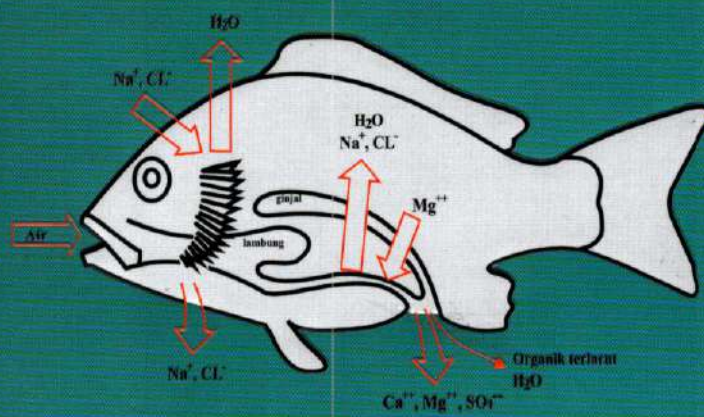


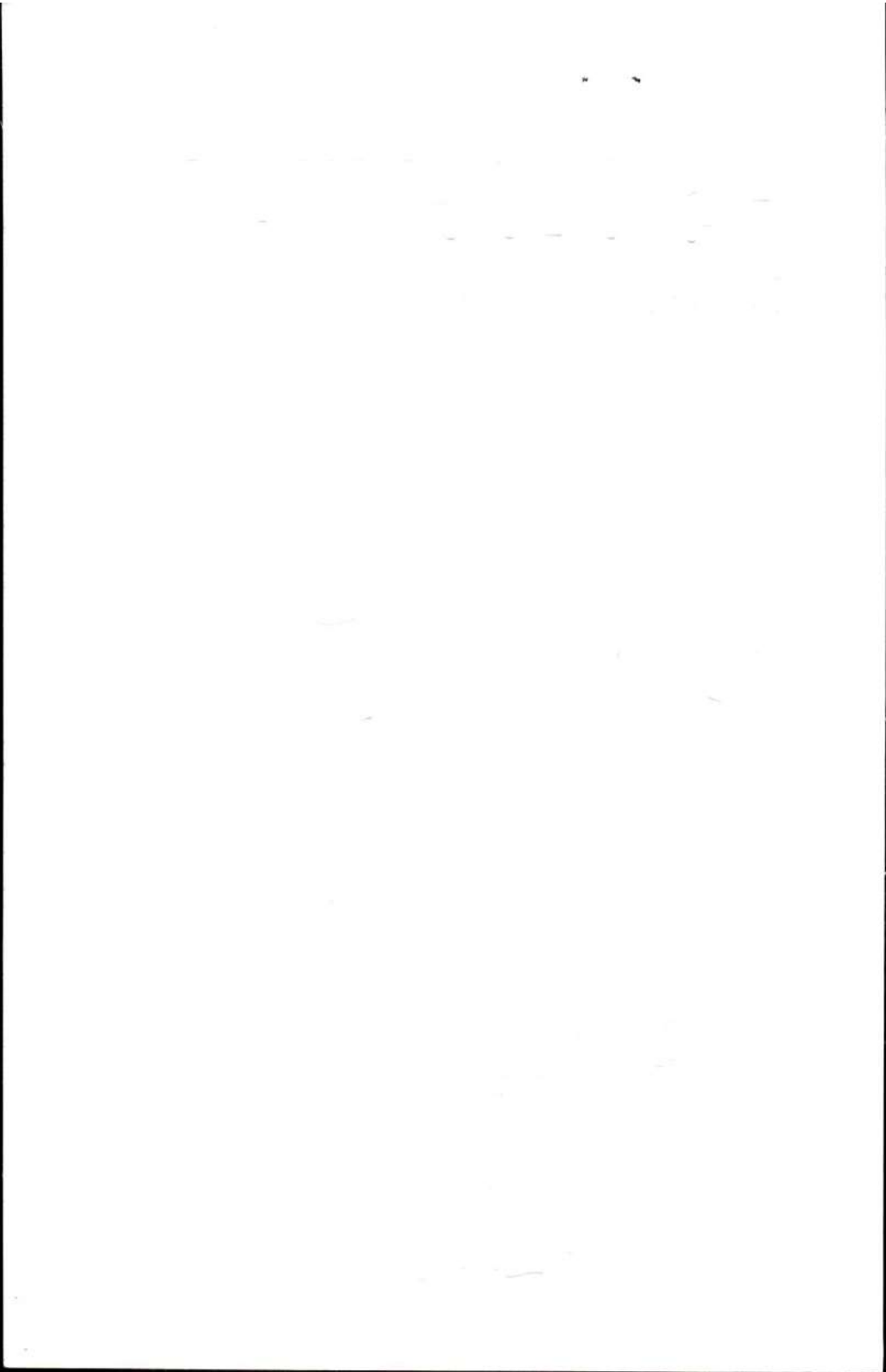
FISIOLOGI IKAN

DAN APLIKASINYA PADA PERIKANAN



Prof. Dr. Ir. Yushinta Fujaya, M.Si.
Ir. Agung Sudaryono, M.Sc., Ph.D.

PUSTAKA
al-Zikra





Undang-undang RI Nomor 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta
Lingkungan Hak Cipta

Pasal 2 :

- 1) Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak Ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Ketentuan Pidana

Pasal 72 :

- 1) Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
- 2) Barangsiapa sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

FISIOLOGI IKAN
dan
APLIKASINYA PADA PERIKANAN

alZikra PUSTAKA

Perpustakaan Nasional RI : *Katalog dalam Terbitan (KDT)*

**Yushinta Fujaya,
Agung Sudaryono**

Fisiologi Ikan dan Aplikasinya pada Perikanan

Cet. 2 -Jogyakarta-Makassar: Pustaka *Al-Zikra*, 1437 H./2015 M.

xiv, 310 hlm.; 14,5 X 21 cm

ISBN 978-602-17472-5-4

AZM. 2015.012.018

Muharram 1437 H./Desember 2015 M.

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang
Pengutipan atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
dengan menyebut penulis dan penerbit.

Diterbitkan oleh Pustaka *Al-Zikra*

- Perumahan Sorosutan Indah
Jl. Sawo 2 No. 11 Jogyakarta 55162
- Kompleks Perumahan UMI
Jl. Abdurahman A. Basalamah Blok C No. 17
Makassar 90231

E-mail : pustakalzikra@alzikra.com

Telepon (0411) 440911, Hand Phone 0823 1544 4789

Desain Cover dan Tata Letak Isi,
Tim Kreatif Pustaka *Al-Zikra*

Isi di luar tanggungjawab percetakan

FISIOLOGI IKAN
dan
APLIKASINYA PADA PERIKANAN

Prof. Dr. Ir. Yushinta Fujaya, M.Si.
Ir. Agung Sudaryono, M.Sc, Ph.D.

PUSTAKA AL-ZIKRA menyajikan buku-buku
bermutu dari berbagai tema yang merekam beragam
informasi, gagasan dan pemikiran mutakhir yang
penting, bermanfaat, dan dapat mencerahkan
masyarakat



PENGANTAR PENERBIT

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, berkat izin Allah SWT., buku "*Fisiologi Ikan dan Aplikasinya pada Perikanan*" karya Prof. Dr. Ir. Yushinta Fujaya, M.Si., guru besar pada Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin (Unhas) Makassar, dan Ir. Agung Sudaryono, M.Sc, Ph.D., staf pengajar pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro (Undip) Semarang, dapat kami terbitkan.

Hasil penelitian yang dipaparkan penulis dalam buku ini, memberikan pengetahuan "baru" tentang berbagai proses fisiologi yang terjadi pada ikan. Misalnya, penginderaan, persarafan, sistem endokrin, osmoregulasi, peredaran darah, pernapasan, pencernaan, metabolisme, dan reproduksi.

Penulis melengkapi uraiannya dengan informasi tentang berbagai teknologi perikanan yang dikembangkan berdasarkan pengetahuan yang berkaitan dengan fisiologi ikan. Buku ini menjadi "istimewa" karena dileng-

kapi dengan *takarir*, yakni “kamus kecil”, sehingga dapat memudahkan pembaca untuk memahami istilah-istilah perikanan yang kadang-kadang tidak lazim digunakan.

Kehadiran hasil karya penelitian tentang beragam potensi perikanan di Indonesia, memiliki arti penting dalam proses pembangunan bangsa. Apalagi pemerintah kini memberikan perhatian yang lebih pada sektor perikanan sebagai salah satu sumber devisa “baru” dalam upaya menumbuhkembangkan perekonomian nasional.

Kepercayaan penulis kepada Pustaka *Al-Zikra* untuk menerbitkan karya tulisnya yang sangat bernas ini, sejalan dengan upaya kami untuk menyajikan buku dari berbagai tema yang berisi pemikiran, ide serta gagasan-gagasan mutakhir yang bermanfaat dan mencerahkan masyarakat.

Saran dan kritik yang konstruktif dari pembaca untuk perbaikan dan peningkatan kualitas penerbitan buku ini ke depan, sangat kami dambakan.

Fastabiqul khaeraat

Desember 2015

Penerbit.-

PRAKATA

Menyadari kurangnya minat mahasiswa membaca buku-buku teks berbahasa Inggris dan terbatasnya waktu yang tersedia untuk lebih banyak berdiskusi di kelas, maka pada tahun 1999 buku ajar Fisiologi Ikan diterbitkan oleh Jurusan Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan untuk digunakan sebagai salah satu bahan rujukan bagi mahasiswa yang mengambil mata kuliah Fisiologi Hewan Air. Gayung bersambut, ternyata buku ini cukup banyak diminati. Pada tahun 2004, buku FISIOLOGI IKAN ini diterbitkan oleh PT RINEKA CIPTA dan digunakan secara luas di seluruh Indonesia.

Hingga saat ini, banyak permintaan untuk mencetak kembali buku ajar Fisiologi Ikan tersebut, tidak hanya dari adik-adik mahasiswa, tetapi juga dari rekan-rekan dosen. Karena itu, penulis tergerak kembali untuk lebih menyempurnakan isi buku tersebut dengan menambahkan berbagai catatan-catatan penting yang diperoleh dari hasil-hasil penelitian baik dari dalam maupun luar negeri.

Meskipun banyak kendala yang dihadapi selama penyusunan buku ini, namun syukur alhamdulillah,

akhirnya buku ajar Fisiologi Ikan edisi ke dua ini dapat diselesaikan. Dalam edisi ini, selain menjelaskan tentang berbagai proses fisiologi yang terjadi pada ikan, seperti: penginderaan, persarafan, sistem endokrin, osmoregulasi, peredaran darah, pernapasan, pencernaan, metabolisme, dan reproduksi, juga ditambahkan berbagai informasi tentang berbagai teknologi perikanan yang dikembangkan berdasarkan pengetahuan tentang fisiologi ikan. Buku ini juga dilengkapi dengan takarir atau kamus kecil untuk memudahkan pembaca memahami istilah-istilah perikanan yang kadang-kadang tidak lazim digunakan.

Walaupun buku ini telah disusun dengan seluruh kemampuan dan ketelitian, namun penulis yakin bahwa masih banyak hal-hal yang perlu disempurnakan, baik dalam tata bahasa, maupun materi buku ini. Karena itu, kritik maupun saran-saran yang sifatnya membangun dari para pembaca, ahli tatabahasa, dan fisiologi akan sangat dihargai demi penyempurnaan buku ini pada penerbitan selanjutnya.

Semoga karya kecil ini dapat membantu adik-adik mahasiswa memahami salah satu bagian dari ilmu dasar yang penting bagi pengembangan teknologi perikanan, bukan hanya bagi mahasiswa perikanan tetapi untuk seluruh penggiat perikanan baik praktisi maupun peneliti di Indonesia.

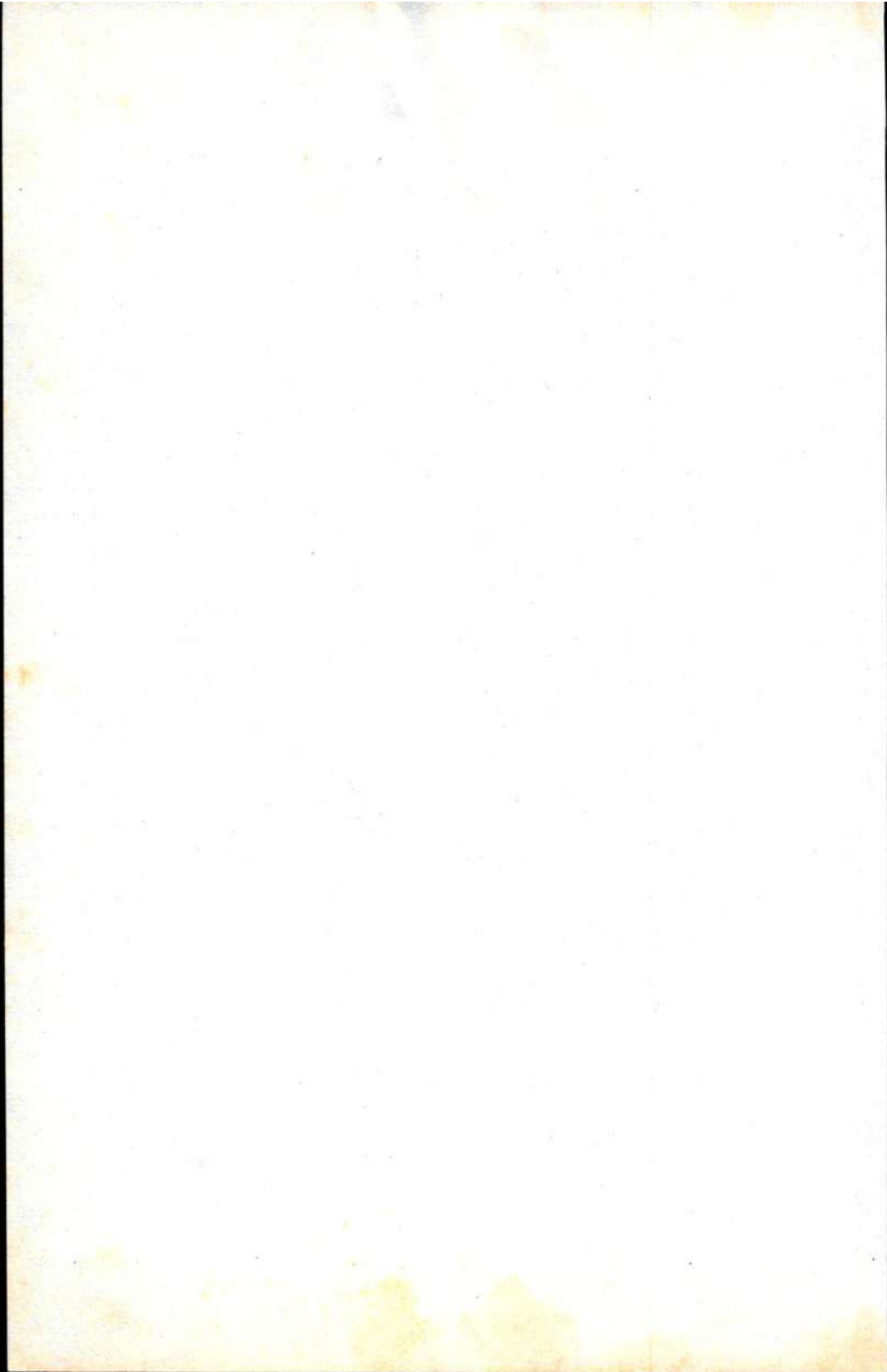
Makassar, Desember 2015
Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR PENERBIT	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
Fisiologi dan Ruang Lingkupnya.....	2
Manfaat Mempelajari Fisiologi.....	5
Ikan sebagai Hewan Air	7
Sel sebagai Unit Hidup Tubuh	10
Komunikasi Antar Sel/Organ	31
BAB 2. PENGINDRAAN	37
Mata.....	38
Oktavolateralis.....	52
Reseptor Kimia.....	60

BAB 3. PERSARAFAN	75
Sistem saraf.....	75
Bentuk Umum Sistem Saraf	78
Mekanisme Kerja Saraf	81
 BAB 4. SISTEM ENDOKRIN	 89
Hormon dan Kelenjar Penghasilnya.....	92
Mekanisme kerja Hormon.....	104
Kontrol Endokrin terhadap Pertumbuhan	108
Kontrol Endokrin terhadap Reproduksi	110
Kontrol Endokrin terhadap Migrasi Pemijahan ..	115
Kontrol Endokrin terhadap Osmoregulasi.....	116
Kontrol Endokrin terhadap Stress	117
 BAB 5. OSMOREGULASI.....	 131
Osmoregulasi Beberapa Golongan Ikan	133
Organ Osmoregulasi.....	138
 BAB 6. PEREDARAN DARAH.....	 147
Hemodinamika	148
Fungsi Peredaran Darah.....	154
Komposisi dan Fungsi Darah	154
Kekebalan	160
Hemostasis dan Pembekuan Darah.....	166
 BAB 7. PERNAPASAN.....	 171
Alat Pernapasan.....	172
Kelarutan Oksigen dalam Air.....	174

Tekanan Parsial.....	176
Proses Pernapasan.....	178
Kebutuhan Oksigen	186
BAB 8. PENCERNAAN	189
Struktur dan Fungsi Alat Pencernaan.....	190
Pergerakan Makanan melalui Saluran Cerna.....	200
Pencernaan Makanan.....	202
Penyerapan Zat Makanan	208
BAB 9. METABOLISME	211
Metabolisme Karbohidrat	214
Metabolisme Lipid	221
Metabolisme Protein	225
Metabolisme vitamin dan mineral.....	230
Faktor-faktor yang mempengaruhi metabolisme	232
Penggunaan Energi Metabolisme	234
BAB 10. REPRODUKSI.....	241
Anatomi Sistem Reproduksi.....	242
Morfologi dan Biokimia Gamet.....	244
Siklus Reproduksi.....	252
Teknologi Reproduksi	272
TAKARIR	281
PUSTAKA ACUAN.....	301



BAB 1

PENDAHULUAN

Perikanan merupakan suatu bidang ilmu yang terus berubah dan berkembang. Sebagai ilmu yang mempelajari segala sesuatu yang berhubungan dengan penangkapan, pemeliharaan, dan pembudidayaan ikan, ilmu perikanan sangat membantu pencapaian sasaran pembangunan nasional, yakni masyarakat maritim yang mandiri. Karenanya, ilmu perikanan harus terus dikaji dan dikembangkan terutama oleh dosen dan mahasiswa perikanan sebagai ujung tombak pengembangan dan penerapan teknologi perikanan.

