan tersebut memiliki suatu aturan tersendiri. Kebanyakan ikan mampu menyesuaikan suhu badannya dengan suhu lingkungannya. Apabila terpapar udara terbuka, hewan yang tidak bertulang belakang di daerah pasang surut juga memiliki suhu badan yang nyata sekali berbeda dengan suhu benda-benda mati disekitarnya. Hewan-hewan yang tidak bertulang belakang di daerah pasang surut daerah tropis memiliki suhu badan yang lebih rendah daripada objek yang sama yang diprediksikan memiliki suhu yang lebih tinggi ketika terpapar sinar matahari. Suhu badan gastropoda *Nerita tessellata* dan *Fissurella barbadensis* serta teritip *Tetraclita squamosa* masing-masing 10, 12,2 dan 12,9°C, berada di bawah suhu benda mati di sekitar mereka. Meskipun hewan-hewan tersebut masih lebih hangat dari suhu air laut pada saat sinar matahari cerah, proses evaporasi nampaknya menyebabkan terjadi beberapa kehilangan panas.

Suhu memengaruhi laju proses metabolisme. Suhu yang lebih hangat dalam suatu batasan-batasan tertentu umumnya meningkatkan aktivitas tingkah laku dan metabolisme. Hal tersebut dapat ditunjukkan melalui tingginya konsumsi oksigen. Peningkatan suhu sebesar 10°C akan menyebabkan perubahan laju metabolisme yang diukur melalui perubahan konsumsi oksigen. Hubungan antara suhu dengan laju metabolisme menyebabkan masalah-masalah fisiologis yang nyata pada spesies laut yang hidup pada lingkungan yang suhunya berubah secara musiman. Suhu pada musim dingin dapat menekan aktivitas hewan *poikilotherm* yang tidak memiliki kapasitas aklimatisasi. Berlawanan dengan suhu pada musim panas yang dapat meningkatkan konsumsi oksigen pada suatu titik di mana proses metabolisme melebihi cadangan energi yang tersedia. Aklimatisasi terhadap perubahan suhu musiman

akan membantu mempertahankan aktivitas dan menjaga keseimbangan energi yang menyenangkan. Pada suatu musim di mana perubahan suhu musiman relatif lambat, banyak hewan-hewan yang tidak bertulang belakang melakukan aklimatisasi dan mengatur kembali hubungan suhu dengan metabolisme pada suatu kondisi yang baru.

Toleransi terhadap suhu merupakan suatu faktor penting yang mengatur sebaran organisme laut. Karena organisme pasang surut (intertidal) cenderung memiliki kisaran suhu harian dan musiman yang lebih tinggi, mereka memiliki kisaran yang lebar terhadap suhu dibanding spesies biota laut yang hidup di daerah subtidal (di bawah daerah pasang surut). Oleh karena itu, aklimatisasi pada habitat suatu musim menghasilkan toleransi yang tinggi terhadap suhu tinggi pada musim panas dan suhu rendah pada musim dingin. Kisaran geografis spesies biota laut mengindikasikan bahwa seleksi alam telah mengubah respons optimum spesies biota laut terhadap rejim suhu asal mereka. Ikan genus *Trematomus* dari Kutub Selatan mereka hidup pada suhu $-1,9^{\circ}\text{C}$ sepanjang tahun. Mereka akan mati apabila dibawa pada suhu lebih dari 6°C . Sebaliknya banyak spesies dari Kutub Utara tidak dapat mentolerir suhu hangat $<10^{\circ}\text{C}$. Pada suatu lokasi geografis yang lainnya biota laut terdiri dari kelompok spesies yang kisaran suhu optimumnya berbeda.

Gangguan integrasi fisiologis dapat diamati pada tingkat sel melalui investigasi *cell thermostability* (stabilitas suhu sel) yang diukur melalui aktivitas silia pada epitelium bersilia pada suhu yang berbeda. Ternyata spesies yang diambil dari daerah intertidal atas di tropis memiliki stabilitas suhu sel yang lebih tinggi dibanding spesies yang diambil dari intertidal bawah. Untuk setiap spesies stabilitas suhu sel menurun menuju batas atas suhu yang mematikan. Pada alga laju fotosintesis menurun di dekat batas suhu.

Pengaruh suhu dingin khususnya pada organisme tropis kemungkinan juga meliputi mekanisme yang mirip dengan batas atas suhu yang mematikan. Pada ikan tropis tekanan suhu dingin pada sistem respirasi dapat mengarah ke kondisi anoxia dan kematian. Namun pada banyak lingkungan laut dingin, pembekuan menjadi suatu masalah. Larva dari banyak ikan dan foraminifera dapat ditemukan pada bongkahan-bongkahan es di perairan kutub selatan. Alga dan teritip sering dapat

bertahan hidup pada musim dingin di bawah kondisi yang membekukan di zona intertidal. Namun, formasi es dapat rata dan mengubah struktur lembut dan hasilnya adalah peningkatan kandungan garam seluler dari cairan sel. Dalam beberapa kasus cairan seluler menjadi sangat dingin, yaitu sisa cairan berada di bawah titik beku air.

Suhu juga memengaruhi pertumbuhan dan reproduksi organisme laut. Kebanyakan spesies laut tumbuh dan reproduksi pada suatu kisaran suhu yang sempit dibanding kisaran suhu di mana organisme tersebut bisa hidup. Dalam suatu kisaran yang lebih tinggi, pertumbuhan biasanya lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi. Pada Bivalvia, anggota dari spesies yang sama telah dilaporkan tumbuh lebih lambat, namun mereka dapat bertahan hidup hingga usia lebih tua dan mencapai ukuran yang lebih besar di daerah lintang tinggi dibanding lintang rendah. Pertumbuhan pada habitat-habitat musiman yang diamati pada bulan-bulan musim yang lebih hangat dalam setahun lebih tinggi, walaupun harus dicatat bahwa peningkatan pertumbuhan yang diamati di alam juga pada bulan-bulan musim yang lebih hangat yang mungkin sebagai refleksi dari banyak makanan yang tersedia pada saat itu.

Reproduksi biasa terjadi dalam suatu kisaran geografis yang lebih sempit daripada kisaran yang dibutuhkan individu yang tidak melakukan reproduksi karena stadia pelagis larva individu-individu mendapatkan habitat yang kurang menguntungkan dari segi suhu. Di daerah lintang tinggi margin untuk suhu reproduksi spesies cenderung dibatasi oleh suhu maksimum pada musim panas sementara di daerah lintang rendah dibatasi oleh suhu minimum pada musim dingin.

Suhu sering mengatur waktu dan dapat menentukan gaya reproduksi dari organisme laut. Banyak spesies avertebrata akan memijah hanya apabila suhu lingkungan mencapai suatu suhu tertentu yang mereka senangi. Perubahan mode reproduksi sebagai fungsi dari suhu diketahui dengan baik pada hewan Coelenterata. Pada suhu kurang dari 6°C hingga 7°C Anthomedusae dari *Rathkea octopunctata* melakukan reproduksi aseksual, lalu membentuk gamet (reproduksi seksual) pada suhu di atas 6°C hingga 7°C. Pada umumnya, perubahan musiman dalam sintesis gamet dan pelepasannya sangat terkait dengan suhu juga ketersediaan makanan dan fotoperiod.

Akhirnya suhu nampaknya dapat memengaruhi morfologi. Seperti banyaknya jumlah lekukan pada cangkang moluska berkaitan dengan letak lintang. Pada kerang biru *Mytilus edulis* terdapat dalam dua warna cangkang, yaitu biru dan coklat terang. Perbedaan tersebut karena perbedaan genetik. Kerang yang berwarna biru menyerap lebih banyak panas pada saat siang hari yang cerah dan memiliki suhu badan yang lebih tinggi dibanding kerang yang berwarna coklat terang.

B. PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN SALINITAS TERHADAP ORGANISME LAUT

Salinitas adalah kadar garam seluruh zat yang larut dalam 1.000 gram air laut, dengan asumsi bahwa seluruh karbonat telah diubah menjadi oksida, semua brom dan lod diganti dengan khlor yang setara dan semua zat organik mengalami oksidasi sempurna. Salinitas mempunyai peran penting dan memiliki ikatan erat dengan kehidupan organisme perairan, di mana secara fisiologis salinitas berkaitan erat dengan penyesuaian tekanan osmotik ikan tersebut. Selain natrium klorida (NaCl), di dalam air laut terdapat pula garam garam magnesium, kalsium, kalium, dan sebagainya.

Salinitas di daerah subpolar (yaitu daerah di atas daerah subtropis hingga mendekati kutub) rendah di permukaan dan bertambah secara tetap (monotonik) terhadap kedalaman. Di daerah subtropis (atau semi tropis, yaitu daerah antara $23,5^{\circ}$ – 40° LU atau $23,5^{\circ}$ – 40° LS), salinitas di permukaan lebih besar daripada di kedalaman akibat besarnya evaporasi (penguapan). Di kedalaman sekitar 500 sampai 1000 meter harga salinitasnya rendah dan kembali bertambah secara monotonik terhadap kedalaman. Sementara itu, di daerah tropis salinitas di permukaan lebih rendah daripada di kedalaman akibatnya tingginya presipitasi (curah hujan).

Salinitas yang berubah-ubah di daerah pasang surut dan estuaria dapat menjadi masalah bagi organisme laut karena proses fisik, yaitu difusi dan osmosis. Difusi terjadi jika konsentrasi bahan terlarut seperti ion Na (sodium) tidak sama antara dua cairan yang dibatasi oleh selaput

5

ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI TUMBUHAN LAUT

A. ADAPTASI MAKRO ALGA

Tumbuhan laut (makro alga) dalam bahasa perdagangannya disebut rumput laut atau *seaweed*. Rumput laut secara biologi termasuk salah satu anggota alga yang merupakan tumbuhan berklorofil. Sejauh ini, mayoritas dari bentuk-bentuk yang jelas dari tumbuhan laut yang hidup menempel adalah rumput laut. Istilah seaweed kadang-kadang digunakan untuk mengindikasikan sekelompok tumbuhan laut yang lebih besar yang menempel pada dasar perairan pantai yang relatif dangkal. Istilah yang digunakan disini dalam suatu arti yang lebih terbatas, merujuk hanya pada anggota yang makroskopis dari divisi Chlorophyta (alga hijau), Phaeophyta (alga coklat), dan Rhodophyta (alga merah).

Pengelompokan tumbuhan rumput laut termasuk ke dalam makro alga atau alga yang berukuran besar dan dapat dilihat dengan mata telanjang (Thallophyta). Rumput laut tidak memiliki akar, batang dan daun sejati, tidak seperti tumbuhan tingkat tinggi lainnya (Spermatophyta). Namun, rumput laut memiliki organ yang dinamakan talus yang menyerupai batang yang merupakan struktur vegetatif dari rumput laut, multisel dan terdiri dari berbagai bentuk yang berbeda. Fungsi akar pada tumbuhan digantikan peranya oleh talus sebagai penyerap nutrisi dan hara. Rumput laut juga memiliki organ seperti akar yang dinamakan *holdfast*, berfungsi sebagai pelekat pada substrat seperti, bebatuan, pasir, lumpur dan beberapa jenis jenis terumbu karang.

Rumput laut melimpah pada zona intertidal dan umumnya meluas hingga kedalaman 30-40 meter. Pada laut tropis yang jernih beberapa spesies alga merah tumbuh subur pada kedalaman 200 meter, dan suatu spesies yang tidak dinamai telah dilaporkan hidup pada kedalaman 268 meter di Bahama. Banyak rumput laut tolerir terhadap aksi ombak yang ekstrim pada daerah batu intertidal yang terbuka. Tempat di mana mereka melimpah, rumput laut sangat memengaruhi dan memodifikasi keberadaan kondisi lingkungan untuk tipe-tipe lain dari kehidupan air dangkal melalui menyediakan makanan, perlindungan dari ombak, keteduhan, dan kadang-kadang merupakan substrat untuk perlekatan organisme lain.

B. PIGMEN FOTOSINTESIS RUMPUT LAUT

Rumput laut memiliki 6000 jenis yang tersebar di seluruh bumi, didominasi zat warna merah, ungu, lembayung berasal dari pigmen klorofil a) klorofil; b) karotin, xantofil, dan fikobiliprotein yang terdiri dari fikoretin dan fimosianin. Secara umum, ciri-ciri rumput laut merah, yaitu Thalli bulat silindris atau gepeng, bercabang selang-seling tidak teratur atau tricotomus, memiliki benjolan (bulat *nodule*) dan duri-duri atau *spines*, substansi *thalli gelatinous* dan atau *kartilagenous*. Setiap divisi dari rumput laut dicirikan oleh kombinasi spesifik dari pigmen-pigmen fotosintesis yang direfleksikan pada warna yang nampak dan nama yang umum dari setiap divisi. Warna hijau rumput, cerah merupakan

ciri khas alga hijau karena didominasi oleh klorofil, yang mengungguli pigmen-pigmen lainnya. Alga hijau bervariasi strukturnya mulai dari bentuk filamen sederhana hingga tempat duduk yang rata dan berbagai bentuk percabangan yang kompleks. Mereka biasanya kurang dari satu meter panjangnya, namun satu spesies *Codium* dari Teluk California kadang-kadang tumbuh mencapai 8 meter panjangnya. Jika dibandingkan dengan alga merah dan alga coklat, Chlorophyta memiliki spesies laut yang sedikit. Namun, pada beberapa lokasi keanekaragaman mereka yang terbatas ditunjang oleh kepadatan populasi individu dari satu atau dua spesies.

Pigmen fotosintesis dari Phaeophyta kadang-kadang dapat dilihat sebagai corak warna kehijauan. Namun, klorofil yang hijau secara parsial lebih sering ditandai oleh pigment xantofil yang berwarna emas terutama fukoxantin yang merupakan ciri khas divisi ini. Paduan pigment coklat dan hijau biasanya menghasilkan suatu warna hijau-zaitun, tidak menarik. Banyak dari alga yang lebih umum dan besar dari lautan beriklim sedang merupakan anggota dari divisi ini. sejumlah spesies agak besar dan kadang-kadang secara kolektif ditujukan sebagai Kelp. Di daerah beriklim sedang dan lintang tinggi, spesies tersebut biasanya mendominasi vegetasi bentik laut. Banyak yang berukuran lebih kecil, alga coklat yang kurang jelas juga umum di daerah iklim sedang (temperate) dan perairan dingin seperti halnya di daerah tropis.

Alga merah dengan pigmen fikobilin merah dan biru sebagaimana halnya klorofil, menunjukkan kisaran warna yang luas. Beberapa di antaranya berwarna hijau terang dan yang lainnya kadang-kadang membingungkan dengan alga coklat. Namun, kebanyakan alga merah hidup di bawah kisaran pasang rendah dengan warna mulai dari warna merah muda hingga berbagai warna merah teduh. Alga merah beragam dalam hal struktur dan habitat sebagaimana mereka dalam pewarnaan dan mereka jarang melebihi satu meter panjangnya.

Zat penyusun dinding sel mempunyai komposisi berupa kalsium karbonat, selulosa dan produk fotosintetik berupa keraginan, agar, fulcellaran dan porpiran. Fungsi cahaya matahari bagi tumbuhan rumput laut memberikan beberapa kondisi pada rumput laut di mana dapat menyesuaikan pigmen dengan kualitas pencahayaan sinar matahari,

sehingga dapat menimbulkan variasi warna pada talus yang disebut adaptasi karomatik. Warna warna yang berbentuk antara lain merah tua, merah muda, pirang, coklat, kuning, dan hijau.

C. GAMBARAN STRUKTURAL DARI RUMPUT LAUT

Rumput laut tidak sekompleks tumbuhan berbunga. Mereka tidak mempunyai akar, bunga, biji, dan daun sesungguhnya. Namun, dalam batasan-batasan struktural tersebut rumput laut menunjukkan keanekaragaman bentuk, ukuran, dan kesempurnaan struktural yang tidak terkekang. Filemen-filamen mikroskopis dari alga hijau dan coklat dapat ditemukan tumbuh berdampingan dengan bentuk-bentuk percabangan alga merah dan anggota-anggota yang memiliki kedudukan yang rata-rata dari tiga divisi. Banyak dari anggota-anggota yang berukuran lebih besar dari tiga divisi rumput laut berkembang ke dalam tumbuhan yang matang dengan bentuk-bentuk umum yang mirip, masing-masing terdiri dari helaian *blade*, *stipe*, dan *holdfast*.

