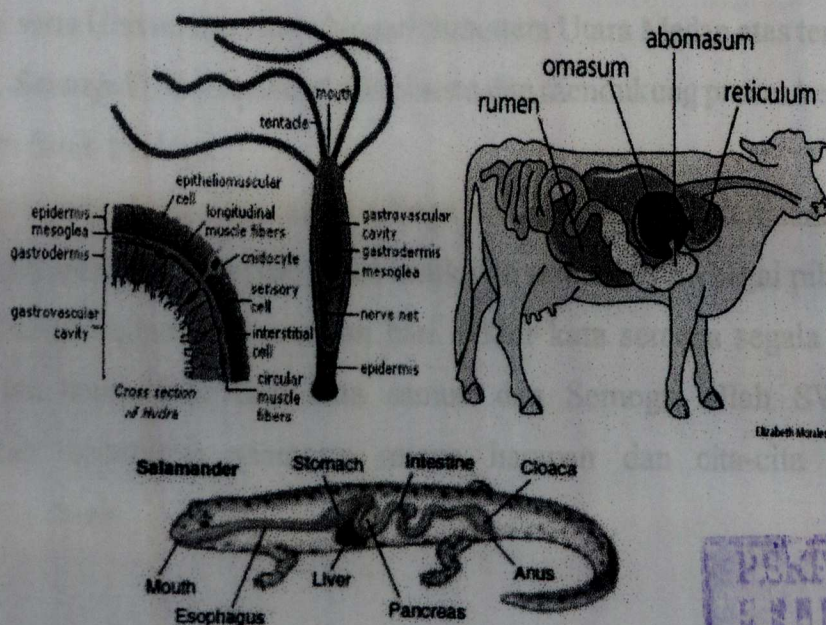




FISIOLOGI HEWAN



EFRIDA PIMA SARI TAMBUNAN, M.Pd

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUMATERA UTARA
2018

TGL. TERIMA :
 NO. INDUK :
 ASAL :

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, kasih sayang dan pertolonganNya sehingga penulis menuliskan dan menghasilkan Diktat Fisiologi Hewan.

Mata kuliah ini adalah salah satu mata kuliah yang diajarkan pada kurikulum Prodi Biologi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Medan dan diajarlan pada kelas semester 5.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas dukungan dan bantuan para pemimpin, rekan-rekan dosen, teman sejawat di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi serta Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan atas terselesainya Diktat ini. Semoga Diktat ini dapat membantu dan mendukung proses belajar mengajar di Program Studi Biologi.

Penulis juga menyadari masih adanya kekurangan dan keterbatasan pada Diktat ini, maka penulis tetap mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak agar Diktat ini bisa dikembangkan di kemudian hari. Akhir kata semoga segala upaya penulis lakukan ini bermanfaat bagi kita semua dan Semoga Allah SWT. Berkenan memberikan berkahnya sehingga semua harapan dan cita-cita penulis dapat terkabulkan. Amin.

Medan, September 2017

Efrida Pima Sari Tambunan, M.Pd

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB I KONSEP-KONSEP FISIOLOGI.....	1
1.1 Ruang Lingkup Fisiologi Hewan.....	1
1.2 Konsep Homeostatis.....	2
1.3 Perubahan-perubahan Fisiologi.....	5
1.4 Fisiologi Membran.....	5
BAB II SISTEM PENCERNAAN HEWAN.....	12
2.1 Sistem Pencernaan Pada Hewan Invertebrata.....	12
2.2 Sistem Pencernaan Pada Hewan Vertebrata.....	14
BAB III SISTEM RESPIRASI HEWAN.....	24
3.1 Pendahuluan.....	24
3.2 Sistem Respirasi Pada Hewan Vertebrata.....	25
3.3 Sistem Respirasi Pada Hewan Invertebrata.....	33
BAB IV DARAH DAN SISTEM SIRKULASI DARAH PADA HEWAN.....	38
4.1 Pendahuluan.....	38
4.2 Pengertian Sistem Sirkulasi dan Fungsinya.....	38
4.3 Komponen Sistem Sirkulasi.....	39
4.4 Perbedaan Sistem Peredaran Darah Terbuka dengan Sistem Peredaran Darah Tertutup.....	43
4.5 Sistem Sirkulasi Darah Pada Hewan Tingkat Rendah.....	45
4.6 Sistem Sirkulasi Darah Pada Hewan Invertebrata lainnya.....	46
4.7 Sistem Transportasi Pada Hewan Tingkat Tinggi.....	46
BAB V OSMOREGULASI.....	53
5.1 Pendahuluan	53
5.2 Prinsip-Prinsip Dasar Osmoregulasi.....	55
5.3 Pola Dasar Mekanisme Osmoregulasi.....	56
5.4 Konsep Osmokonformer Dan Osmoregulasi.....	58
5.5 Mekanisme Osmoregulasi Hewan Hyperosmotik Air Tawar, Laut Dan Terestial.....	59
5.6 Mekanisme Osmoregulasi Hewan Air Payau, Berpindah dan Hewan Terestial yang Beraktivitas di laut.....	69

BAB VI SISTEM EKSKRESI.....	75
6.1 Pendahuluan	75
6.2 Pengertian Ekskresi.....	76
6.3 Sistem Ekskresi Pada Manusia.....	77
6.4 Ekskresi Pada Hewan Invertebrata.....	82
6.5 Sistem Ekskresi Pada Vertebrata.....	83
BAB VII SISTEM SARAF PADA HEWAN.....	86
7.1 Pendahuluan	86
7.2 Susunan Sistem Saraf Manusia.....	86
7.3 Sistem Saraf Pada Hewan (Vertebrata dan Avertebrata).....	89
7.4 Sel Saraf yang Terdapat Dalam Tubuh.....	93
7.5 Pengertian Implus Saraf.....	95
7.6 Mekanisme dari Impuls Saraf.....	96
7.7 Pengertian dan Fungsi dari Sinapsis.....	98
7.8 Jenis dan Peran Neuron Sinapsis.....	99
7.9 Pengertian Dari Neutransmitter Dan Macam-macam Neurontrasmitter Beserta Fungsi.....	100
BAB VIII SISTEM REPRODUKSI.....	108
8.1 Pendahuluan	108
8.2 Mekanisme Reproduksi.....	108
8.3 Susunan Fungsional Organ Reproduksi Pada Hewan.....	110
8.4 Sistem Reproduksi Seksual Pada Hewan.....	115
BAB IX SISTEM GERAK.....	125
9.1 Pendahuluan.....	125
9.2 Otot.....	126
9.3 Mekanisme Kerja Otot.....	128
9.4 Mekanisme Kontraksi Otot.....	131
9.5 Pengaturan untuk Kontraksi Otot.....	134
9.6 Perbandingan Otot dan Sistem Gerak Hewan.....	136

DAFTAR PUSTAKA

BAB I

KONSEP-KONSEP FISILOGI

1.1 Ruang Lingkup Fisiologi Hewan

Fisiologi hewan adalah ilmu yang berkenaan dengan fungsi dan fenomena yang terjadi pada kondisi normal dari hewan dan menekankan kepada proses bagaimana hewan dapat hidup dan beraktivitas atau lebih sederhanya bioproses. Fisiologi hewan memfokuskan kajian kepada masalah fisiologi yang sama tetapi dalam spesies yang berbeda. Ekofisiologi mengkaji tentang bagaimana proses spesifik fisiologi hewan berlangsung dalam kaitannya dengan efek factor lingkungan tempat hidupnya dan aspek-aspek ekologi lainnya yang berkontribusi terhadap mekanisme adaptasi fungsional. Fisiologi evolusi mengkaji bagaimana mekanisme fisiologi merefleksikan proses perubahan fundamental yang telah dialami hewan sebagai manifestasi ekanan evolusi yang dialaminya dan bagaimana kaitan antar sistem fisiologi tersebut memberikan informasi evolusi yang elaboratif.

Dalam cakupannya, fisiologi hewan mengkaji tentang bagaimana proses kehidupan berlangsung. Dengan demikian, beberapa contoh aspek kajiannya adalah:

1. Bagaimana sistem-sistem kehidupan bekerja, dari level molekuler hingga sistem organ dan organisme utuh.
2. Bagaimana hewan merespon aktivitas fisik dan lingkungan sekitarnya, baik di ruang yang kosong maupun di dasar lautan.
3. Bagaimana berbagai gangguan dapat memengaruhi fungsi-fungsi kerja normal dari sistem-sistem tersebut.

Secara spesifik, kajian fisiologi hewan bercakup kepada sistem-sistem fungsional meliputi sistem pencernaan, sistem saraf, sistem endokrin, sistem ekskresi, sistem pernafasan, sistem sirkulasi, sistem imun, sistem gerak, dan sistem reproduksi.

Sebagai salah satu cabang zoologi, fisiologi hewan sangat terkait erat dengan ilmu biologi itu sendiri maupun di luar ilmu biologi. Fisiologi hewan memerlukan dasar pemahaman yang baik di bidang anatomi hewan, histologi,

perkembangan hewan, biologi sel, biologi molekuler, genetika, ekologi, dan kajian biologi secara umum. Selain itu dituntut pemahaman yang baik di bidang biokimia, kimia murni, dan fisika khususnya tentang elektrofisika dan dinamika gerak dan fluida.

1.2 Konsep Homeostatis

Lingkungan eksternal berpeluang untuk menyajikan tantangan terbesar yang harus dihadapi oleh hewan. Lingkungan eksternal dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu teresterial dan akuatis. Akan tetapi diantara sekian banyak hewan, terdapat kelompok yang hidup di kedua lingkungan tersebut baik sepanjang hidupnya maupun sebagian dari siklus hidupnya. Misalnya pada kelompok amfibi atau insekta yang fase larvanya hidup di lingkungan akuatis tetapi setelah dewasa akan hidup di lingkungan teresterial atau semiteresterial.

Secara umum, kondisi lingkungan eksternal sangat tidak konstan. Akan ada perubahan temperatur, ketersediaan air, konsentrasi gas, pH dan sebagainya. Perubahan-perubahan tersebut mungkin akan terjadi pada periode harian atau musiman, dan akan memberikan tantangan bagi fungsi normal hewan. Jika lingkungan eksternal berubah juga akan memberikan efek terhadap cairan tubuh hewan yang menjadi penyusun lingkungan internal mengalami perubahan. Jika perubahan yang besar maka akan berdampak kepada keseluruhan sistem fisiologi hewan sehingga sangat beresiko bagi kelangsungan hidup. Oleh sebab itu, hewan semaksimal mungkin harus mempertahankan kondisi lingkungan internal tersebut agar tidak berubah kendati kondisi lingkungan berubah. Kebutuhan absolut hewan untuk mempertahankan kondisi internalnya dalam kondisi konstan yang dikenal homeostatis.

1.2.1 Cairan Tubuh Hewan

Cairan yang mengelilingi sel-sel hewan dalam berbagai hal memiliki komposisi yang cukup berbeda dengan lingkungan eksternal yang berada disekitar tubuh hewan. Misalnya hewan teresterial, memiliki cairan tubuh yang dikelilingi oleh lingkungan eksternal berupa udara atau hewan akuatis yang dikelilingi oleh lingkungan eksternal berupa air. Hal yang harus dilakukan oleh

hewan adalah untuk menjaga cairan tubuhnya dalam kondisi relative konstan seperti konsentrasi ion-ionnya, gas terlarut, level nutrient dan sebagainya.

Cairan tubuh hewan terdiri atas cairan ekstraseluler (*extracellular cell fluids-ECF*) dan intraseluler (*intracellular fluids-ICF*). Cairan ekstraseluler adalah cairan yang berada di sekitar sel-sel dari sebagian besar hewan. Dikenal juga dengan istilah cairan interstisial (*interstitial cell fluids-ISF*) yaitu cairan ekstraseluler selain darah dan plasma darah. Protozoa yang merupakan organisme uniseluler memiliki cairan ekstraseluler berupa cairan di lingkungan tempat hidupnya. ECF pada hewan multiseluler sederhana yang hidup di laut kurang lebih identic dengan lingkungan dimana dia hidup dalam hal ini dengan air laut. Sebagai contoh, ubur-ubur memiliki komposisi cairan ekstraseluler yang identic dengan air laut kecuali konsentrasi sulfat. Yang hanya setengah dari kadar yang ada di dalam air laut. Alasan yang mungkin karena ion sulfat relative lebih pekat daripada ion lainnya. Perubahan pada konsentrasi sulfat akan memiliki efek signifikan terhadap kepekatan seluruh cairan tubuhnya. Akan tetapi, hewan-hewan laut yang lebih kompleks, hewan air tawar, dan hewan terestrial senantiasa memepertahankan kondisi cairan ekstraselulernya.

Cairan intraseluler (ICF) adalah cairan yang terdapat di dalam sel. Dari definisinya, konsentrasinya harus sama dengan cairan ekstraseluler. Jika tidak adanya keseimbangan tersebut maka sel tidak akan stabil secara osmotik dan menimbulkan resiko perubahan ukuran sel dengan bertambahnya atau berkurangnya air di dalam sel yang akhirnya akan membahayakan bagi sel tersebut. Komposisi cairan intraseluler juga akan bervariasi antar spesies, akan tetapi kation utamanya adalah K^+ . Berbeda dengan ECF, semua konsentrasi elektrolit lebih rendah dan terdapat sejumlah besar protein yang bersifat basa (alkalin).