Sebagaimana ilmu-ilmu terapan yang lain, pengembangan ilmu dan teknologi perikanan sangat ditentukan oleh pengetahuan dasar yang memadai, antara lain fisiologi. Fisiologi sebagai salah satu cabang biologi yang

berkaitan dengan fungsi dan kegiatan kehidupan dapat lebih mudah dipahami, bila organisasi dan fungsi sel diketahui. Karena itu dalam bab pendahuluan ini, sel diuraikan secara rinci meskipun para pembaca diasumsikan telah belajar biologi umum.

Fisiologi dan Ruang Lingkupnya

Fisiologi dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari fungsi, mekanisme dan cara kerja organ, jaringan, dan sel-sel organisma. Karena tiap-tiap jenis kehidupan mempunyai sifat-sifat fungsional tersendiri, maka fisiologi biasanya dikelompokkan menjadi bagian-bagian yang lebih khusus antara lain: fisiologi virus, fisiologi bakteri, fisiologi tumbuhan, fisiologi ikan, dan sebagainya. Bahkan, lebih spesifik lagi, fisiologi dikelompokkan ke dalam fisiologi pencernaan, fisiologi pertumbuhan, fisiologi reproduksi, dan lain-lain. Masing-masing bidang fisiologi tersebut mencoba menerangkan faktor-faktor fisika dan kimia yang mempengaruhi seluruh proses kehidupan.

Pada hakekatnya semua organ dan jaringan tubuh melakukan fungsi untuk membantu mempertahankan keadaan stabil dalam lingkungan internalnya agar dapat berfungsi normal. Misalnya, oksigen diperlukan dalam jumlah cukup untuk dapat berperan dalam proses metabolisme sel. Untuk itu, bila oksigen dalam perairan rendah maka insang akan bekerja keras memompa air untuk dapat mengambil oksigen lebih banyak agar kebutuhan

oksigen sel tetap terpenuhi. Fungsi ini biasanya disebut homeostatik, yakni upaya mempertahankan keadaan statik atau konstan dalam lingkungan internal.

Pada dasarnya rangkaian proses kehidupan bergerak secara otomatis. Pergerakan-pergerakan dan tingkah laku hewan hanya merupakan serangkaian upaya untuk mempertahankan keadaan statik agar dapat bertahan hidup dan bukan didasarkan oleh naluri atau instink. Ikan beruaya dari perairan yang mulai dingin ke daerah yang lebih hangat karena banyak organ/jaringan tidak dapat melakukan fungsinya untuk mempertahankan keadaan statik lingkungan internalnya dalam keadaan dingin, demikian pula sebaliknya. Ikan mas akan memulai proses reproduksi pada awal musim hujan bukan atas keinginannya sendiri melainkan kondisi lingkungan luar yang terjadi setelah musim hujan tiba telah merangsang kerja organ-organ reproduksi dan organ-organ pendukung lainnya untuk melakukan fungsinya.

Mekanisme pengawasan homeostatik bekerja dengan proses umpan balik negatif. Hormon gonadotropin yang dilepaskan oleh kelenjar pituitari akan merangsang diproduksinya estrogen atau testosteron, namun bila konsentrasi kedua hormon ini telah melimpah maka akan terjadi umpan balik negatif sehingga pelepasan gonadotropin dihambat. Mekanisme ini menyebabkan terjadinya siklus reproduksi. Contoh lain, konsentrasi karbondioksida dalam darah akan menyebabkan peningkatan ventilasi sehingga konsentrasi karbondioksida

kembali turun. Mekanisme ini dapat pula terjadi sebaliknya bila konsentrasi karbondioksida terlalu rendah. Jadi, umpan balik negatif mengakibatkan keadaan stabil.

Hubungan dan cara masing-masing organ mengadakan homeostasis akan banyak dibahas dalam buku ini dengan terlebih dahulu mengelompokkannya menjadi beberapa bab, yakni penginderaan, komunikasi antar-sel/organ, osmoregulasi, peredaran darah, pernapasan, pencernaan, metabolisme, dan reproduksi. Reproduksi dimasukkan sebagai salah satu bagian dari tulisan ini karena, meskipun reproduksi kadang-kadang tidak dianggap sebagai fungsi homeostatik, tetapi reproduksi membantu mempertahankan keadaan statik dengan menghasilkan generasi baru untuk menggantikan yang telah mati.

Dalam bab penginderaan akan dibahas bagaimana indra ikan yakni mata, oktavolateralis, olfaktori dan gustatori memainkan perannya sebagai alat peneropong dunia luar. Informasi lingkungan luar oleh indra akan mempengaruhi seluruh mekanisme dalam tubuh individu. Informasi lingkungan luar tubuh ke dalam tubuh maupun informasi dari luar sel ke dalam sel akan diatur oleh sistem saraf dan sistem endokrin. Selanjutnya sebagai hewan air, proses osmoregulasi, baik akibat perubahan lingkungan luar tubuh maupun perubahan lingkungan dalam tubuh merupakan proses yang sangat penting. Dalam bab peredaran darah akan dibahas fungsi peredaran darah dan fungsi darah itu sendiri baik sebagai alat

transportasi maupun peranannya dalam kekebalan dan pembekuan darah. Bab pernapasan, membahas proses pernapasan dan bagaimana memenuhi kebutuhan tubuh akan oksigen. Selanjutnya, fungsi alat pencernaan dan proses yang terjadi sejak makanan masuk kedalam mulut sampai sari-sari makanan hasil pencernaan terserap ke dalam sel akan dibahas dalam bab pencernaan, dilanjutkan dengan bab metabolisme. Terakhir adalah bab tentang reproduksi, disini akan dibahas mulai dari anatomi alat reproduksi sampai perkembangan gamet, pemijahan, pembuahan, dan penetasan. Dalam setiap bab tersebut, dibahas pula tentang berbagai teknologi yang telah dikembangkan berdasarkan pengetahuan fisiologi.

Manfaat Mempelajari Fisiologi

Manfaat apa yang dapat diambil setelah mempelajari fisiologi ikan? Pertanyaan ini tentu saja muncul pada setiap orang yang akan mempelajarinya. Sebagaimana telah dikemukakan sebelumnya bahwa fisiologi adalah ilmu yang mempelajari fungsi, mekanisme dan cara kerja organ, jaringan, dan sel-sel organisma, maka dapatlah diketahui fungsi, mekanisme dan faktor-faktor yang dapat merangsang maupun menghambat kerja suatu organ, dalam hal ini organ tubuh ikan. Pengetahuan ini selanjutnya dapat memberi gambaran teknologi-teknologi yang akan dikembangkan sebagai upaya untuk meningkatkan produktivitas perikanan. Disamping itu, pengetahuan dasar ini dapat membantu para praktisi

maupun peneliti untuk mencari solusi bagi kendala-kendala yang dihadapi dalam upaya budidaya atau penangkapan ikan.

Perubahan sistem budidaya, kualitas air, lingkungan, dan kondisi sosial mengakibatkan stress pada ikan. Stress mengganggu keseimbangan internal, homeostatis, dan memiliki pengaruh yang lebih merugikan pada perilaku, pertumbuhan, fungsi kekebalan, dan toleransi terhadap penyakit. Karenaitu, ikan secara alami mengembangkan adaptasi fisiologis dan biokimia untuk mengatasi kendala-kendala dan meminimalkan atau menghilangkan pengaruh merusak dari stress yang dikenal pula sebagai respon stress. Memahami penyebab stress, mekanisme fisiologinya, dan cara penanggulangannya sangat penting bagi budidaya. Sebagai contoh, untuk mengurangi stress pada ikan air tawar, natrium klorida (NaCl) direkomendasikan untuk digunakan. Aplikasi hingga 0.3% dapat membantu mengurangi stress yang berhubungan dengan kerusakan fisik dan tingkat nitrit yang tinggi. Beberapa peneliti mengemukakan bahwa anti-stres disertai dengan garam akan menjaga kadar elektrolit darah, mengurangi osmoregulasi, dan menurunkan ketidak seimbangan ion.

Beberapa teknologi perikanan yang telah digunakan secara luas untuk meningkatkan produktivitas juga dikembangkan dari pemahaman pengetahuan fisiologi. Misalnya, pengetahuan mengenai sistem hormonal pada ikan membantu kita dalam pengembangan budidaya

BAB 2

PENGINDRAAN

Tubuh mengetahui perubahan lingkungan karena dilengkapi alat penerima rangsang (indra), baik fisik maupun kimia. Misalnya, mata, bertugas merekam perubahan cahaya, linea lateral merekam perubahan arus dan gelombang, telinga dalam merekam perubahan arah dan gravitasi, indra pembau, dan pengecap. Perubahan lingkungan yang direkam alat indra tersebut dilaporkan ke otak untuk selanjutnya dilakukan penyesuaian dengan cara perubahan tingkah laku atau metabolisme untuk mengatasi gangguan keseimbangan.

Perubahan tingkah laku akibat perubahan lingkungan yang direkam alat indra penting diketahui karena dapat digunakan dalam pengembangan teknologi penang-

kapan dan pembudidayaan ikan. Sifat fototaksis positif ikan telah digunakan untuk mempermudah penangkapan ikan dengan cara menempatkan sumber cahaya di sekitar alat tangkap, misalnya pada bagang. Kepekaan terhadap bau-bauan tertentu juga telah digunakan untuk menambah napsu makan ikan-ikan peliharaan.

Mata

Pada kebanyakan ikan, mata adalah reseptor penglihatan yang sangat sempurna. Mata memiliki sistem optikal yang mampu melakukan pengumpulan cahaya dan membentuk suatu fokus bayangan untuk dianalisis oleh retina. Lensa mata ikan mengikuti aturan dasar fisik pembengkokan cahaya sampai benda yang diketahuinya memberi strategi untuk selanjutnya dianalisis. Karena itu, sensitivitas dan ketajaman mata tergantung pada terangnya bayangan yang mencapai retina.

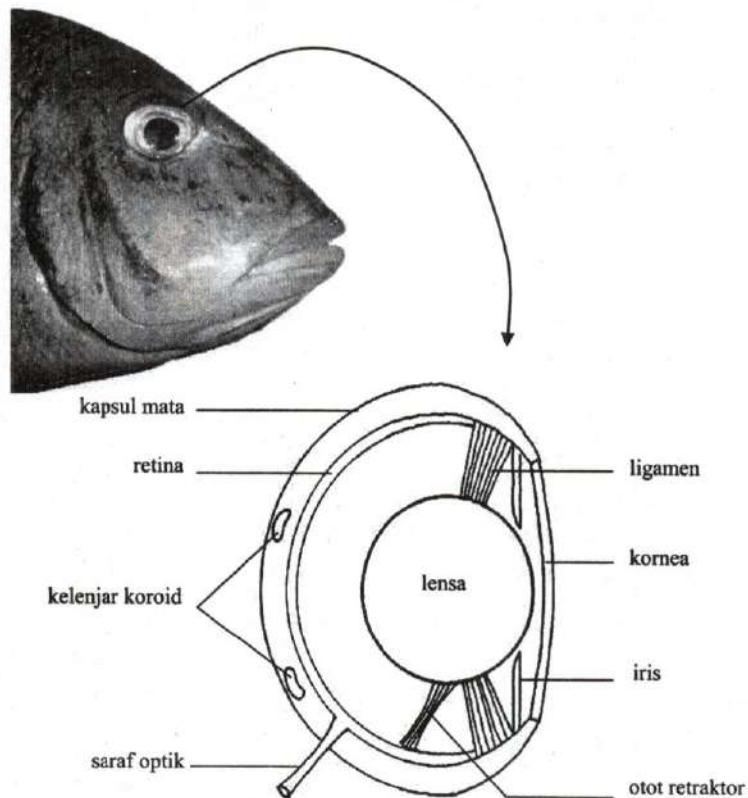
Hewan yang hidup di bawah permukaan air berbeda dengan hewan yang hidup di darat dalam satu hal penting yang mendasar, yakni permukaan udara kornea. Permukaan udara kornea pada vertebrata yang hidup di darat memberi kekuatan optikal, yakni kekuatan pembiasan cahaya. Sebaliknya, mata yang berada di bawah permukaan air memiliki kornea yang tidak bermanfaat bagi optik karena petunjuk pembiasan sangat identik dengan air. Oleh karena itu, untuk memfokuskan cahaya, kekuatan pembiasan kornea dinetralkan dan lensa harus dapat memberikan seluruh kekuatan pembiasan-

nya. Keterpaksaan ini menyebabkan lensa mata ikan berevolusi menjadi seperti bola dan memiliki kekuatan pembiasan yang sangat tinggi.

Selain bentuk lensa yang bulat, pemfokusan cahaya juga dilakukan melalui pergerakan lensa. Pergerakan lensa mata ikan mirip dengan pergerakan lensa kamera. Lensa mata ikan bergerak ke depan menjauhi retina untuk pandangan tertutup/dekat, sebaliknya bergerak mendekati retina secara perlahan-lahan oleh bantuan otot retraktor untuk pandangan jauh. Iris juga berperan dalam memperlebar sudut lensa, yakni dengan meluruskan perlahan-lahan bentuk bola mata. Bola mata itu sendiri terdiri atas bahan yang liat dan elastis, disebut sclera atau selaput putih mata. Retina merupakan bagian terpenting dari mata, menutupi lebih separuh bagian dalam bola mata, terdiri atas jaringan urat saraf peka cahaya. Diagram struktur mata ikan teleostei diilustrasikan pada Gambar 2.1.

Walaupun kornea tidak berpengaruh pada kekuatan optikal pada mata hewan air, namun distribusi pigmen yang terdapat pada kornea berfungsi menyaring cahaya pada siang hari. Pada ikan yang hidup setiap hari di tempat dangkal sering mempunyai kornea berwarna kuning dan kadang-kadang berlensa kuning pula. Saringan optikal kuning ini sekurang-kurangnya berfungsi mengurangi jumlah cahaya gelombang pendek yang tersebar sehingga mengurangi kandungan informasi bayangan.

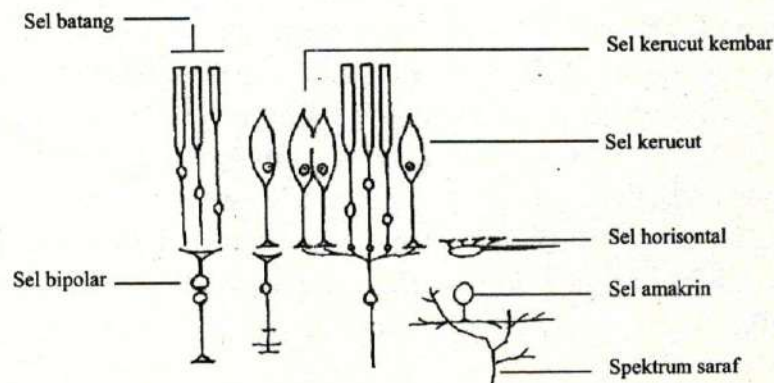
Ikan pada laut dalam mempunyai mata yang khusus untuk menyesuaikan diri terhadap keterbatasan pandangan. Banyak spesies ikan mesopelagik mempunyai mata yang berkembang menjadi seperti pipa asimetris, lensanya berbentuk bola dan seringkali memenuhi bagian punggung mata. Mata yang berbentuk pipa ini sama dengan mata yang berkembang pada beberapa spesies burung hantu yang sebagian besar tidak bergerak.



Gambar 2.1. Diagram struktur umum mata ikan teleostei.

Struktur dan Fungsi Retina Ikan

Retina ikan pada dasarnya tidak berbeda dengan retina vertebrata lainnya. Bayangan dibentuk oleh lensa dan jatuh pada retina. Retina memiliki struktur tipis berlapis-lapis dan transparan, yakni terdiri atas: lapisan epitelium berpigmen, fotoreseptor, sel bipolar, sel interpleksiform, sel horisontal, sel amakrin, dan sel ganglion (Gambar 2.2). Epitelium berpigmen mengelilingi ujung fotoreseptor yang sensitif terhadap cahaya. Sel horisontal tersusun dalam bentuk mosaik berperanan sebagai perantara interaksi kromatik di antara jenis kerucut yang berbeda (kerucut untuk warna biru, hijau, dan merah), menjadi penghubung ke sel bipolar, dan menyusun sebuah jalur tambahan menuju lapisan inti neuron. Informasi mengenai penangkapan foton oleh fotoreseptor dikirim ke otak melalui bipolar kemudian ke sel ganglion.