1. Blade (Helaian Daun)

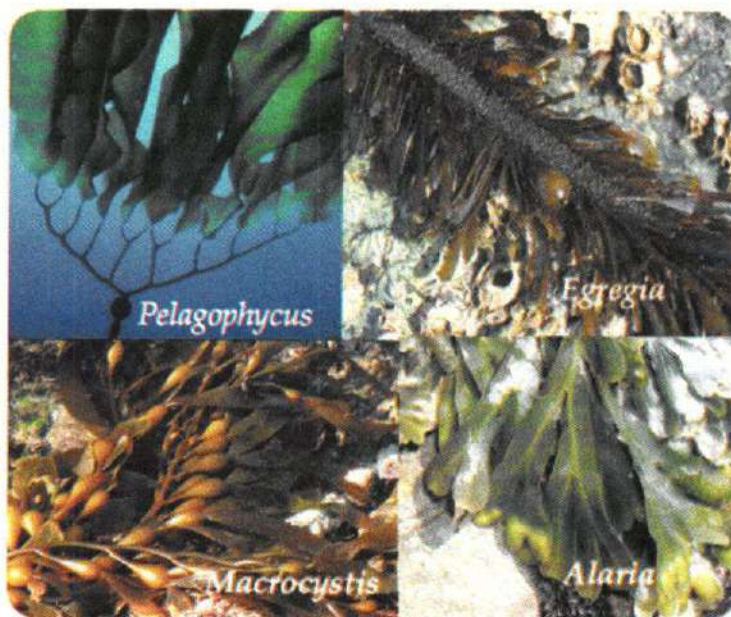
Biasanya struktur daun yang lebar dan rata dari rumput laut dikenal sebagai blade. Blade dari rumput laut seringkali menunjukkan tingkat yang kompleks dari susunan seluler dan percabangan. Bentuk yang besar dari alga coklat menghasilkan susunan blade dan bentuk blade yang dapat dibedakan, namun masing-masing dimulai sebagai sebuah tumbuhan muda dengan blade yang rata, tidak bercabang dan tunggal yang hampir identik dengan tumbuhan kelp muda.

Blade ditempati oleh sel-sel aktif melakukan fotosintesis, namun fotosintesis sering berlangsung di stipe dan holdfast. Penampakan melintang blade rumput laut secara struktur tidak seperti daun tumbuhan darat. Sel-sel yang lebih dekat permukaan blade mampu menyerap lebih banyak cahaya dan lebih aktif melakukan fotosintesis daripada sel-sel di dekat pusat blade. "Veins" dari jaringan konduktif dan pembeda antara permukaan sebelah atas dan sebe-

lah bawah tidak ada pada blade rumput laut. Sehingga blade yang fleksibel biasanya jatuh ke air atau tegak mengapung, tidak ada permukaan bawah dan atas yang tetap. Setiap blade rumput laut biasanya sama-sama terpapar ke arah cahaya matahari, nutrisi, dan air, karena itu sama-sama mampu melakukan fotosintesis. Tidak seperti halnya rumput laut, tumbuhan berbunga (termasuk lamun) menunjukkan struktur daun yang jelas tidak simetris dengan konsentrasi yang padat dari sel-sel aktif melakukan fotosintesis sangat padat di dekat permukaan atas. Di bawah permukaan atas ada selapis sel *spongy* (seperti bunga karang) yang dipisahkan oleh ruang besar untuk mempertinggi pertukaran CO_2 , yang seringkali 100 kali kurang terkonsentrasi di udara daripada di air laut.

2. Pneumatosit

Beberapa dari tumbuhan kelp yang besar memiliki pelampung yang terisi gas atau pneumatosit untuk membuat blade mengapung ke atas di dekat permukaan yang memiliki cahaya matahari yang lebih banyak. Apalagi, terdapat keanekaragaman yang besar ukuran dan struktur. Pneumatosit yang terbesar terdapat pada *Pelagophycus*, yaitu kelp seperti tanduk rusa (Gambar 5.1). setiap tumbuhan kelp yang menyerupai tanduk rusa dilengkapi dengan



GAMBAR 5.1 Beberapa tumbuhan Kelp yang besar di daerah temperate. Setiap tumbuhan yang telah matang kelamin berkembang dari tumbuhan muda yang memiliki helaian daun tunggal yang rata.

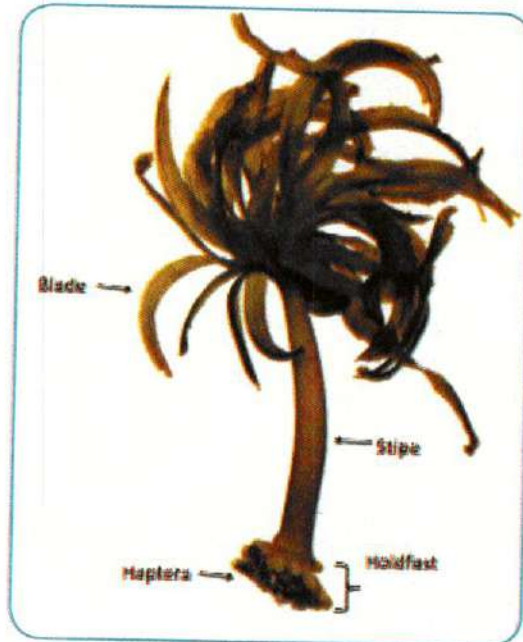
sebuah pneumatosit tunggal yang ukurannya kadang-kadang sebesar bola basket untuk menunjang enam hingga delapan blade yang besar agar tidak terkulai, setiap blade tersebut dapat mencapai ukuran 1-2 meter lebarnya dan 7-10 meter panjang.

Sargassum menghasilkan banyak sekali pneumatosit kecil. Beberapa spesies *Sargassum* yang lebat yang hidup pelagis mengapung di tengah-tengah lautan Atlantik Utara (Laut Sargasso). Di laut Sargasso, *Sargassum*, menghasilkan kantung yang besar untuk mengapung yang merupakan dasar dari suatu pengapungan yang kompleks dari komunitas *Sargassum* seperti kepiting, ikan, udang, dan hewan-hewan lainnya yang secara unik beradaptasi untuk hidup di antara *Sargassum*: massa yang besar dari komunitas tumbuhan ini kadang-kadang mengapung ke pantai di pantai Timur Amerika Serikat, yang menimbulkan masalah bau busuk bagi orang yang berada di pantai sebagaimana bau tumbuhan mati yang membusuk. Di laut Jepang spesies lainnya dari *Sargassum* yang menempel di daerah intertidal terlepas dan juga akan mengapung bebas selama periode yang lebih lama.

Pneumatosit terisi dengan gas yang paling melimpah di udara, yaitu: N_2 , O_2 , dan CO_2 . Yang mengejutkan adalah, bahwa pneumatosit dari beberapa tumbuhan kelp juga mengandung konsentrasi yang relatif besar (lebih dari 2%) karbon monoksida (CO). sumber dari CO adalah tidak diketahui, namun dipercaya sebagai hasil dari metabolisme.

3. Stipe (Batang)

Stipe yang fleksibel dan seperti batang berperan sebagai penyerap guncangan antara aksi gelombang di bagian atas rumput laut dengan holdfast (pengait) untuk tetap aman di dasar. Suatu contoh yang paling bagus adalah *Postelsia*, palem laut (Gambar 5.2) yang tumbuh menempel pada batu-batu hanya pada tempat-tempat yang terbuka, bagian yang sapuan ombak di daerah intertidal. Stipe yang kokoh, berlubang sangat cocok untuk mengalah terhadap ombak yang tercabut.



GAMBAR 5.2 Palem laut dari Lautan Utara *Postelsia* (Phaeophyta) dilengkapi dengan stipe yang relatif besar dan holdfast yang masive.

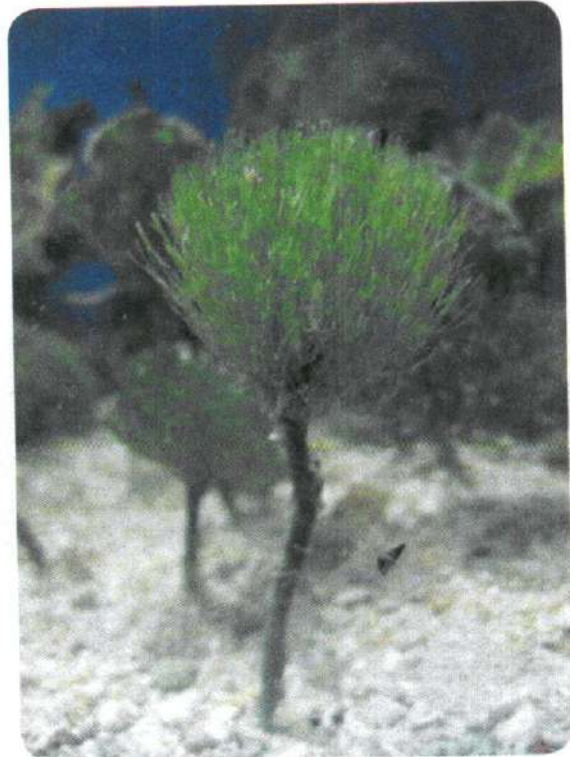
Blade dari beberapa rumput laut bercampur dengan holdfast tanpa membentuk stipe yang khusus. Yang lainnya, stipe sangat jelas dan kadang-kadang sangat panjang. Stipe tunggal yang panjang dari *Nereocystis* dan *Pelagophycus* (Gambar 5.1) menghasilkan sistem pengait lain dan umumnya melebihi 30 meter panjangnya. Stipe kompleks yang banyak dari *Macrocystis* (Gambar 5.1) seringkali lebih panjang.

Sel-sel husus dalam stipe dari *Macrocystis* dan suatu jumlah yang terbatas dari spesies alga merah dan coklat lainnya membentuk elemen-elemen konduktif yang sangat mirip bentuknya dengan yang terdapat pada batang tumbuhan darat. Studi-studi dengan menggunakan jejak radioaktif menunjukkan bahwa sel-sel tersebut secara pasti mengangkut produk-produk fotosintesis dari helaian daun menuju bagian-bagian lain dari tumbuhan. Pada rumput laut yang berukuran lebih kecil dengan batang dan akar (*holdfast*) untuk fotosintesis, maka kebutuhan untuk mengangkut secara cepat dan efisien produk fotosintesis melalui batang adalah minimal.

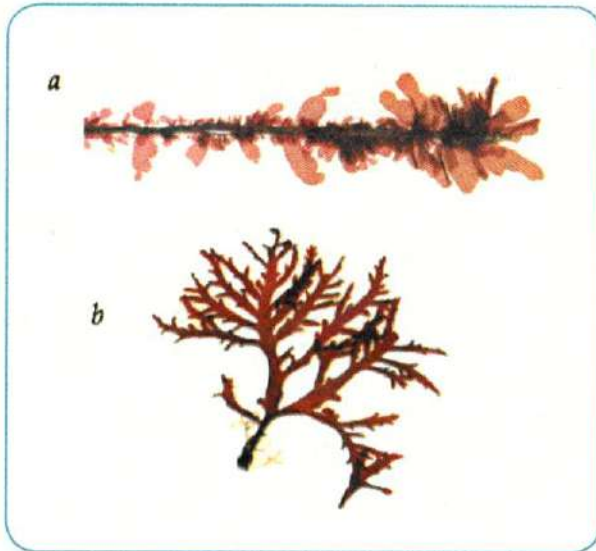
4. Holdfast (Pemegang Substrat)

Holdfast dari alga laut yang lebih besar seringkali sangat menyerupai sistem akar tumbuhan darat. Namun, fungsi dasar dari holdfast adalah untuk melekatkan tumbuhan pada substrat. Holdfast jarang menyerap nutrisi untuk kebutuhan tumbuhan sebagaimana yang dilakukan oleh akar sesungguhnya. Holdfast teradaptasikan dengan baik untuk memegang substrat dan melawan aksi ombak yang hebat dan tarikan yang kuat dari arus pasang dan gelombang. Holdfast dari *Postelsia* (Gambar 5.2) terdiri dari banyak haptera (seperti akar) yang pendek, dan kokoh. Gambar 5.2 tersebut mengilustrasikan beberapa tipe yang ditemukan di atas batu yang padat.

Beberapa holdfast sangat cocok untuk substrat yang mudah bergerak (hilang). Holdfast dari *Macrocystis* adalah besar, penyebaran massa dari haptera untuk menembus dasar pasir dan menstabilkan sedimen untuk pengait. Holdfast dari *Penicillus* sama dengan yang terdapat pada tumbuhan berskala kecil dengan banyak filamen halus yang dimunculkan dari dalam pasir atau lumpur (Gambar 5.3).



GAMBAR 5.3 *Penicillus* (chlorophyta) dengan haptera yang mirip rambut-rambut halus untuk mengait pada sedimen.



GAMBAR 5.4 Alga merah epifit (a) *Smithora*; (b) *Chondria*.

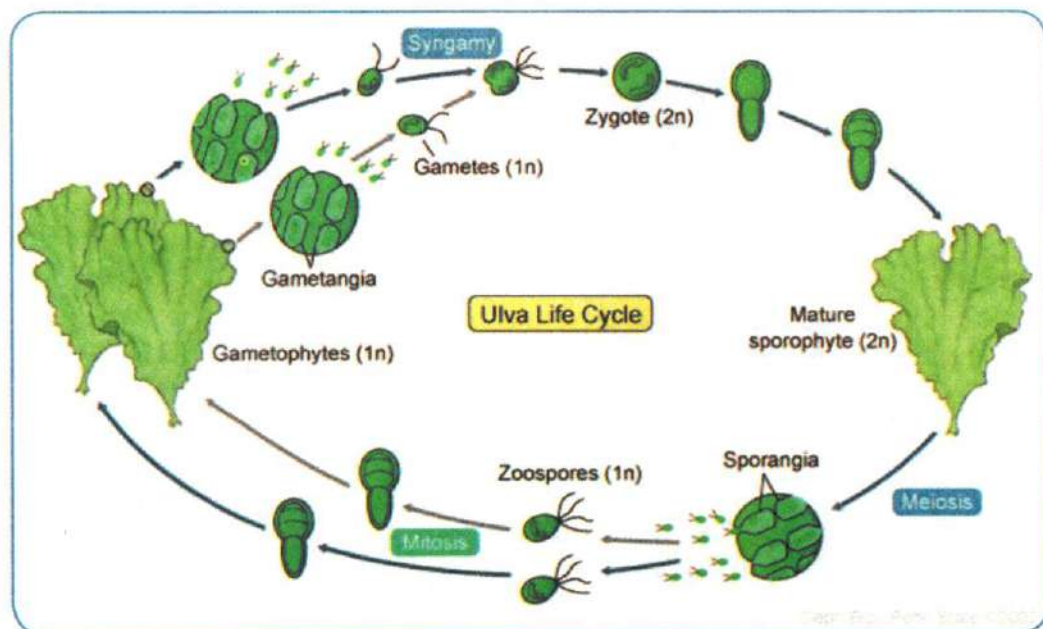
Beragam alga merah kecil adalah epifitik dan menunjukkan adaptasi khusus untuk melekatkan diri pada tumbuhan lainnya. Gambar 5.4 menunjukkan dua alga merah epifit yang melekat pada helaian lamun *Phyllospadix*. Menggunakan tumbuhan laut lainnya sebagai substrat untuk perlekatan merupakan kebiasaan yang umum dari banyak bentuk-bentuk alga merah yang berukuran lebih kecil.

D. REPRODUKSI DAN PERTUMBUHAN

Reproduksi pada rumput laut seperti halnya pada kebanyakan tumbuhan lainnya, yaitu dapat secara seksual yang meliputi penggabungan sperma dan telur atau secara aseksual, yaitu vegetatif tumbuh kembali dari individu-individu baru. Beberapa rumput laut melakukan reproduksi dengan kedua cara tersebut, namun beberapa hanya terbatas pada reproduksi vegetatif saja. Spesies pelagis dari *Sargassum*, sebagai contoh memelihara populasinya melalui pertumbuhan vegetatif yang tidak beraturan yang diikuti dengan fragmentasi. Fragmen-fragmen *Sargassum* tersebut tersebar yang mampu melakukan pertumbuhan terus menerus dan regenerasi selama beberapa dekade. Reproduksi seksual tidak terjadi pada spesies pelagis dari *Sargassum*, namun bukan juga pada bentuk bentik yang menempel di dasar dari genus yang sama.

Banyak dari struktur beragam yang diamati pada rumput laut adalah berasal dari pola-pola kompleks reproduksi seksual, yaitu pola-pola yang menegaskan siklus hidup dari rumput laut. Maksud dari siklus hidup yang kompleks dapat disederhanakan dari tiga pola dasar. Reproduksi seksual sebagai contoh dari dua tipe yang digambarkan pertama disini tidak bermaksud mencakup seluruh spektrum dari siklus hidup rumput laut tetapi digunakan untuk mengembangkan suatu pola dasar yang menegaskan kesempurnaan dari variasi dalam reproduksi seksual rumput laut.

Dalam siklus hidup kebanyakan rumput laut yang lebih besar, terjadi pergiliran dari generasi Sporophyta dan Gametophyta. Alga hijau, *Ulva* mewakili satu dari pola yang paling sederhana dari pergiliran generasi (Gambar 5.5). Siklus hidup dasar ini tidak dikenal pada hewan, namun dengan sangat sedikit modifikasi adalah umum pada banyak alga hijau dan coklat. Sel-sel dari sporofit makroskopis adalah diploid; yang setiap sel mengandung dua dari setiap tipe karakteristik kromosom dari spesies tersebut. beberapa sel dari sporofit *Ulva* mengalami meiosis untuk menghasilkan yang disebut spora tunggal yang berflagela. Sebagai hasil



GAMBAR 5.5 Siklus hidup dari alga hijau *Ulva*, pergiliran antara sporofit diploid dengan generasi gametofit yang haploid.