1.2.2 Homeostatis

Setiap sistem hidup (pada semua tingkatan) selalu bereaksi terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada lingkungannya, juga mengatur dan mengontrol reaksi yang ditimbulkannya. Pada tahun 1879, seorang ahli fisiologi asal Perancis bernama Claude Bernard mengusulkan suatu syarat penting bagi hewan yang ingin dapat bertahan hidup di lingkungan, yakni bahwa hewan harus

mempertahankan stabilitas pada lingkungan internal atau cairan tubuhnya. Pada tahun 1855, Bernard mengemukakan bahwa penyebab terjadinya berbagai reaksi yang menstabilkan lingkungan internal ialah adanya senyawa khusus, yang dihasilkan oleh semua organ dan dikeluarkan ke cairan jaringan.

Pada tahun 1929, W.B. Cannon, seorang ahli fisiologi asal Amerika yang mengembangkan gagasan Bernard dan memperkenalkannya dengan istilah homeostatis. Homeostatis adalah keadaan lingkungan internal yang konstan dan mekanisme yang bertanggung jawab atas keadaan konstan tersebut. Lingkungan internal adalah cairan dalam tubuh hewan yang merupakan tempat hidup bagi sel penyusun tubuh. Cairan tubuh hewan meliputi darah, cairan interstisial, cairan selomik, dan cairan lain yang terdapat dalam tubuh.

Untuk dapat bertahan hidup, hewan harus menjaga stabilitas lingkungan internalnya, antara lain keasaman atau pH, suhu tubuh, kadar garam, kandungan air, dan kandungan nutrisi atau gizi. Mamalia (golongan hewan yang memiliki kelenjar susu) dan aves (golongan burung) memiliki kemampuan mengatur berbagai faktor tersebut dengan sangat tepat. Oleh karena itu, aves dan mamalia disebut regulator.

Kebanyakan hewan, selain aves dan mamalia, tidak mampu mempertahankan keadaan lingkungan internal yang selalu tepat. Hewan yang lingkungan internalnya berubah seiring dengan perubahan lingkungan eksternal dinamakan golongan conformer. Proses timbulnya perubahan dalam tubuh hewan yang membuat hewan tersebut dapat bertahan ketika lingkungan eksternalnya berubah disebut adaptasi.

Adaptasi dapat dibedakan menjadi dua, aklimasi dan aklimatisasi. Aklimasi adalah perubahan adaptif yang terjadi pada hewan dalam kondisi laboratorium yang terkendali. Dalam keadaan demikian, biasanya hanya satu atau dua factor lingkungan yang berubah. Hal demikian sangat jarang terjadi dalam kondisi alamiah. Dalam lingkungan alamiah, perubahan factor lingkungan biasanya bersifat kompleks. Perubahan kompleks dalam tubuh, yang terjadi pada kondisi alamiah dan berkaitan dengan adanya perubahan banyak factor lingkungan eksternal, dinamakan *aklimatisasi*.

1.3 Perubahan-perubahan Fisiologis

Secara garis besar, perubahan fisiologis yang terjadi pada hewan dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu; a) perubahan yang disebabkan oleh adanya perubahan lingkungan eksternal dan b) perubahan internal yang diprogram sedemikian rupa dengan atau tanpa perubahan lingkungan eksternal. Perubahan kategori pertama terdiri atas perubahan akut, perubahan kronis (aklimasi dan aklimatisasi), dan perubahan evolusioner. Sedangkan perubahan kategori kedua meliputi perubahan perkembangan (development change), dan perubahan yang dikontrol oleh jam biologis periodic.

Perubahan akut adalah perubahan kondisi fisiologi hewan pada waktu yang singkat (short-term), perubahan yang segera akan muncul setelah lingkungan berubah. Perubahan ini bersifat reversible. Perubahan akan kembali ke keadaan normal jika kondisi lingkungan eksternal kembali ke keadaan semula. Sedangkan perubahan kronis adalah perubahan fisiologis pada periode yang panjang (long-term) dimana perubahan pada hewan baru akan muncul setelah berada pada kondisi lingkungan yang baru selama beberapa waktu (hari, minggu, bulan). Perubahan ini juga bersifat reversibel. Adapun perubahan evolusioner adalah perubahan yang muncul karena adanya perubahan frekuensi gen-gen selama beberapa generasi dalam suatu populasi yang berada pada lingkungan baru. Perubahan perkembangan adalah perubahan secara fisiologis yang muncul dalam suatu jalur spesifik yang telah terprogram sedemikian rupa sejak dari tahap perkembangan embrio hingga dewasa dan menjadi tua.

1.4 Fisiologi Membran

1.4.1 Struktur Membran

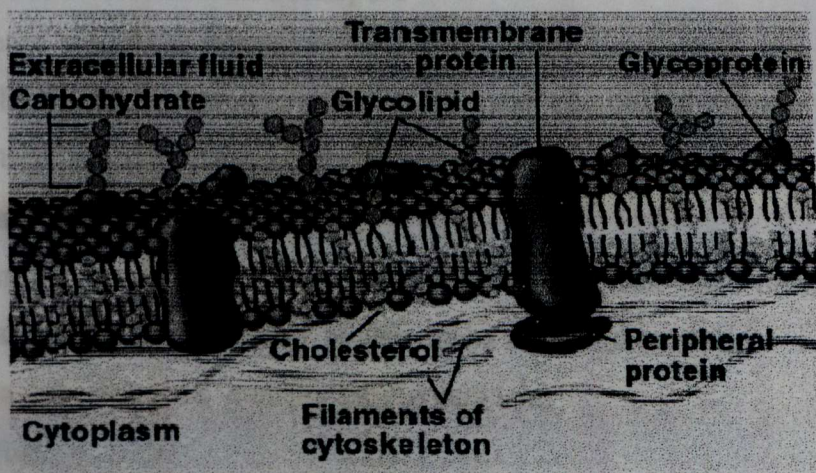
Membran biologis disebut juga sebagai membrane plasma merupakan membrane yang menyelimuti semua sel dan membentuk komponen tertutup. Membran tersebut asimetris, sangat kental dan dinamis dalam rangka untuk menyokong karakter selektif permeabilitasnya terhadap proses transport molekul atau senyawa yang akan keluar masuk sel. Disamping sebagai perantara transport material seluler, ion, air dan makromolekul; membran juga berfungsi dalam mekanisme sinyal transmembran dan interaksi antar sel.

Membran terdiri atas lipid, protein, karbohidrat, dan air. Rasio protein dan lipid sangat besar. Sebagai contoh, membrane dalam mitokondria memiliki 76% protein, sedangkan membrane miyelin dari saraf hanya mengandung 18% protein. Perbedaan aspek ratio protein dan lipid tersebut penting bagi fungsi spesifik suatu organel yang diselubungi oleh membrane. Secara lebih spesifik, membrane tersusun atas kolesterosol dan asam lemak yang kebanyakan berupa gliserida dan fosfolipid, protein perifer dan integral, selain itu juga kelompok glikoprotein dan glikolipid.

Tabel 1.1 Variasi kandungan protein, lipid dan karbohidrat pada beberapa membrane

Tipe Membran	Komposisi Kimiawi (%)		
	Protein	Lipid	Karbohidrat
Miyelin	18	79	3
Eritrosit Manusia	49	43	8
Membran dalam mitokondria	79	24	0
Plasma membrane Amoeba	54	42	4

Sumber : (Rastogi, 2007)



Gambar 1.1. Struktur Membran

Fungsi Membran Dalam Transportasi

Membran plasma berfungsi sebagai barrier antara sel dan lingkungan ekstraselulernya sekaligus menjadi tempat transportasi molekul-molekul essential seperti glukosa, asam amino, lipid, ion, dan lain-lain ke dalam sel dan memungkinkan keluarnya sisa produk metabolisme sel yang tidak berguna lagi.

Membran memiliki karakter selektif permeable yang memungkinkan untuk menjaga kekonstanan lingkungan interior sel. Membran-membran organel yang berada dengan sitosol di dalam sel yang biasanya memberikan kondisi lingkungan yang berbeda dengan sitosol di dalam sitoplasma.

Membran dapat bersifat permeable terhadap gas seperti CO₂ dan O₂ serta molekul-molekul kecil seperti etanol. Molekul-molekul tersebut dapat melewati membrane tanpa bantuan protein pembawa. Selain itu energy juga tidak dibutuhkan karena pergerakannya menuruni gradient konsentrasi. Pada membrane yang impermeable, hanya molekul air yang dapat lewat sedangkan molekul-molekul terlarut dalam air lainnya tidak dapat lewat seperti hydrogen, sodium, dan kalium. Protein memegang peranan penting dalam transportasi molekul-molekul dan ion tersebut melewati seluruh membrane seluler.

1.4.2 Mekanisme Membran Transport

Secara sederhana mekanisme transport membrane terbagi atas transport pasif meliputi; difusi, osmosis, difusi dipermudah (facilitated diffusion), filtrasi, dialisis, transport aktif, dan transport zat yang diperantarai vesikula.

1. Transport pasif

Transport pasif adalah proses perpindahan zat melalui suatu membran dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah tanpa memerlukan energi.

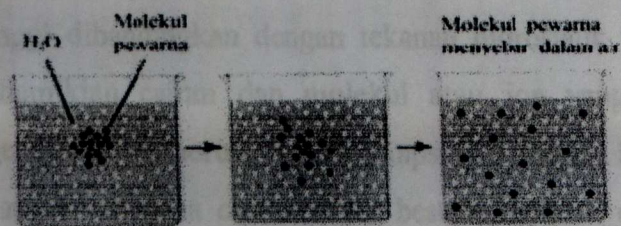
Ada beberapa jenis transport pasif antara lain:

a. Difusi

Difusi merupakan salah satu proses pergerakan molekul atau ion melalui membran sel, di mana molekul atau ion tersebut bergerak dari daerah yang mempunyai konsentrasi tinggi ke daerah yang mempunyai konsentrasi rendah dan tidak memerlukan energi. Pertukaran gas O₂ dengan CO₂ melalui membran sel yang merupakan dasar fisiologi pernapasan terjadi melalui proses difusi. Karbon dioksida diproduksi di dalam sel melalui proses respirasi sel sehingga

konsentrasinya di dalam sel jauh lebih tinggi dibandingkan dengan di luar sel. Dengan demikian CO₂ akan bergerak ke luar melalui membran sel secara difusi. Keadaan yang sebaliknya terjadi pada pergerakan molekul O₂, di mana O₂ dibutuhkan dalam proses pernapasan sel, dengan demikian konsentrasi O₂ di dalam sel jauh lebih rendah dibandingkan di lingkungannya sehingga O₂ akan bergerak masuk melalui membran sel juga secara difusi.

Arti difusi secara umum, tidak terbatas pada pergerakan molekul atau ion melalui membran yang permeabel, melainkan setiap pergerakan molekul atau ion dari daerah yang mempunyai konsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah. Sebut saja pergerakan molekul kristal zat warna yang dimasukkan ke dalam gelas berisi air. Mula-mula molekul-molekul zat warna tersebut terkonsentrasi di sekitar kristal zat warna yang melarut dalam air, selanjutnya penyebaran molekul zat warna tersebut akan terus berlangsung hingga zat warna tersebut tersebar merata di seluruh bagian air yang terdapat di dalam gelas tersebut. Setelah seluruh zat warna tersebut tersebar merata, dapat dikatakan proses difusi telah berakhir, namun pergerakan zat warna tidak pernah berhenti. Bedanya setelah berakhirnya proses difusi pergerakan molekul-molekul tersebut terjadi secara seimbang sehingga larutan tetap homogen.



Gambar 1.2 Pergerakan molekul melalui membran sel
Sumber: (Farabee, 2001)

b. Osmosis

Osmosis adalah difusi air melalui membran semipermeabel (selektif permeabel). Dalam sebuah sel yang banyak mengandung organel dan molekul-molekul besar, air dari lingkungan pasti akan bergerak masuk ke dalam sel.

c. Difusi dipermudah (facilitated diffusion)

Pergerakan molekul dalam proses ini dibantu oleh suatu protein **carrier** yang bertindak sebagai pengangkut. Meskipun molekul yang akan diangkut cukup besar, dengan bantuan protein pengangkut maka molekul tersebut dapat menembus membran sel. Contohnya adalah pengangkutan glukosa oleh protein pengangkut melalui membran sel dengan berikatan pada protein tersebut maka glukosa menjadi larut dalam lipida, dengan demikian molekul tersebut dengan mudah dapat bergerak melewati molekul **lipida bilayer**. Kecepatan bergerak molekul difusi dipermudah ini lebih cepat dari pada difusi biasa, akan tetapi kecepatan bergerak tersebut tergantung pada beberapa faktor antara lain:

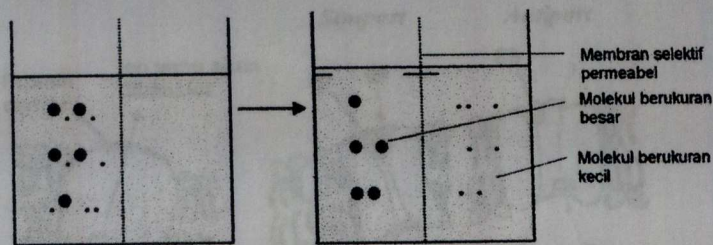
- a. Gradien konsentrasi
- b. Tersedianya protein pengangkut
- c. Kecepatan protein pengangkut dalam mengikat zat yang akan diangkut.

d. Filtrasi

Filtrasi merupakan jenis transpor pasif yang melibatkan pergerakan molekul atau ion keluar masuk sel. Proses ini disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan hidrostatik, di mana molekul atau ion akan bergerak dari daerah yang mempunyai tekanan hidrostatik tinggi ke daerah yang tekanan hidrostatiknya lebih rendah. Contohnya: proses filtrasi di dalam ginjal, dimana tekanan hidrostatik pada glomerulus lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan hidrostatik pada kapsula Bowman, dengan demikian cairan dan molekul atau ion yang terdapat di dalamnya akan bergerak dari glomerulus menuju kapsula Bowman. Proses sejenis terjadi pula pada kapiler, di mana cairan darah beserta molekul dan ion yang terlarut di dalamnya akan keluar melintasi endotelium kapiler tersebut menuju jaringan.

e. Dialisis

Dialisis merupakan salah satu jenis transpor pasif, di mana molekul molekul zat terlarut akan bergerak melalui membran selektif permeabel yang memperlihatkan adanya pemisahan molekul-molekul kecil dari molekul besar. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 1.3.