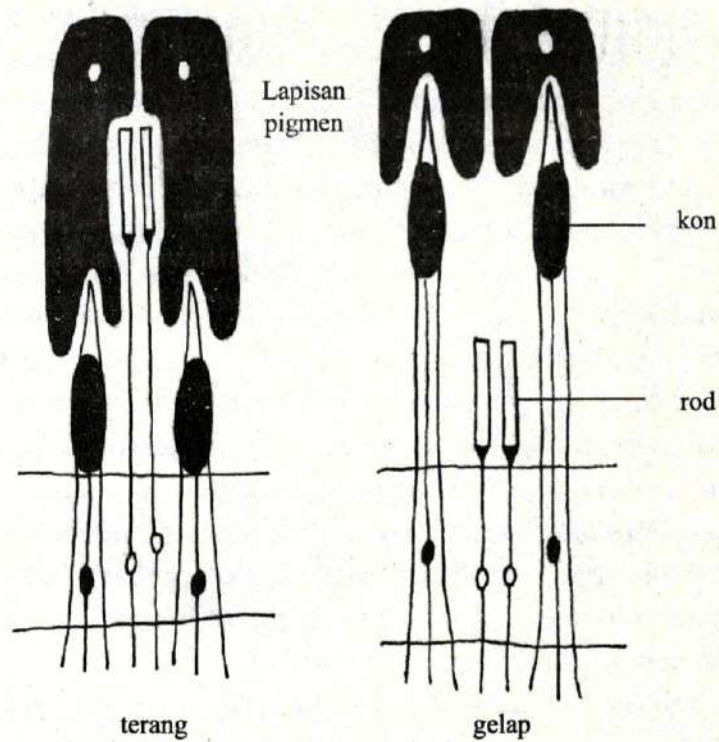


Gambar 2.2 Lapisan sel retina teleostei.

Pada sejumlah besar spesies ikan dengan aneka ragam habitat, retina ikan memperlihatkan struktur yang bervariasi, tergantung tekanan selektif intensitas cahaya dan spektral dalam lingkungan. Perbedaan tekanan selektif tersebut menyebabkan: (1) perbedaan ketebalan retina, (2) perbedaan subjenis sel retina, khususnya fotoreseptor, dan (3) spesialisasi wilayah kerucut dan batang pada sel retina.

Sel Kerucut dan Batang

Sel kerucut dan batang adalah dua jenis fotoreseptor yang masing-masing berbentuk kerucut dan batang. Sel kerucut dipakai pada aktivitas siang hari dan batang pada aktivitas malam hari. Artinya, sel kerucut bertanggungjawab pada penglihatan cahaya terang (penglihatan fotopik) dan sel batang pada penglihatan cahaya samar (penglihatan scotopik). Pada Gambar 2.3 diperlihatkan pergerakan sel kerucut dan batang akibat perubahan pencahayaan. Pada saat cahaya terang menyinari mata, sel kerucut bergerak menjauhi membran pembatas terluar, sedangkan sel batang diselimuti epitelium berpigmen. Sebaliknya, pada saat cahaya lemah atau ikan pindah ke tempat gelap, sel batang mendekati membran pembatas terluar dan segmen terluar pada sel kerucut dilindungi oleh epitelium berpigmen.



Gambar 2.3 Reaksi retinomotor mata ikan akibat perubahan tingkat pencahayaan.

Selain bertanggung jawab terhadap cahaya terang, sel kerucut merupakan fotoreseptor yang peka terhadap warna cahaya, yakni biru, hijau, dan merah. Perbedaan kepekaan cahaya pada sel kerucut dan batang disebabkan oleh kandungan pigmen penglihatan yang sedikit berbeda. Sel kerucut mengandung rhodopsin yang merupakan gabungan retinen dan fotopsin yang peka ter-

hadap warna, sedangkan sel batang adalah gabungan retinen dan scotopsin. Sifat-sifat absorpsi dari pigmen di dalam sel kerucut memperlihatkan puncak absorpsi berturut-turut pada panjang gelombang 430, 535, dan 575 millimikron. Pada ikan laut, absorpsi pigmen terutama pada panjang gelombang cahaya biru, sedangkan pada ikan air tawar adalah kuning. Sebaliknya, ikan hiu tidak memiliki penglihatan warna, warna dibedakan hanya dari tingkat kecerahannya.

Seperti halnya pada semua vertebrata, ukuran sel kerucut menunjukkan kesensitifan retina terhadap spektrum cahaya. Sel kerucut paling pendek sensitif terhadap gelombang cahaya terpendek sedangkan sel kerucut paling panjang sensitif terhadap gelombang cahaya terpanjang. Kesensitifan retina juga disebabkan oleh bentuk dan pola sebaran sel kerucut.

Mosaik sel kerucut dan batang menunjukkan kepekaan penglihatan pada ikan. Spesies yang hidup pada kondisi cahaya remang-remang memiliki lebih banyak sel batang, sedangkan yang hidup pada kondisi cahaya terang dengan penglihatan yang luas, mosaik lebih banyak tersusun dari kumpulan sel kerucut, baik tunggal maupun ganda. Ikan yang memiliki sel kerucut dalam pola mosaik menunjukkan bahwa ikan tersebut sangat intensif menggunakan indra penglihatannya, biasanya merupakan ikan yang aktif memburu mangsa. Susunan mosaik ini dapat berubah pada satu individu, tergantung keadaan habitatnya, contohnya, ikan salmon yang

BAB 3

PERSARAFAN

Persarafan pada hewan memegang peranan penting dalam komunikasi antar sel. Ribuan informasi kecil dari berbagai organ indra, seperti salinitas, suhu, periode panjang hari dan lain-lain diintegrasikan dengan sistem hormonal untuk mengontrol osmoregulasi, metabolisme, pertumbuhan, reproduksi, dan lain-lain. Informasi keadaan lingkungan oleh indra dikomunikasikan melalui serabut-serabut saraf. Aktivitas ini seringkali dibantu oleh sistem hormonal.

Sistem saraf

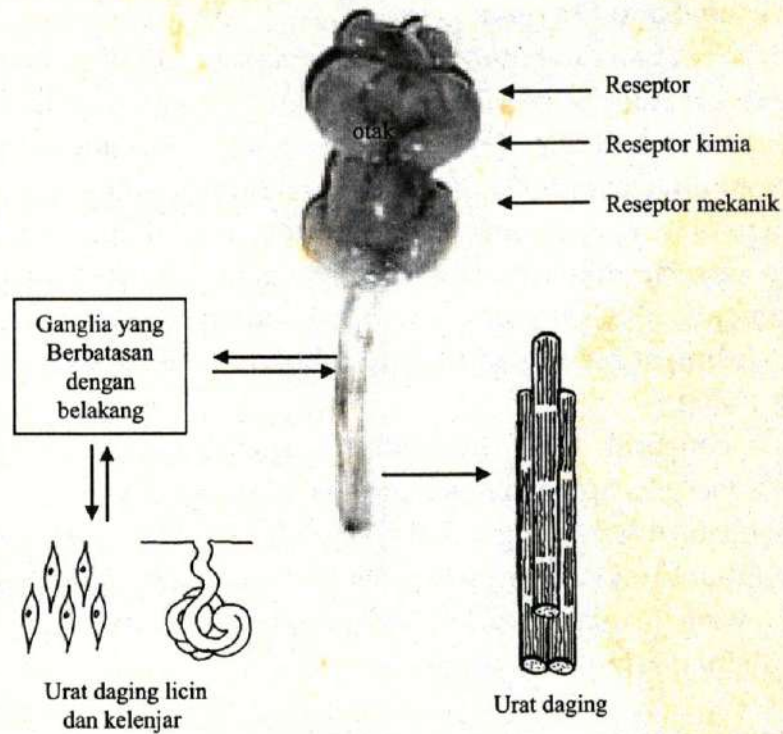
Pada tubuh mahluk hidup terdapat dua kelompok kerja sistem saraf, yakni sistem saraf pusat dan sistem

saraf otonom. Kedua sistem tersebut pada dasarnya tidak bekerja secara terpisah, tetapi saling melengkapi.

Sistem Saraf Pusat

Jaringan saraf yang menjalin seluruh tubuh berakar dalam otak maupun sum-sum tulang belakang. Otak memiliki tiga fungsi utama yaitu (1) menerima input dan menginterpretasikan informasi dari semua organ-organ sensor, baik internal maupun eksternal, (2) menghasilkan output berupa perintah untuk koordinasi semua bagian badan sebagai impuls saraf atau hormon, dan (3) integrasi antara kedua aspek fungsi otak.

Dari otak, serabut saraf berpecah menjadi 12 pasang saraf yang dinamakan saraf tengkorak, melayani kepala, mata, dan beberapa organ dalam. Dari sum-sum tulang belakang beberapa saraf bercabang dan bercabang membentuk batang-batang saraf menuju alat-alat gerak. Masing-masing saraf membawa impuls - isyarat elektrokimiawi - yang dicetuskan oleh suatu rangsang. Diagram skema sistem saraf pusat dilukiskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram skema sistem saraf vertebrata. Sistem saraf pusat diwakili otak dan tulang belakang. Otak menerima input dari reseptor sensoris yang menyampaikan informasi kondisi lingkungan luar tubuh, juga dari reseptor otot dan organ dalam lainnya. Selanjutnya melalui neuron motorik menstimulasi otot rangka baik untuk meregang ataupun mengkerut. Sistem saraf otonom diwakili oleh ganglia dari dan ke tulang belakang; neuron sensoris melaporkan informasi dari organ-organ dalam ke sistem saraf pusat, selanjutnya motoneuron merangsang otot halus diluar kesadaran seperti terhadap otot-otot usus, kelenjar, dll.

Sistem Saraf Otonom

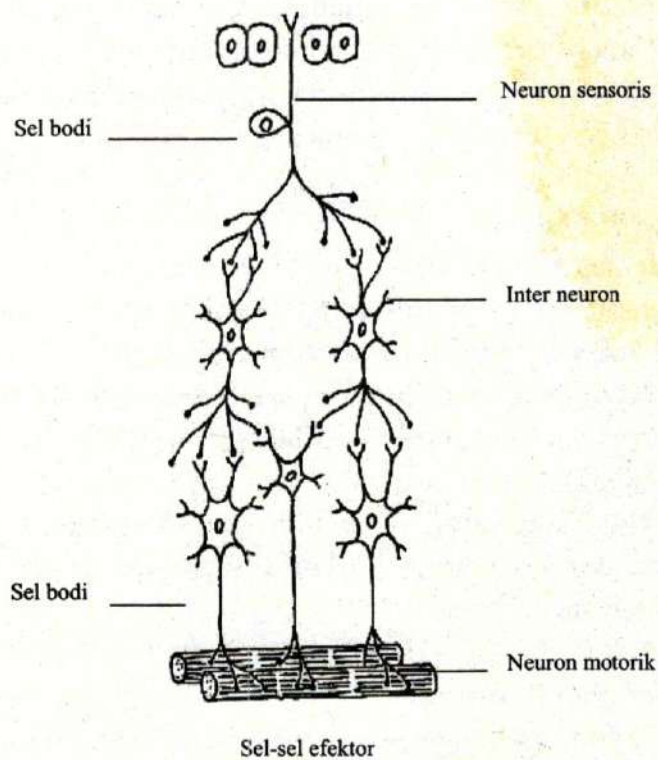
Susunan saraf otonom terdiri atas saraf simpatis dan parasimpatis. Saraf otonom mengontrol fungsi vegetatif badan, antara lain: (1) mengatur kegiatan jantung dan pembuluh darah, (2) mengatur kerja urat daging licin, dan (3) mengatur kerja kelenjar-kelenjar. Sifat kedua saraf tersebut dikenal sebagai sifat yang berlawanan. Saraf simpatis aktif bila tubuh memerlukan energi dan saraf parasimpatis aktif pada waktu tubuh organisme sedang istirahat.

Pengaruh yang ditimbulkan saraf simpatis adalah adrenergik karena mengeluarkan zat adrenalin yang menyebabkan rangsangan bekerja lebih cepat. Sebaliknya, serabut saraf para simpatis mengeluarkan zat acetylcholin yang akan memperlambat kerja/rangsangan. Pengaruh ini disebut cholinergik.

Bentuk Umum Sistem Saraf

Satuan dasar sistem saraf adalah neuron. Neuron mempunyai satu ciri struktur yang menyebabkannya kelihatan lain dari semua tipe sel tubuh lainnya. Dari bagian tengah neuron serabut tipis menjulur seperti sulur halus dengan panjang berbeda-beda tergantung letak dan tugasnya. Lewat serabutnyalah neuron menjalankan fungsinya yang unik, yakni menyampaikan isyarat ke otak dan dari otak serta sum-sum tulang belakang ke organ-organ tubuh.

Bila digolongkan menurut fungsinya, neuron dapat dibagi menjadi tiga kelompok. Pertama, neuron sensoris, membawa isyarat dari organ sensoris ke otak dan sum-sum tulang belakang. Kedua, neuron motorik, membawa petunjuk dari otak dan sum-sum tulang belakang ke alat gerak, jantung, usus dan organ tubuh yang lain. Terakhir, adalah interneuron yang menggerakkan isyarat bolak balik lewat lintasan antara otak, sum-sum tulang belakang dan lain-lain bagian tubuh (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Struktur umum neuron pada hewan tingkat tinggi.

Reseptor Sensoris

Sebagian besar sistem saraf berasal dari pengalaman sensoris reseptor sensoris, baik reseptor penglihatan, penciuman, pengecap dan lain-lain. Pengalaman sensoris ini dapat menyebabkan suatu reaksi segera, atau kenangannya dapat disimpan di dalam otak selama ber menit-menit, berminggu-minggu, atau bertahun-tahun dan kemudian dapat membantu menentukan reaksi tubuh dimasa yang akan datang. Informasi dari reseptor sensoris masuk ke dalam sistem saraf melalui nervus spinalis dan dihantarkan ke dalam medula spinalis, medula oblongata, mesensefalon, serebellum, talamus, korteks serebri dan ke semua segmen sistem saraf.

Motorik-Efektor

Tugas pokok terpenting dari sistem saraf adalah mengatur kegiatan tubuh. Ini dicapai dengan mengatur kontraksi otot rangka diseluruh tubuh, kontraksi otot polos di dalam organ internal, dan sekresi kelenjar eksokrin dan endokrin pada banyak bagian tubuh. Kegiatan-kegiatan ini secara bersama-sama disebut fungsi motorik sistem saraf, sedangkan otot dan kelenjar disebut efektor karena melakukan fungsi yang diperintahkan oleh sinyal saraf.

Pengolahan Informasi

Sistem saraf sama sekali tidak efektif dalam mengatur fungsi tubuh bila tiap sedikit informasi sensorik me-

BAB 4

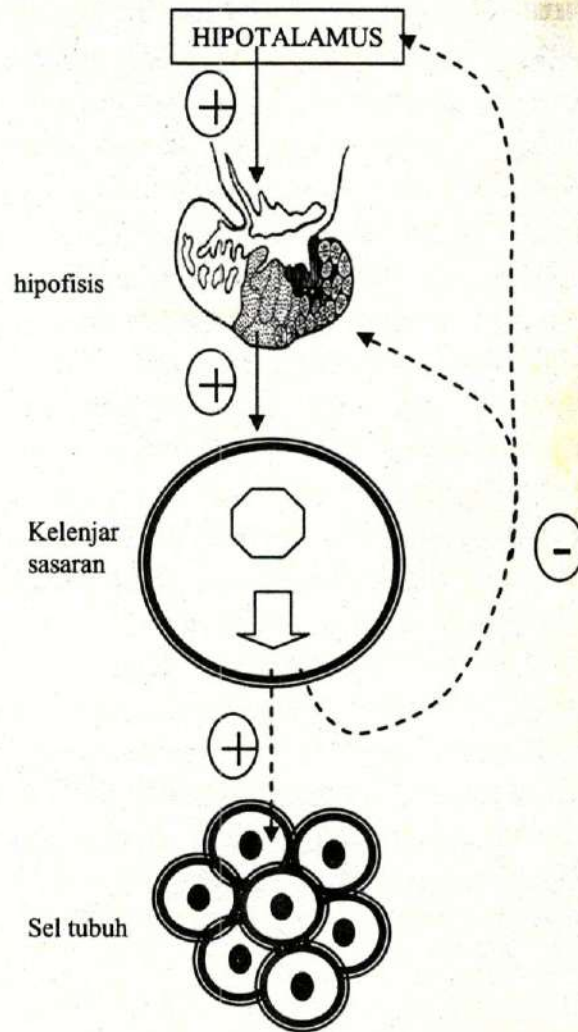
SISTEM ENDOKRIN

Sistem endokrin pada ikan tidak jauh berbeda dengan sistem endokrin vertebrata pada umumnya. Organ endokrin melepaskan suatu zat kimia yang disebut hormon dengan organ target tertentu, dibawa oleh darah, dan berperan mempengaruhi fungsi tubuh. Karena itu, hormon biasa juga disebut pesuruh kimia. Misalnya, hormon gonadotropin dilepaskan oleh kelenjar hipofisa masuk ke dalam darah dan dibawa ke gonad sebagai suatu petunjuk untuk memulai pematangan gonad.

Komunikasi antarsel pada sistem endokrin melewati enam tahap: (1) sintesis, (2) pelepasan hormon, (3) transpor ke organ target, (4) pengenalan petunjuk (sering oleh reseptor protein yang spesifik), (5) penerjemahan,

dan (6) respon. Sintesis neurotransmitter, neurohormon, atau hormon dilakukan bila terjadi perubahan lingkungan, baik lingkungan dalam tubuh maupun lingkungan luar tubuh. Hal ini semata-mata dilakukan untuk adaptasi agar sel atau individu mampu bertahan hidup.

Hubungan di antara sistem endokrin banyak dan kompleks, tetapi biasanya mengikuti dua prinsip. Pertama, berdasarkan responnya dibagi menjadi dua kelenjar endokrin, yaitu pituitari dan beberapa kelenjar dibawah kontrol pituitari. Kedua, hormon yang dihasilkan oleh kelenjar kedua seringkali menghambat produksi hormon pituitari, proses ini disebut penghambatan umpan balik. Adanya bentuk kombinasi sistem penghambatan feedback ini menyebabkan terjadinya keseimbangan respon. Jadi, sistem endokrin mengontrol dirinya sendiri sebagaimana halnya mengontrol sistem organ yang lain (Gambar 4.1). Dilihat dari asal embrionalnya, kelenjar endokrin berdiferensiasi dari seluruh lapisan germinal. Untuk yang berasal dari mesoderm (korteks adrenal, gonad) menghasilkan hormon-hormon steroid; dan yang berkembang dari ektoderm atau endoderm mensekresikan hormon amino termodifikasi, peptid atau protein.