6

ASPEK BIOLOGIS DAN BENTUK ADAPTASI PLANKTON LAUT

Organisme yang hidup di lingkungan perairan menghadapi tantangan tertentu yang berbeda dengan organisme terestrial lainnya. Salah satu perbedaan yang jelas adalah gerakan medium fluida, yang menyajikan peluang dan kelemahan yang unik untuk hewan dan tumbuhan yang hidup tersuspensi dalam kolom air. Pada suatu perairan terdapat berbagai macam organisme yang sangat kompleks baik yang berukuran besar maupun yang berukuran kecil (mikroskopik). Adapun organisme yang berukuran kecil ini sangat beraneka ragam. Salah satu contoh dari organisme yang mikroskopis adalah plankton. Plankton berasal dari bahasa Yunani yang mempunyai arti mengapung. Plankton adalah setiap organisme hanyut (hewan, tumbuhan, arkea, atau bakteri) yang menempati zona pelagik samudera, laut, atau air tawar. Plankton dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu fito-

plankton terdiri dari tumbuhan laut yang bebas melayang dalam laut yang memiliki kemampuan berfotosintesis; dan zooplankton, yaitu hewan-hewan laut yang bersifat planktonik. Kedua kelompok organisme mikroskopik ini tidak saja penting bagi kehidupan ikan baik langsung maupun tidak langsung. Akan tetapi, penting juga bagi segala jenis hewan yang hidup di dalamnya, baik air payau, tawar maupun air laut. Plankton merupakan makanan alami bagi larva organisme perairan. Plankton juga berperan sebagai produsen utama di perairan, di mana fitoplankton yang memegang peranan ini, sedangkan organisme konsumen adalah zooplankton, larva, ikan, udang, kepiting, dan sebagainya.

Plankton juga biasanya disebut biota yang hidup di mintakat pelagik dan mengapung, menghanyutkan atau berenang sangat lincah, artinya mereka tidak dapat melawan arus. Mereka menyediakan sumber makanan penting yang lebih besar, lebih dikenal organisme akuatik seperti ikan dan Cetacea. Plankton dari makhluk yang hidupnya sebagai tumbuhan (fitoplankton) dan sebagai hewan (zooplankton) memiliki peranan ekologis sangat penting dalam menunjang kehidupan di perairan. Meskipun berukuran relatif sangat kecil plankton memiliki peranan ekologis sangat penting dalam menunjang kehidupan di perairan. Sebab berkat fitoplankton yang dapat memproduksi bahan organik melalui proses fotosintesa, kehidupan di perairan dimulai dan terus berlanjut ke tingkat kehidupan yang lebih tinggi dari tingkatan zooplankton sampai ikan-ikan yang berukuran besar, dan tingkatan terakhir sampailah pada ikan paus atau manusia yang memanfaatkan ikan sebagai bahan makanan.

Ukuran plankton sangat beraneka ragam, dari yang terkecil dengan ukuran $<0,005$ atau 5 mikron (ultraplankton), termasuk bakteri dan diatom kecil hingga berukuran 60-70 mikron (nanoplankton). Plankton yang menghabiskan seluruh hidupnya sebagai plankton, mereka dinamakan plankton tetap atau holoplankton. Namun, banyak jenis hewan yang menghabiskan hanya sebagian dari daur hidupnya sebagai plankton, khususnya pada tingkat larva atau juwana, kelompok ini disebut meroplankton atau plankton sementara karena setelah juwana atau dewasa mereka menetap di dasar laut sebagai bentos atau berenang bebas sebagai nekton.

Secara umum, faktor yang memengaruhi pertumbuhan plankton dibagi dalam dua kelompok, yaitu faktor fisik (cahaya, temperatur air, kekeruhan/kecerahan, pergerakan air) dan faktor kimia (oksigen terlarut, pH, salinitas, dan nutrisi). Bagi hewan laut, cahaya mempunyai pengaruh terbesar secara tidak langsung, yakni sebagai sumber energi untuk proses fotosintesis tumbuh-tumbuhan yang menjadi tumpuan hidup mereka karena menjadi sumber makanan. Laju pertumbuhan fitoplankton sangat tergantung pada ketersediaan cahaya di dalam perairan. Laju pertumbuhan maksimum fitoplankton akan mengalami penurunan bila perairan berada pada kondisi ketersediaan cahaya yang rendah. Cahaya tersebut dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan, apabila kekeruhan tinggi maka cahaya matahari tidak dapat menembus perairan dan menyebabkan fitoplankton tidak dapat melakukan proses fotosintesis (Heyman dan Lundgren, 1988). Selain dari itu, faktor fisik berupa suhu dan pergerakan arus sangat berpengaruh terhadap kehidupan plankton. Suhu air dapat memengaruhi sifat fisika kimia perairan maupun biologi, antara lain suhu air memengaruhi kandungan oksigen terlarut dalam air, semakin tinggi suhu maka semakin kurang kandungan oksigen terlarut. Arus juga berpengaruh besar terhadap distribusi organisme perairan dan juga meningkatkan terjadinya difusi oksigen dalam perairan. Arus juga membantu penyebaran plankton dari satu tempat ke tempat lainnya dan membantu menyuplai bahan makanan yang dibutuhkan plankton.

Faktor kimia seperti oksigen terlarut, derajat keasaman (pH), salinitas, nutrisi berpengaruh sangat besar terhadap proses fisiologi pada organisme plankton, sehingga sering digunakan sebagai petunjuk untuk menyatakan baik atau tidaknya kondisi air sebagai media hidup. Nutrisi sangat berperan penting untuk nitrat (NO_3) dan fosfat (PO_4) fitoplankton mengonsumsi nitrogen pertumbuhan plankton. Nutrisi yang paling penting dalam hal ini adalah nitrat dalam banyak bentuk, seperti nitrogen dari nitrat, amonia, urea, asam amino.

A. FITOPLANKTON

Fitoplankton (dari istilah Yunani, phyton atau tumbuhan), adalah mikroorganisme nabati yang hidup melayang-layang di dalam air, relatif tidak mempunyai daya gerak, sehingga keberadaannya dipengaruhi oleh gerakan air serta mampu berfotosintesis. Terdapat beberapa ma-

cam fitoplankton yang meliputi berbagai ragam ukuran dan bentuk. Fitoplankton merupakan kelompok yang memegang peranan sangat penting dalam ekosistem air, karena kelompok ini dengan adanya kandungan klorofil mampu melakukan fotosintesis. Proses fotosintesis pada ekosistem air yang dilakukan oleh fitoplankton (produsen), merupakan sumber nutrisi utama bagi kelompok organisme air lainnya yang berperan sebagai konsumen, dimulai dengan zooplankton dan diikuti oleh kelompok organisme air lainnya yang membentuk rantai makanan (Mc. Naughton and Wolf, 1998)

Hampir seluruh fitoplankton laut dimiliki oleh tiga divisi dari kerajaan Monera dan Protista. Akibatnya, mereka secara esensial seluruhnya merupakan organisme mikroskopis bersel tunggal. Mereka didapatkan tersebar pada seluruh zona fotik dari lautan dan merupakan jumlah yang mayoritas dari produktivitas primer dalam lingkungan laut. Fitoplankton adalah organisme mikroskopis (alga) yang bebas melayang mengikuti gerakan air. Terdapat beberapa macam fitoplankton yang meliputi berbagai ragam ukuran dan bentuk. Terdapat penggolongan menunjukkan empat kategori ukuran di mana sel-sel fitoplankton dikelompokkan (Tabel 6.1).

TABEL 6.1 Ukuran relatif kelompok fitoplankton

No	Kelompok fitoplankton	Ukuran (μm)
1.	Picoplankton	< 2
2.	Ultraplankton	2-5
3.	Nanoplankton	5-20
4.	Mikroplankton	20-200

Seiring dengan peningkatan peralatan teknologi, sehingga pengetahuan kita mengenai kelompok fitoplankton yang sangat kecil serta pemahaman mengenai kontribusi mereka pun terhadap jaring-jaring makanan di laut juga meningkat dan berkembang. Sekarang ini, picoplankton dan ultraplankton telah dipertimbangkan bahwa mereka merupakan produser primer yang paling penting dalam seluruh lingkungan laut, namun terkhususkan di perairan oseanik adalah nanoplankton atau yang lebih kecil lagi.

Fitoplankton disebut juga plankton nabati, adalah tumbuhan yang hidupnya mengapung atau melayang di laut. Ukurannya sangat kecil, sehingga tidak dapat dilihat oleh mata telanjang. Umumnya fitoplankton berukuran 2–200 μm (1 μm = 0,001mm). Fitoplankton umumnya berupa individu bersel tunggal, tetapi juga ada yang berbentuk rantai. Fitoplankton merupakan organisme autotrof utama dalam kehidupan di laut. Melalui proses fotosintesis yang dilakukannya, fitoplankton mampu menjadi sumber energi bagi seluruh biota laut lewat mekanisme rantai makanan. Walaupun memiliki ukuran yang kecil, namun memiliki jumlah yang tinggi yang menjadikannya mampu menjadi pondasi dalam piramida makanan di laut. Karena kemampuannya yang dapat membuat makanan sendiri fitoplankton mempunyai kedudukan sebagai produsen primer. Tanpa fitoplankton diperkirakan laut yang sangat luas tidak akan dihuni oleh beberapa jenis biota yang mampu hidup dari rantai kehidupan lainnya. Tetapi fitoplankton lebih cenderung mengonsumsi nitrat dan amonia. Nitrat lebih banyak didapati di dasar yang banyak mengandung unsur organik ketimbang dari air laut, nitrat juga bisa diperoleh dari siklus nitrogen. Nitrogen dari nitrat adalah salah satu unsur penting untuk pertumbuhan *blue green alga* dan fitoplankton lainnya.

Hampir semua makhluk hidup di Bumi secara langsung atau tidak langsung bergantung pada produksi primer. Organisme yang melakukan produksi primer disebut *produsen primer* atau *autotrof* dan membentuk dasar rantai makanan. Di ekoregion darat, sebagian besar organisme tersebut berupa tumbuhan, sementara ekoregion laut didominasi oleh ganggang.

Produksi bagi ekosistem merupakan proses pemasukan dan penyimpanan energi dalam ekosistem. Pemasukan energi dalam ekosistem yang dimaksud adalah pemindahan energi cahaya menjadi energi kimia oleh produsen. Sedangkan penyimpanan energi yang dimaksudkan adalah penggunaan energi oleh konsumen dan mikroorganisme. Laju produksi makhluk hidup dalam ekosistem disebut sebagai produktivitas.

Produktivitas primer ialah laju pembentukan senyawa-senyawa organik yang kaya energi dari senyawa-senyawa anorganik. Jumlah seluruh bahan organik (biomassa) yang terbentuk dalam proses produktivitas dinamakan produktivitas primer kotor, atau produksi total. Produksi

primer kotor maupun bersih pada umumnya dinyatakan dalam jumlah gram karbon (C) yang terikat per satuan luas atau volume air laut per interval waktu. Jadi, produksi dapat dilaporkan sebagai jumlah gram karbon per m² per hari (gC/m²/hari), atau satuan-satuan lain yang lebih tepat. Menurut Campbell (2002), Produktivitas primer menunjukkan jumlah energi cahaya yang diubah menjadi energi kimia oleh autotrof suatu ekosistem selama suatu periode waktu tertentu. Total produktivitas primer dikenal sebagai produktivitas primer kotor (*Gross Primary Productivity* - GPP). Tidak semua hasil produktivitas ini disimpan sebagai bahan organik pada tubuh organisme produsen atau pada tumbuhan yang sedang tumbuh, karena organisme tersebut menggunakan sebagian molekul tersebut sebagai bahan bakar organik dalam respirasinya. Dengan demikian, Produktivitas primer bersih (*Net Primary Productivity* - NPP) sama dengan produktivitas primer kotor dikurangi energi yang digunakan oleh produsen untuk respirasi (Rs). Produktivitas primer bersih ekosistem dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$NPP = GPP - R_s$$

Di mana NPP adalah Net Primary Productivity, GPP adalah *Gross Primary Productivity*, dan Rs adalah Laju Respirasi.

Dalam lapisan permukaan laut yang disinari matahari, produser primer laut tumbuh dengan subur, berkisar dari yang berukuran sangat kecil, yaitu sianobakteri hingga tumbuhan kelp yang berukuran seperti pohon. Anggota dari kelompok tumbuhan yang melimpah dan begitu terkenal di darat, yaitu lumut dan paku/pakis dan tumbuhan berbiji adalah sangat jarang atau sama sekali tidak ada di lingkungan laut. Kebanyakan produser primer laut agak berbeda strukturnya dan fungsinya dari tumbuhan darat. Produktivitas di laut umumnya terdapat paling besar diperairan dangkal dekat benua dan disepanjang banyak pada terumbu karang, di mana cahaya dan nutrisi melimpah. Produktivitas primer persatuan luas laut terbuka relatif rendah karena nutrisi anorganik khususnya nitrogen dan fosfor terbatas ketersediaannya di permukaan. Di tempat yang dalam di mana nutrisi melimpah, namun cahaya tidak mencukupi untuk fotosintesis. Sehingga fitoplankton, berada pada kondisi paling produktif ketika arus yang naik ke atas membawa nitrogen dan fosfor ke permukaan.

7

ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI ORGANISME BENTHIK

Tumbuhan maupun hewan yang hidup di dasar perairan disebut organisme benthik atau benthos. Organisme tersebut hidup dipermukaan dasar perairan atau di dalam sedimen yang dikenal sebagai zona benthik. Mereka yang hidup di atas substrat dasar perairan disebut sebagai organisme benthik epifauna dan ada juga yang berada dalam substrat itu sendiri disebut organisme benthik infauna.

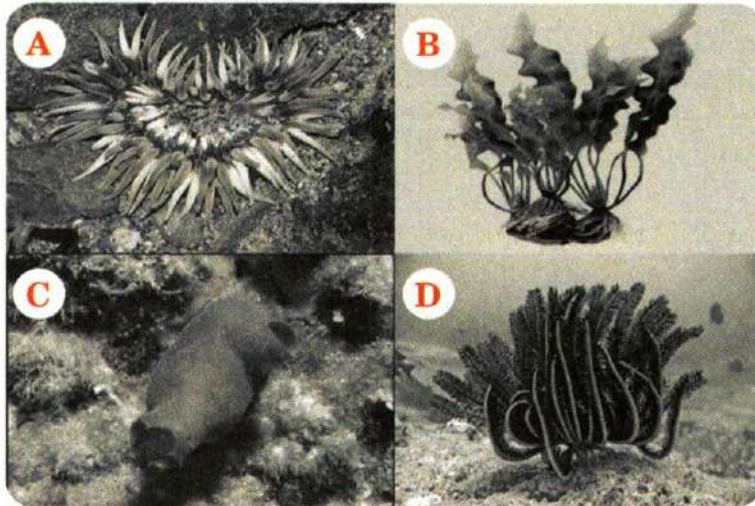
Keberadaan hewan benthos pada suatu perairan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, baik biotik maupun abiotik. Faktor biotik berpengaruh di antaranya produsen yang merupakan salah satu sumber makanan bagi hewan benthos. Adapun faktor abiotik adalah fisika-kimia air yang di antaranya oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biologi (BOD) dan kimia (COD),

serta kandungan Nitrogen (N), kedalaman air, dan substrat dasar. Sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungannya, tumbuhan dan hewan benthik yang memiliki pergerakan yang relatif terbatas harus berhasil hidup melekat, merayap atau menggali lubang ke dalam substrat sambil menjaga orientasi agar bisa tetap mendapatkan makanan dan respirasi. Keberadaan hewan atau tumbuhan benthik pada suatu perairan sangat dibutuhkan dalam siklus nutrien di dasar perairan. Kondisi substrat menentukan kekuatan selektif dalam memilih kebiasaan hidup dan morfologi dari organisme benthik dan kekuatan arus mengontrol kondisi substrat dan kekuatan organisme untuk melekat atau berjalan di atas substrat. Arus juga dapat membawa serta bahan makanan planktonik dan detritus organik ke dasar dan mengirimkan larva planktonik ke tempat-tempat melekat mereka.