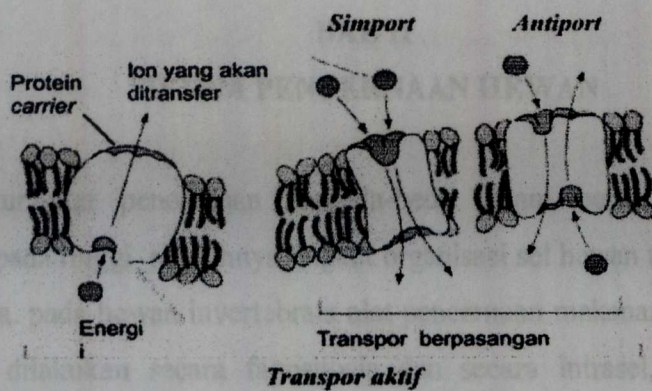


Gambar 1.3. Dialisis. (A) keadaan mula-mula, (B) keadaan setelah terjadi proses dialysis

Pada Gambar 1.3. mula-mula larutan di sebelah kiri membran mengandung 2 jenis molekul yang berbeda ukurannya. Pada proses dialisis, molekul - molekul kecil akan bergerak melalui membran yang bersifat selektif permeabel, sedangkan molekul yang berukuran besar tidak dapat melintasi membran tersebut. Pada akhir proses dialisis molekul-molekul kecil akan terpisah dari molekul yang berukuran besar. Prinsip ini dipakai dalam proses hemodialisis, untuk membuang zat-zat yang tak berguna dari dalam cairan darah, dan sering disebut dengan istilah cuci darah.

2. Transpor aktif

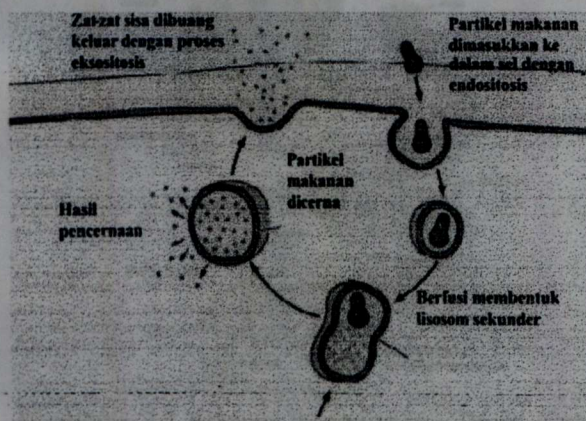
Pada peristiwa transpor aktif terjadi perpindahan zat molekul melawan gradien konsentrasi, dan memerlukan energi. Contohnya antara lain pompa sodium-potassium dalam sel saraf. Konsentrasi Na^+ selalu dijaga agar konsentrasinya di bagian dalam sel saraf lebih rendah dan K^+ lebih tinggi, dibandingkan konsentrasinya di luar sel saraf. Ketika sel saraf menerima sebuah impuls, ion-ion tersebut akan menyeberangi membran sel, dengan cara seperti ini, impuls syaraf akan diantarkan. Setelah melakukan pengiriman pesan, ion-ion tersebut harus dikembalikan ke kondisi semula dengan cara transpor aktif. Ada 2 jenis transpor aktif, yaitu transpor aktif tunggal (*uniport*) dan transpor aktif berpasangan (*coupled transport*). Transpor aktif berpasangan terdiri atas simport dan antiport, disebut simport jika zat yang ditranspor diikuti oleh transpor zat lain dengan arah yang sama; sedangkan antiport jika transpor zat diikuti oleh transpor zat lain dengan arah yang berlawanan.



Gambar 1.4 Jenis transpor aktif (Farabee, 2001)

3. *Transpor zat yang diperantarai vesikula.*

Vesikula atau vakuola dapat bergabung dengan membran sel dan digunakan untuk transpor zat-zat kimia ke luar atau ke dalam sel. Eksositosis, jika transpor menuju ke luar sel; sedangkan jika memasukkan zat ke dalam sel disebut endositosis. Fagositosis merupakan jenis endositosis, di mana sel memasukkan zat makanan melintasi membran sel. Proses ini sangat umum terjadi pada sel-sel makrofag yang memakan bakteri atau benda asing lainnya. Pinositosis terjadi jika sel memasukkan cairan melalui membran sel. Kebanyakan sel dapat melakukan pinositosis. Untuk mendapatkan gambaran mengenai eksositosis dan endositosis, coba Anda simak Gambar 1.5!



Gambar 1.5 Eksositosis dan endositosis (Farabee, 2001)

BAB II

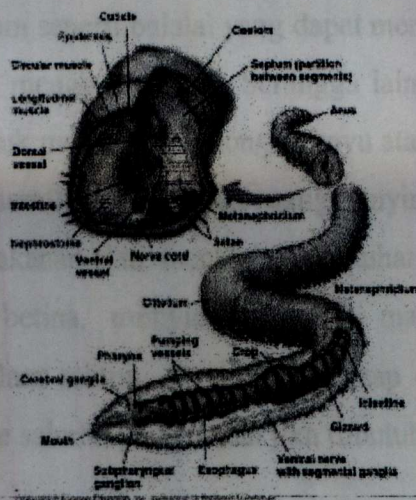
SISTEM PENCERNAAN HEWAN

Struktur alat pencernaan berbeda-beda dalam berbagai jenis hewan, tergantung pada tinggi rendahnya tingkat organisasi sel hewan tersebut serta jenis makanannya. Pada hewan invertebrata alat pencernaan makanan umumnya masih sederhana, dilakukan secara fagositosis dan secara intrasel, sedangkan pada hewan-hewan vertebrata sudah memiliki alat pencernaan yang sempurna yang dilakukan secara ekstrasel.

2.1 Sistem Pencernaan Pada Hewan Invertebrata

Sistem pencernaan pada hewan invertebrata umumnya dilakukan secara intrasel, seperti pada protozoa, porifera, dan Coelenterata. Pencernaan dilakukan dalam alat khusus berupa vakuola makanan, sel koanosit dan rongga gastrovaskuler. Selanjutnya, pada cacing parasit seperti pada cacing pita, alat pencernaannya belum sempurna dan tidak memiliki mulut dan anus. Pencernaan dilakukan dengan cara absorpsi langsung melalui kulit.

2.1.1 Sistem Pencernaan Makanan Pada Cacing Tanah



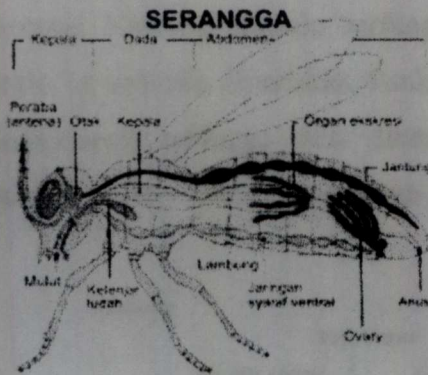
Gambar 2.1 Sistem Pencernaan Pada Cacing Tanah

Makanan cacing tanah berupa daun-daunan serta sampah organik yang sudah lapuk. Cacing tanah dapat mencerna senyawa organik tersebut menjadi molekul yang sederhana yang dapat diserap oleh tubuhnya. Sisa pencernaan

makanan dikeluarkan melalui anus. Mulut cacing bekerja seperti tabung penghisap untuk menarik kotoran dan partikel makanan. Sesudah melewati faring, bahan-bahan tersebut dipindahkan ke esofagus dan disini ditambahkan cairan sekresi yang bersifat alkalin. Tanah dan makanan disimpan dalam ruang berdinding tebal yang disebut crop, selanjutnya masuk ke gizzard, sebuah ruang yang berotot dan berfungsi menggilas dan menumbuk mengurai makanan menjadi bagian yang lebih kecil. Melalui peningkatan tumbukan dan total daerah permukaan dengan panjang lipatan-tunggal, menyebabkan enzim ekstraseluler lebih efektif mengurai makanan menjadi gula, lemak, asam amino dan nutrisi lainnya. Makanan diurai secara enzimatik dan absorpsi terjadi pada intestin cacing tanah. Intestin meluas ke sekum, tempat menyimpan makanan beberapa saat, menyebabkan enzim berperan dan mengabsorpsi lebih sempurna. Sebagian besar air direabsorpsi melalui bagian ujung intestin, dan akhirnya limbah kering dikeluarkan melalui anus. Proses dan struktur pencernaan dasar pada cacing tanah, juga merupakan karakteristik dari siput, lobster, mentimun laut, laba-laba dan hewan yang setingkat

2.1.2 Sistem Pencernaan Makanan Pada Insecta

Serangga (insekta), memiliki mekanisme penelanan dan pencernaan yang beragam. Beberapa serangga makan cairan tumbuhan dan hewan dan memiliki sebuah penusuk, jarum seperti belalai yang dapat menembus bunga, batang daun, atau kulit dan hanya mengisap cairan. Serangga lain misalnya rayap, memiliki rahang yang kuat untuk memotong potongan kayu atau menggigit hewan mangsa. Beberapa serangga memiliki sekum dan ruang penyimpanan lainnya dalam usus, yang menyimpan makanan dan menunda kebutuhan untuk makan secara terus menerus. Nyamuk betina, menyimpan darah mamalia dalam sekum yang berdinding tipis. Dalam sekum, darah sekali-hisap dapat disimpan selama satu minggu dan masuk ke saluran pencernaan jika dibutuhkan.



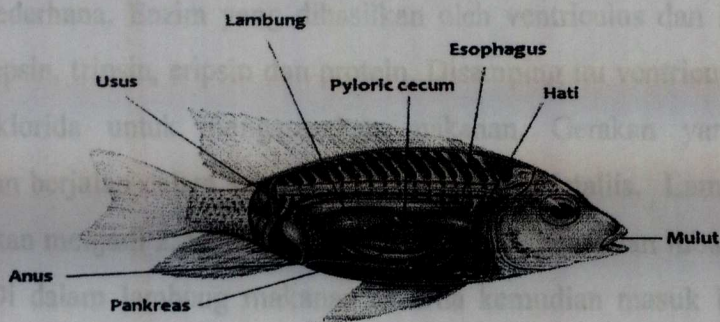
Gambar 2.2 Sistem Pencernaan Pada Serangga

2.2 Sistem Pencernaan Pada Hewan vertebrata

2.2.1 Sistem Pencernaan Pada Ikan

Organ pencernaan pada hewan vertebrata meliputi saluran pencernaan (tractus digestivus) dan kelenjar pencernaan (glandula digestoria). Saluran pencernaan pada ikan dimulai dari rongga mulut (cavum oris). Di dalam rongga mulut terdapat gigi-gigi kecil yang berbentuk kerucut pada geraham bawah dan lidah pada dasar mulut yang tidak dapat digerakan serta banyak menghasilkan lendir, tetapi tidak menghasilkan ludah (enzim). Dari rongga mulut makanan masuk ke esophagus melalui faring yang terdapat di daerah sekitar insang. Esofagus berbentuk kerucut, pendek, terdapat di belakang insang, dan bila tidak dilalui makanan lumennya menyempit. Dari kerongkongan makanan di dorong masuk ke lambung, lambung pada umum-nya membesar, tidak jelas batasnya dengan usus. Pada beberapa jenis ikan, terdapat tonjolan buntu untuk memperluas bidang penyerapan makanan. Dari lambung, makanan masuk ke usus yang berupa pipa panjang berkelok-kelok dan sama besarnya. Usus bermuara pada anus. Kelenjar pencernaan pada ikan, meliputi hati dan pankreas. Hati merupakan kelenjar yang berukuran besar, berwarna merah kecoklatan, terletak di bagian depan rongga badan dan mengelilingi usus, bentuknya tidak tegas, terbagi atas lobus kanan dan lobus kiri, serta bagian yang menuju ke arah punggung. Fungsi hati menghasilkan empedu yang disimpan dalam kantung empedu untuk membanfu proses pencernaan lemak. Kantung empedu berbentuk bulat, berwarna kehijauan terletak di sebelah kanan hati, dan salurannya

bermuara pada lambung. Kantung empedu berfungsi untuk menyimpan empedu dan disalurkan ke usus bila diperlukan. Pankreas merupakan organ yang berukuran mikroskopik sehingga sukar dikenali, fungsi pankreas, antara lain menghasilkan enzim – enzim pencernaan dan hormon insulin.