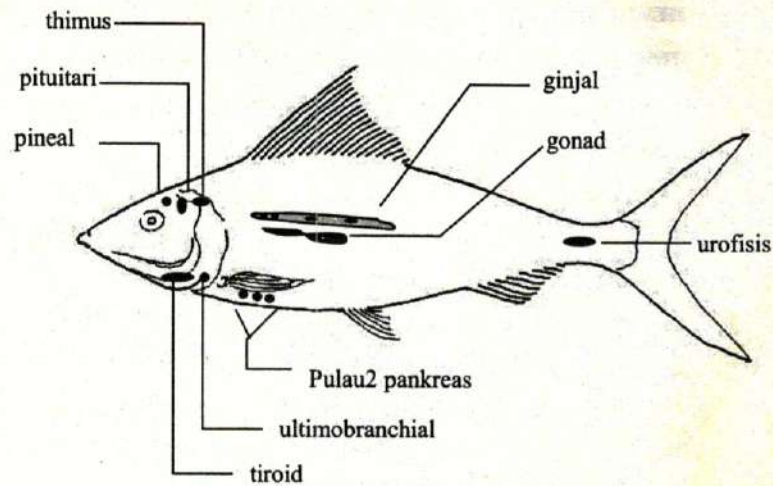


Gambar 4.1 Skema pengaturan sekresi hormon. + menunjukkan sekresi hormon; - menunjukkan mekanisme umpan balik.

Hormon dan Kelenjar Penghasilnya

Hormon adalah zat kimia organik yang dibentuk dalam sel atau kelenjar yang sehat dan normal, disekresi langsung ke dalam darah dan dibawa ke sel/organ target, jumlahnya sangat kecil ($\mu\text{g} = 10^{-6}$ g, $\text{ng} = 10^{-9}$ g) tetapi pengaruhnya besar, berperan dalam integrasi dan koordinasi fungsi tubuh. Karena itu, hormon disebut juga pembawa pesan atau pesuruh kimia. Ada empat klasifikasi kimiawi hormon, yakni steroid, tiroxin, katekolamin, dan protein. Pada hormon protein dan katekolamin, hormon adalah pembawa pesan I dan cAMP (*cyclic adenosin monophosphate*) adalah pembawa pesan II, sedangkan pada steroid dan tiroxin, tidak ada pembawa pesan II, tetapi hormon tersebut bisa langsung ke inti untuk menyampaikan pesan yang dibawanya.

Pada ikan, hormon dihasilkan dari kelenjar endokrin, antara lain pituitari, tiroid, ginjal, gonad, pankreas dan urophisis (Gambar 4.2). Masing-masing organ endokrin ini akan dibahas menurut struktur, sintesis hormon, aksi hormon dan hubungannya dengan komponen-komponen sistem pengatur lainnya.

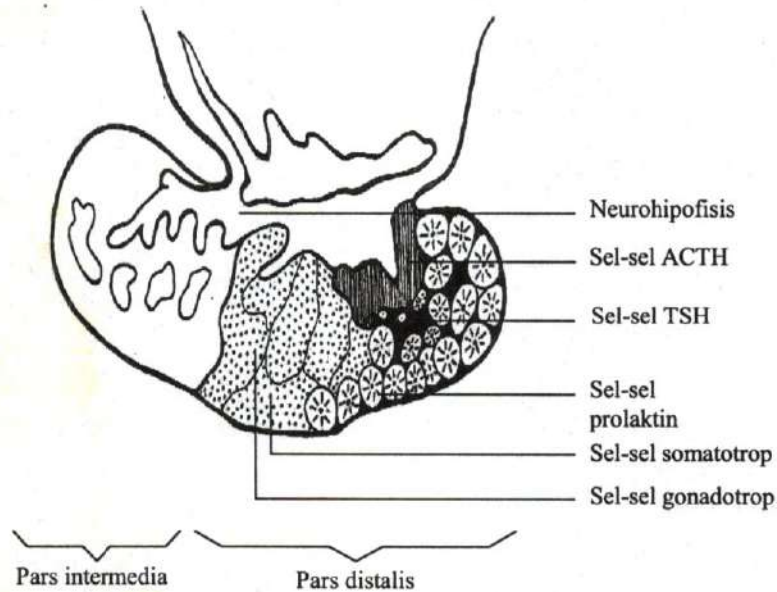


Gambar 4.2 Diagram lokasi kelenjar endokrin pada ikan.

Pituitari

Kelenjar pituitari atau hipofisa terletak pada lekukan tulang di dasar otak (sela tursika), terdiri atas dua bagian utama, yakni adenohipofisa dan neurohipofisa (Gambar 4.3). Adenohipofisa terdiri atas pars distalis dan pars intermedia, sedangkan, neurohipofisa hanya terdiri atas pars nervosa yang berfungsi mensekresi Ocytoxin, Arginin vasotocin dan Isotocin. Pars distalis merupakan bagian utama adenohipofisa yang mengandung sel-sel pe-sekresi hormon prolaktin, hormon Adrenocorticotropic (ACTH), hormon pelepas tiroid (Thyroid Stimulating Hormone), hormon pertumbuhan (STH-Somatotropin), gonadotropin dan pars intermedia mensekresi hormon pelepas melanosit (Melanocyte Stimulating Hormone).

Pelepasan hormon-hormon tersebut diatur oleh faktor faktor yang berasal dari hipotalamus (Tabel 4.1).



Gambar 4.3 Diagram kelenjar pituitari teleostei.

Prolaktin. Pada teleostei, aksi-aksi prolaktin berhubungan dengan reproduksi dan perawatan anak serta osmoregulasi. Tingkah laku reproduksi yang dipengaruhinya adalah pembuatan sarang, persiapan migrasi prapemijahan, sekresi vesikula seminalis, dan lain lain. Sedangkan, yang berhubungan dengan osmoregulasi adalah ekskresi ginjal dan sekresi mukus kulit (termasuk fisiologi sel mukus insang).

BAB 5

OSMOREGULASI

Osmoregulasi adalah upaya hewan air untuk mengontrol keseimbangan air dan ion antara tubuh dan lingkungannya, atau suatu proses pengaturan tekanan osmose. Hal ini penting dilakukan, terutama oleh organisme perairan karena: (1) harus terjadi keseimbangan antara substansi tubuh dan lingkungan (2) membran sel yang permeabel merupakan tempat lewatnya beberapa substansi yang bergerak cepat, (3) adanya perbedaan tekanan osmose antara cairan tubuh dan lingkungan. Karena itu, tidak ada organisme yang hidup pada air tawar tidak melakukan osmoregulasi. Sedangkan, pada ikan air laut, beberapa diantaranya hanya melakukan sedikit upaya untuk mengontrol tekanan osmose dalam tubuhnya, misalnya ikan ikan yang

hidup di daerah estuari (teleostei eurihaline) dan ikan hiu karena tekanan osmose cairannya menyerupai air garam laut. Konsentrasi ion plasma pada beberapa ikan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Konsentrasi ion air laut dan tawar serta cairan tubuh beberapa ikan.

	Na	Cl	K	Mg	Ca	SO ₄	Urea	TMAO	Total
Air laut	439	513	9.3	50	9.6	26	0	0	1050
-Hagfish	486	508	8.2	12	5.1	3	-	-	1035
-Lamprey	156	159	32	7.0	3.5	-	-	-	333
-Hiu	255	241	6.0	3.0	5	0.5	441	72	1118
-Teleostei	180	196	5.1	2.5	2.8	2.7	-	-	452
-T.eurihaline	142	168	3.4	-	3.3	-	-	-	297
Air tawar	0.25	0.23	0.005	0.04	0.007	0.005	-	-	1
-Lamprey	120	104	3.9	2.0	2.5	-	-	-	272
-Stingray	150	150	-	-	-	-	1.3	-	308
-Teleostei	130	125	2.9	1.2	2.1	-	-	-	274
-T.eurihaline	124	132	2.9	-	2.7	-	-	-	240

Semakin jauh perbedaan tekanan osmose antara tubuh dan lingkungan, semakin banyak energi metabolisme yang dibutuhkan untuk melakukan osmoregulasi sebagai upaya adaptasi, namun tetap ada batas toleransi. Karena itu, pengetahuan ini sangat penting dalam mengelola kualitas air media pemeliharaan, terutama salinitas.

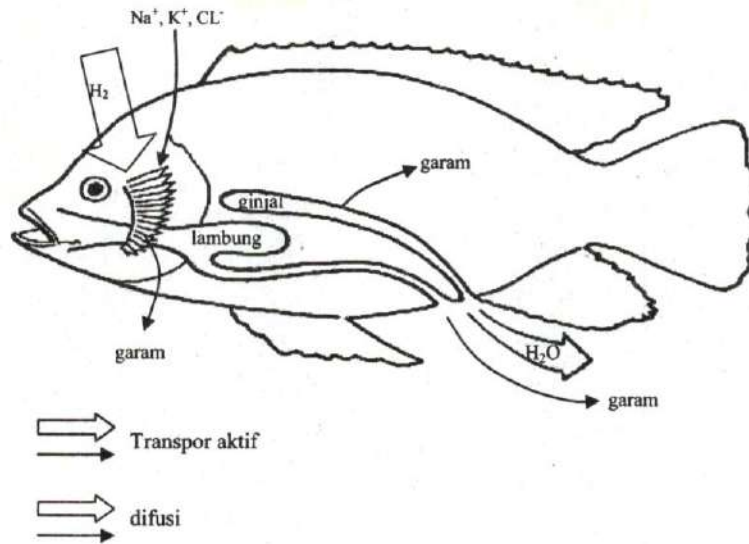
Osmoregulasi Beberapa Golongan Ikan

Ada tiga pola regulasi ion dan air, yakni: (1) Regulasi hipertonic atau hiperosmotik, pengaturan secara aktif konsentrasi cairan tubuh yang lebih tinggi dari konsentrasi media, misalnya pada potadrom (ikan air tawar) (2) Regulasi hipotonik atau hipoosmotik, pengaturan secara aktif konsentrasi cairan tubuh yang lebih rendah dari konsentrasi media, misalnya pada oseanodrom (ikan air laut), (3) Regulasi isotonic atau isoosmotik, bila konsentrasi cairan tubuh sama dengan konsentrasi media, misalnya ikan-ikan yang hidup pada daerah estuari.

Teleostei Potadrom

Teleostei potadrom bersifat hiperosmotik terhadap lingkungannya, menyebabkan air bergerak masuk ke dalam tubuh dan ion-ion keluar ke lingkungan dengan cara difusi. Untuk menjaga keseimbangan cairan tubuhnya, teleostei potadrom berosmoregulasi dengan cara minum sedikit atau tidak minum sama sekali. Sedangkan, untuk mengurangi kelebihan air dalam tubuh, ikan tersebut memproduksi sejumlah besar urin, meskipun ginjal mengabsorpsi kembali beberapa garam-garam dari urinnya untuk tetap mempertahankan sejumlah ion-ion dalam tubuh. Selain itu, Insang juga aktif mengambil garam-garam dari lingkungannya. Kedua kegiatan ini membutuhkan energi metabolik. Gambaran umum osmoregulasi teleostei potadrom diilustrasikan pada Gambar 5.1.

OSMOREGULASI

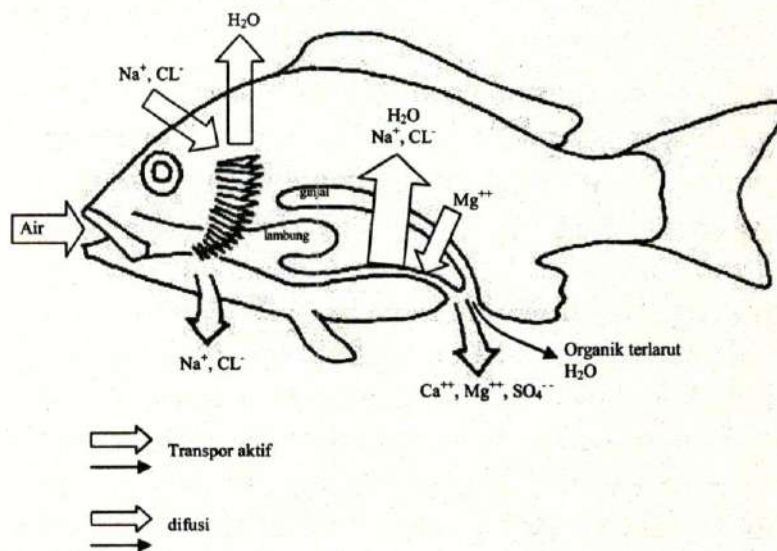


Gambar 5.1 Pola umum pergerakan air dan garam pada osmoregulasi teleostei potadrom.

Teleostei Oseanodrom

Tekanan osmose air laut lebih tinggi dari pada cairan tubuh, sehingga secara alami air akan mengalir dari dalam tubuh teleostei oseanodrom kelingkungannya secara osmose melewati ginjal, insang, dan mungkin juga kulit. Sebaliknya, garam-garam akan masuk ke dalam tubuh melalui proses difusi. Untuk mempertahankan konsentrasi garam dan air dalam tubuh, teleostei oseanodrom memperbanyak minum air laut dan melakukan osmoregulasi. Teleostei oseanodrom memelihara konsentrasi ion-ion total dalam plasma sekitar sepertiga dari konsentrasi ion air laut. Dengan memperbanyak minum air laut

maka kehilangan air dalam tubuh ikan dapat diganti, namun bersamaan dengan itu sejumlah besar garam-garam juga akan ikut masuk ke dalam usus dan garam-garam tersebut harus segera dikeluarkan kembali. Dalam kondisi normal teleostei oseanodrom minum 10 ml/100 gr/jam sedangkan pada teleostei potadrom hanya 20-40 μ l/100 gr/jam. Pola umum pergerakan air dan garam pada osmoregulasi teleostei oseanodrom diilustrasikan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Pola umum pergerakan air dan garam pada osmoregulasi teleostei oseanodrom.

Teleostei Diadrom dan Eurihalin

Teleostei diadrom adalah teleostei yang melakukan migrasi antara perairan laut dan tawar. Bila sebagian

besar hidupnya di habiskan di laut dan bermigrasi ke air tawar untuk memijah, disebut ikan anadrom, sebaliknya, bila sebagian besar hidupnya di air tawar dan bermigrasi ke laut untuk memijah, disebut katadrom. Ada juga ikan diadrom yang bermigrasi dari air laut ke air tawar atau sebaliknya, tetapi tidak untuk memijah, melainkan dilakukan secara teratur pada beberapa siklus hidupnya. Ikan tersebut dinamakan amphidrom. Berbeda dengan diadrom, ikan eurihaline adalah ikan-ikan yang hidup pada perairan dengan kisaran salinitas yang lebar.

Teleostei diadrom dan eurihaline bersifat hypoosmotik terhadap air laut dan hyperosmotik terhadap air tawar. Gambaran osmotik berubah secara total dari membuang air dan menghemat garam pada air tawar menjadi membuang garam dan menghemat air pada lingkungan laut. Setelah memasuki lingkungan estuari yang memiliki konsentrasi garam sama dengan plasma darah ikan, maka semua-organ-organ osmoregulasi menurun aktivitasnya. Periode transisi pada air payau ini dibutuhkan untuk mempersiapkan diri dalam migrasi ikan salmon ke air laut atau ke air tawar. Alam telah menyediakan media adaptasi, karena sangat berbahaya apabila langsung ditransfer ke air laut atau air tawar.

Hagfish dan Elasmobransi

Total osmolaritas plasma hagfish menyerupai air laut (isoosmotik) sehingga dapat dikatakan bahwa hag-

BAB 7

PERNAPASAN

Pernapasan adalah proses pengikatan oksigen dan pengeluaran karbon dioksida oleh darah melalui permukaan alat pernapasan. Proses pengikatan oksigen tersebut, selain dipengaruhi struktur alat pernapasan, juga dipengaruhi perbedaan tekanan parsial O_2 antara perairan dengan darah. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan gas-gas berdifusi ke dalam darah atau ke luar melalui alat pernapasan.

Oksigen sebagai bahan pernapasan dibutuhkan oleh sel untuk berbagai reaksi metabolisme. Oleh sebab itu, kelangsungan hidup ikan sangat ditentukan oleh kemampuannya memperoleh oksigen yang cukup dari lingkungannya. Berkurangnya oksigen terlarut dalam perairan, tentu saja akan mempengaruhi fisiologi respi-

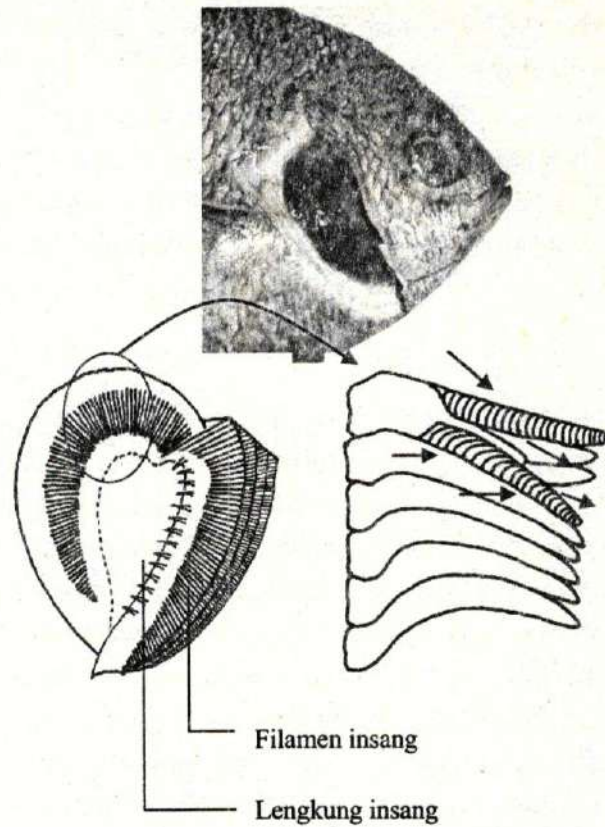
rasi ikan, dan hanya ikan yang memiliki sistem respirasi yang sesuai dapat bertahan hidup.