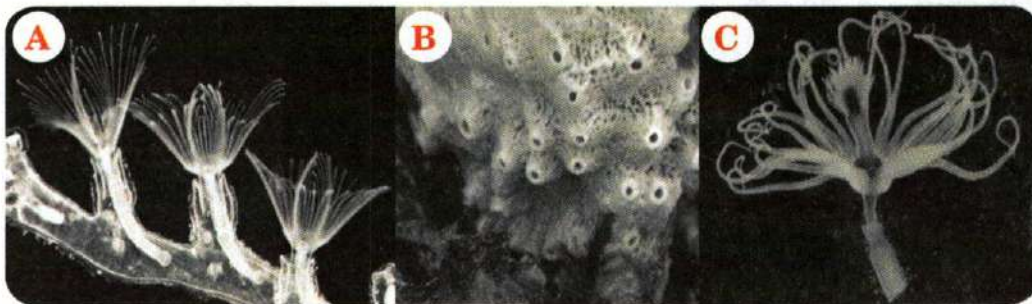
A. ASPEK BIOLOGIS DAN ADAPTASI ORGANISME EPIBENTHOS

Organisme epibenthos yang tidak membentuk koloni sering menempel secara permanen ke dasar dengan menggunakan *holdfast* seperti pada alga dan tangkai pada teritip, akar (tangkai pada Crinoidea, juga lamun), dan struktur yang melengket (seperti pada tiram, Polychaeta, Serpulidae, buah/biji teritip), bentuk koloni-koloni seperti semak dan yang berbentuk tumbuhan merambat (seperti Ectoprocta, Hydrozoa) juga melekat secara permanen dengan *holdfast* (Gambar 7.1).

Bentuk-bentuk koloni seperti helaian/lembaran contohnya pada Ectoprocta/Bryozoa yang bercabang (*Membranipora*), Tunicata yang berbentuk koloni, dan Hydrocoral (*Allopora*) melekat pada permukaan. Akan tetapi bagi spons pembor seperti *Cliona* menjaga bagian dasar dari jaringannya yang hidup di atas permukaan sambil melakukan pemboran ke dalam substrat kapur yang keras. Gambar 7.2 mengilustrasikan beberapa bentuk koloni dari organisme epibenthos.

**GAMBAR 7.1**

Beberapa spesies epibenthos yang hidup soliter. (a) anemon (*Anthopleura elegantissima*); (b) alga (*Laminaria*); (c) Tunicata (*Halocynthia*); (d) bintang berbulu (*Crinoidea* yang tidak bertangkai, *Pontio*), (dikutip dari Levinton, 1982).



GAMBAR 7.2 Beberapa spesies epibenthos yang hidup berkoloni. (a) *Bryozoa membranipora*; (b) *Sponge Halichondria*; (c) Koloni *Hydroid Tubularia* (modif. dari Levinton, 1982).

Beberapa bentuk epibenthik tetap bertahan hidup menempel pada dasar untuk sementara, tetapi juga seringkali menetap. Anemon tetap bertahan menempel pada permukaan dasar melalui suatu cakram basal, namun dapat bergerak ke samping. Kerang-kerangan tetap bertahan menempel pada dasar melalui benang-benang byssal, namun dapat bergerak dengan jalan memutuskan benang *byssal* dan membentuk benang *byssal* baru. Bintang berbulu (*Crinoidea* yang tidak bertangkai) untuk memegang substrat di dasar menggunakan suatu adaptasi khusus yang disebut cirri. Pergerakan dilakukan dengan menggunakan cirri yang aktif dan juga dengan menggunakan lengan-lengannya.

Turbulensi air sangat kuat memengaruhi morfologi dan komposisi toksonomi dari biota epibenthik. Daerah-daerah yang energi gelombangnya kuat biasanya didiami oleh epibenthik yang memiliki rangka yang kuat dan jaringan pendukung. Di perairan yang agak tenang sering dihuni oleh bentuk-bentuk epibenthik yang agak rapuh (*fragile*). Badai dan daerah pecahnya gelombang sering menyebabkan kerusakan mekanik bahkan alga epibenthik dan hewan avertebrata sama sekali terlepas dari substrat.

Untuk bisa hidup di daerah yang memiliki energi gelombang yang tinggi maka spesies epibenthik harus memiliki adaptasi sebagai berikut: 1) memiliki bentuk tubuh yang pendek dan gemuk untuk meminimumkan pemaparan oleh tegangan gesek gelombang (seperti pada beberapa anemon). Pada umumnya, kekentalan arus air sangat berkurang di dekat dasar. Efek *boundary* ini sangat mengurangi stres yang diderita oleh organisme yang bentuk tubuhnya pendek dan gemuk dibanding organisme yang bentuk tubuhnya memanjang masuk ke daerah aliran utama arus; 2) Bersembunyi di dalam lubang atau di samping lekukan-lekukan dasar untuk menghindari kekuatan penuh arus dan gelombang; 3) memiliki bentuk tubuh yang kuat dan struktur penyokong yang keras (seperti kerang California yang kuat dan besar, yaitu *Mytilus californianus* juga memiliki benang *byssal* yang tebal); 4) memiliki struktur mekanik yang besar dan kuat untuk meminimumkan tegangan gesek.

Anemon yang terdapat di pantai barat daerah Amerika Utara *Metridium senile* hidup di daerah yang terlindung pada habitat subtidal, sedangkan anemon *Anthopleura xanthogrammica* hidup di daerah intertidal yang kena sapuan ombak. Walaupun *Metridium senile* hidup di perairan yang tenang tubuhnya yang tinggi dan relatif bundar terpapar oleh arus air dengan kecepatan penuh. Karena arus sesuai dengan aturannya sangat berkurang di dekat dasar, maka *A. xanthogrammica* mendapatkan tegangan yang sangat lemah dibanding daerah arus aliran utama. Padahal, individu *A. xanthogrammica* masih mengalami kecepatan arus yang lebih besar dibanding yang didapat oleh *Metridium senile*. Adaptasi dari *A. xanthogrammica* terhadap tegangan permukaan arus dapat berkaitan dengan tekanan yang dibangkitkan oleh suatu tiang.

Alga laut yang hidup sesil dengan batang tinggi ditemukan hidup di daerah yang memiliki arus yang kuat. Koehl dan Wainright (1977) mempelajari struktur dan fungsi mekanik batang (*stipe*) dari kelp raksasa (*Nereocystis luetkaena*) kelp ini membentuk suatu hutan yang padat di daerah pantai di bawah daerah sapuan ombak mulai dari Alaska hingga California. Pneumatosit (gelembung gas) yang mengapung menyokong daun kelp sementara arus pasang surut serta ombak menjadi subjek yang terus menerus merentangkan *stipe*. Meskipun ketegangan *stipe* tidak terlalu besar, namun susunan serabut-serabut selulosa berbentuk anak panah yang menyilang yang muncul dalam suatu matriks memungkinkan *stipe* menjadi sangat fleksibel. Dengan demikian, *Nereocystis* tahan terhadap aliran air karena *stipenya* fleksibel dan dapat meliuk-liuk.

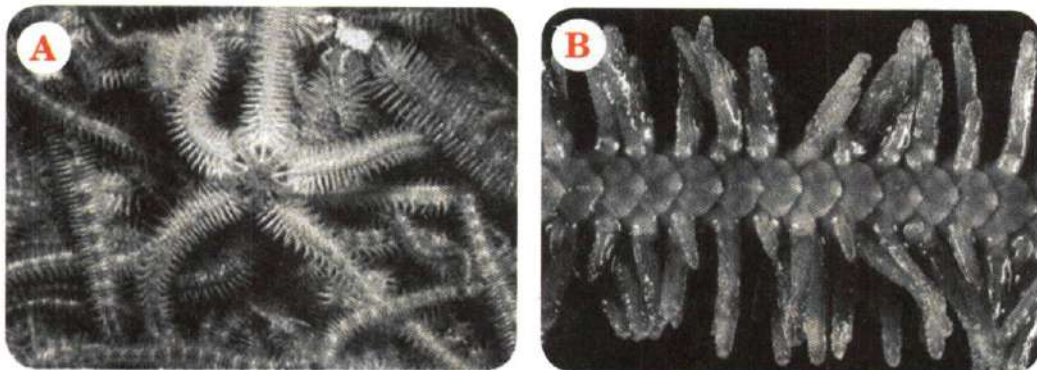
Karang menunjukkan variasi dalam hal kekuatan rangka yang dapat saja berhubungan dengan energi air pada habitatnya. Kekuatan dari karang bercabang *Acropora palamata* adalah lebih tinggi dibandingkan karang masif *Montastrea annularis*. Perbedaan ini kemungkinan terkait dengan pemaparan karang bercabang dari kekuatan aliran arus utama. Sementara koloni karang masif lebih disesuaikan untuk tahan terhadap arus yang kuat karena geometri dari koloni mereka, individu-individu karang masif tidak bercabang-cabang, sehingga bukan menjadi subjek tegangan dan mempertahankan profil yang rendah, jauh dari arus-arus aliran utama.

Spesies-spesies epibenthos yang hidupnya menempel juga beradaptasi terhadap kecepatan arus yang berbeda-beda dengan jalan mengubah orientasi mereka. Pergerakan air membangkitkan *Tensile stress* dalam individu-individu maupun koloni yang badannya terkena arus. Orientasi yang tepat dapat meminimalkan tekanan arus pada individu maupun koloni. Namun, arus air juga sebagai sumber bahan makanan bagi organisme pemakan suspensi dan organisme-organisme yang orientasinya untuk meningkatkan kemungkinan menangkap makanan.

Banyak organisme avertebrata memiliki struktur tubuh yang *planar* yang tetap dijaga atau tumbuh pada suatu posisi dengan sudut yang tepat terhadap arus-arus yang kuat. Pada Ophiuroidea (bintang ular) yang memakan bahan-bahan tersuspensi dan bintang berbulu atau

Crinoidea, sederetan tentakel-tentakelnya tersusun sedemikian rupa, sehingga dapat menangkap partikel-partikel makanan secara efektif. Bintang berbulu (Crinoidea) yang ditemukan hidup pada arah arus memiliki lengan-lengan yang tersusun atas *pinnula-pinnula* di mana mereka membentuk suatu alat cukur. Pada bintang mengular, *Ophiothrix fragilis* kaki tabungnya muncul dari salah satu sisi tentakelnya dan tersusun dalam dua baris alat cukur (Gambar 7.3).

Spesies bintang berbulu yang hidup di celah-celah batu umumnya mengalami arus dari berbagai arah. Berbeda dengan spesies yang hidup diluar arah arus, di mana lengan-lengan mereka tidak tersusun dalam suatu deretan alat cukur. Namun, pinula-pinula mereka tersusun dalam empat baris pada sudut-sudut sebelah kanan untuk memaksimalkan penangkapan partikel makanan dari berbagai arah yang mungkin. Pada berbagai arah arus, *Ophiothrix fragilis* membelokkan kaki tabungnya ke arah aboral untuk membentuk dua atau lebih barisan-barisan penyaring (orientasi empat arah seperti pada bintang berbulu).



GAMBAR 7.3 A. Ophiuroidea (*Ophiothrix fragilis*); B. Pinulapinula pada tentakel yang membentuk seperti alat Cukur.

Kipas laut dari genus *Gorgonia* umumnya menunjukkan suatu orientasi yang searah dengan arus. Tidak seperti bintang berbulu, *Gorgonia* hidup menempel dan harus terus menerus tumbuh dalam suatu orientasi yang lebih disukai. Dilaporkan bahwa derajat orientasi dari kipas laut meningkat dengan meningkatnya ukuran koloni mereka. Hal ini dapat terjadi, yaitu dengan bertambahnya ukuran kipas laut terjadi pula perubahan orientasi mereka. Tidak jelas, kenapa kipas laut yang masih

8

RESPONS DAN ADAPTASI NEKTON

Laut menyimpan begitu banyak sumber daya yang bisa dimanfaatkan lebih lanjut hingga menjadi nilai tambah bagi kehidupan manusia, termasuk di dalamnya adalah nekton, yaitu hewan-hewan perenang di laut yang sudah lama menjadi perhatian manusia karena nilai ekonominya. Tumpukan bangkai nekton merupakan bahan dasar bagi terbentuknya mineral laut seperti gas dan minyak bumi setelah mengalami proses panjang dalam jangka waktu ribuan bahkan jutaan tahun.

Kata "*nekton*" diberikan oleh Ernst Haeckel tahun 1890 yang berasal dari kata Yunani "*Greek*" yang artinya berenang. Lebih dari 5000 jenis nekton menempati daerah pelagis dari lautan dunia. Hewan-hewan tersebut mewakili beberapa kelompok taksonomi yang memiliki ukuran tubuh yang lebih besar.

Nekton adalah hewan-hewan laut yang dapat bergerak sendiri ke sana ke mari seperti ikan bertulang rawan, ikan bertulang sejati, penyu, ular, dan mamalia. Invertebrata yang tergolong ke dalam nekton hanya cumi-cumi dan sotong termasuk moluska. Kebanyakan nekton adalah vertebrata, dan kebanyakan vertebrata adalah ikan. Dengan demikian pembahasan mengenai nekton pada bab ini lebih banyak mengenai ikan.

A. VERTEBRATA

Semua ikan adalah vertebrata, anggota dari filum Chordata. Ikan adalah suatu istilah yang digunakan untuk menandakan vertebrata yang hidup dan tumbuh di air, menggunakan insang untuk bernapas dan berenang dengan sirip untuk daya dorong/penggerak dan untuk mengontrol keseimbangan (Burhanuddin, 2015). Ikan yang pertama (pada awalnya), ostracoderm dan placoderm, kemungkinan berevolusi dari avertebrata yang berenang bebas dan merupakan nenek moyang vertebrata. Dari tiga kelas ikan yang masih bertahan, hanya dua kelas yang melimpah, yaitu ikan bertulang rawan seperti hiu (kelas Chondrichthyes) dan ikan bertulang sejati (kelas Osteichthyes). Sedangkan kelas Agnatha diwakili oleh dua kelompok kecil ikan yang tidak berahang, yaitu ikan lampre dan hagfish (Burhanuddin, 2015).

Ikan bertulang sejati merupakan kelompok ikan yang tergolong baru (lebih di belakang munculnya daripada ikan bertulang rawan), namun kesuksesan mereka sangat spektakuler. Jenis ikan bertulang sejati sekarang berjumlah sama dengan gabungan semua kelompok vertebrata. Ikan bertulang sejati dengan ginjal dan insang sebagai organ osmoregulasi yang lebih kompleks, tersebar luas pada habitat estuaria dan air tawar, demikian juga di laut.

Beberapa kelompok ikan yang berbeda dalam golongan nekton. Kelompok pertama, yaitu ikan yang menghabiskan seluruh waktunya di daerah epipelagik. Ikan ini biasa disebut **holoepipelagik** seperti ikan hiu tertentu (hiu makerel, cucut martil, cucut biru, cucut gergaji), tuna, ikan terbang, ikan dayung, lemuru, dll. (Gambar 8.1). Kelompok kedua adalah ikan yang menghabiskan sebagian hidupnya di daerah epipelagik dan biasa disebut dengan *meroepipelagik*. Yang tergolong ikan ini

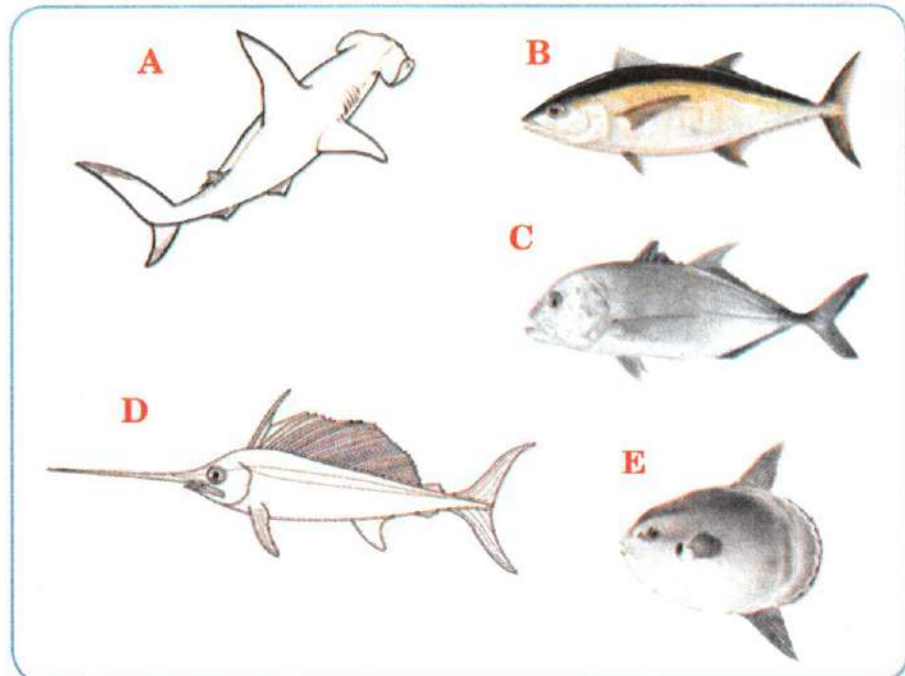
lebih beragam dan mencakup ikan yang menghabiskan masa dewasanya di daerah epipelagik tetapi memijah di daerah pantai atau daerah air tawar. Ada juga ikan tertentu yang bermigrasi ke daerah permukaan pada waktu-waktu tertentu saja. Misalnya ikan lantera yang bermigrasi mencari makan pada malam hari. Sedangkan pada ikan karang, yaitu ikan-ikan yang hidup pada daerah terumbu karang sejak masa juvenil hingga dewasa. Ikan-ikan tersebut berasosiasi dengan ekosistem terumbu karang karena di daerah ini tersedia banyak makanan. Bentuk adaptasi yang dilakukan ikan karang berupa bentuk tubuh, dan pewarnaan. Warna-warna yang mencolok dan bentuk serta pola yang aneh dari kebanyakan ikan karang merupakan hal yang menjadi ciri khas yang dimiliki oleh ikan karang dan merupakan salah satu bentuk adaptasi morfologi ikan karang untuk mengelabui pemangsanya (kamouflase). Beberapa kelompok ikan benar-benar menggunakan terumbu sebagai tempat hidupnya, seperti famili Scaridae, Pomacentridae, dan Labridae, yang sejak juvenil telah berada di ekosistem terumbu karang. Kelompok ikan dapat dibagi dua, yaitu kelompok ikan yang kadang-kadang berada di daerah terumbu (contohnya famili Scrombidae, Myctophidae, Sphyaenidae, Caesionidae, dan hiu) dan kelompok ikan yang bergantungkan seluruh hidupnya pada terumbu karang (contohnya famili Pomacentridae) (McLusky & Elliot, 2004). Keberadaan ikan karang di perairan sangat tergantung pada kesehatan terumbu karang yang ditunjukkan oleh persentase penutupan karang hidup.