Gambar 2.3 Sistem Pencernaan Pada Ikan

2.2.2 Sistem Pencernaan Pada Amphibi

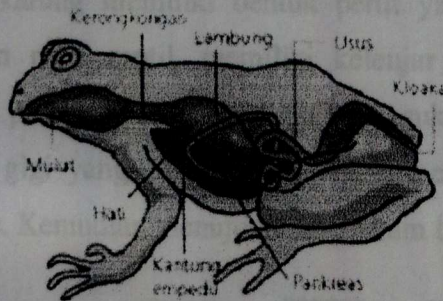
Sistem pencernaan makanan pada amfibi, hampir sama dengan ikan, meliputi saluran pencernaan dan kelenjar pencernaan. salah satu binatang amphibi adalah katak. Pada beberapa bagian tractus digestoria mempunyai struktur dan ukuran yang berbeda. Mangsa yang berupa hewan kecil ditangkap untuk dimakan akan dibasahi oleh air liur.

Sistem pencernaan amphibi meliputi; saluran pencernaan dan kelenjar pencernaan. Makanan katak berupa hewan kecil (serangga). Secara berturut-turut saluran pencernaan pada katak meliputi; a) rongga mulut, gigi tumbuh pada rahang atas dan langit-langit. Gigi yang tumbuh dilangit-langit disebut gigi vomer. Setiap kali tanggal, akan tumbuh gigi baru sebagai ganti. Lidah pada katak bercabang dua dan berfungsi sebagai alat penangkap mangsa. Jika ada serangga, katak menjulurkan lidahnya dan serangga itu akan melekat pada lidah yang berlendir. Katak tidak begitu banyak mempunyai kelenjar ludah dari cavum oris, makanan akan melalui pharynx; b) esophagus, berupa saluran pendek (kerongkongan). Esophagus yang menghasilkan sekresi alkalin (basis) dan mendorong makanan masuk ke dalam ventriculus yang berfungsi sebagai gudang pencernaan; c) ventrikulus (lambung), berbentuk kantung yang bila terisi makanan

menjadi lebar. Bagian muka ventriculus yang besar di sebut cardiac, sedang bagian posterior mengecil dan berakhir dengan pyloris. Kontraksi dinding otot ventrikulus meremas makanan menjadi hancur dan dicampur dengan sekresi ventriculus yang mengandung enzim atau ferment, yang merupakan katalisator. Iap-tiap enzim merubah sekelompok zat makanan menjadi ikatan-ikatan yang lebih sederhana. Enzim yang dihasilkan oleh ventriculus dan intestinum terdiri atas: pepsin, tripsin, eripsin dan protein. Disamping itu ventriculus menghasilkan asam klorida untuk mengasamkan makanan. Gerakan yang menyebabkan makanan berjalan dalam saluran disebut gerak peristaltis. Lambung katak dapat dibedakan menjadi 2, yaitu tempat masuknya esofagus dan lubang keluar menuju usus. Di dalam lambung makanan dicerna kemudian masuk ke usus halus; d) **intestinum (usus)**, dinding usus mengandung kapiler darah dan di sisi sari-sari makanan diserap. Dapat dibedakan atas *usus halus* dan *usus tebal (besar)*. Usus halus meliputi: duodenum, jejunum, dan ileum, tetapi belum jelas batas-batasnya. Dinding usus halus mengandung kapiler darah yang berfungsi untuk menyerap sari-sari makanan. Beberapa penyerapan zat makanan terjadi di ventriculus tapi terutama terjadi di intestinum. Makanan masuk ke dalam instestinum dari ventriculus melalui klep pyloris; e) usus tebal (besar), berakhir pada rektum dan menuju kloaka; dan f) kloaka, merupakan muara bersama antara saluran pencernaan makanan, saluran reproduksi, dan urine.

Kelenjar pencernaan pada amfibi terdiri atas kelenjar ludah hati dan pancreas yang memberikan sekresinya pada intestinum, kecuali intestinum menghasilkan sekresi sendiri. Hati berwarna merah kecoklatan, terdiri atas lobus kanan yang terbagi lagi menjadi dua lobulus. Hati berfungsi mengeluarkan empedu yang disimpan dalam kantung empedu yang berwarna kehijauan. Hepar/hati yang besar terdiri atas beberapa lobus dan bilus (zat empedu) yang dihasilkan akan ditampung sementara dalam vesica felea, yang kemudian akan dituangkan dalam intestinum melalui ductus cystecus dahulu kemudian melalui ductus cholydocus yang merupakan saluran gabungan dengan saluran pancreas. Fungsi bilus untuk menghasilkan zat lemak. Pankreas berwarna kekuningan, melekat diantara lambung dan usus dua belas jari (duodenum). Pankreas berfungsi menghasilkan enzim dan hormon yang bermuara pada duodenum.

Sistem pencernaan amfibi



Gambar 2.4 Sistem Pencernaan pada Amphibi

2.2.3 Sistem Pencernaan Pada Reptil

Saluran pencernaan pada reptile meliputi:

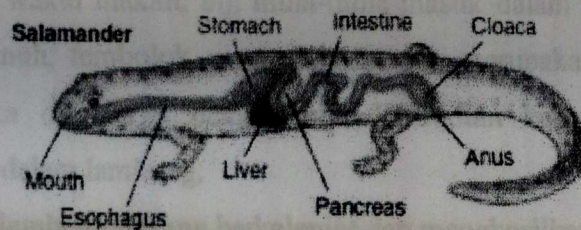
- Rongga mulut; bagian rongga mulut di sokong oleh rahang atas dan rahang bawah, masing-masing memiliki deretan gigi yang terbentuk kerucut, gigi menempel pada gusi dan sedikit melengkung ke arah rongga mulut. Pada rongga mulut terdapat lidah yang melekat pada tulang lidah dengan ujung bercabang dua.
- Esophagus (kerongkongan)
- Ventrikulus (lambung)
- Intestinum; terdiri atas usus halus dan usus tebal yang bermuara pada anus.

Kelenjar pencernaan pada reptile meliputi hati, kantong empedu, dan pancreas. Hati pada reptile memiliki dua lobus (gelambir dan berwarna kemerahan). Kantong empedu terletak pada tepi sebelah kanan hati. Pancreas berada diantara lambung dan duodenum, berbentuk pipih kekuning-kuningan.

Mekanisme Pencernaan pada Reptil

Pada ular berbisa, terdapat gigi bias yang tumbuh pada langit-langit mulutnya. Bisa digunakan untuk melumpuhkan atau membunuh mangsanya. Lidah pada cicak digunakan untuk menangkap mangsa. Kelenjar ludah yang terdapat pada rongga mulut menghasilkan lendir yang berguna untuk membantu memudahkan menelan mangsa.

Makanan yang ditangkap langsung dikunyahnya. Bentuk lambung pada reptile sesuai dengan bentuk tubuhnya. Kura-kura memiliki lambung yang membulat, ular bengkarung memiliki bentuk perut yang memanjang. Sistem pencernaan makanan pada reptil, memiliki kelenjar pencernaan yaitu hati, kantung empedu, dan pancreas. Setelah makanan masuk ke dalam rongga mulut yang dikunyah oleh gigi yang berbentuk kerucut, menuju ke esophagus lalu menuju ke ventrikulus. Kemudian menuju ke intestinum lalu bermuara ke anus.



Gambar 2.5 Sistem Pencernaan Pada Reptil

2.2.4 Sistem Pencernaan pada Aves

Organ pencernaan pada burung terbagi atas saluran pencernaan dan kelenjar pencernaan. Makanan burung bervariasi berupa biji-bijian, hewan kecil, dan buah-buahan.

Saluran pencernaan pada burung terdiri dari:

- a. Paruh; merupakan modifikasi gigi.
- b. Rongga mulut terdiri dari rahang atas dan rahang bawah yang merupakan penghubung antara rongga mulut dan tanduk
- c. Faring: berupa saluran pendek; esophagus pada burung terdapat pelebaran pada bagian ini disebut tembolok, berperan sebagai tempat penyimpanan makanan yang diisi dengan cepat.
- d. Lambung; terdiri atas: proventrikulus (lambung kelenjar) banyak menghasilkan enzim pencernaan, dinding ototnya tipis. Ventrikulus (lambung penguyah /empedal); ototnya berdinding tebal. Pada burung pemakan biji-bijian terdapat kerikil dan pasir yang tertelan bersama makanan yang berguna untuk membantu pencernaan disebut sebagai "*hen's teeth*."

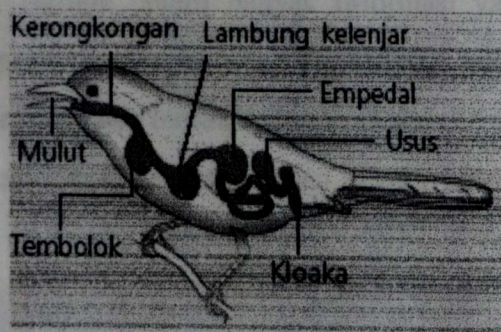
- e. Intestinum; terdiri atas usus halus dan usus tebal yang bermuara ke kloaka. Usus halus pada burung terdiri dari duodenum, jejunum, dan ileum. Kelenjar pencernaan burung meliputi: hati, kantung empedu, dan pancreas. Pada burung merpati tidak memiliki kantung empedu.

Mekanisme Pencernaan Aves

Burung Finch pemakan biji, mempunyai paruh yang kuat disesuaikan secara khusus untuk memecah biji. Tepinya tajam dan permukaan dalam mempunyai relung-relung. Pada waktu makan, biji mula-mula masuk dalam lambung tetapi setelah lambung penuh, tembolok yang pada burung merupakan kantung dari esophagus membuka dan terisi dengan biji. Kemudian kontraksi tembolok menyalurkan biji ke dalam lambung.

Bagian depan lambung burung berkelenjar dan menghasilkan protase dalam medium asam. Bagian bawah lambung mengalami perubahan sebagai rampela dengan dinding otot yang tebal. Permukaan dalam bersifat seperti keratin yang mempunyai relung-relung. Butir mineral yang tertelan terdapat diantara relung-relung tersebut dan membantu dalam menggiling makanan.

Berbeda dengan burung hantu adalah pemangsa pemakan tikus dan rodentia kecil lainnya yang ditelan secara utuh. Mangsa ditangkap dan dimatikan dengan cakar dan paruh pendek bengkok yang kuat. Tidak terdapat tembolok, dan bagian lambung yang berkelenjar berkembang baik. Empela mengecil menjadi katup untuk mencegah rambut dan tulang masuk ke dalam usus. Usus burung hantu lebih pendek dari pada usus burung Finch.



Gambar 2.6 Sistem Pencernaan Aves

2.2.5 Sistem Pencernaan Pada Hewan Ruminansia

Pakan adalah salah satu faktor yang berpengaruh pada produktifitas ternak dan kemampuan produksinya. Prosentasenya cukup besar, hampir 60% produktifitas ternak tergantung dari kualitas dan kuantitas pakan yang diberikan, 30 % karena faktor genetik dan 10 % adalah faktor teknik pemeliharaan, kesehatan dan iklim.

Pencernaan adalah rangkaian proses perubahan fisik dan kimia dari pakan, selama berada di dalam alat pencernaan. Proses pencernaan makanan pada ternak ruminansia relatif lebih kompleks, dibandingkan proses pencernaan pada jenis ternak lainnya.

Proses pencernaan pakan pada ternak ruminansia terdiri dari

1. Pencernaan Mekanis, dilakukan di dalam mulut.
2. Pencernaan Fermentatif, dilakukan oleh mikroba daalam rumen.
3. Pencernaan Hidrolisis, dilakukan oleh enzim-enzim pencernaan

Dalam studi fisiologi ternak ruminansia, rumen dan retikulum sering dipandang sebagai organ tunggal dengan sebutan retikulo-rumen. Omasum disebut sebagai perut buku karena tersusun dari lipatan sebanyak sekitar 100 lembar. Fungsi omasum belum terungkap dengan jelas, tetapi pada organ tersebut terjadi penyerapan air, amonia, asam lemak terbang dan elektrolit. Pada organ ini dilaporkan juga menghasilkan amonia dan mungkin asam lemak terbang (Frances dan Siddon, 1993). Termasuk organ pencernaan bagian belakang lambung adalah sekum, kolon dan rektum. Pada pencernaan bagian belakang tersebut juga terjadi aktivitas fermentasi. Namun belum banyak informasi yang terungkap tentang peranan fermentasi pada organ tersebut, yang terletak setelah organ penyerapan utama. Proses pencernaan pada ternak ruminansia dapat terjadi secara mekanis di mulut, fermentatif oleh mikroba rumen dan secara hidrolis oleh enzim-enzim pencernaan.