Alat Pernapasan

Alat pernapasan utama pada ikan adalah insang, baik dengan maupun tanpa alat pernapasan tambahan seperti labirin. Selain itu, juga ditemukan beberapa jenis ikan bernapas dengan paru-paru.

Insang

Pada hampir semua ikan, insang merupakan komponen penting dalam pertukaran gas. Insang terbentuk dari lengkungan tulang rawan yang mengeras, dengan beberapa filamen insang di dalamnya. Tiap-tiap filamen insang terdiri atas banyak lamella, yang merupakan tempat pertukaran gas. Tugas ini ditunjang oleh struktur lamella itu yang tersusun atas sel-sel epitel yang tipis pada bagian luar, membran dasar dan sel-sel tiang sebagai penyangga pada bagian dalam. Pinggiran lamella yang tidak menempel pada lengkung insang sangat tipis, ditutupi oleh epitelium dan mengandung jaringan pembuluh darah kapiler. Jumlah dan ukuran lamella sangat besar variasinya, tergantung tingkah laku ikan. Struktur insang diilustrasikan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Insang dan arah aliran air melewati filamen insang.

Paru-paru

Paru-paru ikan merupakan derivat gelembung renang. Pada ikan paru australia (*Neocaratodus*), paru-paru terletak di sebelah atas saluran pencernaan tetapi duktus pneumaticusnya terbuka ke arah bagian bawah dinding lambung. Sebaliknya pada ikan paru afrika

(Protopterus), sepasang paru-parunya terletak di sebelah bawah saluran pencernaan.

Baik ikan paru amerika maupun ikan paru afrika, memiliki keharusan menghirup oksigen dari udara. karena itu, jenis ikan ini mempunyai kemampuan untuk beradaptasi pada kondisi sangat kering di lingkungannya.

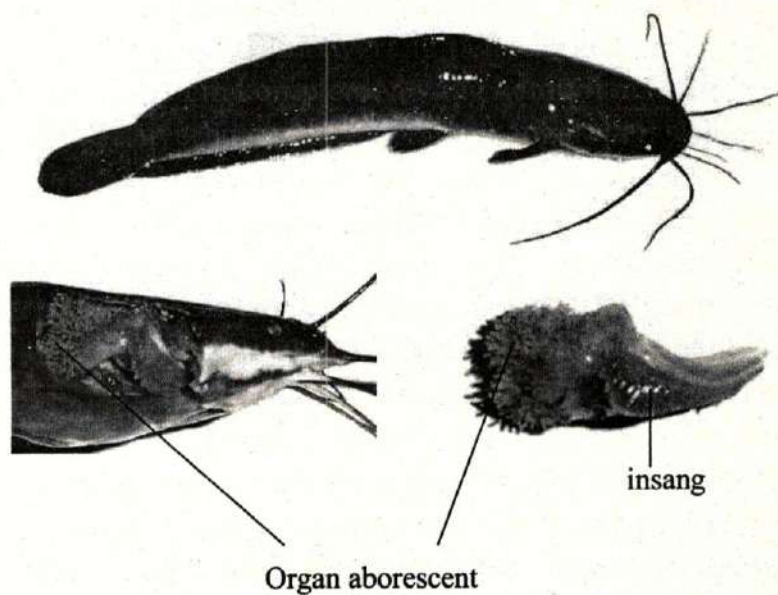
Alat Pernapasan Tambahan

Selain insang atau paru-paru, beberapa jenis ikan memiliki alat pernapasan tambahan yang dapat mengambil oksigen secara langsung dari udara. Ikan lele (*Clarias* sp.) mempunyai insang tambahan berbentuk pohon di bagian atas lengkung insang kedua dan ketiga. Insang tambahan ini dinamakan orborescent organ, berfungsi mengambil oksigen dari atas permukaan air. Berbeda dengan ikan lele, ikan betok (*Anabas testudineus*), bahkan dapat menggunakan kulitnya sebagai alat pernapasan tambahan, selain penutup insang yang berkembang berlipat-lipat dan bagian dalamnya terdapat banyak pembuluh darah (labirin). Ikan-ikan yang memiliki alat pernapasan tambahan mampu bertahan hidup dalam kondisi hipoxia, bahkan anoxia. Beberapa organ respirasi tambahan diilustrasikan pada Gambar 7.2.

Kelarutan Oksigen dalam Air

Dibandingkan yang terdapat dalam udara, oksigen dalam air lebih sedikit. Udara kira-kira mengandung

20% O₂. 1 liter udara mengandung ± 200 ml O₂ pada tekanan udara (P O₂) ± 150 mmHg atau 0.2 atmosfer. Dalam air yang jenuh udara, persentase kelarutan gas dan tekanan partialnya adalah sama dengan udara. 1 liter air pada suhu 15°C hanya mengandung 7 ml O₂.



Gambar 7.2 Organ respirasi pada *Clarias* sp.

Rendahnya jumlah oksigen dalam air menyebabkan ikan atau hewan air 1) harus memompa sejumlah besar air ke permukaan alat respirasinya untuk mengambil O₂. Tidak hanya volume besar yang dibutuhkan tetapi juga energi untuk pemompaan juga lebih besar karena air 800

kali lebih padat dibanding udara; 2) menurunkan proporsi tekanan partial (P_{O_2}) dari total O_2 yang digerakkan dalam air. Contoh 5 ml O_2 dalam 1 liter udara menggerakkan $5/200 O_2$, menyebabkan perubahan P_{O_2} dari 150 menjadi 146 mmHg. Di dalam air 5 ml O_2 menggerakkan $5/7$ dari total gas menjadikan P_{O_2} hanya 43 mmHg, sehingga ikan lebih sulit mempertahankan gradient difusi O_2 ke dalam darahnya bersamaan dengan pergerakan O_2 yang sangat banyak dalam air. Akibatnya hemoglobin ikan secara umum menggunakan tekanan partial rendah (agar afinitas O_2 menjadi tinggi) dibanding hemoglobin vertebrata darat; 3) Mencegah penggunaan permukaan alat pernapasan yang sangat besar karena terkait dengan problem osmoregulasi yang harus di atur.

Kelarutan oksigen di dalam air menurun dengan meningkatnya suhu dan mencapai nol pada air mendidih. Kelarutan ini juga menurun bila kandungan garam meningkat, jadi pada air laut mengandung oksigen kira-kira 20% lebih rendah dibanding air tawar pada temperatur yang sama. Kelarutan oksigen pada berbagai temperatur air tawar dan air laut disajikan pada Tabel 7.1.

Tekanan Parsial

Pengertian mengenai tekanan parsial merupakan suatu langkah penting menuju pemahaman difusi gas dari insang ke dalam darah. Tekanan parsial gas-gas dalam suatu campuran ditunjukkan dengan istilah sama seperti yang digunakan untuk menunjukkan tekanan di

dalam cairan, yaitu, P_{O_2} , P_{CO_2} , P_{N_2} , P_{He} , dan sebagainya.

Tabel 7.1 Kandungan oksigen air tawar dan air laut pada berbagai suhu dengan tekanan udara 1 Atmosfir.

SUHU (°C)	AIR TAWAR		AIR LAUT	
	ml O_2 /l	mg O_2 /l	ml O_2 /l	mg O_2 /l
0	10.22	14.60	8.20	11.71
5	8.93	12.75	7.26	10.37
10	7.89	11.27	6.52	9.31
15	7.05	10.07	5.93	8.47
20	6.35	9.07	5.44	7.77
25	5.77	8.24	5.00	7.14
30	5.28	7.54	4.58	6.54

Dari teori kinetik gas kita mengetahui bahwa tekanan pada membran apapun atau pada permukaan lain apapun ditentukan oleh jumlah molekul yang menembur suatu satuan luas membran pada saat tertentu dikalikan dengan enersi kinetik rata-rata dari molekul tersebut. Oleh karena itu, tekanan partial suatu gas dalam suatu campuran sebenarnya merupakan jumlah kekuatan tubrukan molekul seketika itu juga dari gas tertentu pada permukaan tersebut.

Karena setiap gas di dalam suatu campuran gas menimbulkan tekanan parsialnya sendiri yang sebanding

dengan konsentrasi molekulnya, bila gas dari suatu campuran larut di dalam suatu cairan dan berada dalam keadaan seimbang dengan fase gas dari campuran itu, tekanan tiap gas terlarut sama dengan tekanan parsial gas yang sama di dalam campuran gas tersebut. Dengan perkataan lain, tiap-tiap gas tidak bergantung kepada gas lain dalam kemampuannya untuk melarut di dalam suatu cairan. Prinsip ini juga berlaku untuk larutan gas di dalam darah. Jadi, peningkatan jumlah karbondioksida yang terlarut di dalam cairan tubuh tidak mempengaruhi secara berarti jumlah oksigen yang dapat dilarutkan di dalam cairan yang sama. (tetapi berbagai gas terlarut sering saling mengganggu reaksi kimianya, misalnya reaksi oksigen dan karbondioksida dengan hemoglobin).

Proses Pernapasan

Proses pernapasan dapat dibagi menjadi 4 tahap, yakni: (1) pertukaran udara melalui permukaan alat pernapasan, (2) difusi oksigen dan karbondioksida antara insang dan darah, (3) transpor oksigen dan karbondioksida di dalam darah dan cairan tubuh ke dan dari sel, dan (4) pengaturan pernapasan.

Pertukaran Udara melalui Permukaan Alat Pernapasan

Mekanisme pernapasan elasmobransi dan teleostei sedikit berbeda. Pada elasmobransi, mekanisme pernapasannya melalui tiga tahap. Pertama, inspirasi, yaitu mulut terbuka, rongga mulut dan faring mengembang,

BAB 8

PENCERNAAN

Pencernaan didefinisikan sebagai proses penyederhanaan makanan dari ukuran partikel yang besar (senyawa organik kompleks) ke ukuran partikel yang kecil dan senyawa sederhana melalui mekanisme fisik dan kimiawi sehingga lebih mudah diserap dan diedarkan ke seluruh tubuh melalui sistem peredaran darah. Proses pencernaan ini diawali dengan proses mekanis pengurangan ukuran partikel makanan menjadi partikel yang lebih halus (*grinding*) oleh gigi dalam rongga mulut. Pencernaan secara mekanis ini berlanjut di segmen lambung dan usus dengan adanya gerakan-gerakan/kontraksi otot. Proses produksi cairan digestif (senyawa anorganik asam lambung), senyawa organik enzim (protease, lipase, amilase) dan pengemulsian le-

mak dalam segmen lambung ini merupakan mekanisme secara kimiawi. Pencernaan secara mekanis pada segmen ini terjadi lebih efektif karena diikuti oleh aktivitas mekanisme secara kimiawi.

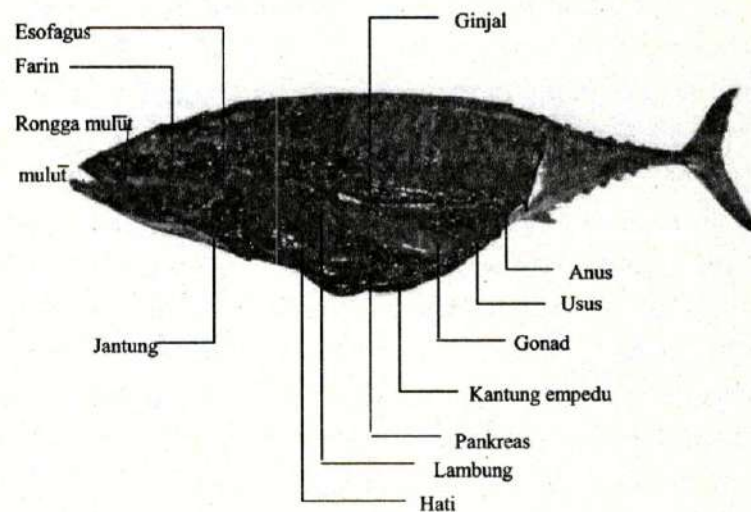
Secara umum, proses pencernaan ikan sama dengan vertebrata yang lain, namun ikan memiliki beberapa variasi, terutama dalam hubungannya dengan cara memakan. Proses pencernaan dan absorpsi berlangsung di dalam saluran pencernaan. Proses ini berfungsi menyediakan suplai kebutuhan tubuh akan air, mineral, vitamin, dan zat gizi. Karena itu, pembicaraan sistem pencernaan dalam bab ini dibagi dalam: (1) pergerakan makanan melalui saluran cerna, (2) pencernaan makanan, dan (3) penyerapan zat makanan yang telah dicernakan. Namun, sebelum membicarakan proses pencernaan lebih lanjut, struktur dan fungsi alat pencernaan penting diketahui terlebih dahulu.

Pengetahuan mengenai proses pencernaan ikan perlu diketahui dalam mengkaji nutrisi ikan budidaya, karena nutrisi ikan menentukan pertumbuhan. Dengan demikian, pemilihan pakan ikan yang tepat dapat menekan biaya produksi.

Struktur dan Fungsi Alat Pencernaan

Alat pencernaan ikan terdiri atas saluran pencernaan dan kelenjar pencernaan. Pada umumnya, saluran pencernaan ikan berturut-turut dimulai dari segmen mulut, rongga mulut, faring, esofagus, lambung, pilorus, usus,

rektum dan anus. Sedangkan, sel atau kelenjar pencernaan terdapat pada lambung, hati, dan pankreas. Anatomi saluran pencernaan pada ikan cakalang diilustrasikan pada Gambar 8.1.



Gambar 8.1. Saluran pencernaan ikan.

Struktur dan fungsi saluran pencernaan

Mulut. Struktur anatomi mulut erat kaitannya dengan cara memperoleh makanan, ada mulut yang dapat disembulkan ke depan seperti pada ikan belanak, tambakan dll dan adapula yang tidak dapat disembulkan. Disekitar bibir pada ikan-ikan tertentu terdapat sungut, misalnya pada ikan lele, ikan mas dan lainnya yang mencari makan di dasar perairan. Sungut ini berperan sebagai alat peraba atau pendeteksi makanan. Di samping itu, posisi mulut juga berkaitan dengan kebiasaan me-

makan ikan, misalnya ikan mas memiliki mulut yang terletak diujung hidung, sedangkan ikan julung-julung terletak di atas hidung.

Rongga mulut. Rongga mulut diselaputi sel-sel penghasil lendir yang berperan mempermudah jalannya makanan ke segmen berikutnya, juga terdapat organ pengecap yang berfungsi menyeleksi makanan. Pada ikan yang memiliki gigi dalam rongga mulut, gigi tersebut berperan untuk mengambil, mencengkeram, merobek, memotong atau menghancurkan makanan dan ini merupakan alat pencernaan makanan secara mekanik.

Pada sebagian ikan ada yang memiliki semacam lidah yaitu suatu penebalan dari bagian depan tulang *archyoiden* yang terdapat di dasar mulut. Lidah ini diselaputi oleh sel epitelium yang kaya akan sel mukus dan organ pengecap. Pada beberapa jenis ikan, kadangkala lidahnya ditutupi oleh gigi.

Pada langit-langit bagian belakang terdapat organ palatin, yang merupakan penebalan dari lapisan mukosa. Organ ini terdiri dari lapisan otot dan serat kolagen, berfungsi dalam proses penelanan makanan dan membantu membuang kelebihan air pada makanan yang dimakan, juga sangat penting dalam proses pemompaan air dari organ mulut ke bagian rongga insang.

Faring. Pada ikan filter feeding, proses penyaringan makanan terjadi pada segmen ini karena tapis insang mengarah ke segmen faring. Lapisan permukaan faring hampir sama dengan rongga mulut, kadang kala masih

ditemukan organ pengecap. Jika material yang masuk bukan makanan maka akan dibuang melalui celah insang.

Esofagus. Permulaan dari saluran pencernaan yang berbentuk seperti pipa, mengandung lendir untuk membantu penelanan makanan. Pada ikan laut esofagus berperan dalam penyerapan garam melalui difusi pasif menyebabkan konsentrasi garam air laut yang diminum menurun sehingga memudahkan penyerapan air oleh usus belakang dan rektum.

Lambung. Lambung berfungsi sebagai penampung makanan. Pada ikan yang tidak berlambung, fungsi penampung makanan digantikan oleh usus depan yang dimodifikasi menjadi kantung yang membesar (lambung palsu). Pada ikan tidak bergigi/sedikit bergigi, misalnya pada ikan-ikan herbivora biasa terdapat gizzard (lambung khusus) yang berfungsi untuk menggerus makanan.

Seluruh permukaan lambung ditutupi oleh sel mukus yang mengandung mukopolisakarida yang agak asam berfungsi sebagai pelindung dinding lambung dari kerja asam klorida. Di bagian luar sel epitelium terdapat lapisan lendir sebagai hasil sekresi sel mukus tersebut. Sel-sel penghasil cairan gastrik terletak di bagian bawah dari lapisan epitelium mensekresikan pepsin dan asam klorida (HCl).