Adaptasi morfologi ikan karang yang bersifat planktonovora adalah manifestasi sebagian besar di dalam perubahan bentuk dari bagian mulutnya, di mana rahang berbentuk seperti tabung pada waktu membuka mulut. Bentuk gigi mereka menjadi kecil, tulang tengkorak kurus, dan matanya membesar. Ikan herbivora atau jenis kelompok ikan pemakan tumbuhan sebagian besar bertahan karena adanya alga serta diatom yang ada di permukaan karang, dan dapat dibagi menjadi: pemakan tunas pada makrofita dan lamun (*browser*), perumput pada perifitin lembaran dan alga koralin (*grazer*) dan penghisap pada detritus dan mikrofitebenthos lembaran dari permukaan sendimen dasar yang halus (*sucker*) (Sorokin, 1993). Tipe pemangsa yang paling banyak ditemui di terumbu adalah karnivora, mungkin sekitar 50-70% dari spesis ikan. Ikan-ikan karnivora tidak mengkhususkan makanannya pada suatu

sumber makanan tertentu, tetapi sebaliknya merupakan oportunistik, mengambil apa saja yang berguna bagi ikan karnivor itu.

Kelompok lain dari vertebrata laut adalah Tetrapoda yang meliputi reptil, burung laut, dan mamalia laut. Meskipun asal mereka dari darat dan mereka memiliki tempat yang terbatas dalam hal kemampuan mereka beradaptasi untuk keberadaan sebagai nekton, ada beberapa kelompok tetrapoda yang tidak begitu sukses menempati kembali laut. Tetrapoda dicirikan oleh memiliki dua pasang anggota gerak dan bernapas dengan paru-paru, karena tetrapoda laut merupakan komponen yang penting dari banyak komunitas nekton.

Komponen terbesar kedua dari nekton yang ada di laut adalah mamalia laut seperti paus (ordo Cetacea), anjing laut dan singa laut (ordo Pinnipedia), manatee dan duyung (Sirenia), serta berang-berang (ordo Carnivora). Sedangkan Reptil yang nektonik adalah penyu, ular laut dan buaya air asin. Adapun kelompok burung yang murni nektonik hanyalah penguin (Sumich, 1992).



GAMBAR 8.1 Ikan holoepipelagik (A) Hiu martil, (B) Tuna, (C) Lemuru, (D) Setuhuk (E) Mola mola.

B. BENTUK ADAPTASI NEKTON

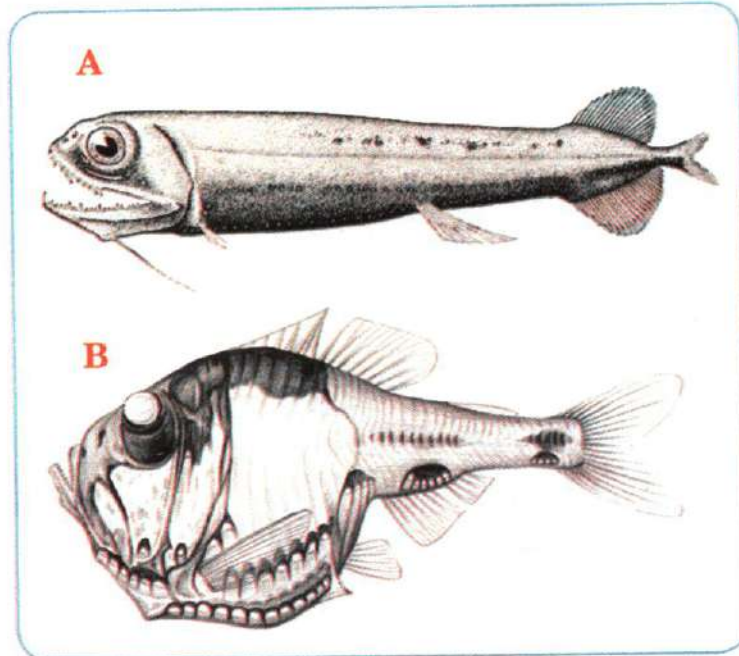
1. Distribusi Vertikal

Meskipun dua pertiga volume laut berada di bawah zona epipelagik dan mesopelagik kebanyakan jenis nekton ditemukan pada zona-zona tersebut. Kebanyakan nekton epipelagik adalah karnivora predator dari tropik level yang paling tinggi dari rantai makanan pelagik. Mereka dicirikan oleh ukurannya yang besar jika dibandingkan dengan zooplankton dan merupakan perenang aktif, serta memiliki beragam kemampuan sensori yang telah berkembang dengan baik untuk mendeteksi mangsa, orientasi dan untuk navigasi (penentuan arah). Beberapa di antaranya dilengkapi dengan kemampuan yang luar biasa untuk melakukan migrasi dalam mendapatkan makanan atau untuk memperbesar kesempatan mereka melakukan reproduksi.

Salah satu bentuk adaptasi hewan-hewan epipelagik dari lautan terbuka dengan pola pewarnaan yang umum yakni, memiliki warna putih/perak bagian ventral badan, dan memiliki pigmentasi putih atau perak pada permukaan. Sementara dari bawah, warna sisi bawah ikan yang perak atau putih yang menjadikannya sulit dibedakan dengan warna cahaya yang datang dari permukaan laut. Selain dapat melindungi diri dari predator, dengan cahaya yang dimiliki dapat menakuti predator pada kondisi yang gelap.

Ikan yang hidup pada zona mesopelagik berukuran lebih kecil dari pada ikan yang hidup pada zona epipelagik. Kelompok ini termasuk ikan lantera dan banyak ikan-ikan yang melakukan migrasi vertikal lainnya. Ikan mesopelagik jarang melebihi 10 cm panjangnya dan banyak di antaranya dilengkapi dengan gigi yang telah berkembang dengan baik dan mulut besar (Gambar 8.2).

Karena penetrasi cahaya yang suram dari atas, banyak jenis telah berevolusi yakni memiliki mata yang besar dan sensitif terhadap cahaya untuk mendeteksi mangsa dan predator. Tanpa memerhatikan warna mereka dari permukaan laut, mereka nampak seragam berwarna gelap pada kedalaman tersebut.



GAMBAR 8.2
Ikan mesopelagik:
(A) *Aristostomias*,
(B) *Argyropelecus*,
semuanya kurang dari
5 cm panjangnya.

Terkait dengan mata yang besar adalah adanya **Photopore**, yaitu organ yang memproduksi cahaya yang umumnya terdapat pada permukaan perut. Posisi dan susunan Photopore disesuaikan dengan dua fungsinya. Pertama, cahaya yang dihasilkan oleh Photopore bagian perut melindungi badan ikan, sehingga tidak terlihat selama siang hari yang normal di mana kedalaman ikan tersebut berada. Kedua, cahaya dari Photopore dapat mengacaukan penglihatan, sehingga nampak sebagai bayangan hitam ketika diamati dari bawah dan dapat menyebabkan bayangan hitam ikan menjadi nampak gelap dengan latar belakang cahaya dari atas. Efek Photopore mirip dengan bayangan terbalik ikan-ikan dekat permukaan. Susunan yang rumit dari Photopore adalah unik bagi jenis tunggal dan terkesan bahwa Photopore di gunakan juga untuk identifikasi jenis. Dengan sedikitnya daya penglihatan pada kedalaman tersebut kecuali pola-pola Photopore, maka seleksi pasangan kawin yang tepat bergantung pada keberadaan pola-pola khusus tiap jenis termasuk adanya Photopore.

perbesar kesempatan hidup generasinya dari jumlah telur yang sedikit adalah dengan menghasilkan telur yang sangat besar dan telur tersebut selanjutnya disimpan dalam tubuh induk betina untuk suatu periode yang cukup panjang, sehingga ketika dilahirkan bayinya sudah memiliki ukuran yang cukup untuk membuat mereka bertahan hidup dan mampu menghindari predator (Argue, 1983).

Relatif sedikit informasi mengenai pertumbuhan ikan-ikan pelagis, namun informasi yang ada mengindikasikan bahwa pertumbuhan mereka sangat cepat. Tuna, misalnya dapat mencapai pertumbuhan berat sekita 2-6 kg per tahun dan panjang 20-40 cm. Terkait dengan pertumbuhan yang cepat tersebut, kebanyakan ikan nekton nampaknya berumur pendek, walaupun ikan tuna nampaknya bisa hidup 5-10 tahun. Berlawanan dengan ikan hiu pelagis yang bisa hidup selama 20-30 tahun (Parin, 1970; Argue dkk, 1983).

Burung laut dan penyu laut masih mempertahankan karakteristik reproduksi kerabat mereka yang hidup di darat. Mereka menghasilkan telur yang bercangkang keras dan disimpan di atas daratan. Burung laut sering dalam suatu kelompok besar menuju daerah sarang mereka di pulau-pulau yang terpencil yang kurang predator.

18. Reproduksi yang Tidak Bermusim

Spesies-spesies yang reproduksinya tidak bermusim, siklus reproduksinya menyimpang dari siklus tahunan untuk beberapa alasan. Spesies laut dalam mengalami perubahan lingkungan musiman yang sedikit dan mungkin kawin atau memijah secara tidak teratur. Masih sedikit yang diketahui mengenai gambaran reproduktif dari kebanyakan hewan-hewan pelagik laut dalam.

Sedangkan spesies-spesies lainnya bervariasi dari pola-pola reproduksi musiman karena ukuran yang kecil memungkinkan mereka berproduksi lebih sering atau karena ukuran mereka yang lebih besar menghalangi mereka untuk bertemu dalam suatu jadwal reproduksi tahunan. Kondisi yang paling ekstrim adalah ikan paus yang besar yang setelah mencapai kematangan gonad, kawin hanya sekali dalam dua atau tiga tahun. Periode kehamilan mereka (waktu antara fertilisasi dan kelahiran) lebih dari satu tahun, dan

permintaan energi selama satu tahun kehamilan diikuti dengan enam bulan penyusuan anak membuat induk paus membutuhkan energi yang sangat besar. Akibatnya, kebanyakan spesies yang berukuran besar dari paus melakukan istirahat dan mengembalikan tenaga dalam satu tahun antara musim kehamilan.

REFERENSI

- Argue, A. W., F. Conand and D. Whyman. 1983. Spatial and temporal distributions of juvenile tunas from stomachs of tunas caught by pole-and-line gear in the central and western Pacific Ocean. *Tech. Rep. Tuna Billfish Assess. Programme, S. Pac. Comm.* 9: 47.
- Argue, A. W., P. Kleiber, R. E. Kearney and J. R. Sibert. 1986. Evaluation of methods used by the South Pacific Commission for identification of skipjack population structure. *In: Symons, P.E.K., P.M. Miyake, and G.T. Sakagawa (ed.). Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Year Program; 21-29 June 1983, Tenerife, Canary Islands, Spain. ICCAT: 242-251.*
- Bayliff, W. H. (ed.). 1980. Synopsis of biological data on eight species of scombrids. *Spec. Rep. I-ATTC* 2: 530.
- Bayliff, W. H. 1988. Integrity of schools of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the eastern Pacific Ocean, as determined from tagging data. *Fish. Bull. NOAA-NMFS* 86 (4): 631-643.
- Burhanuddin, A. I. 2014. *Ikhtiologi, Ikan dan Segala Aspek Kehidupannya*. Jogjakarta: Deepublish.
- Breder, C. M. 1926. The locomotion of fishes, *Zoologica*, 4: 159-297.
- Carwardine, M. 1995. *Whales, Dolphins and Porpoises*. The visual guide to all the world's cetaceans. London: Eyewitness Handbook.
- Castro, P and M. E. Huber. 1992. *Marine Biology*. USA: Moaby-Yearbook, Inc.
- Foley, J. A.; Karl E. Taylor, and Steven J. Ghan. 1991. "Planktonic dimethylsulfide and cloud albedo: An estimate of the feedback response". *Climatic Change*. 18 (1): 1.

- Gage, John D., and Paul A. Tyler. 1991. *Deep-sea Biology: A Natural History of Organisms at The Deep-sea Floor*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gray, Richard. 2013. *How The Sperm Whale Can Hold Its Breath for 90 Minutes*.
- Maienschein, Jane. 1989. 100 Years Exploring Life, 1888-1988: *the Marine Biological Laboratory at Woods Hole*. Boston: Jones and Bartlett Publishers. p. 189-192.
- McLusky, D. S. and Elliott, M. 2004. *The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management*. New York: Oxford University Press.
- Moyle, P. B. and R. A. Leidy. 1992. Loss of biodiversity in aquatic ecosystems evidence from fish faunas. In *Conservation Biology* eds. Fiedler P. L. and Jain S. K. pp. 127-169, Chapman & Hall, Inc.
- Nixon, Marion and Young, J. Z. 2003. *The Brains and Lives of Cephalopods*. New York: Oxford University Press.
- Nybakken, J. W. 1997. *Marine Biology An Ecological Approach*. 4th Edition. Menlo Park, California: An Imprint of Addison Wesley Longman, Inc.
- Parin, N. V. 1970. *Ichthyofauna of The Epipelagic Zone*. Jerusalem, Israel: Program for Scientific Translation. p. 206.
- Russell, A. P. 2005. Migration in amphibians and reptiles: An overview of patterns and orientation mechanisms in relation to life history strategy. In *Migration of organisms: climate geography, ecology* ed. Elewa, A. M. pp. 151-184. Berlin: Springer-Verlag.
- Sale, A., and Luschi, P. 2009. Navigational challenges in the oceanic migrations of leatherback sea turtles. *Proceedings of the Royal Society B*. 276: 3737-3745.
- Sfakiotakis, M., D. M. Lane, and J. B. C. Davies. 1999. Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 24 (2): 237-252.
- Steen, Johan B. 1970. The Swim Bladder as a Hydrostatic Organ. *Fish Physiology*. 4: 413-443.

Sumich, J. L. 1992. *An Introduction to the Biology of Marine Life*. Fifth Edition. USA: WCB. Wim. C. Brown Publishers.

Wilbur, Karl M., E. R. Trueman, and M. R. Clarke, (eds.) 1985. *The Mollusca, 11. Form and Function*, New York: Academic Press.

SOAL LATIHAN

1. Jelaskan pengertian Nekton?
2. Jelaskan bentuk adaptasi distribusi secara vertikal pada nekton?
3. Jelaskan fungsi gas dan paru-paru pada nekton?
4. Jelaskan perbedaan mendasar antara bentuk adaptasi nekton perairan laut dalam dan pada perairan dangkal?

9

BIOTA LAUT SIMBIOSA

Simbiosis berasal dari Bahasa Yunani (*sym* = dengan; *biosis* = kehidupan). Simbiosis merupakan suatu pola keterkaitan yang erat antara dua organisme yang berlainan jenis, sedangkan simbion adalah sebutan untuk makhluk hidup yang melakukan simbiosis. Hubungan simbiosis adalah keterkaitan yang terjalin di antara spesies-spesies yang secara bersama mengembangkan cara hidup saling melindungi, memberi makan, atau membersihkan pasangannya, baik yang terjadi antara tumbuhan dengan hewan maupun antara hewan dengan hewan. Hubungan simbiotik yang ditemukan di lingkungan laut seperti halnya di daratan, tetapi umumnya hubungan simbiotik di lingkungan laut lebih berkembang dan seimbang dibandingkan yang terjadi di daratan.