Pada sistem pencernaan ternak ruminasia terdapat suatu proses yang disebut memamah biak (ruminasi). Rumput yang dimakan ditahan untuk sementara di dalam rumen. Pada saat hewan beristirahat, pakan yang telah berada dalam rumen dikembalikan ke mulut (proses regurgitasi), untuk dikunyah kembali (proses remastikasi), kemudian pakan ditelan kembali (proses redeglutasi). Selanjutnya pakan tersebut dicerna lagi oleh enzim-enzim mikroba rumen. Kontraksi retikulorumen yang terkoordinasi dalam rangkaian proses tersebut bermanfaat pula untuk pengadukan digesta, inokulasi dan penyerapan nutrisi. Selain itu kontraksi retikulorumen juga bermanfaat untuk pergerakan digesta meninggalkan retikulorumen melalui retikulo-omasal orifice (Tilman et al. 1982).

Di dalam rumen terdapat populasi mikroba yang cukup banyak jumlahnya. Mikroba rumen dapat dibagi dalam tiga grup utama yaitu bakteri, protozoa dan fungi (Czerkawski, 1986). Kehadiran fungi di dalam rumen diakui sangat bermanfaat bagi pencernaan pakan serat, karena dia membentuk koloni pada jaringan selulosa pakan. Rizoid fungi tumbuh jauh menembus dinding sel tanaman sehingga pakan lebih terbuka untuk dicerna oleh enzim bakteri rumen.

Bakteri rumen dapat diklasifikasikan berdasarkan substrat utama yang digunakan, karena sulit mengklasifikasikan berdasarkan morfologinya. Kebalikannya protozoa diklasifikasikan berdasarkan morfologinya sebab mudah dilihat berdasarkan penyebaran silianya. Beberapa jenis bakteri yang dilaporkan oleh Hungate (1966) adalah : (a) bakteri pencerna selulosa (*Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus flavifaciens*, *Ruminococcus albus*, *Patibacterium* (*Bacteroides ammylophilus*, *Streptococcus bovis*, *Succinimonas amylolytica*), (d) bakteri pencerna gula (*Triponema bryantii*, *Lactobacillus ruminus*), (e) bakteri pencerna protein (*Clostridium sporogenes*, *Bacillus licheniformis*).

Protozoa rumen diklasifikasikan menurut morfologinya yaitu: Holotrichs yang mempunyai silia hampir diseluruh tubuhnya dan mencerna karbohidrat yang fermentabel, sedangkan Oligotrichs yang mempunyai silia sekitar mulut umumnya merombak karbohidrat yang lebih sulit dicerna (Arora, 1989).

Rumen merupakan bagian sistem pencernaan pada ternak ruminansia. Pada rumen terjadi pencernaan secara fermentatif dan pencernaan secara hidrolitik. Pencernaan fermentatif memerlukan bantuan mikroba dalam mencerna pakan terutama pakan dengan kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi. Sedangkan pencernaan hidrolitik (*Butyrifibrio fibrisolvens*), (b) bakteri pencerna hemiselulosa (*Butyrivibrio fibrisolvens*, *Bakteroides ruminicola*, *Ruminococcus* sp), (c) bakteri pencerna memerlukan bantuan enzim dari sistem pencernaan hewan itu sendiri dalam mencerna pakan.

Lambung pada ternak ruminansia dapat dibagi menjadi empat bagian yaitu :

a) Retikulum

Retikulum sering disebut sebagai perut jala atau hardware stomach. Retikulum berbatasan langsung dengan rumen, akan tetapi diantara keduanya tidak ada dinding penyekat. Pembatas diantara retikulum dan rumen yaitu hanya berupa lipatan, sehingga partikel pakan menjadi tercampur.

b) Rumen

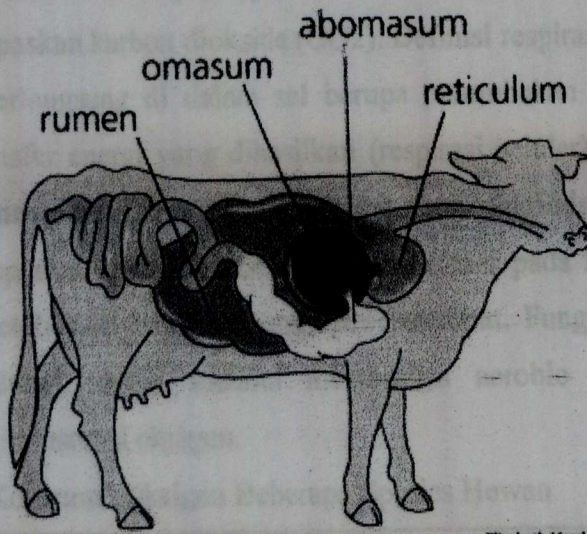
Rumen pada sapi dewasa merupakan bagian yang mempunyai proporsi yang tinggi dibandingkan dengan proporsi bagian lainnya. Rumen terletak di rongga abdominal bagian kiri. Rumen sering disebut juga dengan perut beludru. Hal tersebut dikarenakan pada permukaan rumen terdapat papilla. Pada retikulum dan rumen terjadi pencernaan secara fermentatif, karena pada bagian tersebut terdapat mikroba dengan jumlah bermilyar-milyar.

c) Omasum

Omasum sering juga disebut dengan perut buku, karena permukaannya berbuku-buku. Derajat Keasaman (pH) omasum berkisar antara 5,2 sampai 6,5. Antara omasum dan abomasum terdapat lubang yang disebut omaso abomasal orifice. Fungsi omaso abomasal orifice adalah untuk mencegah digesta yang ada di abomasum kembali ke omasum.

d) Abomasum

Abomasum sering juga disebut dengan perut sejati. Derajat keasaman (pH) pada abomasum asam yaitu berkisar antara 2 sampai 4,1. Permukaan abomasums dilapisi oleh mukosa yang berfungsi untuk melindungi dinding sel agar tidak tercerna oleh enzim yang dihasilkan oleh abomasum (Priyono, 2009).



Elizabeth Morales

Gambar 2.7 Sistem Pencernaan Ruminansia

Spesies	Kandungan
<i>Paramecium</i>	0,50
<i>Amoeba</i>	0,50
<i>Ascaris (Coelenterata)</i>	0,50
<i>Ascaris (cacing Gilang)</i>	0,50
<i>Octopus (Mollusca)</i>	0,50
<i>Artemia (Annelida)</i>	0,50
<i>Uca (Crustacea, udang)</i>	0,50
<i>Limulus (Crustacea, Lobster)</i>	0,50
<i>Calliphora (Insecta, lalat)</i>	1,70
<i>Panureia (Insecta, capung)</i>	0,50
<i>Asterias (Tychodermata, Bintang Laut)</i>	0,03
<i>Jelly Fish</i>	0,07
<i>Salmon</i>	0,22
<i>Fish</i>	0,95
<i>Kayu</i>	0,44
<i>Mamalia</i>	0,20

Swisher, J. Griffin and Novick, 1970

Di dalam udara terdapat 20,95 % oksigen, 0,03 % karbondioksida, 78,09% nitrogen dan sisanya berupa gas noble (argon, krypton dan neon). Masing-masing komposisi udara tersebut memiliki tekanan parsial yang sangat konstan akan memberikan nilai tekanan atmosfer total. Tekanan parsial didefinisikan sebagai

BAB III

SISTEM RESPIRASI HEWAN

3.1 Pendahuluan

Respirasi merupakan proses pertukaran gas antara organisme dengan lingkungan. Respirasi mencakup pengambilan oksigen (O_2), mengedarkannya ke sel-sel, dan melepaskan karbon dioksida (CO_2). Definisi respirasi meliputi proses biokimia yang berlangsung di dalam sel berupa perombakan molekul-molekul makanan dan transfer energi yang dihasilkan (respirasi seluler). Proses respirasi sangat erat kaitannya dengan laju metabolisme yang didefinisikan sebagai unit energy yang dilepaskan per unit waktu. Laju respirasi pada hewan tergantung pada aktivitas metabolisme total dari organisme tersebut. Fungsi utama respirasi adalah memproduksi energy melalui metabolisme aerobik dan hal tersebut berkaitan dengan konsumsi oksigen.

Tabel 3.1 Konsumsi Oksigen Beberapa Spesies Hewan

Spesies	Konsumsi Oksigen (mm O_2 /gram bb/jam)
<i>Paramecium</i>	1,00
<i>Amoeba</i>	0,20
<i>Aurelia (Coelenterata)</i>	0,0034
<i>Ascaris (cacing Giling)</i>	0,50
<i>Octopus (Molusca)</i>	0,90
<i>Arenicola (Annelida)</i>	0,30
<i>Uca (Crustacea, Udang)</i>	0,05
<i>Homarus (Crustacea, Lobster)</i>	0,50
<i>Calliphora (Insecta, Blowfly)</i>	1,70
<i>Vanessa (Insecta, kupu-kupu)</i>	0,60
<i>Asterias (Echinodermata, Bintang Laut)</i>	0,03
<i>Ikan Mas</i>	0,07
<i>Salmon</i>	0,22
<i>Tikus</i>	0,95
<i>Kucing</i>	0,44
<i>Manusia</i>	0,20

Sumber: (Griffin and Novick, 1970)

Di udara terdapat 20,95 % oksigen, 0,03 % karbondioksida, 78,09% nitrogen dan sisanya berupa gas noble (argon, krypton dan neon). Masing-masing komponen udara tersebut memiliki tekanan parsial yang secara kumulatif akan memberikan nilai tekanan atmosfer total. Tekanan parsial didefinisikan sebagai

persentasi komposisi suatu gas dikalikan dengan tekanan atmosfer total. Misalnya tekanan parsial oksigen yang berada di udara terkandung sebanyak 20,95% tepat dipermukaan laut (0 m dpl) adalah $(20,95/100) \times 101 \text{ kPa}$ atau $(20,95/100) \times 760 \text{ mmHg}$. Nilai tekanan total atmosfer 0 m di atas permukaan laut sebesar 101 kPa atau 760 mmHg.

Tekanan gas yang ideal hanya ada di udara yang kering, namun di alam udara banyak mengandung uap air yang juga akan berkontribusi terhadap tekanan parsial (tekanan parsial air). Tekanan parsial air akan meningkat sejalan dengan suhu. Pada suhu 0°C tekanan parsial air sebesar 0,6 kPa dan akan meningkat menjadi 101 kPa pada suhu 100°C .

Pada semua organisme eukariotik yang dibutuhkan dalam respirasi bukan perbandingan gas di udara, tetapi jumlah atau kuantitas gas yang dikirim ke sel dan jaringan tubuh.

3.2 Sistem Respirasi pada Hewan Vertebrata

3.2.1 Sistem Respirasi pada Ikan

Insang pada hewan vertebrata juga terdapat pada hewan akuatis dengan dua tipe yaitu; insang eksternal yang berfilamen dan insang internal yang berlamela. Insang Internal merupakan tipe yang umum ditemukan. Kebanyakan hewan vertebrata hanya memiliki insang eksternal selama tahap awal perkembangan (misalnya pada juvenile ikan dan katak). Insang terdiri atas beberapa lengkung insang (gill arch) dari pelebaran dua filament insang. Pertukaran gas terjadi di lamella insang. Arah aliran air berlawanan dengan arah aliran darah pada kapiler insang (countercurrent) yang memaksimalkan proses pengambilan oksigen ke dalam darah. Pergerakan air melalui insang terjadi melalui mekanisme pemompaan mulut dan rongga opercular. Mekanisme spesifiknya yang disebut dengan pompa buccal-operkular sebagai berikut:

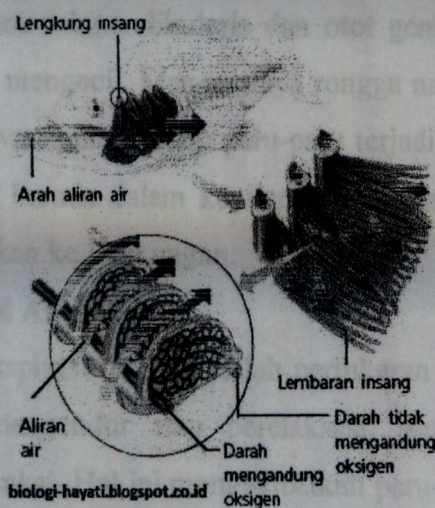
- a. Air yang kaya oksigen dimasukkan ke dalam mulut karena terjadi pelebaran rongga bucco-pharyngeal ketika rongga opercular di insang tertutup.
- b. Air di dorong memasuki celah insang oleh kontraksi dinding bucco-pharyngeal ketika rongga operkular melebar. Saat melewati insang, terjadi difusi oksigen ke dalam kapiler darah di insang.
- c. Katup mulut yang menutup mencegah keluarnya air kembali melalui

tipis, saat mulut saat rongga opekular berkontraksi sehingga air akan keluar melalui bukaan opercular di insang.

d. Rongga bucco-pharyngeal kembali melebar sehingga air juga memasuki rongga mulut dan terjadi proses yang berulang.

Kebanyakan ikan yang berenang cepet seperti ikan tuna dan ikan hiu, saat berenang mulutnya selalu membuka sehingga terjadi pergerakan air yang memasuki mulut dan menuju insang yang disebut dengan *ventilasi penubruk (ram ventilation)*.

Ukuran insang juga berhubungan dengan aktivitas hewan, dimana pada ikan perenang cepet seperti mackerel memiliki luas insang 10 kali daripada insang ikan dasar perairan dan berenang lamban.