Berdasarkan struktur serta bahan yang disekresikan oleh lambung maka jelaslah bahwa lambung selain berfungsi menampung makanan juga untuk mencerna

makanan, khususnya pencernaan secara kimiawi. Berbeda dengan mamalia, pada ikan pencernaan secara kimiawi dimulai di bagian lambung, bukan di bagian rongga mulut, karena ikan tidak memiliki kelenjar air liur.

Pilorus. Pilorus merupakan segmen yang terletak antara lambung dan usus depan. Segmen ini sangat mencolok karena ukurannya yang mengecil/menyempit. Pada beberapa ikan terdapat usus-usus kecil dan pendek yang disebut pyloric caeca. Saluran pencernaan pada segmen ini yang menyempit berarti segmen pilorus berfungsi sebagai pengatur pengeluaran makanan (*chyme*) dari lambung ke segmen usus.

Usus. Usus merupakan segmen yang terpanjang dari saluran pencernaan. Pada bagian depan usus terdapat dua saluran yang masuk ke dalamnya yaitu saluran yang berasal dari kantung empedu (*ductus choledochus*) dan yang berasal dari pankreas. Pada ikan-ikan yang pankreasnya menyebar pada organ hati (hepatopankreas) hanya terdapat satu saluran yaitu *ductus choledochus*.

Lapisan mukosa usus tersusun oleh selapis sel epitelium dengan bentuk prisma. Pada lapisan ini terdapat tonjolan-tonjolan (*villi*) membentuk seperti sarang tawon pada usus bagian depan dan lebih beraturan pada usus bagian belakang, terutama pada ikan lele. Bentuk sel yang umum ditemukan pada epitelium usus adalah enterosit dan mukosit. Enterosit merupakan sel yang paling dominan dan di antara enterosit terdapat mukosit.

BAB 9

METABOLISME

Metabolisme didefinisikan sebagai proses biologi pemanfaatan nutrisi pakan (sumber energi) yang terserap untuk pertumbuhan dan pembentukan jaringan-jaringan baru (anabolisme) dan untuk aktifitas pembakaran energi (katabolisme). Metabolisme dengan kata lain adalah semua reaksi kimia yang terjadi di dalam sel hidup (mahluk hidup), meliputi anabolisme untuk proses sintesa senyawa-senyawa baru (pembentukan energi) dan katabolisme untuk proses penguraian senyawa-senyawa (pembakaran energi). Semua reaksi metabolisme dikatalisis oleh enzim, termasuk reaksi-reaksi sederhana seperti penguraian asam karbonat menjadi H_2O dan CO_2 , sampai pada proses biosintesis protein yang panjang dan rumit.

Anabolisme dibedakan dari katabolisme dalam beberapa hal: (1) Anabolisme merupakan proses sintesis molekul kimia kecil menjadi molekul yang lebih besar (deposit energi), sedangkan katabolisme adalah sebaliknya, yaitu proses penguraian molekul besar menjadi molekul kecil (pemecahan energi); (2) Anabolisme adalah suatu proses yang membutuhkan energi, sedangkan katabolisme melepaskan energi; (3) Anabolisme merupakan reaksi reduksi, sedangkan katabolisme adalah reaksi oksidasi; dan (4) Seringkali hasil akhir anabolisme merupakan senyawa pemula untuk proses katabolisme.

Pada hewan, sumber energi adalah makanan, tetapi energi dalam makanan tidak dapat digunakan sampai makanan tersebut di cerna dan diserap oleh sistem pencernaan. Ada tiga komponen utama dari makanan yang berperan dalam menghasilkan energi yaitu karbohidrat, lemak dan protein. Komponen makanan ini biasanya tidak dikonsumsi secara sendiri-sendiri, namun melalui proses pencernaan, makanan yang dimakan diuraikan menjadi ketiga komponen utama tersebut.

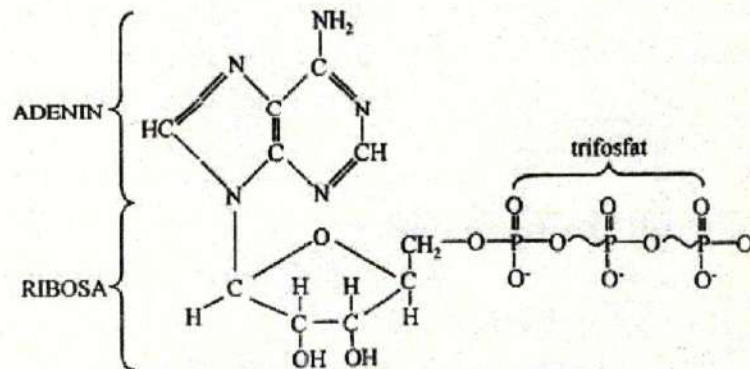
Sebagian besar reaksi kimia dalam sel berhubungan dengan proses penyaringan energi dari makanan untuk digunakan pada berbagai sistem fisiologis sel. Misalnya, energi dibutuhkan untuk aktivitas otot, sekresi kelenjar, sintesis zat-zat dalam sel, absorpsi makanan dari saluran cerna dan lain-lain.

Semua energi dari makanan (karbohidrat, lemak dan protein) dapat dioksidasi dengan oksigen dalam sel,

dan dalam proses ini sejumlah besar energi dikeluarkan. Untuk menyediakan energi ini, reaksi kimia harus dikopel dengan enzim sel khusus dan sistem transfer energi.

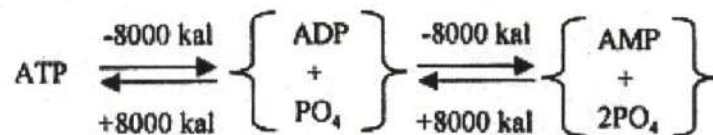
Jumlah energi yang dikeluarkan oleh oksidasi lengkap makanan dinamakan energi bebas makanan, dan umumnya dinyatakan dengan simbol ΔF . Energi bebas biasanya dinyatakan dalam kalori per mol zat makanan. Misalnya jumlah energi bebas yang dikeluarkan oleh oksidasi 1 mol glukosa (180 gram glukosa) adalah 686.000 kalori.

ATP merupakan senyawa kimia labil yang terdapat di dalam sel dan mempunyai struktur kimia seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 9.1. Dari rumus bangun ini dapat dilihat bahwa ATP merupakan gabungan adenosin, ribosa dan tiga radikal fosfat. Dua radikal fosfat yang terakhir dihubungkan dengan bagian molekul lainnya dengan ikatan berenergi tinggi (\sim). Jumlah energi bebas dalam setiap ikatan berenergi tinggi ini per



Gambar 9.1. Rumus bangun ATP.

mol ATP kira-kira 7000 kalori dalam keadaan standar dan 8000 kalori dalam keadaan suhu dan konsentrasi rekatan dalam tubuh. Oleh karena itu, pembuangan setiap radikal fosfat mengeluarkan 8000 kalori energi. Setelah kehilangan salah satu radikal fosfat dari ATP, senyawa menjadi Adenosin Difosfat (ADP), dan setelah kehilangan radikal fosfat yang kedua, senyawa menjadi Adenosin Monofosfat (AMP). Perubahan antara ATP, ADP dan AMP adalah sebagai berikut:



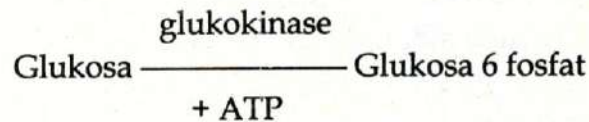
ATP terdapat dimana-mana dalam sitoplasma dan nukleoplasma semua sel, dan pada hakekatnya semua mekanisme fisiologis yang memerlukan energi untuk kerjanya mendapatkan energi langsung dari ATP. Selanjutnya, makanan dalam sel dioksidasi dengan perlahan-lahan, dan energi yang dikeluarkan digunakan untuk membentuk ATP kembali, jadi selalu mempertahankan suplai zat ini; semua transfer energi ini berlangsung dengan cara reaksi kopel.

Metabolisme Karbohidrat

Hasil akhir dari pencernaan karbohidrat adalah glukosa, fruktosa dan galaktosa. Ketiga monosakarida ini diabsorpsi masuk ke dalam darah, dan setelah melalui hati, diangkut ke seluruh tubuh oleh sistem sirkulasi da-

lam bentuk glukosa. Proses penyerapan sumber nutrisi karbohidrat, terutama dalam bentuk glukosa dalam tubuh ikan melalui 3 tahapan utama peranan metabolisme: (1) sebagai sumber energi yang siap pakai, (2) disimpan sebagai glikogen sumber cadangan energi, dan (c) dibentuk menyatu dalam senyawa-senyawa seperti trigliserida, asam amino non-esensial, dan yang lainnya.

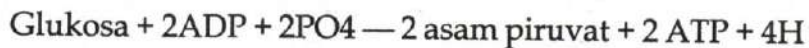
Metabolisme glukosa dimulai dari proses fosforilasi glukosa. Segera setelah masuk ke dalam sel, monosakarida bergabung dengan radikal fosfat sesuai dengan reaksi sebagai berikut:



Fosforilase ini dipermudah oleh enzim heksokinase yang spesifik untuk setiap jenis monosakarida; glukokinase mempermudah fosforilase glukosa, fruktokinase mempermudah fosforilase fruktosa dan galaktokinase mempermudah fosforilase galaktosa.

Fosforilase monosakarida hampir seluruhnya irreversibel kecuali dalam sel hati, epitel tubulus ginjal, dan sel epitel usus halus dimana terdapat fosfatase spesifik untuk reaksi sebaliknya. Oleh karena itu, pada kebanyakan jaringan tubuh, fosforilase berperan menangkap monosakarida dalam sel. Sekali berada didalam sel, monosakarida tidak dapat berdifusi kembali ke luar sel kecuali sel-sel khusus tadi yang memiliki fosfatase.

Setelah absorpsi dalam sel, glukosa dapat digunakan segera untuk mengeluarkan energi pada sel atau dapat disimpan dalam bentuk glikogen, yang merupakan polimer besar glukosa. Energi dikeluarkan dari molekul glukosa melalui proses glikolisis. Glikolisis berarti pemecahan molekul glukosa menjadi dua molekul asam piruvat. Pada dasarnya proses ini terjadi dalam 10 langkah reaksi kimia, namun secara singkat rangkaian reaksinya adalah sbb:



Rangkaian reaksi ini dipercepat oleh enzim sebagai katalisator. Di dalam mitokondria, molekul glukosa yang terpecah digunakan sebagai bahan bakar dalam daur krebs, yang membalikkan proses fotosintesa. Di dalam fotosintesa, karbondioksida tambah air dan energi dari matahari menghasilkan karbohidrat dan oksigen, sebaliknya dalam daur krebs, karbohidrat ditambah oksigen menghasilkan karbondioksida, air dan energi. Energi ini mengubah ADP menjadi ATP. elama daur krebs, energi dari satu molekul glukosa digunakan untuk membentuk 36 molekul ATP.

Bila glukosa tidak segera digunakan untuk energi, glukosa ekstra yang terus menerus masuk sel disimpan sebagai glikogen atau diubah menjadi lemak dan disimpan dalam bentuk tersebut. Semua sel tubuh mampu menyimpan glikogen paling tidak dalam jumlah sedikit, tetapi sel-sel tertentu dapat menyimpan glikogen dalam

BAB 10

REPRODUKSI

Salah satu karakteristik dari semua bentuk kehidupan adalah kemampuannya untuk bereproduksi. Reproduksi adalah kemampuan individu untuk menghasilkan keturunan sebagai upaya untuk melestarikan jenisnya atau kelompoknya. Penurunan material genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya melalui reproduksi, memungkinkan suatu spesies mampu mempertahankan keberadaannya di muka bumi ini.

Ikan umumnya bereproduksi secara seksual, yakni individu baru terbentuk dari hasil penyatuan gamet jantan dan gamet betina. Dengan demikian, keturunan yang dihasilkan memiliki kombinasi genetik yang secara unik dibawa oleh masing-masing induk. Material genetik yang membawa sifat dari satu generasi ke generasi

berikutnya adalah kromosom. Kromosom ini terdapat dalam inti sel dan jumlahnya tetap pada setiap individu dari suatu spesies. Pada reproduksi seksual, konsistensi jumlah kromosom ini dimungkinkan oleh terjadinya segregasi pada sel gamet selama pembelahan meiosis sehingga inti sel hanya mengandung setengah dari set kromosom individu. Selanjutnya, pada saat fertilisasi, masing-masing set kromosom yang dibawa oleh sel gamet akan menyatu, sehingga set kromosom individu tetap jumlahnya.

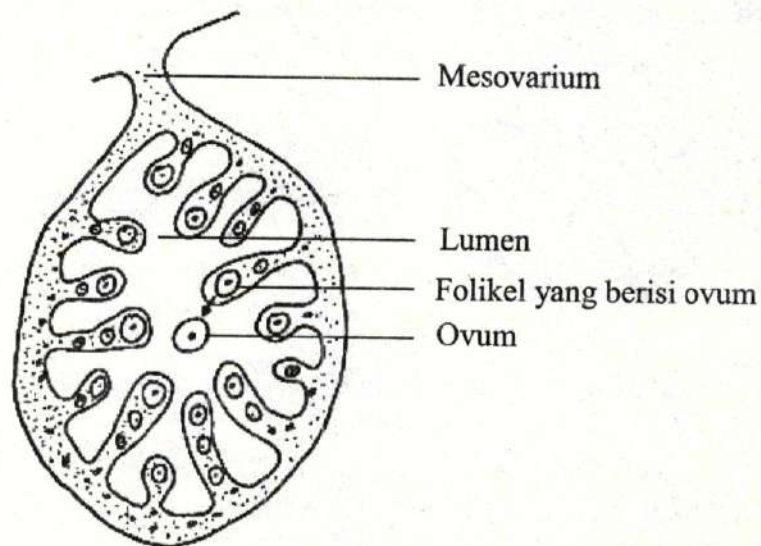
Agar proses reproduksi ikan dapat lebih mudah dipahami maka dalam bab ini terlebih dahulu akan diuraikan secara rinci tentang anatomi sistem reproduksi, morfologi dan biokimia gamet serta siklus reproduksi. Terakhir, diuraikan beberapa teknologi yang telah dikembangkan dari dasar pengetahuan fisiologi reproduksi.

Anatomi Sistem Reproduksi

Gonad pada semua vertebrata memiliki dua fungsi. Pertama, sebagai tempat untuk memproduksi gamet (telur dan sperma) dan yang kedua memiliki fungsi sebagai kelenjar untuk menghasilkan hormon reproduksi yang berperan penting dalam siklus reproduksi. Gonad yang berperan menghasilkan telur disebut ovarium dan yang berperan menghasilkan sperma disebut testis.

Anatomi Sistem Reproduksi Betina

Gonad ikan betina disebut ovarium. Di dalam ovarium sel telur dibentuk dari hasil diferensiasi sel-sel ke-cambah yang terdapat pada ovarium. Teleostei tidak memiliki saluran muller, tetapi biasanya digantikan oleh saluran sekunder yang direpresentasikan sebagai perpanjangan dari rongga ovarium (Gambar 10.1).

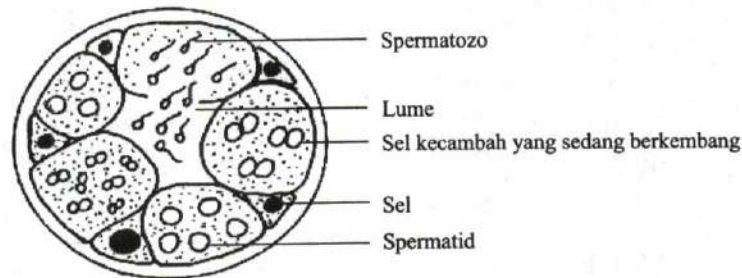


Gambar 10.1 Diagram ovarium teleostei.

Anatomi Sistem Reproduksi Jantan

Sistem reproduksi teleostei jantan pada umumnya merupakan sepasang testes yang memanjang sepanjang rongga badan dan dilengkapi dengan saluran testikuler. Pembungkus testikuler yang mengelilingi testis, secara

luas menghubungkan jaringan-jaringan testis, membentuk batasan-batasan tabung yang mengelilingi germinal epitelium. Spermatozoa dihasilkan dalam cyste seminiferus yang terletak dalam kantung-kantung pada testis. Cyste seminiferus dikelilingi oleh sel-sel sertoli yang mempunyai fungsi nutritif, sedangkan pada bagian luar terdapat sel ledyg yang mempunyai fungsi endokrin yaitu menghasilkan testosteron (Gambar 10.2).



Gambar 10.2 Sketsa kantung-kantung yang berisi sperma dalam testis ikan.

Morfologi dan Biokimia Gamet

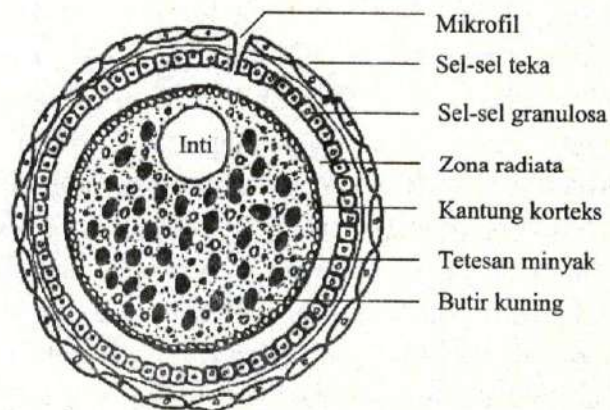
Morfologi Telur

Di dalam ovarium, sel telur dibentuk dari hasil diferensiasi sel-sel kecambah yang terdapat dalam ovarium. Telur-telur ikan disusun oleh berbagai komponen sebagaimana layaknya sebuah sel yakni terdiri atas inti dan sitoplasma yang dibungkus oleh membran sel (Gambar 10.3). Inti tetap bertahan dalam metafase II sampai telur dipijahkan dan diaktifkan oleh pengenceran dalam air. Membran sel telur tersusun atas selubung fertilisasi (ko-

rion) dan selubung vitelin. Pada ikan mas, membran terluar telur disusun oleh lapisan protein yang mengandung aktivitas asam phosphatase dan asam mucopolysacharida. Komposisi kimia membran ini menyebabkan telur ikan mas memiliki daya rekat yang kuat setelah telur terekspose ke dalam air tawar.