Bagi beberapa spesies adanya asosiasi merupakan suatu efisiensi tersendiri dalam menyelesaikan berbagai kegiatan kehidupan. Kegiatan ini meliputi pertahanan, pembersihan, transportasi, makanan, perumahan, dan kamuflase. Simbiosis juga dapat menimbulkan modifikasi anatomi, fisiologi dan tingkah laku baik pada satu atau kedua pasangan.

Simbiosis dikategorikan menjadi tiga kelompok besar yakni, 1) *Simbiosis Komensalisme*, yaitu istilah yang digunakan untuk asosiasi yang jelas menguntungkan satu anggota dan tidak merugikan anggota yang lainnya. Udang adalah contoh yang merupakan organisme mengambil keuntungan dari pasangannya pada hubungan simbiotik. Meski bukan parasit, tidak ada untungnya ditanggung udang di punggungnya. Pembonceng-pembonceng ini dapat ditemui di atas makhluk-makhluk yang lebih besar dan bergerak lebih cepat termasuk Nudibranchia dan ketimun laut (*sea cucumber*). Mereka menggantung dan memunguti sisa-sisa makanan ketika tunggangan mereka bergerak di dalam laut. *Inkuilinisme* adalah subdivisi khusus dari komensalisme di mana seekor hewan hidup di dalam rumah hewan lain atau di dalam saluran pencernaannya, tanpa menjadi parasit; 2) *Simbiosis Mutualisme* adalah bentuk simbiosis di mana dua spesies bergabung bersama untuk saling menguntungkan. Dalam hubungan ini, pasangannya sering disebut simbion.

Dalam hubungan komensalisme atau inkuilinisme, yang mendapat keuntungan disebut *komensal* dan lainnya disebut *induk semang* atau *inang*. Udang "cleaning-service", memanjat ke mulut belut laut yang tajam untuk mencari sisa-sisa makanan seperti parasit-parasit, kebiasaan tersebut menunjukkan hubungan yang saling menguntungkan, dan jika kedua organisme tersebut tidak ada salah satunya, maka organisme yang satunya akan mengalami kerugian. Bila tidak ada udang tersebut, belut tidak akan cukup bertahan mengatasi parasit-parasit yang mengganggu kelangsungan hidupnya, dan sebaliknya untuk udang bila tidak ada belut tidak ada media mencari makan yang berpotensi memutus suplai makanan untuknya; 3) *Simbiosis Parasitisme* adalah suatu hubungan antara dua organisme yang berlainan jenis, yang satu disebut inang dan yang satunya disebut parasit. Dengan kata lain, merupakan suatu asosiasi di mana satu spesies hidup di dalam atau pada spesies lainnya (inang) dan mendapat makanan dari spesies inangnya itu, sehingga merugikan spesies inangnya.

Hubungan simbiotik ini ditemukan di lingkungan darat maupun perairan yang mencakup spektrum asosiasi yang luas, mulai dari asosiasi yang terjadi secara kebetulan, asosiasi-asosiasi fakultatif yang saling menguntungkan hingga pada hubungan parasitik. Terdapat dua kelompok besar hubungan simbiosis yang nonparasitik di lautan, yaitu di antara sel-sel alga dengan hewan invertebrata dan di antara berbagai hewan baik vertebrata maupun invertebrata.

A. SIMBIOSIS ANTARA HEWAN DAN ALGA

Suatu rangkaian asosiasi atau hubungan antara spesies berbeda yang bukan merupakan hubungan predator-mangsa juga terjadi antara tumbuhan dan hewan. Simbiose tersebut terjadi pada alga uniselular atau bagian-bagiannya dengan hewan invertebrata lautan, ditemukan banyak khususnya di suatu perairan tropik yang beriklim sedang dan tidak ditemukan di perairan kutub.

Asosiasi simbiotik antara alga dan invertebrata telah umum terjadi. Alga mendapat keuntungan dengan adanya asosiasi melalui penggunaan sumber-sumber yang besar dan lebih dapat diandalkan yang berupa produk metabolik hewan (NO_2 , PO_4 , CO_2) dibandingkan yang didapat dari perairan terbuka. Hubungan simbiosis antara alga dan invertebrata umumnya sangat erat (mutualistik), sehingga terdapat perubahan anatomi dan fisiologi baik pada sel-sel alga maupun pada berbagai invertebrata inang. Tipe asosiasi simbiosis antara keduanya lebih umum ditemukan, yaitu antara seluruh fungsi sel alga dengan hewan avertebrata. Sel alga tersebut diklasifikasikan ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan warnanya. *Zooxanthellae* merupakan sel-sel yang berwarna cokelat, kuning emas, atau kuning kecokelatan. Jenis *Zooxanthellae* yang umum ditemukan adalah Dinoflagellata *Symbiodinium* (*Gymnodinium*) *microadriaticum*. *Zoochlorellae* adalah sel yang berwarna hijau. Di antara asosiasi-asosiasi lautan, *Zoochlorellae* termasuk alga *Platymonas convolutae* (Pyramimonadales). Kelompok yang ketiga adalah kelompok-kelompok kecil yang berwarna biru atau hijau kebiruan dan disebut *Cyanellae*. *Cyanellae* adalah semua alga biru-hijau, tetapi sekarang identitas spesies yang bersangkutan tetap tidak diketahui. Mereka

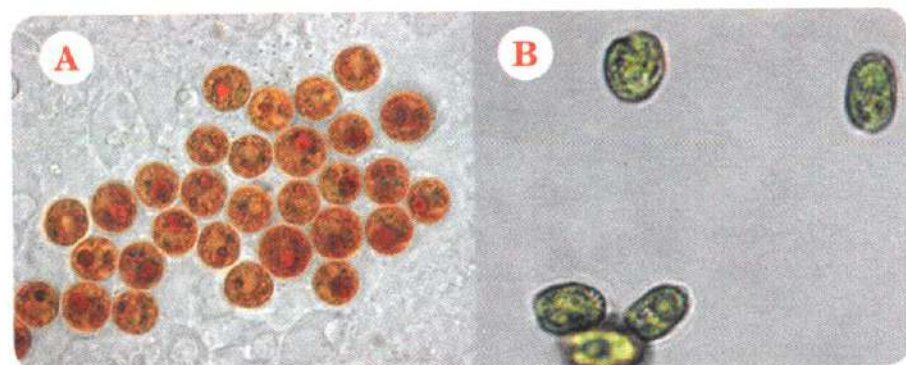
lebih sering sebagai simbion di dalam bunga karang (*sponge*) dan di dalam diatom planktonik (Schoenberg dan Trench, 1976). Selain dari itu juga ditemukan tipe asosiasi hanya kloroplas sel alga yang bergabung ke dalam jaringan tubuh avertebrata.

Tabel 9.1 Ringkasan Tipe-tipe Asosiasi antara Alga dan Invertebrata Lautan

Kelompok Simbion Alga	Takson Alga	Taksa Induk Semang Hewan Invertebrata
<i>Zooxanthellae</i>	Dinoflagellata	Protozoa, Porifera Cnidaria, Platyhelminthes, Mollusca
	Bacillariophyceae Cryptomonadida	Platyhelminthes (<i>Convoluta convoluta</i>) Protozoa
<i>Zoochlorellae</i>	Pyraminodales	Platyhelminthes (<i>Convoluta roscoffensis</i>)
	(?) Chlorophyceae	Cnidaria (<i>Anthopleura</i> sp.)
<i>Cyanellae</i>	Cyanophyceae	Porifera, Protozoa
Chloroplast	Chlorophyceae	Mollusca (<i>Sacoglossa</i>)

Diolah dari D.C. Smith, Symbiosis of algae with invertebrata, Oxford Biology Reader = 43.16 pp. Copyright Oxford University Press (Nybakken, 1997).

Pada golongan Protozoa, hubungan simbiosis ditemukan pada semua plankton radiolaria yang epipelagik dan juga pada sejumlah plakton Foraminifera (*Globigerinoides*), bahkan di dalam Ciliata laut (*Paraeuplotes*, *Trichodina*). Meskipun simbiosis tidak umum ditemukan pada bunga karang (Porifera), tetapi ada pada beberapa spesies, seperti *Zooxanthellae*



GAMBAR 9.1 A. Dinoflagellata *Symbiodinium* dan B. *Platymonas convolutae* simbiotik dari anemon *Anthopleura xanthogrammica*.

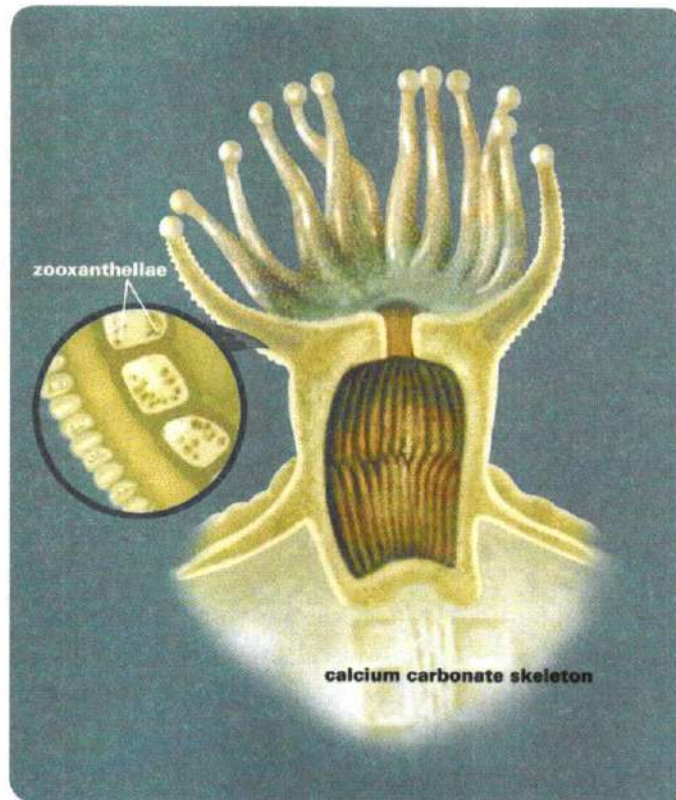
dalam *Cliona* dan *Cyanella* dalam Demospongiae. Pada Cnidaria tropik, anemon perairan-dangkal, karang lunak, kipas laut, cambuk laut, dan karang berbatu mempunyai *Zooxanthellae* yang bersimbiosis di dalam jaringannya. Sedangkan di laut beriklim sedang, hanya anemon seperti *Anthopleura* yang merupakan simbion.

Di dalam jaringan hewan karang batu terdapat alga simbiotik (*Zooxanthellae*) yang hidup dan bekerja sama yang saling menguntungkan (mutualistik) dengan hewan karang, di mana lewat proses fotosintesa alga tersebut karang batu dapat bertumbuh dan menghasilkan kapur (kalsium karbonat) untuk pembentukan terumbu. Untuk melakukan fotosintesa *Zooxanthellae* membutuhkan cahaya matahari, sehingga ekosistem ini hanya dapat berkembang di daerah yang beriklim panas dan mempunyai perairan yang jernih.

Pada sebagian besar invertebrata yang mempunyai hubungan simbiosis dengan sel-sel alga, sel-sel ini mempertahankan integritasnya dan tidak dicernakan oleh hewan untuk mendapat nutriennya. Jadi, nutrisi yang disalurkan adalah dalam bentuk senyawa kimia. Molekul yang mengandung energi seperti gliserol, dihasilkan oleh *Zooxanthellae* dalam fotosintesis, disalurkan kepada hewan, sedangkan nitrat dan fosfat yang merupakan nutrisi yang diperlukan oleh alga, disalurkan dalam bentuk senyawa kimia.

Nilai positif dari asosiasi simbiosis antara alga dan invertebrata telah umum diketahui. Melalui hubungan simbiosis antara karang dengan *Zooxanthellae*, di mana karang mendapat makanan dari *Zooxanthellae* dan *Zooxanthellae* memanfaatkan kemampuan karang yang dapat memberi/mengendapkan kalsium karbonat. *Zooxanthellae* pada karang mendapat makanan dalam bentuk nitrat dan fosfat yang dihasilkan dalam proses metabolisme karang, namun sangat jarang terjadi di perairan luas.

Selain ditemukan hubungan simbiosis pada Ctenophora (*Beroe*), Annelida (*Eunice*), Echinodermata (*Ophioglypha*) dan Tunicata (*Didemnum*, *Trididemnum*), hubungan simbiosis juga ditemukan pada Platyhelminthes dan Mollusca. Hubungan simbiosis pada Mollusca umumnya terbatas pada Gastropoda laut tertentu dari ordo Sacoglossa, di mana hewan hanya mempunyai kloroplas dan pada famili Bivalva *Tridacninae*.



GAMBAR 9.2
Zooxanthellae pada karang mendapat makanan dalam bentuk nitrat dan fosfat yang dihasilkan dalam proses metabolisme karang

Pada Mollusca, Bivalva yang dalam satu famili dengan Tridacninae termasuk kimah/tiram raksasa padanya ditemukan perubahan yang dramatis akibat suatu asosiasi. Modifikasi universal semua invertebrata hidup pada perairan dangkal, di mana mereka dapat memperoleh cahaya yang cukup, sehingga alga dapat berfotosintesis. Kerang Tridacninae hidup pada daerah terumbu karang dan ditemukan dalam jumlah besar di perairan dangkal yang banyak mendapat cahaya matahari. Mantel pada kerang Tridacninae bermacam-macam sebagai penampakan dari alga *Zooxanthellae* simbiotiknya. Mereka biasanya mempunyai posisi yang tidak khas seperti umumnya Mollusca Bivalva, mereka terletak pada permukaan dasar atau pada lubang karang dengan membuka kedua cangkangnya menghadap ke permukaan air.

Cangkang kima biasanya terbuka lebar dan melalui pembukaan ini terlihat lapisan jaringan yang berwarna terang. Di lapisan jaringan ini *Zooxanthellae* simbiotik ditemukan. Jaringan yang berwarna terang itu adalah jaringan sifonal, warna tersebut disebabkan adanya interaksi

GLOSARIUM

Abiotik	Benda mati.
Abisal	Pembagian mintakat air laut dengan kedalaman daerah lebih dari 2000 meter.
Adaptasi	Penyesuaian diri suatu organism terhadap lingkungan tempat hidupnya.
Aerobik	Bakteri (dan sel lain) yang melakukan pernapasan dengan menggunakan oksigen bebas.
Anaerobik	Bakteri (dan sel lain) yang melakukan pernapasan tanpa memerlukan oksigen bebas.
Angiospermae	Tumbuhan biji terbuka.
Anteridium	Organ pembentuk sel kelamin jantan (spermatozoid) pada tumbuhan paku atau lumut.
Antitoksin	Zat pelawan antigen (benda asing yang masuk).
Autogami	Penyerbukan sendiri.
Autotrof	Organisme berklorofil yang mampu mengubah zat anorganik menjadi zat organik.
Bakteri (bacterium)	Mikroorganisme bersel tunggal yang tidak memiliki inti sel sejati.
Batial	Pembagian bioma air laut dengan kedalaman daerah 200–2000 meter.
Binomial nomenklatur	Penamaan jenis (spesies) dengan menggunakan dua nama.
Biodiversitas	Keanekaragaman hayati.
Biogenesis	Teori yang menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup.
Biosfer	Lapisan bumi yang dihuni oleh makhluk hidup.

Bioteknologi	Teknologi yang menggunakan makhluk hidup untuk menghasilkan produk yang berharga bagi manusia.
Biotik	Makhluk hidup, benda hidup
Blastula	Bola sel berongga yang dihasilkan dari pembelahan sel tahap awal pada perkembangan embrio.
BOD (Biological Oxygen Demand)	Kebutuhan oksigen secara biologis.
Bryophyta	Divisi lumut daun.
Carolus Linnaeus	Tokoh yang mencetuskan sistem penamaan spesies dan penamaan berbagai macam tumbuhan.
Charles Darwin	Pelopop sistem klasifikasi berdasarkan filogeni.
Chlorella	Contoh dari chlorophyta bersel tunggal tidak dapat bergerak.
Chlorophyta	Alga Hijau
Chrysophyceae	Alga Cokelat-Keemasan.
Chrysophyta	Alga Keemasan.
Ciliata	Protista bersel satu yang permukaan tubuhnya memiliki banyak rambut geta (<i>silia</i>).
Ciri Poligenik (polygenic trait)	Ciri fenotipe yang dipengaruhi beberapa gen.
Coniferophyta	Tumbuhan pembawa kerucut, karena alat reproduksinya berbentuk kerucut (<i>strobilus</i>).
Cyanobacteria	Alga Hijau-Biru.
Cyanophyta	Alga Biru.
Degenerasi	Penyusutan (tidak tumbuh sempurna).
Dekomposer	Mikroorganisme yang berperan menguraikan zat-zat sisa organik.
Denitrifikasi	Proses pengubahan amonium menjadi nitrogen bebas di udara oleh bakteri.
Detritivor	Hewan pemakan hancuran/serpihan sisa bahan-bahan organik.
Dikotil	Dua kotiledon atau dua daun lembaga/kotil pada biji.