Gambar 3.1 Proses Respirasi pada Ikan

3.2.2 Sistem Respirasi pada Amphibi

Katak muda (berudu) menggunakan insang untuk mengambil O_2 yang terlarut dalam air. Setelah berumur lebih kurang 12 hari, insang luar diganti dengan insang dalam. Setelah dewasa, katak bernapas menggunakan selaput rongga mulut, paru-paru dan kulit. Selaput rongga mulut dapat berfungsi sebagai alat pernapasan karena tipis dan banyak terdapat kapiler yang bermuara di tempat itu pada saat terjadi gerakan rongga mulut dan faring, lubang hidung terbuka dan glottis tertutup sehingga udara berada di rongga mulut dan berdifusi masuk melalui selaput rongga mulut yang tipis.

Pernapasan dengan kulit dilakukan secara difusi. Hal ini karena kulit katak

tipis, selalu lembap dan mengandung banyak kapiler darah. Pernapasan dengan kulit berlangsung secara efektif baik di air maupun di darat. Oksigen (O_2) yang masuk lewat kulit akan diangkut melalui vena kulit paru-paru (vena pulmo kutanea) menuju ke jantung untuk diedarkan ke seluruh tubuh. Sebaliknya karbondioksida (CO_2) dari jaringan akan dibawa ke jantung, dari jantung dipompa ke kulit dan paru-paru melalui arteri kulit paru-paru (arteri pulmo kutanea). Dengan demikian, pertukaran oksigen dan karbondioksida terjadi di kulit.

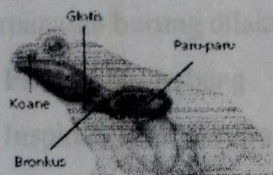
Mekanisme Respirasi Inspirasi dan Ekspirasi

1. Fase Inspirasi Amphibi

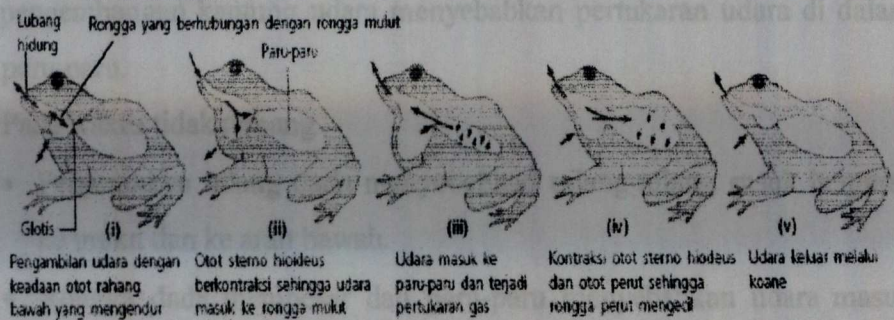
Fase ini terjadi bila otot sternohioideus berkontraksi sehingga rongga mulut membesar, akibatnya oksigen masuk melalui koane (celah hidung). Setelah itu, koane menutup, otot submandibularis dan otot geniohioideus berkontraksi, sehingga rongga mulut mengecil. Mengecilnya rongga mulut mendorong oksigen masuk ke paru-paru lewat celah. Dalam paru-paru terjadi pertukaran gas, oksigen diikat oleh darah yang berada dalam kapiler dinding paru-paru, dan sebaliknya karbondioksida dilepaskan ke lingkungan.

2. Fase Ekspirasi Amphibi

Mekanisme ekspirasi terjadi setelah pertukaran gas di dalam paru-paru, otot rahang bawah mengendur atau berelaksasi, sementara otot perut dan sternohioideus berkontraksi. Hal ini mengakibatkan paru-paru mengecil, sehingga udara tertekan keluar dan masuk ke dalam rongga mulut. Selanjutnya koane membuka, sedangkan celah tekak menutup, sehingga terjadi kontraksi otot rahang bawah yang diikuti berkontraksinya otot geniohioideus. Akibatnya, rongga mulut mengecil dan udara yang kaya karbon dioksida terdorong keluar melalui koane.



Pada katak, proses respirasi dilakukan dengan menggunakan paru-paru.



Gambar 3.2 Mekanisme Respirasi pada Amphibi

3.2.3 Sistem Respirasi pada Aves

Burung adalah hewan berdarah panas, sama seperti mamalia, sehingga suhu pada tubuh burung bersifat stabil. Karena burung memiliki reseptor pada bagian otak yang dapat mengatur suhu tubuh, sehingga burung dapat melakukan aktivitas pada suhu lingkungan yang berbeda.

Burung menggunakan paru-paru dan pundi hawa (pundi-pundi udara) sebagai alat pernafasnya. Burung memiliki dua lubang hidung, yaitu:

1. Lubang hidung luar terletak pada pangkal paruh bagian atas
2. Lubang hidung dalam terletak pada langit-langit rongga mulut

Alat pernafasan pada burung adalah sepasang paru-paru yang berukuran kecil. Burung juga dilengkapi kantung hawa yang merupakan tempat persediaan udara yang masuk ke paru-paru, yang akan digunakan secara terus menerus pada saat burung terbang tinggi. Beberapa saluran dari kantung udara berhubungan dengan paru-paru dan rongga tubuh. Lubang hidung (nares)-celah tekak-trakea-siring-bifurkasi trakea-bronkus dan bronkiolus-alveolus.

Mekanisme Respirasi pada Aves

1. Pertukaran gas terjadi di dalam paru-paru tepatnya pada prabronkus banyak mengandung pembuluh darah.
2. Paru-paru berhubungan dengan sakus pneumatikus melalui perantara bronkus rekuren yang berfungsi sebagai alat bantu pernapasan pada saat terbang.

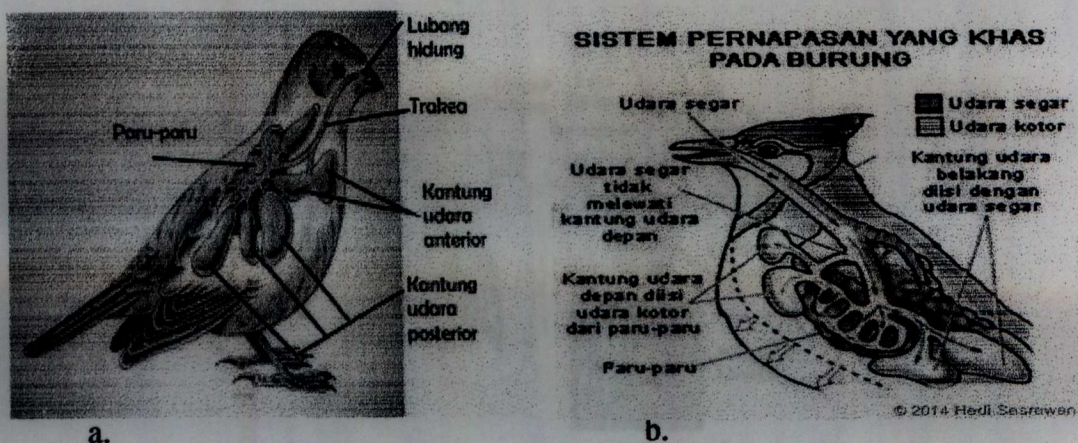
Pernapasan burung dilakukan dengan dua cara yaitu:

1. Pada waktu terbang

Inspirasi dan ekspirasi dilakukan oleh kantung udara, penekanan dan pengembangan kantung udara menyebabkan pertukaran udara di dalam paru-paru.

2. Pada waktu tidak terbang

- Pergerakan tulang dada menyebabkan tulang-tulang rusuk bergerak ke muka dan ke arah bawah.
- Rongga dada membesar dan paru-paru menyebabkan udara masuk. Mengecilnya rongga dada menyebabkan paru-paru mengempis sehingga udara dari kantung udara kembali ke paru-paru.



Gambar 3.3 a. Organ Respirasi Pada Aves; b. Sistem Respirasi Pada Aves

3.2.4 Sistem Respirasi pada Reptil

Alat pernapasan pada reptile adalah paru-paru. Reptile memiliki alat pernapasan yang lebih lengkap atau lebih maju dari ikan dan amphibi. Tahap respirasi; udara dari luar masuk ke dalam paru-paru melalui nares-larink-trakea-bronkus-bronkiolus-alveolus.

Mekanisme Respirasi

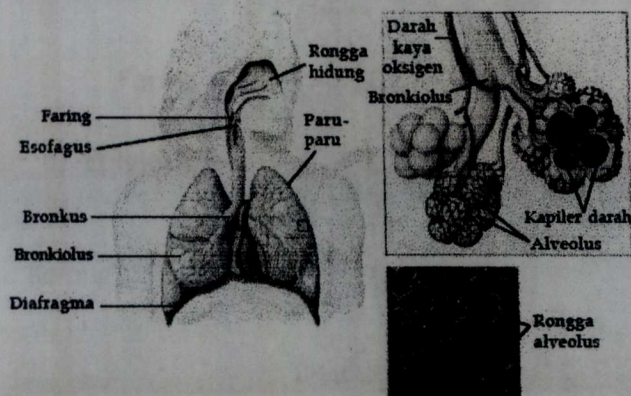
1. Kembang kempisnya mulut menyebabkan pengosongan udara dan pengisian udara dalam paru-paru menjadi sangat efisien.
2. Pertukaran oksigen dan karbondioksida terjadi di alveolus

3. Pemasukan dan pengeluaran udara oleh paru-paru dibantu gerakan otot dan tulang rusuknya.

3.2.5 Sistem Respirasi pada Manusia

Manusia bernapas secara tidak langsung. Artinya, udara untuk pernapasan tidak berdifusi secara langsung melalui permukaan kulit. Difusi udara untuk pernapasan pada manusia terjadi di bagian dalam tubuh, yaitu alveolus. Pada pernapasan secara tidak langsung, udara masuk ke dalam tubuh manusia dengan perantara alat-alat pernapasan.

Alat Pernapasan pada manusia terdiri dari rongga hidung, faring (tekak), laring, trakea, bronchus, dan pulmo.



Sumber: Biology Concepts & Connections, 2006

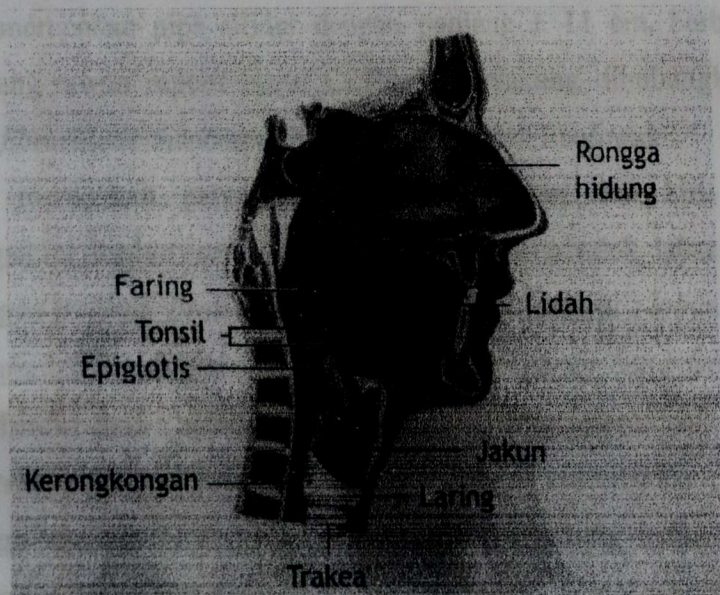
Gambar 3.5 Alat Pernapasan Pada Manusia

1. **Rongga Hidung;** hidung berfungsi sebagai alat pernapasan dan indra pembau. Hidung terdiri atas lubang hidung, rongga hidung, dan ujung rongga hidung. Rongga hidung memiliki rambut, banyak kapiler darah, dan selalu lembap dengan adanya lendir yang dihasilkan oleh selaput mukosa.

Di dalam rongga hidung, udara disaring oleh rambut-rambut kecil (silia) dan selaput lendir yang berguna untuk menyaring debu, melekatkan kotoran pada rambut hidung, mengatur suhu udara pernapasan, maupun menyelidiki adanya bau. Pada pangkal rongga mulut yang berhubungan dengan rongga hidung terdapat suatu katup yang disebut katup anak tekak. Saat menelan makanan katup ini akan terbuka dan tertutupnya rongga hidung sehingga makanan tidak dapat masuk ke dalam rongga hidung.

Rongga hidung merupakan jalan masuk oksigen untuk pernapasan, dan jalan keluar karbon dioksida serta uap air sisa pernapasan. Di dalam rongga hidung terjadi penyaringan udara dari debu yang masuk bersama udara. Udara yang masuk ke dalam rongga hidung mengalami proses penghangatan agar sesuai dengan suhu tubuh kita.

2. **Faring**; berbentuk seperti tabung corong yang terletak di belakang rongga hidung dan mulut. Faring berfungsi sebagai jalan bagi udara dan makanan, serta sebagai ruang getar untuk menghasilkan suara.