Komposisi Biokimiawi Telur dan Cairan Ovarium

Telur ikan mas mengandung 64-75% air, 17.6-27.7% protein, 2.7-7.3% lipid dan 1.4-2.2 % abu; juga dikemukakan bahwa setiap gram telur ikan mas mengandung 93.9mg isoleusin dan leusin, 42.1 mg valine, 73.3 mg serine dan asam aspartik, dan 63.3 mg threonin serta asam glutamik. Asam-asam amino ini terdeposit dalam kuning telur. Glikogen sebagai sumber energi juga terdapat dalam telur, jumlahnya tergantung pada kualitas makanan (Linhart dkk. 1993).



Gambar 10.3. Diagram folikel ikan.

Warna kuning pada telur dipengaruhi oleh kandungan karotenoid. Karotenoid telur diduga merupakan turunan dari deposit-deposit otot. Karotenoid tidak saja ditempatkan dalam kuning telur, tetapi juga pada struktur lain dalam oosit. Fungsi penting karotenoid yang sampai saat ini diketahui antara lain: kemampuannya menyerap dan memantulkan radiasi yang bersifat merusak organ tubuh hewan, sebagai antioksidan yang melindungi sel-sel sensitif dan bahan-bahan yang bersifat reaktif dari proses oksidasi, memiliki fungsi dalam respirasi saat kekurangan oksigen dan sebagai pro vitamin A (Craick 1985; Paniagua dan linan 2000). Pada hewan, vitamin A berperan dalam penglihatan, pertumbuhan, reproduksi, ketahanan terhadap penyakit yang disebabkan oleh fungi dan bakteri, untuk pertumbuhan kulit dan mukosa secara normal.

Glikogen merupakan sumber energi bagi perkembangan embrionik dan larva. Sedangkan protein dan asam amino merupakan tombak dalam proses anabolik. Disamping glikogen, telur-telur ikan juga mengandung glikoprotein yang dikenal sebagai sialoglikoprotein. Glikoprotein banyak terdapat dalam katung-kantung kuning telur. Kantung-kantung kuning telur ini dibentuk pada awal perkembangan telur yang selanjutnya menjadi kantung korteks dan mengambil bagian dalam formasi ruang perivitelin pada saat terjadi pembuahan. Suatu catatan menarik adalah akumulasi sialoglikoprotein dalam telur rainbow trout mengalami penurunan

TAKARIR

A

Adaptasi: menyesuaikan diri dengan lingkungan.

Adrenal: kelenjar endokrin di atas ginjal yang menghasilkan hormon.

Adrenalin: hormon yang dihasilkan kelenjar adrenal.

Adrenergik: aksi adrenalin yang bersifat merangsang.

Aerator: alat bertenaga listrik yang berfungsi menambahkan udara ke dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut.

Aldehida: senyawa organik dengan rumus umum RCHO dan dicirikan oleh gugus karboksil tak jenuh (C=O); alkohol dehidrogenatum.

Alomon: bahan kimia yang dilepaskan ke lingkungan untuk komunikasi sosial antar spesies.

Alveolus: kantung udara di dalam paru-paru.

Amonia: gas tidak berwarna, baunya menusuk, terdiri atas unsur nitrogen dan hidrogen, mudah sekali

larut di dalam air, senyawanya banyak dipakai dalam pupuk, obat-obatan dsb.

Amonium: ion NH_4^+ .

Amphidrom: ikan-ikan yang bermigrasi dari perairan laut ke perairan tawar atau sebaliknya, tetapi tidak untuk memijah, melainkan dilakukan secara teratur pada beberapa siklus hidupnya.

Anadrom: ikan-ikan yang sebagian besar hidupnya dihabiskan di laut dan bermigrasi ke air tawar untuk memijah.

Analog: sama; serupa.

Anatomi: ilmu yang melukiskan letak dan hubungan bagian-bagian tubuh manusia, binatang, atau tumbuhan.

Androgen: hormon-hormon jantan.

Antibiotik: zat kimia yang dalam kadar rendah sudah mempunyai kemampuan untuk menghambat kehidupan atau menghancurkan bakteri atau mikroorganisme (misalnya penisilin, streptomisin dll.).

Antibodi: zat yang dibentuk dalam darah untuk memusnahkan bakteri, virus atau untuk melawan toksin yang dihasilkan oleh bakteri.

Anoxia: kondisi tanpa oksigen sama sekali.

Aorta: batang nadi (pembuluh nadi besar).

Arteri: pembuluh darah yang mengalirkan darah dari jantung ke seluruh bagian tubuh; nadi.

Arus: gerak air yang mengalir.

Atraktan: senyawa kimia yang mempunyai daya tarik.

Autokrin: kelenjar/sel yang menghasilkan zat untuk sel itu sendiri.

B

Bakteri: makhluk hidup terkecil bersel tunggal terdapat dimana-mana, dapat berkembang biak dengan kecepatan luar biasa dengan jalan membelah diri, ada yang berbahaya ada yang tidak, dapat menyebabkan peragian, pembusukan, dan penyakit.

Barbel: semacam lidah pada ikan, tetapi memiliki struktur tulang.

Basa: senyawa yang cenderung menyumbangkan sepasang elektron untuk digunakan bersama-sama dan cenderung menerima proton.

Bioenergetik: penggunaan energi oleh organisme.

Biokimia: senyawa-senyawa kimia dan proses kimia yang terdapat dalam sel atau tubuh makhluk hidup.

Biologi: ilmu tentang keadaan dan sifat makhluk hidup; ilmu hayat.

Biotik: makhluk hidup (tumbuhan, hewan, manusia), baik yang mikro maupun yang makro serta proses-prosesnya.

Biseksual: mempunyai sifat-sifat kedua jenis kelamin, jantan dan betina.

Budidaya: usaha yang bermanfaat dan memberi hasil; suatu sistem yang digunakan untuk memproduksi sesuatu di bawah kondisi buatan.

C

Cahaya: sinar atau terang yang memungkinkan mata menangkap benda-benda di sekitarnya.

Cerna: hancur; luluh jadi satu; hancur jadi cair.

Cholinergik: aksi asetilcholin yang bersifat menghambat.

Circadian: ritme aktivitas dalam kurun waktu 24 jam.

D

Darah: cairan terdiri atas plasma, sel-sel merah dan putih yang mengalir dalam pembuluh darah manusia atau binatang.

Deaminasi: proses pembuangan gugus amino dari asam amino.

Degenerasi: kemunduran, perubahan menjadi sesuatu yang lebih sederhana atau rusak.

Dehidrasi: proses membuang molekul air dari hablur atau senyawa atau reaksi kimia.

Dehidrogenasi: pengurangan atom hidrogen dalam senyawa kimia.

Diadrom: ikan-ikan yang melakukan migrasi antara perairan laut dan tawar.

Difusi: proses lewatnya partikel larutan, air, atau gas melalui membran akibat perbedaan konsentrasi medium.

Diurnal: sifat atau kebiasaan makhluk untuk aktif terutama pada siang hari.

Dorsal: berkenaan dengan punggung.

E

- Efisien:** tepat atau sesuai untuk mengerjakan sesuatu; berdayaguna; tepatguna.
- Efektor:** organ yang melakukan fungsi yang diperintahkan sinyal saraf.
- Ekor:** bagian tubuh binatang dsb yang paling belakang
- Ekskresi:** proses pengeluaran atau pembuangan ampas hasil metabolisme yang tidak dibutuhkan tubuh.
- Eksositosi:** proses pengeluaran substansi seluler (hasil sekretori) yang terdapat dalam vesikula sel melalui fusi membran plasma dan membran vesikula.
- Ektoderm:** lapisan luar pada embrio, yang dalam perkembangan selanjutnya akan membentuk lapisan epidermis dan jaringan saraf.
- Elektrolit:** senyawa yang larutannya merupakan penghantar arus listrik.
- Endokrin:** kelenjar/sel yang menghasilkan hormon.
- Endositosi:** proses masuknya suatu substansi ke dalam sel oleh fagositosis atau pinositosis.
- Energi:** daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan, misalnya energi metabolisme adalah energi yang di dapat dari bahan makanan dan digunakan untuk metabolisme.
- Enterosit:** sel pada permukaan rongga usus yang berperan dalam penyerapan sari-sari makanan.
- Enzim:** molekul protein kompleks yang dihasilkan oleh sel dan bekerja sebagai katalisator dalam berbagai proses kimia di dalam tubuh makhluk hidup.

Epidermis: lapisan luar kulit untuk pelindung.

Epitel: lapisan sebelah atas kulit dan selaput lendir; jaringan sel, terdiri atas satu lapis atau lebih, yang menutup permukaan bebas dari tubuh dan beberapa alat tubuh.

Esofagus: saluran yang menghubungkan tekak dengan lambung.

Estriol: hormon seks betina.

Estrogen: hormon kelamin yang dihasilkan terutama oleh indung telur dan berfungsi, antara lain, untuk merangsang munculnya tanda-tanda kelamin sekunder betina.

Estuari: perairan pantai setengah tertutup tempat air laut bertemu dengan air tawar.

Eukariota: organisme tingkat tinggi yang sel-selnya memiliki inti asli.

Eurihalini: kisaran salinitas yang lebar.

Evolusi: perubahan (pertumbuhan, perkembangan) secara berangsur-angsur dan perlahan-lahan.

F

Fagositosis: pengambilan partikel padat oleh sel dengan cara pembentukan pseudopoda mendekati partikel yang dituju.

Feromon: bahan kimia yang disekresi ke lingkungan untuk komunikasi sosial intraspesies.

Fekunditas: jumlah sel telur yang dihasilkan oleh seekor hewan betina per tahun atau per satuan berat hewan.

- Fertil:** subur.
- Fertilisasi:** pembuahan.
- Fisiologi:** cabang biologi yang berhubungan dengan fungsi dan kegiatan kehidupan atau zat hidup (organ, jaringan, atau sel) dan fenomena fisika dan kimia yang mempengaruhi seluruh proses kehidupan.
- Fibrin:** protein berserat yang tidak larut, terbentuk dari fibrinogen melalui aksi trombin, khususnya dalam penggumpalan darah.
- Fibrinogen:** globulin yang dihasilkan di dalam hati yang terdapat dalam plasma darah, dan yang diubah menjadi fibrin selama terjadinya penggumpalan darah.
- Filtrasi:** proses penyaringan.
- Folikel:** kantung anatomi yang kecil dan sempit.
- Fosforilase:** enzim yang terdapat dalam otot dan hati yang mengkatalisis perubahan glikogen menjadi glukose-1-fosfat.
- Fotoreseptor:** penerima cahaya; ujung saraf yang peka terhadap rangsangan cahaya.
- Fototaksis:** reaksi binatang/ikan terhadap cahaya.
- Fotopsin:** pigmen penglihatan yang berfungsi merefleksikan warna cahaya.

G

- Gamet:** sel sperma atau telur, terutama yang matang dan sudah berfungsi dalam proses pembiakan secara seksual.

TAKARIR

- Gastrin: hormon saluran makanan yang pada kepekatan faal merangsang penggetahan asam lambung, tetapi pada kepekatan tinggi menekan penggetahan.
- Gastrula: tahap pertumbuhan embrio berbentuk mangkuk.
- Gastrulasi: proses pembentukan gastrula.
- Gen: bagian kromosom yang mengatur sifat-sifat keturunan tertentu.
- Genom: perangkat kromosom yang terdapat dalam setiap inti sel.
- Generasi: masa orang-orang/binatang-binatang satu angkatan hidup.
- Glikogenesis: proses pembentukan glikogen dari glukosa di dalam sel.
- Glikogenolisis: pemecahan glikogen menjadi glukosa dalam jaringan tubuh.
- Glikolisis: penguraian gula dalam metabolisme.
- Glomerulus: salah satu bagian ginjal yang berfungsi menyaring cairan.
- Glukoneogenesis; proses pembentukan glukosa dari asam amino atau gliserol.
- Gonad: organ reproduksi yang menghasilkan gamet (telur/sperma).
- Gonadotropin: hormon yang berperan dalam produksi telur/sperma.
- Gustatori: indra pengecap.

H

- Habitat: tempat hidup organisme tertentu yang alami.
- Hematokrit: persentase volume sel-sel darah setelah sampel darah disentrifugasi.
- Hemoglobin: protein sel darah merah yang memungkinkan darah mengangkut oksigen.
- Hemostasis: pencegahan kehilangan darah bila pembuluh darah cedera.
- Hidrogen: gas tidak berwarna, tidak berbau, tidak ada rasanya, menyesakkan dengan rumus H_2 , tetapi tidak bersifat racun.
- Hidrogenasi: penggabungan hidrogen dengan zat lain.
- Hidrolisis: pemecahan senyawa kimia melalui penambahan air.
- Homing migration: ruaya kembali ke tempat kelahiran yang dilakukan ikan salmon atau sidat.
- Hidrofilik: sifat membran yang dapat mengikat air.
- Hiperflasi: penambahan ukuran organ akibat bertambahnya jumlah sel.
- Hiperglikemik: kelebihan gula dalam darah.
- Hipertonik: mempunyai tekanan osmosi yang lebih tinggi daripada larutannya.
- Hipertrofi: penambahan ukuran organ akibat bertambahnya volume sel.
- Hipofisis: kelenjar kecil disebelah bawah otak yang mengeluarkan getah, menghasilkan bermacam-macam hormon yang dibutuhkan untuk pertumbuhan, dan perjalanan kelenjar-kelenjar yang lain.

Hipofisasi: salah satu teknik pengembangbiakan ikan dengan cara menyuntikkan ekstrak kelenjar hipofisa kepada calon induk untuk merangsang pemijahan.

Hipoglikemik: kekurangan gula dalam darah.

Hypoxia: kondisi oksigen di bawah normal.

Histologi: ilmu tentang susunan jaringan tubuh dan bagian-bagian benda hidup yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop; ilmu jaringan tubuh.

Hormon: zat kimia organik yang bertugas membawa pesan untuk komunikasi seluler.

I

Ikan: binatang bertulang belakang yang hidup dalam air, umumnya bernapas dengan insang.

Impuls: rangsangan yang timbul dengan tiba-tiba.

Imun: kebal terhadap suatu penyakit.

Indra: organ tubuh yang berfungsi mendeteksi keadaan lingkungan luar tubuh.

Insulin: hormon yang dibentuk dalam pankreas yang mengendalikan kadar gula dalam darah.

Intensitas: ukuran, intensitas cahaya: ukuran/kuat pencahayaan.

Internal: menyangkut bagian dalam.

Inti: bagian sel yang memiliki fungsi esensial (untuk reproduksi dan sintesa protein), terdiri atas nukleoprotein yang menyusun kromosom.

Intraselular: di dalam sel.

Iris: selaput bola mata yang terdapat dibelakang kornea, membentuk batas pupil; selaput pelangi.

Isolesital: sel telur yang memiliki penyebaran kuning telur seragam.

J

Jantan: jenis kelamin laki-laki.

Jantung: bagian tubuh yang menjadi pusat peredaran darah.

Jaring: alat penangkap ikan ; jala.

K

Karbohidrase: jenis enzim yang berperan mempercepat penguraian karbohidrat menjadi glukosa.

Karbohidrat: senyawa organik karbon, hidrogen, dan oksigen, yang terdiri atas satu molekul gula sederhana atau lebih yang merupakan bahan makanan penting dan sumber tenaga.

Karbondioksida: senyawa karbon dengan oksigen berupa gas tanpa warna, lebih berat dari udara, tidak terbakar, dan tidak larut dalam air.

Kalium: logam putih perak, lunak, dan mirip lilin nomor atom 19, berlambang K dan bobot atom 39,102; potasium.

Kalsium: logam putih, menyerupai kristal, unsur dengan nomor atom 20, berlambang Ca, dan bobot atom 40,08.

Kalori: satuan panas yang menyatakan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu gram air setinggi satu derajat Celcius (1°C); satuan tenaga panas sebesar 4,1868 joule, disingkat kal.

Kanker: penyakit yang disebabkan oleh ketidakteraturan perjalanan hormon sehingga mengakibatkan tumuhnya daging pada jaringan tubuh yang normal; tumor gana.

Katadrom: ikan-ikan yang sebagian besar hidupnya dihabiskan di perairan tawar dan bermigrasi ke laut untuk memijah.

Katalisator: sesuatu yang menyebabkan terjadinya perubahan dan menimbulkan kejadian baru, atau mempercepat suatu peristiwa.

Kinosilium: Silium tunggal dan panjang dari sel rambut oktavolateralis.

Kromosom: bagian kromatin inti sel yang disusun oleh banyak gen, merupakan rangkaian pendukung jenis benda hidup.

Ko-enzim: bagian enzim yang tahan panas, larut dalam air yang bersatu dengan apoenzim membentuk holoenzim.

Kompleks golgi: organel sitoplasma yang berfungsi sebagai gudang sementara dan pepadatan zat-zat sekresi sebelum disekresi, mensintesa karbohidrat dan menggabungkannya dengan protein membentuk glikoprotein, juga berperan dalam pembentukan lisosom.

Kornea: selaput bening bola mata yang menutupi iris dan pupil, berfungsi memasukkan cahaya ke dalam mata; selaput tanduk mata.