Diploid	Kromosom yang berpasangan.
Dislokator	Sel dinding, yaitu sel yang berasal dari hasil pembelahan sel generatif pada Gymnospermae.
Divisi	Merupakan tingkatan takson yang menghimpun beberapa kelas yang memiliki persamaan ciri-ciri.
DNA (Deoxyribonucleic acid)	Asam nukleat yang digunakan untuk menentukan hubungan kekerabatan makhluk hidup.
Dominan	Sifat yang muncul pada suatu organisme.
Ekosistem	Suatu sistem yang di dalamnya terdapat interaksi antara komponen biotik dan abiotik.
Eksplan	Pertumbuhan tumbuhan di luar tubuh dengan media kultur.
Embrio	Individu baru hasil pembuahan.
Embriogeni	Penyuburan lingkungan perairan.
Endemik	Hanya berada di satu kawasan atau daerah.
Endosperma	Cadangan makanan.
Endospora	Spora yang terbentuk dalam sel induk sendiri.
Epiteka	Tutup sel pada Diatom.
Eukariot	Organisme yang bermembran inti.
Eukariotik	Sel organisme yang bahan intinya diselubungi oleh membran inti.
Evolusi	Perubahan struktur alat tubuh organisme yang berlangsung sedikit demi sedikit dalam waktu yang lama.
Fenotipe	Sifat yang tampak.
Fertilisasi	Peleburan sel telur dengan spermatozoid (pembuahan).
Fikoeritrin	Pigmen merah laut air yang terdapat pada kloroplas Knodophyta.
Fikosianin	Pigmen biru laut air yang terdapat pada kloroplas Rhodophyta.
Filogeni	Sejarah evolusi makhluk hidup.
Flagela	Tonjolan berbentuk cambuk pada satu sel yang berguna untuk alat gerak.

Flagellata	Golongan hewan bersel satu yang bergerak dengan menggunakan bulu cambuk.
Formalin	Bahan pengawet organ tubuh, binatang, atau mayat.
Fosil	Sisa-sisa makhluk hidup yang sudah membatu.
Fotik	Daerah yang dapat ditembus cahaya dalam bioma air.
Fragmentasi	Cara perkembangbiakan suatu organism dengan jalan memotong tubuh menjadi beberapa bagian dengan setiap potongan tubuhnya dapat tumbuh menjadi individu baru.
Galur murni	Keturunan yang masih memiliki sifat asli.
Gamet	Sel kelamin.
Gametangium	Gonad pada tumbuhan.
Gastrodermis	Lapisan kulit yang berfungsi sebagai usus.
Gastrovaskuler	Usus yang berfungsi sebagai pengedar makanan.
Gen	Faktor pembawa sifat keturunan dari suatu individu.
Generatif	Perkembangbiakan secara kawin.
Genotipe	Sifat yang tidak tampak dari luar.
Gonad	Sel induk pembentuk sel kelamin.
Gymnospermae	Tumbuhan biji terbuka.
Genetika	Cabang biologi yang mempelajari tentang pewarisan sifat.
Habitat	Tempat hidup suatu organisme mulai dari lahir, berkembang biak, sampai mati.
Haploid	Kromosom yang tidak berpasangan.
Herbivora	Hewan pemakan tumbuh-tumbuhan.
Hermafrodit	Organ pembentuk sel kelamin jantan dan betina yang terdapat dalam satu tubuh.
Heterozigot	Pasangan gen yang tidak sama.
Hibridisasi	Persilangan dari populasi yang berbeda.
Hidrofit	Tumbuhan yang hidup di dalam air.
Hidrogami	Penyerbukan yang diperantarai oleh air.
Higrofit	Tumbuhan drat yang hidup di tempat lembab.

Homologi	Sama bentuk dan struktur karena berasal dari asal-usul yang sama.
Homozigot	Pasangan gen yang sama.
Hospes	Inang.
Implantasi	Proses penempelan zigot pada dinding rahim.
Intermediat	Sifat yang bersama-sama pada suatu organisme.
Inti sel (nucleus)	Bagian sel eukariot yang dilingkupi membran inti dan berisi kromosom.
Intron	Bagian gen yang tidak menyandi. Sebagian besar gen eukariot terdiri dari sekuens DNA intron dan ekson yang berselang seling.
Inversi (inversion)	Kondisi genetik ketika segmen kromosom mengalami rotasi 180° dari orientasi linear aslinya.
Isogami	Bentuk dan ukuran sel kelamin jantan dan betina sama.
James Watson	Tokoh yang menemukan struktur DNA dan RNA.
Jamur	Organisme eukariotik dan tidak berklorofil.
Jaring-jaring makanan	Peristiwa memakan dan dimakan yang digambarkan dalam bentuk jaring-jaring yang saling berhubungan.
Junk Food	Makanan sampah yang tidak baik untuk dikonsumsi.
Karnivora	Hewan pemakan daging.
Knidoblas	Sel-sel beracun pada ubur-ubur.
Kodominan	Persilangan monohibrid dominant tak penuh.
Konservasi	Upaya pelestarian sumber daya alam.
Kopulasi	Penyimpanan sel sperma dari alat kelamin jantan ke dalam alat kelamin betina.
Kromosom	Pembawa gen.
Labium	Bibir.
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Bakteri untuk membuat yoghurt.
Larva	Tingkat kehidupan suatu hewan sesudah menetas dari telur.

Lembar fotosintetik	Pada bakteri terdapat pelipatan membran sel ke arah sitoplasma.
Letal	Dapat mengakibatkan kematian.
Limnetik	Daerah yang terbuka dan dapat ditembus cahaya matahari.
Lingkungan	Abiotik membentuk suatu kesatuan.
Lipida	Lemak.
Lisozim	Enzim penghancur pada virus.
Lokus	Letak suatu gen pada kromosom.
Lotik	Ekosistem yang airnya mengalir.
<i>Lumbricus</i> sp.	Cacing tanah.
Lumut Kerak	Hubungan simbiosis antara jamur dan alga.
Malakogami	Penyerbukan yang diperantai oleh siput.
Mikrofil	Tempat masuknya spermatozoid ke dalam bakal biji pada tumbuhan biji.
Mikrosporosit	Sel induk pembentuk spermatozoid.
Miselium	Kumpulan benang-benang hifa.
Mitosis	Pembelahan inti sel.
Monohibrid	Satu sifat beda.
Mortalitas	Angka kematian
mRNA	Hasil dari pencetakan (transkripsi) DNA.
Navicula	Salah satu contoh dari kelas Bacillariophyceae (Diatom).
Nitrosomonas	Bakteri yang memecah NH_3 menjadi HNO_2 , air, dan energi.
Nostoc	Sejenis Alga Hijau-Biru yang tubuhnya berbentuk bola.
Nukleotida	Senyawa yang tersusun atas gula, fosfat, dan basa purin atau pirimidin.
Nukleus	Inti sel.
Obelia	Cnidaria air laut, yang hidup secara berkoloni.
Onkosfera	Embrio cacing pita yang baru menetas.
Oogenesis	Proses pembentukan sel telur.
Oogonium	Sel induk telur.

Ookinet	Zigot yang terbentuk.
Ookista	Sel telur belum matang.
Ordo	Tingkatan takson yang menghimpun beberapa famili.
Ostium	Pori-pori pada tubuh Porifera yang berfungsi sebagai jalan masuknya air.
Ovarium	Tempat pembentukan sel telur.
Ovipar	Bertelur.
Ovotestis	Organ pembentuk sel telur manjadi satu dengan organ pembentuk sel sperma.
Ovovivipar	Bertelur dan beranak.
Ovum	Sel telur.
Polutan	Bahan yang mengakibatkan polusi.
Populasi	Kumpulan individu sejenis di suatu daerah tertentu.
Predator	Hewan pemangsa hewan lain.
Proglotid	Ruas tubuh cacing pita tempat berlangsungnya fertilisasi.
Prokarion	Inti tanpa membran inti
Rekombinasi	Kombinasi baru.
Replikasi :	Proses penggandaan asam nukleat (DNA).
Reproduksi	Perkembangbiakan.
Reseptakulum	Dasar bunga.
Ribosom	Organel yang berfungsi mensintesis protein.
Rizoid	Akar semu.
Rizom	Batang yang tinggal di dalam tanah.
Sanitasi	Upaya mengelola kebersihan lingkungan.
Seleksi alam	Seleksi yang dilakukan alam terhadap organisme.
Selulase	Enzim pencerna serat tumbuhan.
Selulosa	Serat tumbuhan.
Sentromer	Bagian dari kromosom yang berfungsi untuk mengatur gerakan kromosom pada saat terjadi pembelahan sel.
Sitokinesis	Proses pembelahan sitoplasma.

Sorus	Kumpulan kotak spora (sporangium).
Spermatozoid	Sel sperma pada tumbuhan.
Spesies	Jenis makhluk hidup.
Spora	Inti sel yang berubah fungsi menjadi alat perkembangbiakan.
Talus	Akar, batang dan daun belum dapat dibedakan dengan jelas.
Transduksi	Peristiwa penggabungan DNA dari bakteri satu dengan bakteri lain dengan perantara virus.
Translasi	Proses penerjemahan kode-kode untuk mensintesis protein.
Tropofil	Daun yang khusus berfungsi untuk fotosintesis.
Turba fallopi	Saluran telur.
Urogenital	Gabungan antara saluran urine dan saluran kelamin.
Variasi	Perbedaan kecil yang terdapat di antara individu sejenis.
Varietas	Perbedaan besar dalam satu spesies.
Vas deferens	Saluran sperma.
Vasektomi	Pemandulan/sterilisasi pada laki-laki.
Vegetatif	Perkembangbiakan secara tidak kawin.
Virion	Satu unit lengkap virus yang dapat menginfeksi: Beranak.
Xerofit	Tumbuhan darat yang hidup di tempat kering.
Xilem	Jaringan pengangkut yang menyangkut zat makanan dari akar ke seluruh tubuh.
Yolk	kuning telur.
Zoidiogami	Pernyebukan yang diperantai oleh hewan.
Zigot	Calon individu baru sebagai hasil peleburan sel kelamin jantan dan betina.

INDEKS

A

abiotik, 131, 215, 217, 220
faktor, 131-2
abisal, 33, 215
adaptasi, 2, 21
konsep biota laut, 37-50
nekton, 153-92
organisme benthic, 131-50
plankton laut, 91-129
respon biota laut, 53-73
tumbuhan laut, 75-90
autotrof, 46-7, 95-7, 215
aerobik, 56, 64, 215
air, 7-29, 11t, 11f, 55-64
asin, 2, 4
garam, 2, 31, 41
laut, 4, 7-10, 12, 15, 16-33, 19t, 57, 60-4
tawar, 41, 81
aklimatisasi, 54, 57-58, 62, 69-70
periode, 207-208
alami, 15, 16
anorganik, 25
habitat, 148
kondisi, 103
makanan, 92
perairan, 72
populasi, 121
suhu, 21
alga, 25, 57-58, 70, 75-76, 94, 97, 132, 133f, 142, 146, 155, 197-201, 198t
benthik, 72
biru, 216
coklat, 75, 77-8, 85-6, 216
epibenthik, 134
hijau, 75, 77-8, 84-6, 84f, 216
hijau-biru, 216
keemasan, 216
koralin, 155
laut, 62, 69-70, 82, 135, 147
merah, 75-8, 81, 83f, 83, 86, 147
zooxanthellae, 200, 201f
alkali, 26

anemon, 133, 133f, 134, 143-4, 149, 198f, 199, 202-9, 203f, 206f
laut, 202, 204
antartika, 4, 116, 119, 166
aristoteles, 3-4
arus, 5, 21, 28, 31, 67, 69, 86-90, 92-3, 96, 105, 107-8, 123, 126, 132, 134-7, 165-6, 173-7, 183
gyre semi tertutup, 115
laut, 12
pasang, 82
asam, 23-5, 147-9
amino, 16, 31, 44, 62-3, 93
borak, 17
fosfat, 20
karbonik, 24
nitrit, 25
nukleat, 25, 217, 221
suksinat, 67
amonia, 25, 93, 95
atmosfer, 33, 45, 162
atom, 8, 25
avertebrata, 40, 56, 57, 59, 52, 70, 112, 134-5, 145-7, 154, 176-7, 197-8
chordate, 112, 128
laut, 67

B

bakteri, 5, 21, 25-6, 46, 65, 72, 91-2, 106, 117, 210-1
beku, 12-3, 16, 59
batuan, 26
benthik, 72, 99, 131-50, 190
bentuk, 3, 26, 41, 78, 93-4, 98-9, 102, 108-10, 112-4, 117, 125, 155, 157-92
berat, 8, 42, 61, 65-6, 114, 148, 160-1, 191
binatang, 2, 11, 33, 218
bintang, 71, 179
berbulu, 133, 133f, 135-6
laut, 4, 137, 137f, 142, 148-9
biologi, 3
laut, 2-6

- biota, 1, 4, 5-6, 92, 106
 habitat, 7-33
 konsep adaptasi, 37-50
 respon adaptasi, 53-73
 sembiosis, 195-211
- bivalvia, 58, 69, 140, 144-5, 149, 202
 kerang, 40, 140-1, 143
 moloska, 62-3
 pembor, 142
- budi daya, 6, 71
- bumi, 1-2, 3, 7-8, 16-7, 27, 37, 45, 76, 95,
 116, 153, 163, 177, 183, 215
- burung, 4, 88-9, 156, 171, 177, 184
 laut, 21, 57, 156, 176, 191
- benthos, 131
 hidup bebas, 142-4
 infauna, 140-1
 organisme, 138-9
 parasit, 144-5
 pembor, 141-2
- C**
- cephalopoda, 4, 66, 163, 211
- cair, 8, 10, 12-4, 169, 182
- cahaya, 9, 16, 29-30, 33, 43, 56, 69-72,
 77-9, 93, 95-6, 98, 100f, 104, 110-1,
 115, 118, 120-3, 157-9, 179-80, 185-
 7, 199-200, 210-11, 218, 220
- cairan, 8, 12, 18-9, 42, 59, 60-4, 68, 139,
 144, 160-1, 166, 180-1
- cacing, 4, 62, 137-9, 139f, 140-3, 145,
 145f, 148, 202, 220, 221
- cumi-cumi, 8, 42, 120, 138, 154, 161, 163,
 179, 181, 210-1, 210f
- D**
- densitas, 12-3, 16, 21-3, 22f, 27-8, 31
- derajat, 8, 14, 21, 55, 93, 136
- danau, 13, 32, 122, 175-6
- deep, 20, 27, 119
- downwelling, 27, 29f
- dasar, 4, 13, 22, 30, 65, 82, 92, 115, 131-4,
 137, 200, 210, 221
- difusi, 25, 60-1, 64, 67, 93, 115, 162, 166
- darah, 4, 42, 64, 67, 68, 144, 161, 162, 164-6
- distribusi, 21-2, 22f, 25-6, 31, 93, 107,
 112, 114, 174
 biantropical, 116
 oksigen, 64
 spectral, 70
 vertikal, 26, 157-60
- E**
- efek, 10, 14, 16, 53, 54, 68, 134, 158
- efektor, 53
- ekologi, 38-9, 92, 106, 115, 167
- ekosistem, 38, 46-7, 87-8, 90, 94-6, 105,
 107, 112, 155, 199, 210, 217, 220
- ekspedisi, 4-5
- ekskresi, 26, 62
- elektron, 8, 100f, 103f
- energi, 5, 13-4, 23, 26, 33, 38, 41, 44-8,
 54-8, 64-5, 69-70, 93, 95-6, 100, 106-
 7, 117, 120, 134-5, 145, 150, 166,
 199, 220
 getaran, 182
 listrik, 183
 panas, 21
- eukariotik, 65, 217, 219
- evaporasi, 14, 17-8, 28, 57, 60
- evolusi, 39, 43, 110, 128, 142, 146, 148-
 50, 217
- F**
- faktor, 9-10, 12, 18, 20, 37-40, 54-5, 93,
 111, 167, 218
 lingkungan cahaya, 69-71
 lingkungan oksigen, 64-9
 lingkungan salinitas, 60-4
 lingkungan suhu, 56-60
 lingkungan turbiditas, 71-3
- fisiologi, 41-2
- fitoplankton, 70, 93-105
- fluktuasi, 55
- fotik, 30, 94, 112, 115, 118-21, 180, 218
- fotosintesa, 26, 30, 46-7, 64-5, 69-70, 72,
 92, 199
- fotosintesis, 23, 25-6, 30, 44-5, 58, 64,
 69-70, 72, 76-8, 81, 93-4, 96, 100,
 199, 201, 222

G

ganggang, 56, 95
 garam, 9, 12, 15, 15f, 16-20, 40-2, 59, 60-3, 87
 air, 2, 31, 41
 rawa, 87-8
 gas, 8, 15, 16-7, 23-5, 46, 79, 80, 114, 153, 161-2, 163-6
 gelembung, 135
 gastropoda, 57, 109, 137f, 144, 146-7, 149, 199
 gaya, 8-9, 59; gravitasi, 113, 181-2
 gelap, 5, 26, 41, 103, 120, 157-8, 186
 genetika, 6, 218
 geografi, 4, 21, 58-9
 gerakan, 9, 13, 21, 27-8, 31, 46, 93-4, 99, 105-8, 112, 137, 166-7, 171, 188, 203, 221
 gram, 14, 17, 60, 96-7,
 gunung, 18
 gurita, 138, 163