Gambar 3.6 Saluran Respirasi Bagian Atas

3. **Laring**; terdapat diantara faring dan trakea. Dinding laring tersusun dari Sembilan buah tulang rawan. Salah satu tulang rawan tersusun dari dua lempeng kartilago hialin yang menyatu dan membentuk segitiga. Bagian ini disebut jakun. Di dalam laring terdapat epiglottis dan pita suara. Epiglottis merupakan kartilago elastis yang terbentuk seperti daun. Pada saat menelan makanan, epiglottis menutup sehingga makanan tidak masuk ke tenggorokan tetapi menuju kerongkongan. Pita suara merupakan selaput lender yang membentuk dua pasang lipatan dan dapat bergetar menghasilkan suara.



Gambar 3.7 Laring dan Pita Manusia

4. Trakhea; merupakan pipa silinder dengan panjang ± 11 cm, berbentuk $\frac{3}{4}$ cincin tulang rawan seperti huruf C. Bagian belakang dihubungkan oleh *membran fibroelastic* menempel pada dinding depan Esofagus.
5. Bronkus; merupakan percabangan *trakhea* kanan dan kiri. Tempat percabangan ini disebut *carina*. *Brochus* kanan lebih pendek, lebar dan lebih dekat dengan *trachea*. *Bronchus* kanan bercabang menjadi : *lobus superior*, *medius*, *inferior*. *Bronchus* kiri terdiri dari : *lobus superior* dan *inferior*
6. Alveoli; Terdiri dari : *membran alveolar* dan ruang *interstisial*. *Membran alveolar* terdiri dari: a) *small alveolar cell* dengan *ekstensi ektoplasmik* ke arah rongga alveoli, b) *large alveolar cell* mengandung *inclusion bodies* yang menghasilkan *surfactant*, c) *anastomosing capillary*, merupakan system *vena* dan *arteri* yang saling berhubungan langsung, ini terdiri dari : *sel endotel*, aliran darah dalam rongga *endotel*. *Interstitial space* merupakan ruangan yang dibentuk oleh : *endotel kapiler*, *epitel alveoli*, saluran *limfe*, jaringan *kolagen* dan sedikit serum.

Udara Pernapasan

Setiap kali gerakan bernapas, $\frac{1}{7}$ kapasitas vital udara mengalir ke dalam dan keluar dari paru-paru. Gerakan demikian sekitar 16-20 kali/menit, total ventilasi sekitar 8-10 liter. Pada orang yang melakukan aktivitas bernapas, frekuensi gerakan bernapas dapat meningkat sampai 50 kali/menit, total ventilasi menjadi sekitar 20 liter.

Selama bernapas, dua rangkai otot antar tulang rusuk berkontaksi dan memasukkan udara ke dalam paru-paru, jika otot relaksasi udara dikeluarkan dari paru-paru. Volume udara yang diambil disebut inhalasi, dan volume udara 500 cc

(*volume tidal*) atau 10% dan volume udara total dalam trakea dan paru-paru (5 liter atau 5000 cc). Inhalasi dan ekshalasi maksimal sebanyak 4 liter atau 4000 cc udara (kapasitas vital) atau 80% volume udara total dalam trakea dan paru-paru. Diafragma merupakan sekat yang memisahkan rongga dada dan rongga perut, membantu fungsi pernapasan.

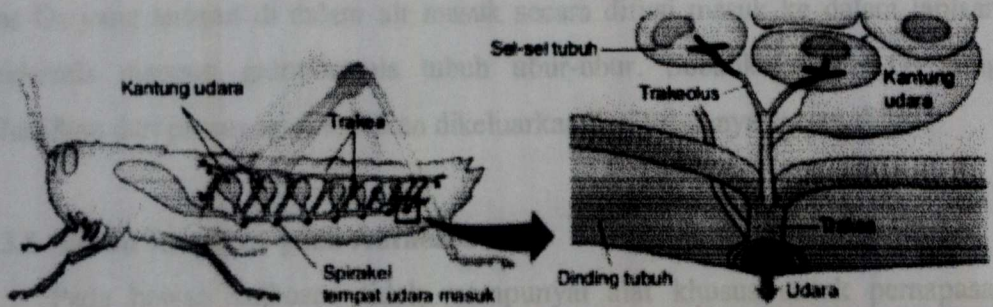
3.3 Sistem Respirasi Invertebrata

3.3.1 Sistem Repirasi pada porifera

Tubuh hewan filum Porifera tersusun atas banyak sel dan memiliki jaringan yang sangat sederhana. Hewan ini banyak ditemukan di pantai atau di laut porifera tidak memiliki alat pernapasan khusus. Udara pernapasan berlangsung di sel-sel permukaan tubuh atau sel-sel leher yang bersentuhan dengan air. Oksigen yang diambil oleh porifera berasal dari oksigen yang terlarut di dalam air. Hewan filum Cnidaria yang meliputi golongan hewan karang, ubur-ubur, hydra, dan anemone laut, tubuhnya tersusun atas banyak sel dan memiliki jaringan. Cnidaria tidak memiliki alat pernapasan yang lengkap atau khusus. Sel-sel di bagian permukaan tubuhnya dapat melakukan pertukaran gas dengan lingkungannya.

3.3.2 Sistem Pernafasan pada Belalang

Belalang bernafas menggunakan trakea yang mana didalamnya terdapat spirakel (pembuluh trakea) dan trakeolus, Spirakel atau stigma merupakan jalan keluar masuknya udara dari dan ke dalam sistem trakea, terdapat di kerangka luar (eksoskeleton), berbentuk pembuluh silindris yang berlapis zat kitin, terletak berpasangan pada setiap segmen tubuh, dan merupakan tempat bermuaranya pembuluh trakea. Pada umumnya spirakel terbuka selama serangga terbang, dan tertutup saat serangga beristirahat. Udara masuk melalui empat pasang spirakel depan dan keluar melalui enam pasang spirakel belakang. Oksigen dari luar masuk lewat spirakel, kemudian menuju pembuluh-pembuluh trakea, selanjutnya pembuluh trakea bercabang lagi menjadi cabang halus yang disebut trakeolus. Dengan demikian, oksigen dapat mencapai seluruh jaringan dan alat tubuh bagian dalam.



Gambar 3. Sistem Respirasi pada Belalang

Mekanisme pernapasan pada belalang diatur oleh otot perut (abdomen). Ketika otot perut (abdomen) berelaksasi, volume trakea normal sehingga udara masuk. Sebaliknya, ketika otot abdomen berkontraksi, volume trakea mengecil sehingga udara keluar.

3.3.3 Sistem Respirasi pada Protozoa

Respirasi dengan cara aerob atau anaerob. Pada respirasi aerob terjadi oksidasi dengan O_2 yang masuk dalam tubuh dengan cara difusi dan osmosis melalui seluruh permukaan tubuh, sedang pada anaerob terjadi pembongkaran zat yang kompleks menjadi zat yang sederhana dengan menggunakan enzim tanpa memerlukan oksigen.

3.3.4 Sistem Respirasi pada Coelentrata

Pertukaran gas pada hydra terjadi secara langsung pada permukaan tubuhnya. Hal ini karena hydra tidak mempunyai organ khusus untuk pernapasan, pembuangan hasil ekskresi, dan juga tidak mempunyai darah serta sistem sirkulasi darah. Semua organ-organ itu bagi *hydra* tidak diperlukan, sebab tubuhnya tersusun atas deretan sel-sel yang sebagian besar masih bebas bersentuhan langsung dengan yang ada disekitarnya. Di dalam dinding tubuh *hydra* yang tipis terjadi pertukaran gas oksigen dan karbondioksida maupun zat sampah dari bahan nitrogen tidak menjadi persoalan bagi tubuh *hydra*. Pertukaran zat tersebut berlangsung secara langsung secara difusi dan osmosis melalui membrane dari masing-masing sel.

Pada ubur-ubur tidak mempunyai alat respirasi maupun ekskresi yang khusus. Sistem respirasi terjadi secara langsung melalui seluruh permukaan tubuh. Gas O_2 yang terlarut di dalam air masuk secara difusi masuk ke dalam lapisan epidermis maupun gastrodermis tubuh ubur-ubur. Sebaliknya gas O_2 yang dihasilkan dari proses respirasi akan dikeluarkan dari tubuhnya secara difusi.

3.3.5 Sistem Respirasi pada Anthozoa

Pada hewan anthozoa tidak mempunyai alat khusus untuk pernapasan maupun pembuangan hasil ekskresi. Dalam hal ini pernapasan baik pemasukan oksigen yang terlarut di dalam air laut maupun pengeluaran gas karbondioksida berlangsung secara difusi dan osmosis secara langsung melalui permukaan tubuhnya; baik permukaan epidermis maupun permukaan gastrodermis yang menghadap ke arah liang atau rongga gastrovaskuler. Dalam hal ini, aliran air yang timbul di dalam saluran gastrovaskuler disebabkan oleh gerak sapu dari rambut-rambut getar yang berjajar-jajar di bagian dinding stomodeum maupun dinding gastrovaskular (coelenteron). Gerak rambut getar yang ada pada dinding gastrovaskular menimbulkan aliran air ke luar. Kedua mekanisme ini sangat membantu dalam hal pertukaran gas maupun sisa-sisa metabolisme lainnya.

3.3.6 Sistem Respirasi Pada Platyhelminthes

Cacing pipih belum memiliki alat pernapasan khusus. Pengambilan oksigen bagi anggota yang hidup bebas dilakukan secara difusi melalui permukaan tubuh. Sementara anggota yang hidup sebagai endoparasit bernapas secara anaerob, artinya respirasi berlangsung tanpa oksigen. Hal ini terjadi karena cacing endoparasit hidup di lingkungan yang kekurangan oksigen.

3.3.7 Sistem Respirasi Pada Nematelminthes

Cacing *Ascaris* tidak mempunyai alat respirasi. Respirasi dilakukan secara anaerob. Energi diperoleh dengan cara mengubah glikogen menjadi CO_2 dan asam lemak yang diekskresikan melalui kutikula. Namun sebenarnya *Ascaris* dapat mengkonsumsi oksigen kalau di lingkungannya tersedia. Jika oksigen tersedia, gas itu diambil oleh hemoglobin yang ada di dalam dinding tubuh dan cairan pseudosoel.

3.3.8 Sistem Respirasi Pada Annelida

Cacing tanah bernapas dengan kulitnya, sebab kulitnya bersifat lembab, tipis, banyak mengandung kapiler-kapiler darah.

3.3.9 Sistem Respirasi Pada Mollusca

Sebagian besar Mollusca organ respirasinya adalah insang. Insang diadaptasikan untuk pertukaran gas oksigen dan karbondioksida dalam air melalui permukaan insang yang luas dan berbentuk membran yang tipis. Pada Mollusca, insang disebut juga ktenidium (Yunani : kteis; sebuah sisir). Ktenidia terdiri atas sebuah filamen (= lamela) yang ditutupi silia. Gerakan silia menyebabkan air melintasi permukaan filamen, oksigen berdifusi melintasi membran menuju ke darah, dan karbondioksida berdifusi keluar. Pada beberapa Mollusca seperti remis dan bivalvia lain, silia pada insang juga berperan menyaring partikel makanan, kemudian mengirimnya ke mulut dalam bentuk benang lendir. Setelah insang aliran air biasanya menuju anus dan saluran keluar ginjal sambil membawa bahan yang akan dibuang. Pada beberapa Mollusca, air masuk melalui incurrent siphon dan keluar melalui excurrent siphon. Sebelum mencapai insang aliran air yang masuk dideteksi oleh organ sensorik (osphradium) yang dapat berfungsi mendeteksi endapan lumpur, makanan atau predator.

Beberapa Mollusca yang tidak memiliki insang, maka pertukaran gas respirasi terjadi secara langsung melalui permukaan mantel. Keong memiliki kemampuan adaptasi untuk kehidupan darat yaitu dengan hilangnya insang, maka mantel yang dimilikinya dimodifikasi menjadi sebuah paru-paru untuk pernapasan udara. Beberapa keong (pulmoat) kembali ke habitat air, namun tetap mempertahankan paru-parunya. Untuk itu mereka terlihat sering merambat naik ke permukaan air untuk mengambil udara.

3.3.10 Sistem Respirasi Pada Echinodermata

Organ respirasi pada Asterias adalah insang, atau papula dan kaki tabung. Papula merupakan organ respirasi utama. Mereka adalah sederhana, kontraktil, transparan, hasil pertumbuhan dari dinding tubuh pada permukaan aboral mempunyai ephithelium bersilia pada permukaan sebelah luar dan sebelah dalamnya. Itu merupakan derivat atau perubahan lanjut dari coelom dan sisa

lumennya berhubungan langsung dengan coelom. Pertukaran O₂ dan CO₂ terjadi di antara air laut dan cairan tubuh dari insang-insangnya. Silia pada epithelium mempunyai peranan vital dalam menggerakkan cairan coelom dan dalam menciptakan air untuk pernapasan keluar masuk di dalam air laut. Di samping dindingnya tipis, kaya akan percabangan dan bagian-bagian tubuh lembab, juga bertindak sebagai organ-organ respirasi.

gung di dalam setiap sel makhluk hidup dan untuk itu diperlukan bahan-bahan untuk berlangsungnya proses metabolisme dengan lancar. Sel-sel mendapat suplai makanan atau bahan-bahan dari luar tubuh dan dibarterkan ke setiap sel melalui system sirkulasi. Sistem sirkulasi melakukan fungsi peredaran materi (bahan-bahan yang diperlukan oleh tubuh), hormone, oksigen, dan sisa-sisa metabolisme.