Kromatin: bagian inti sel yang dapat diwarnai atau mudah sekali menyerap warna.

Kromosom: suatu struktur halus dalam inti sel yang mengandung untaian kromatin yang sangat padat selama pembentukan sel.

Kupula: massa gelatin yang membungkus sel rambut oktavolateralis.

L

Lensa: kaca bulat melengkung

Linea lateral: gurat sisi, indra pada ikan yang berfungsi mendeteksi gelombang dan arus air serta suara.

Lipase: jenis enzim yang berperan mempercepat penguraian trigliserid.

Lisosom: organel sitoplasma yang berfungsi sebagai tempat pencernaan intrasel.

M

Meiosis: pembelahan sel kelamin dari diploid menjadi haploid.

Membran: selaput tipis yang membatasi inti dan sitoplasma, sitoplasma dan cairan sekitarnya, terdiri atas lipid, protein dan mukopolisakarida.

Memijah: bertelur (spawning).

TAKARIR

Metabolisme: perubahan kimia pada sel hidup oleh energi, dibutuhkan untuk proses vital dan asimilasi materi baru.

Metamorfosis: perubahan bentuk atau susunan; peralihan bentuk.

Micel: partikel lemak berukuran kecil yang siap diserap oleh dinding usus.

Migrasi: perpindahan ikan dari suatu tempat ke tempat lain.

Mineral: zat organik yang dalam jumlah tertentu diperlukan oleh tubuh untuk proses metabolisme normal yang diperoleh melalui makanan sehari-hari.

Mitokondria: organel sitoplasma yang berfungsi menyaring energi dari nutrisi dan oksigen yang selanjutnya digunakan untuk melakukan fungsi sel.

Mitosis: pembelahan sel somatis dari satu sel induk menjadi dua sel anak dengan jumlah dan susunan kromosom yang sama.

Morfologi: Ilmu pengetahuan tentang bentuk luar dan susunan makhluk hidup.

Mukosit: sel penghasil lendir.

N

Neuron motoris: saraf yang membawa petunjuk dari otak dan sum-sum tulang belakang ke alat gerak, jantung, usus, dan lain-lain.

- Neuron sensoris: saraf yang membawa isyarat dari organ sensoris (indra) ke otak dan sum-sum tulang belakang.
- Neuromas: kelompok sel-sel rambut perasa pada sistem oktavolateralis.
- Neurohormon: neurotransmitter; hormon yang dilepaskan oleh ujung saraf.
- Nokturnal: sifat atau kebiasaan makhluk untuk aktif terutama pada malam hari.
- Nutrien: zat yang mendorong pertumbuhan, pemeliharaan fungsi dan pengembangbiakan sel suatu organisme.

O

- Oktavolateralis: istilah yang digunakan untuk menggambarkan kombinasi sistem sensor telinga dalam dan linea lateral.
- Olfaktori: indra pembau.
- Optik: berkenaan dengan penglihatan (lensa mata, kornea dan lain-lain).
- Organ: bagian tubuh organisme, disusun banyak sel yang berbeda, digabungkan struktur penyokong intrasel, dan memiliki fungsi khusus.
- Oseanodrom: ikan-ikan yang seluruh siklus hidupnya di air laut.
- Osmoregulasi: proses pengontrolan keseimbangan air dan ion antara tubuh ikan dan lingkungannya.

Osmosis: proses pergerakan air dari media yang konsentrasinya rendah ke media yang konsentrasinya tinggi melalui membran semipermeabel.

Otolith: massa kristalin yang terdapat pada telinga dalam, berfungsi mendeteksi gaya berat.

P

Parakrin: kelenjar/sel yang menghasilkan neurohormon/neurotransmitter.

Perikanan: segala sesuatu yang bersangkutan dengan penangkapan, pemiharaan, dan pembudidayaan ikan.

Peristaltik: kontraksi otot polos daluran cerna yang berperan mendorong makanan bergerak sepanjang saluran pencernaan.

Permeabel: sifat membran sel yang dapat ditembus oleh partikel cairan, air, atau gas secara difusi.

Pertumbuhan: penambahan ukuran baik panjang maupun berat.

Pinositosis: pengambilan tetesan cairan oleh sel, baik yang mengandung partikel berukuran kecil atau tidak.

Pituitari: hipofisa; kelenjar yang terdapat di bawah otak.

Poikilotermi: hewan berdarah dingin yang menyesuaikan suhu darahnya secara bebas dan berinteraksi dengan suhu lingkungan.

Polilesital: Penyebaran kuning telur dibagian vegetal dan inti serta sitoplasma dibagian animal.

Polimerisasi: reaksi kimia yang menggabungkan dua molekul kecil atau lebih untuk membentuk molekul yang lebih besar yang disebut polimer.

Polipeptida: polimer yang terdiri atas tiga atau lebih asam amino.

Polisakarida: karbohidrat yang dibentuk oleh penggabungan molekul-molekul monosakarida yang banyak.

Potadrom: ikan-ikan yang seluruh siklus hidupnya di air tawar.

Preservasi: pengawetan; pemeliharaan; penjagaan; perlindungan.

Proliferasi: perbanyakan bentuk yang sama, terutama sel dan kista abnormal; pertumbuhan dan pertambahan sel yang sangat cepat.

Protease: jenis enzim yang berperan mempercepat penguraian protein menjadi asam amino.

Pseudopoda: pemanjangan sitoplasma yang mengarah/mendekati partikel yang dituju, ada hubungannya eksositosis.

R

Rangsang: sesuatu yang dapat mempengaruhi indra (pencium, peraba, perasa, penglihat, dsb).

Reseptor: penerima; ujung saraf yang peka terhadap rangsangan.

Respirasi: pernapasan; proses pengikatan oksigen dan pengeluaran karbondioksida oleh darah melalui alat pernapasan.

Rodopsin: pigmen penglihatan yang merupakan derivat vitamin A, berfungsi merefleksikan cahaya.

S

Semen: substansi yang terdiri atas sperma dan cairan seminal yang dihasilkan oleh organ reproduksi jantan.

Sekresi: proses pengeluaran hasil kelenjar atau sel secara aktif.

Sinaps: bagian yang menghubungkan antara satu neuron dengan neuron berikutnya.

Skotopsin: pigmen penglihatan; gabungan retinen dengan scotopsin membentuk rhodopsin.

Somatomedin: hormon pertumbuhan yang disekresi oleh hati.

Somatostatin: hormon penghambat pertumbuhan.

Somatotropin: hormon pertumbuhan yang disekresi oleh pituitari.

Spektrum: rentetan warna kontinu yang diperoleh bila cahaya diuraikan ke dalam komponen-komponennya (warna pelangi).

Stereosilia: Silium jamak dan pendek dari sel rambut oktavolateralis.

T

Telolesital: sel telur yang memiliki penyebaran kuning telur lebih banyak di kutub vegetal.

Transmisi: pengiriman/penerusan pesan dari seseorang kepada orang (benda) lain.

Transmitter: alat yang berfungsi mengirimkan pesan.

Transpor aktif: transpor ion melalui membran sel dengan cara yang bertentangan dengan prinsip difusi, sehingga membutuhkan energi untuk melakukan aktivitasnya.

U

Udara: campuran berbagai gas yang tidak berbau dan tidak berwarna (spt oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas bumi spt yang kita hirup bila bernapas.

Umur: lama waktu hidup atau ada sejak dilahirkan atau diadakan.

Urofisis: neurosekretori yang terletak pada bagian belakang spinal cord.

Urotensin: hormon yang disekresi oleh urofisis.

Usus: pencernaan makanan di dalam perut yang bentuknya seperti pembuluh panjang berlingkar-lingkar dari ujung akhir lambung sampai dubur.

V

Vakuola: ruang di dalam sitoplasma yang berisi cairan dan dikelilingi oleh selaput.

Ventilasi: pertukaran udara.

Vesikular: memiliki bentuk seperti vesikula atau kantung.

Viskositas: sifat fisik zat yang tergantung pada geseran molekul-molekul komponennya; kekentalan.

Vitamin: zat yang sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan (spt vitamin: A, B, C, D, E, K).

Z

Zat: wujud; sesuatu yang menyebabkan sesuatu menjadi ada.

PUSTAKA ACUAN

- Affandi R, Sjafei DS, Rahardjo MF, dan Sulistiono. 1992. Fisiologi Ikan; Pencernaan. PAU Ilmu Hayat IPB. 215 h.
- Ball JN, Baker BI. 1969. The Pituitary Gland: Anatomy and Histophysiology. Di dalam Fish Physiology, Volume II, the Endocrine System. Hoar WS dan Randall DJ (ed). Academic Press. h. 1-110.
- Bern HA. 1969. Urophysis and Caudal Neurosecretory System. Di dalam Fish Physiology, the Endocrine System. Hoar WS dan Randall DJ (ed). Academic Press. h. 399-418.
- Billard R. 1992. Reproduction In Rainbow Trout: Sex Differentiation, Dynamics of Gametogenesis, Biology And Preservations Of Gametes. Aquaculture, 100: 263-98.

PUSTAKA ACUAN

- Billard R, Cosson J, Perche G, Linhart O. 1995. Biology of sperm and artificial reproduction in carp. *Aquaculture*, 129: 95-112.
- Blum V. 1985. *Vertebrate Reproduction*. Springer-Verlag. 405 h.
- Craik JCA. 1985. Egg quality and egg pigment content in salmonid fishes. *Aquaculture*, 47: 61-88.
- Darnell J, Lodish H, Baltimore D. 1986. *Molecular Cell Biology*. Scientific American Book. 1187 h.
- Degani G, Boker R. 1991. Vitellogenesis Level and Induction of Maturation in the Ovary of the Blue Gourami *Trichogaster trichopterus* (Anabantidae, Pallas, 1770). *J Exp Zool*, 263: 330-337.
- Ellis AE. 1988. *Fish Vaccination*. Academic Press. 255 h.
- Evans DH. 1993. Osmotic and Ionic Regulation. Di dalam *the Physiology of Fishes*. Evans DH (ed). Marine Science Series. h. 315-41.
- Farrel AP. 1993. Cardiovascular System. Di dalam *the Physiology of Fishes*. Evans DH (ed). Marine Science Series. h. 219-50.

- Fernald RD. 1993. Vision. *Di dalam the Physiology of Fishes*. Evans DH (ed). Marine Science Series. h. 161-89.
- Fujaya Y, Rustam, Saleng AD. 1999. Perbandingan produksi benih ikan mas (*Cyprinus carpio*) pada dua tipe inkubator. *Bulletin ilmu peternakan dan perikanan*, 5(13): 71-79.
- Fujaya Y, Sitanggang RL, Alimuddin. 2000. Hipofisasi ikan mas (*Cyprinus carpio*) dengan kelenjar hipofisa ayam segar dan awetan. *Bulletin Penelitian*, 16(41): 15-21.
- Gilbert SF. 1988. *Developmental Biology*. Sinauer Associates. 843 h.
- Ginzburg AS. 1972. *Fertilization in Fishes and the Problem of Polispermy*. Israel Program For Scientific Translation. 366 h.
- Gupte S. 1990. *Mikrobiologi Dasar Ed.3*. Binarupa Aksara. 497 h.
- Grier HJ. 1992. Chordate Testis: the Extracellular Matrix Hypothesis. *J Exp Zool*, 261: 151-160.

PUSTAKA ACUAN

- Hara TJ. 1992. Fish Chemoreception. Chapman & Hall. 373 h.
- Hara TJ. 1993. Chemoreception. Di dalam the Physiology of Fishes. Evans DH (ed). Marine Science Series. h 191-218.
- Hara S, Canto JT, Almendras JME. 1982. A comparative study of various extenders for milkfish *Chanos chanos* (Forsk), sperm preservation. *Aquaculture*, 28: 339-346.
- Harder W. 1975. Anatomy of Fishes; Part II: Figures and Plates. E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 132 h.
- Hibiya T. 1982. An Atlas of Fish Histology; Normal and Pathological Features. Kodansha. 147 h.
- Hoar WS, Randall DJ. 1969. Fish Physiology; Volume II, The Endocrine System. Academic Press. 446 h.
- Hoar WS, Randall DJ, Donaldson EM. 1983. Fish Physiology; Volume IX, Reproduction, Part B, Behavior and Fertility Control. Academic Press. 477 h.

- Hoar WS, Randall DJ. 1988. Fish Physiology; Volume XI, The Physiology of Developing Fish, Part A, Eggs and Larvae. Academic Press. 546 h.
- Holmgren S, Nilsson S. 1993. Autonomic Nerve Functions. *Di dalam* The Physiology of Fishes. Evans DH (ed). Marine Science Series. h. 279-313.
- Hunter GA, Donaldson EM. 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture. *Di dalam* Hoar WS, Randall DJ, Donaldson EM (Eds). Fish Physiology. Vol IX B. Academic press. 223-303.
- Johnson MH, Everitt BJ. 1995. Essential Reproduction. Blackwell Science. 264 h.
- Kavumpurath S, Pandian TJ. 1993. Production of YY female guppy, *Poecilia reticulata*, by endocrine sex reversal and progeny testing. *Aquaculture*, 118: 183-189.
- Koeypudsa W, M Jongjareanjai. 2011. Impact of water temperature and sodium chloride (NaCl) on stress indicators of hybrid catfish (*Clarias gariepinus* Burchell x *C. macrocephalus* Gunther). *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 33 (4), 369-378.

- Kullgren A, F Jutfelt, R Fontanillas, K Sundell, L Samuelsson, K Winklander, P Kling, W Koppe, DGJ Larsson, BT Bjornsson, E Jonsson. 2013. The impact of temperature on the metabolome and endocrine metabolic signals in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 164: 44-53.
- Lam TJ. 1985. Induced Spawning in Fish. *Di dalam* Reproduction and Culture of Milk Fish. Proceedings For a Workshop Held at Tungkang Marine Laboratory, Taiwan, April 22-24, 1985. Oceanic Institute and Tungkang Marine Laboratory. Taiwan. 226 h.
- Linhart O, Kudo S, Billard R, Slechta V, Mikodina EV. 1995. Morphology, composition and fertilization of carp eggs: a rivew. *Aquaculture*, 129:75-93.
- Lovell, T. 1989. Nutrition and Feeding of Fish. An AVI Book, Van Nostrand Reinhold Publisher, New York. 259 p.
- Matty AJ. 1985. Fish Endocrinology. Croom Helm London & Sydney Timber. 267 h.
- Miller PJ. 1979. Fish Phenology: Anabolic Adaptiveness in Teleosts. Academic Press. 449 h.

- Nagy A, Beresenyi M, Csanyi V. 1981. Sex reversal in carp, *Cyprinus carpio* by oral administration of methyltestosteron. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 38: 725-728.
- Ohta H, Izawa T. 1996. Diluent for cool storage of the Japanese eel (*Anguilla japonica*) spermatozoa. *Aquaculture*, 142: 107-118.
- Paniagua-Michel J, Linan-Cabello M. 2000. Carotenoids and retinoids metabolites as precursors of receptors-specific bioactive compounds. Di dalam *Advances in shrimp*. Cruz-Suares LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Olvera-novoa MA, Civera-Cerecedo R (Eds). *Avances an Nutricion acuicola V. Memories del V Simposium Internacional de Nutricion Acuicola*. 19-22 Noviembre, 2000. Merida, Yucatan, Mexico.
- Perry SF, McDonald G. 1993. Gas Exchange. Di dalam *the Physiology of Fishes*. Evans DH (ed). *Marine Science Series*. h 251-78.
- Potts GW, Wootton RJ. 1984. *Fish Reproduction; Strategies and Tactics*. Academic Press. 410 h.
- Rees AR, Sternberg MJE. 1984. *From Cells to Atoms*. Blackwell Scientific Publications. 94 h.

PUSTAKA ACUAN

- Satchell GH. 1991. *Physiology And Form Of Fish Circulation*. Cambridge University Press. 235 h.
- Schatten G. 1994. The centrosome and its mode of inheritance: the reduction of the centrosome during gametogenesis and its restoration during fertilization. *J Dev Biol*, 162: 299-335.
- Smith LS. 1982. *Introduction to Fish Physiology*. T.F.H. Publications. 350 h.
- Sudirman, Baskoro MS, Zulkarnain, Akiyama S, Arimoto T. 2001. Light adaptation process of jack mackerel *Trachurus japonicus* by different light intensities and water temperatures. Di dalam *Proceedings of The JSPS-DGHE International Symposium on Fisheries Science in Tropical Area, Bogor-Indonesia, August 21-25, 2000*. 205-208.
- Sukra Y, Rahardja L, Djuwita I. 1989. *Embriologi I*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat Institut Pertanian Bogor. 112 h.
- Turner CD, Bagnara JT. 1976. *Endokrinologi Umum*. Airlangga University Press. Surabaya. 746 h.

- Ueda H, Kambegawa A, Nagahama Y. 1985. Involvement of gonadotropin and steroid hormones in spermiation in the Amago Salmon, *Oncorhynchus rhodurus*, and Goldfish, *Carassius auratus*. *Gen Comp Endocrinol*, 59: 24-30.
- Watanabe, T. 1988. Fish Nutrition and Mariculture. JICA Textbook The General Aquaculture Course. Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries. 233 p.
- Woynarovich E, Horvath L. 1980. The Artificial Propagation of Warm-water Finfish: A Manual for Extension. FAO Fish Tech. Paper No. 201.
- Yamazaki F. 1983. Sex control and manipulation in fish. *Aquaculture* 33: 329-354.
- Yaron Z. 1995. Endocrine control of gametogenesis and spawning induction in the carp. *Aquaculture*, 129: 49-73.
- Zubair SN, SJ Peake, JF Hare, WG Anderson. 2012. The effect of temperature and substrate on the development of the cortisol stress response in the lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, Rafinesque (1817). *Environ. Biol. Fish*, 93: 577-587.