H

habitat, 37-8, 58-9, 67, 77, 115-7, 135, 146, 148, 176, 218
 biota, 7-33
 estuaria, 154
 subtidal, 134
 halobates, 11, 11f
 hayati, 6, 73, 215
 hemoglobin, 67-8, 68f, 166
 herbivora, 31, 46-8, 106-7, 115, 117, 121, 128-9, 147, 155, 218
 hermafrodit, 43, 218
 hidrogen, 8-9, 10, 24; sulfida, 28
 hidrofobik, 9
 hidrotermal, 5
 horisontal, 20, 56, 88-9, 115, 118, 123, 128, 171
 hormon, 53

I

ikan, 2, 4, 32, 41-3, 56-64, 80, 87, 92, 104, 106, 119, 138, 143-4, 154-6, 156f
 herring, 48-9, 48f, 49f
 ikatan, 8-10, 15, 44, 60, 68, 89

ilmu, 1, 3, 5-6, 26
 individu, 6, 39-40, 43-4, 54-5, 59, 65-6, 77, 83, 95, 99, 107, 114, 116, 118, 120, 134-5, 143, 174, 190, 217, 218, 221, 222
 insang, 3, 42, 62, 63, 67, 144, 154, 162, 154, 162, 164-7, 209
 interaksi, 2, 15, 18, 31, 38, 56, 72, 168, 200, 210, 217
 intermolekul, 9
 intertidal, 29, 32, 58-9, 64, 76, 80, 84, 134
 ion, 15, 18-20, 19t, 24-6, 42, 60-3, 161

J

jamur, 5, 46, 219, 220

K

kalsium, 17-9, 60
 karbonat, 67, 77, 199
 karang, 71, 72, 79, 108, 112, 135, 149, 155, 172, 198-9, 200f, 204-5
 terumbu, 31, 76, 87, 96, 167, 180, 200
 karbohidrat, 16, 23, 46, 65-6
 karbon, 19t, 45-6, 96-7, 106
 monoxide, 80
 dioksida, 162
 karbondioksida, 23, 65
 kedalaman, 4, 7, 12, 17, 22f, 25-6, 29-33, 56, 60, 69-70, 76, 88, 111-2, 118-24, 132, 157, 162
 kehidupan, 1-6, 15-7, 21, 23, 40, 45, 53, 56, 60, 72, 76, 92-3, 102, 153, 178, 195-6, 219
 kekeruhan, 71-3, 93, 107
 kelautan, 1-3, 10, 56
 kelompok, 4, 12-3, 29, 43, 56, 88, 92-4, 94t, 97-105, 110-15, 154-7, 179, 196
 kenaikan, 12
 kepiting, 55, 66, 80, 92, 137, 141-3, 145, 148, 202-4, 203f, 109
 keragaman, 6
 kerang, 33, 60, 66, 104, 106, 134, 138, 142, 149
 biru, 60, 62, 69
 bivalvia, 40, 140-1, 143
 kerapatan, 8, 27, 115, 118, 160-1, 163

- kimia, 3, 5, 9, 13, 44, 94, 141, 147-8, 178, 199
 klorida, 16-7, 19, 60
 sodium, 18
 kohesi, 10
 komensalisme, 50
 komposisi, 17, 19, 25, 39, 62, 69, 77, 111,
 116, 119-20, 134, 164
 konsentrasi, 5, 18, 23-5, 60-4, 79-80, 117,
 164-6, 178
 konsep, 37-50, 55, 178
 konsumen, 31-2, 46-7, 105
 konsumsi, 13, 25-6, 57, 62, 65-6, 118, 219
 kopepoda, 49, 122, 127
 kristal, 13, 15-8, 21, 162
 kutub, 15, 18, 20-1, 58, 60, 121, 197
 selatan, 65, 116, 166
- L**
- lamun, 79, 83, 87-90, 88f, 132, 155, 167, 176
 lapisan, 20, 22-3, 27-8, 46, 65, 67, 96,
 105, 121, 161-2, 185, 200, 215, 218
 larut, 9, 15, 16-20, 23-5, 25-6, 33, 60, 64-5
 laten, 14
 laut, 2-6
 air, 4, 7-10, 12, 15, 16-33, 19t, 57, 60-4
 anemon, 202, 204
 arus, 12
 avertebrata, 67
 bintang, 4, 137, 137f, 142, 148-9
 lemak, 9, 16, 23, 31, 145, 161, 189, 220
 Levinton, 63f, 68f, 97, 133f, 137f, 145f
 lingkungan, 5, 9, 13, 16, 37-40, 53-5, 91,
 106, 110-2, 131-2, 150, 159, 178,
 191, 215, 217, 220, 221
 cahaya, 69-71
 laut, 7, 14, 25, 29-30, 88, 195
 oksigen, 64-9
 pelagis, 115-7, 185
 salinitas, 60-4, suhu, 56-60
 turbiditas, 71-3
 lipida, 42, 220
- M**
- marine*, 1
 makhluk, 2-3, 37-9, 53, 92, 95, 117, 195-
 6, 211
- modern, 4-6, 31, 164
 melimpah, 8, 19, 21, 23, 33, 44-5, 68, 76,
 80, 87, 96, 98, 115, 119, 126-7, 154
 molekul, 8-11, 13, 15, 15f, 44, 56, 72, 96,
 178, 199
 meningkat, 11-3, 21, 27, 54, 64, 66-8, 72,
 94, 110, 112, 127, 136, 149, 163-4
 menurun, 10, 21, 31, 56, 58, 62, 64, 70,
 72, 110-2, 121, 123, 127
 musim, 13, 18, 20-1, 56-9, 67, 70, 104,
 119, 121, 129, 138, 174-6, 190, 191-2
 maksimum, 12-3, 16, 59, 93, 104, 127
 minimum, 25, 59, 65, 134
 major, 18, 19t
 minor, 18, 19t, 125
 medium, 8, 17, 31, 62
 fluida, 91
 morfologi, 37, 41, 56, 60, 69, 132, 134,
 144, 148, 155, 187, 207, 208
 metabolisme, 20, 25, 41, 44, 56-8, 64-7,
 80, 115, 118, 120, 147, 199
 mutualisme, 196
 mikroskopis, 32, 47, 78, 85, 86, 89, 91,
 94, 105, 112, 118
 mamalia, 4-5, 21, 42, 57, 106, 110, 154,
 156, 176, 187, 189
 magnesium, 17-20, 19t, 60
 moluska, 60, 62, 66-7, 128, 146, 154
 matahari, 13, 20, 30, 32-3, 44, 46, 57, 69-
 72, 77, 79, 93, 96, 111-2, 118, 122,
 172, 179, 190, 199
- N**
- Nybakken, 122, 160, 198t
 nitrat, 18, 25-6, 46, 93, 95, 199, 200f
 nitrit, 25
 nutrien, 25-6, 28, 46-7, 117, 132, 199
 negatif, 1, 8, 18, 53, 70, 110
 niche, 38-9, 55, 115, 117, 167
 nitrogen, 23, 25, 46, 93, 95-6, 106, 132,
 162, 164, 166, 216
 natrium, 16-7, 19, 19t, 60
 nekton, 92, 108, 112, 117, 120, 125, 153-92

O

oceanography, 4
 oksigen, 8, 13, 15, 23, 25-8, 45, 57, 62,
 64-9, 93, 130, 161, 164-6
 ombak, 29, 62, 76, 80, 82, 87-8, 99, 134-5,
 176, 182
 organisme, 2-5, 11, 16, 18-20, 29, 37-8,
 44, 54, 60-73, 91-4, 110, 122, 131-50,
 180, 195, 210
 osmosis, 10, 17, 42, 60-2
 osmoregulasi, 62, 154
 otot, 23, 41, 57, 114, 137, 139-41, 160-1,
 163-4, 167, 169, 180f, 183, 185, 189

P

panas, 13-4, 20-1, 40, 56-60, 70, 104, 119,
 121, 138, 161, 174, 190, 210
 parameter, 12, 20, 55, 71
 parasitisme, 50
 partikel, 16, 32, 65, 71-3, 100, 106, 117,
 125-9, 136, 141, 159, 181, 185
 pasang, 29, 32, 57, 60, 67, 70-1, 77, 82,
 85, 104, 135, 141, 156
 pencemar, 64
 pengaruh, 5, 11, 20, 31, 33, 38, 50, 56-73,
 93, 107, 111, 115, 144
 perairan, 7, 13, 20-1, 29f, 32-3, 46, 56,
 70-3, 105-7, 118, 126, 164, 185, 211
 permukaan, 7-8, 11-2, 17, 20-3, 47, 60,
 64-7, 110-6, 131, 157
 blade, 78
 sel, 102
 pesisir, 17, 21, 30, 32, 97, 105, 121, 145f
 pigmen, 44, 67-8, 68f, 70, 76-8, 97, 100,
 123, 166, 186, 201
 planet, 1-3, 7
 plankton, 2, 10, 64-5, 91-129, 185, 198
poikilotherm, 57, 66
 populasi, 31, 38-9, 43, 55, 62, 77, 99, 127,
 142, 146, 172, 201, 221
 ikan, 47, 56, 104
 positif, 8, 18, 70, 71, 114, 199, 203
 potensi, 42, 196, 211
 predator, 43, 47, 146-50, 166, 172, 183,
 190, 209, 211, 221
 produsen, 92, 94-6, 106, 131

primer, 95, 105, 107

produser, 31, 46-7, 94, 96-7, 105, 112
 protein, 16, 20, 25, 62
 protozoa, 66-7, 105, 108, 126, 198t, 202

R

reaksi, 24, 42, 104
 kimia, 8-9, 16
 reproduksi, 42-3, 83-7, 99, 103, 145, 157,
 166, 172, 190-2, 221
 respirasi, 23, 25, 41, 45, 54-5, 58, 64-7,
 70, 96, 132, 188
 respons, 3, 37, 40, 53-73, 110, 117, 121,
 149, 154-92, 203
 restocking, 6

S

salinitas, 9, 12, 16-9, 19t, 21-2, 27-8, 40,
 55, 60-4, 93, 116
 samudra, 4, 5, 172
 sebaran, 18, 20, 58, 115-7
 sedimen, 26, 33, 82, 82f, 88, 106, 131,
 138-9, 140-1
 sedimentasi, 33
 seksual, 59, 83-4, 103, 145
 seluler, 21, 45, 47, 59, 61, 78
 senyawa, 16, 19-20, 23, 25, 44, 46, 95,
 100, 104, 147-8, 199
 semipermeabel, 60-61
 sifat, 2, 7, 33, 93, 122, 217
 air murni, 9-15
 air laut, 16-29
 silikat, 18
 simbiose, 197
 sinar, 13, 20, 30, 32-3, 44, 46, 57, 69, 70-2,
 77, 112, 118, 122, 162, 185, 201, 211
 spesies, 4, 24, 38-40, 56-9, 63, 88, 108,
 112, 125, 136, 142, 147, -50, 195, 222
 sponge, 66, 133f, 144, 198
 stenoterm, 10
 struktur, 5, 8, 12, 21, 31, 39, 41, 59, 76
 substrat, 76, 82-3, 99, 131-4, 139, 141,
 146, 201
 subtropis, 17, 23, 60, 116
 suhu, 5, 9-14, 11t, 20-3, 40, 55-60, 93,
 115, 118, 120, 190

sumber daya, 1, 39, 41, 53, 153, 172
Sumich, 49f, 156
surut, 29, 32, 40, 57-8, 60, 70-1, 135, 141

T

taksonomi, 4, 105, 108-9, 153
tegang, 11-2, 134-5
tekanan, 5, 10, 12, 17, 33, 40, 58, 60, 68,
110, 118, 134, 140, 150, 162, 208
tentakel, 108, 136, 136f, 139, 143-4, 143f,
149, 161, 204-5, 207-9, 208f
terang, 60, 77, 89, 121, 149, 180, 186,
200-1, 208
terumbu, 31, 71-2, 76, 87, 96, 112, 149,
155, 167, 180, 199, 200, 204
thermoklin, 22f, 65
tinggi, 5, 12, 170
toleransi, 10, 40, 56, 58, 64, 116
tropis, 17, 20-1, 30, 57-8, 60, 76, 77, 88,
116, 124, 129, 146, 149
turbulensi, 21, 69, 115, 134, 168

U

udara, 8, 14, 21, 42, 69, 71, 79, 80, 104,
114, 120, 162-6, 179, 182, 187-9
panas, 40;
terbuka, 40, 57, 64, 69
upwelling, 27, 29f, 112, 129

V

ventilasi, 5
vertikal, 22, 26, 27-9, 56, 71, 89, 105, 107,
110-2, 118-25, 141, 157-9, 127, 177
viskositas, 9-11, 16, 113
volume, 7-8, 12, 61-2, 66, 96, 113, 157,
161, 163, 168

W

wilayah, 23, 30f, 32-3, 87, 115, 173, 186

Z

zat, 8, 44, 60, 64, 76, 97
asam, 147
cair, 10
hara, 33
kimia, 9
padat, 16
racun, 148, 187
zona, 22-3, 25, 29-33, 41, 59, 76, 88, 91,
94, 112, 115-21, 131, 157, 180, 201,
208
Zooplankton, 5, 71, 92, 94, 105-25, 127-
9, 149, 157

PROFIL PENULIS



Prof. Andi Iqbal Burhanuddin, M.Fish.Sc., Ph.D,

Lahir tanggal 15 Desember 1969 di Sengkang, Wajo, Sulawesi Selatan. Menempuh pendidikan di SDN 26 Baru impa-imp, SMPN 1 Tempe, dan SMAN 1 Sengkang Kabupaten Wajo. Meraih gelar sarjana pada Jurusan Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin (UNHAS), Makassar pada tahun 1993. Di angkat menjadi tenaga pengajar di Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan-FIKP, Unhas sejak tahun 1994. Tahun 1996 mendapat kesempatan tugas belajar ke Miyazaki University, Japan dan memperoleh gelar Master of Fisheries Science (M.Fish,Sc) pada tahun 1999. Pada

tahun 1999 melanjutkan program Doktor di The United Graduate School Kagoshima University, Japan dan memperoleh gelar Ph.D tahun 2003 pada bidang Fish Taxonomy. Mengikuti studi dan pelatihan bidang taksonomi ikan di museum Nationald' Historie Naturalle, PARIS, 2000, di Museum Rijksmuseum van Natuurlijke Historie, Leiden, NEDERLAND, 2000 dan pada Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, CHINA, 2001. Mengikuti Program kunjungan alumni Jepang melalui program JASSO (Japan Student Services Organization) tahun 2011 di Miyazaki University. Mengikuti Program Academic Recharging di Miyazaki University, 2011-2012. Mengikuti Program penelitian dan penulisan buku kerjasama di Miyazaki University, dan di Museum Kagoshima University Desember 2013-Januari 2014. Mengikuti Program SAME (*Scheme of Academic Mobility and Exchange*) 2017 Kementerian Riset dan Teknologi DIKTI di Miyazaki University, Jepang September 2017-Desember 2017.

Di angkat menjadi Ketua Jurusan Ilmu Kelautan Unhas pada tahun 2005 hingga 2010 dan Wakil Dekan bidang kemahasiswaan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan (FIKP)-Unhas tahun 2010 hingga 2014. Kepala Laboratorium Biologi Laut FIKP-UNHAS tahun 2014 hingga sekarang. Pada tanggal 1 Januari 2008 dikukuhkan sebagai Guru Besar pada bidang Taksonomi ikan di Jurusan Ilmu kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar. Saat ini berpangkat lektor kepala (IVc).

Penulis aktif menulis karya ilmiah di jurnal international maupun nasional mengenai taxonomi ikan dan aktif menuliskan isu kelautan dan isu lingkungan di media massa. Publikasi bukunya antara lain: Ikhtiologi, ikan dan Segala aspek kehidupannya (2008); *The Sleeping Giant*, potensi dan permasalahan kelautan (2011); Membangun Sumber daya Kelautan Indonesia, Gagasan dan Pemikiran Guru Besar Universitas Hasanuddin (2013); Pengantar Ilmu Kelautan dan Perikanan (2013); Mewujudkan Poros Maritim Dunia (2014); Vertebrata Laut (2015); *Snapper and Emperor of Spermonde Archipelago, Indonesia* (2018).

Menikah dengan Prof. Ir. Sri Rachma Aprilita Bugiwati, M.Sc, Ph.D pada tahun 1995, dan dikaruniai dua orang putri, A. Meiliiqa Rachmi Mutia Larasati (Mutia) dan A. Apriliiqa Megumi Adhila Larasati (Megumi).

E-mail: iqbalburhanuddin@yahoo.com