Sistem sirkulasi atau sistem peredaran darah pada umumnya untuk organisme tingkat rendah belum memiliki sistem sirkulasi secara khusus. Misalnya pada Amoeba dan paramoecium, sirkulasi bahan-bahan metabolisme berikut sisa-sisa metabolisme dilakukan dengan aliran sitoplasma. Akan tetapi, proses difusi berlangsung sangat lambat sehingga cara tersebut tidak mungkin dapat memenuhi semua kebutuhan hewan berukuran besar (dengan ketebalan tubuh lebih dari beberapa milimeter) dan atau hewan yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi. Oleh karena itu, pada hewan tingkat tinggi diperlukan sistem sirkulasi khusus yang menjamin adanya pergerakan cairan ke seluruh tubuh secara cepat. Adapun sistem sirkulasi tersebut dilakukan oleh seperangkat organ-organ sirkulasi darah terbuka dan system peredaran tertutup.

4.2 Pengertian Sistem Sirkulasi dan Fungsinya

Setiap organisme melakukan metabolisme, baik organisme uniseluler maupun multiseluler. Metabolisme berlangsung didalam setiap sel makhluk hidup dan untuk itu diperlukan bahan-bahan untuk berlangsungnya proses metabolisme dengan lancar. Sel-sel mendapat suplai makanan atau bahan-bahan dari luar tubuh dan dibarterkan ke setiap sel melalui system sirkulasi. Sistem sirkulasi melakukan fungsi peredaran materi (bahan-bahan yang diperlukan oleh tubuh), hormone, oksigen, dan sisa-sisa metabolisme. Adapun sistem sirkulasi tersebut dilakukan oleh seperangkat organ-organ sirkulasi darah terbuka dan system peredaran tertutup.

4.2.1 Fungsi Sistem Sirkulasi

Sistem sirkulasi memiliki tiga fungsi sebagai berikut:

1. Menjamin terpenuhinya kebutuhan tubuh akan zat makanan dan oksigen, serta pembuangan zat sisa metabolisme dari tubuh dengan cepat.
2. Berperan penting dalam penyebaran panas tubuh.

BAB IV

DARAH DAN SISTEM SIRKULASI DARAH PADA HEWAN

4.1 Pendahuluan

Setiap organisme melakukan metabolisme, baik organisme uniseluler maupun multiseluler. Metabolisme berlangsung di dalam setiap sel makhluk hidup dan untuk itu diperlukan bahan-bahan untuk berlangsungnya proses metabolisme dengan lancar. Sel-sel mendapat suplai makanan atau bahan-bahan dari luar tubuh dan diantarkan ke setiap sel melalui sistem sirkulasi. Sistem sirkulasi melakukan fungsi peredaran materi (bahan-bahan yang diperlukan oleh tubuh), hormone, oksigen, dan sisa-sisa metabolisme.

Sistem sirkulasi atau sistem peredaran darah pada umumnya untuk organisasi tingkat rendah belum memiliki sistem sirkulasi secara khusus. Misalnya pada Amoeba dan paramecium, sirkulasi bahan-bahan metabolisme berikut sisa-sisa metabolisme dilakukan dengan aliran sitoplasma. Akan tetapi, proses difusi berlangsung sangat lambat sehingga cara tersebut tidak mungkin dapat memenuhi semua kebutuhan hewan berukuran besar (dengan ketebalan tubuh lebih dari beberapa milimeter) dan atau hewan yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi. Oleh karena itu, pada hewan tingkat tinggi diperlukan sistem sirkulasi khusus yang menjamin adanya pergerakan cairan ke seluruh tubuh secara cepat. Adapun sistem sirkulasi tersebut dilakukan oleh seperangkat organ-organ sirkulasi darah terbuka dan sistem peredaran tertutup.

4.2 Pengertian Sistem Sirkulasi dan Fungsinya

Setiap organisme melakukan metabolisme, baik organisme uniseluler maupun multiseluler. Metabolisme berlangsung didalam setiap sel makhluk hidup dan untuk itu diperlukan bahan-bahan untuk berlangsungnya proses metabolisme dengan lancar. Sel-sel mendapat suplai makanan atau bahan-bahan dari luar tubuh dan diantarkan ke setiap sel melalui sistem sirkulasi. Secara garis besar, sistem sirkulasi memiliki tiga fungsi sebagai berikut: 1. Menjamin terpenuhinya kebutuhan tubuh akan sari makanan dan oksigen, serta pembuangan zat sisa metabolisme dari tubuh dengan segera. 2. Berperan penting dalam penyebaran panas tubuh

3. Menyebarkan tekanan atau kekuatan Sistem sirkulasi pada hewan bervariasi tergantung pada tingkat perkembangan tubuh hewan.

Protozoa Bersilia yang hidup sesil mampu menyelenggarakan sirkulasi cairan tubuh menggunakan kholanosit, sedangkan Coelentrata dengan cara mengalirkan air melalui saluran khusus pada sistem gastrovaskular yang bersilia. Pada molusca sangat tergantung pada arah gerakan silia yang dapat mengalirkan air (yang mengandung makanan) melalui rongga mantel. Di rongga mantel, partikel makanan dikumpulkan dan ditelan. Sistem ini juga berfungsi untuk menyediakan oksigen bagi insang. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem sirkulasi berfungsi untuk mengangkut gas dan makanan.

4.3 Komponen Sistem Sirkulasi

Sistem sirkulasi tersusun atas tiga komponen utama yaitu jantung, pembuluh, dan cairan tubuh.

1) **Jantung:** sebagai pompa penggerak cairan tubuh di sepanjang pembuluh.

a. **Jantung Tubuler:** Terdapat pada hewan invertebrata, bentuk sederhana tidak ada klep, dan bekerja secara kontraksi peristaltik.

b. **Jantung Berongga:** Terdapat pada hewan vertebrata, mernya memompa jantung, merupakan organ berotot, gerak, dan kontraksinya secara periodik.

2) **Pembuluh:** saluran yang akan dilewati oleh cairan yang beredar ke seluruh tubuh

a. **Pembuluh Darah** terdiri atas Arteri, Vena dan Kapiler. Arteri dan Vena tersusun atas tiga lapisan jaringan melingkar dan membentuk saluran / lumen di bagian tengahnya. Nama lapisannya yaitu tunika intima (Endotelium), tunika media, dan tunika adventitia, sedangkan kapiler hanya tersusun atas tunika intima saja.

b. **Pembuluh Limfe** 1) **Kondisi Pembuluh Limfe Pada Berbagai Hewan.** Pada hewan vertebrata tingkat tinggi mempunyai saluran buntu dengan ujung terbuka yang berfungsi mengangkut kelebihan cairan di ekstrasel ke sirkulasi darah; 2) Pada hewan invertebrata tidak ditemukan adanya pembuluh limfe kecuali pada teleoste; 3) Pada hewan tingkat rendah

ditemukan berbagai bentuk peralihan yang menunjukkan adanya perkembangan system pembuluh limfe.

3) Cairan Tubuh. Pada hewan multiseluler ada dua cairan tubuh yaitu cairan intrasel dan cairan ekstrasel. Kira-kira 70% dari seluruh bagian tubuh hewan berupa air, sekitar 45% diantaranya terdapat didalam sel (intra sel). Pada cairan ekstrasel dapat ditemukan di berbagai tempat dengan sebutan yang berbeda yaitu cairan jaringan, darah, limfe, dan homolimfe. Cairan jaringan mengandung sedikit protein, sejumlah garam dan bahan nutritive serta zat sisa. Cairan jaringan berfungsi sebagai fagositik dan mampu bergerak melalui ruang antar jaringan. Pada hewan yang memiliki system sirkulasi tertutup darah dan jaringan cairan merupakan dua macam cairan yang terpisah dengan jelas. Darah tersusun atas cairan plasma dan sel darah.

Sementara cairan jaringan cairan (cairan intersititiel) yang dibentuk dengan menyaring plasma yang akan kemudian berdifusi melalui dinding kapiler menuju ruang antar sel, menurut gradien tekanan hidrostatik. Filtrat tersebut bukan koloid karna hanya mengandung protein 0,85% (sebagai pembanding darah manusia mengandung 7% protein), filtrat/cairan yang keluar tersebut akan dikembalikan lagi ke system sirkulasi melauai system pembuluh khusus yaitu limfe.

Pada vertebrata tingkat tinggi ,pembuluh limfe dimulai sebagai saluran buntu dengan ujung terbuka. Pembuluh limfe berfungsi mengangkut kelebihan cairan yang tertimbun dilingkungan ekstra sel dan mengembalikan ke sirkulasi darah.

Pada ikan (selain telostei) dan invertebrate tidak ditemukan adanya pembuluh limfe. Pada berbagai hewan yang memiliki tingkat perkembangan yang lebih rendah dapat ditemukan berbagai bentuk peralihan (intermediet) yang menunjukkan adanya perkembangan sistem pembuluh limfe.

Cairan dalam pembuluh limfe sebenarnya berasal dari cairan jaringan yang masuk kedalam pembuluh dengan cara difusi melalui dinding pembuluh atau mengalir langsung ke dalam pembuluh melalui lubang yang terbuka

pada ujungnya. Pada saat tertentu, cairan limfe akan menjadi cairan jaringan dan sebaliknya. Cairan hemolimfe merupakan pembatasan antara cairan darah dan cairan limfe (cairan jaringan) karena cairan yang mengalir dalam pembuluh dan di ruang antarsel merupakan cairan yang sama.

Cairan ekstrasel pada semua hewan mengandung sel jenis tertentu yang mengapung bebas dan mengembara melalui ruang-ruang antar jaringan. Secara fungsional, sel tersebut berkaitan erat dengan transpor gas dan pertahanan tubuh hewan dalam melawan mikroorganisme serta berbagai zat asing yang masuk ke dalam tubuh. Pada hewan tertentu, sel tersebut juga berperan penting dalam proses pembekuan darah.

Adapun fungsi darah, sebagai berikut:

- a. Mensuplai zat-zat makanan dari saluran pencernaan ke jaringan-jaringan
- b. Mensuplai oksigen dari paru-paru ke jaringan-jaringan
- c. Membawa dan membuang zat-zat yang tidak berguna dari jaringan ke organ ekskresi
- d. Mendistribusikan sekresi kelenjar endokrin dan zat lain yang mengatur fungsi sel
- e. Membantu menyelenggarakan keseimbangan komposisi air dalam berbagai organ tubuh

Susunan Cairan Darah

- a. Sel Darah : Terdiri atas Eritrosit, Leukosit, dan Trombosit
- b. Plasma Darah : Mengandung sekitar 90% air dan berbagai zat terlarut. Zat tersebut mencakup beberapa jenis bahan diantaranya :
 - 1) Protein Plasma, yaitu Albumin, Globulin dan fibrinogen
 - 2) Sari makanan, yaitu Glukosa, monosakarida, asam amino dan lipid
 - 3) Bahan untuk dibuang dari tubuh, antara lain : Urea dan senyawa nitrogen
 - 4) Berbagai ion, misalnya natrium, kalium, klor, posfor, kalsium, sulfat dan senyawa bikarbonat.

- 5) Bahan lain yang biasanya terdapat dalam darah, misalnya hormon, gas respiratori, vitamin dan enzim

Volume plasma pada hewan yang memiliki system sirkulasi tertutup tergantung pada keseimbangan antara laju filtrasi cairan / plasma dari kapiler menuju ruang jaringan dan laju reabsorpsi filtrate tersebut. Ada dua macam kekuatan yang bekerja dalam proses pertukaran cairan tersebut, yaitu tekanan darah (tekanan hidrostatis) dan tekanan osmotik koloid. Tekanan hidrostatis yang ditimbulkan oleh darah mengendalikan kekuatan untuk filtrasi, sedangkan tekanan osmotik plasma bekerja untuk reabsorpsi (yang arahnya berlawanan dengan filtrasi).

Jadi protein dalam plasma merupakan bahan yang penting untuk menentukan besarnya tekanan osmotik dalam plasma. Kekuatan osmotik juga penting untuk menjaga keseimbangan cairan tubuh pada hewan invertebrata yang mempunyai sistem sirkulasi terbuka. Protein plasma pada hewan vertebrata tingkat tinggi dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu : fibrinogen, globulin dan albumin. Fibrinogen bertanggung jawab dalam berbagai fungsi, terutama yang berkaitan dengan reaksi kekebalan (imun) dan transformasi molekul tertentu seperti hormone, vitamin dan zat besi. Sementara albumin bertanggung jawab mempertahankan volume plasma. Semua hewan mempunyai mekanisme pertahanan tubuh.

Pertahanan tubuh dapat terjadi dengan berbagai mekanisme, antara lain : mengaktifkan atau mengeluarkan berbagai sel asing dari tubuh, menghancurkan mikroorganisme patogen beserta hasil sekresinya dan menyingkirkan sel abnormal atau sel bermutasi (contohnya sel kanker) yang muncul. Mekanisme pertahanan tubuh juga dapat terjadi dengan cara fagositosis (paling primitive), enkapsulasi (pembentukan selubung), mengasilkan antibody atau sensitisasi limfosit. Faktor humoral (aglutinin) dalam cairan tubuh juga dapat mengaktifkan benda asing (pada invertebrata).

4.4 Perbedaan Sistem Peredaran Darah Terbuka dengan Sistem Peredaran Darah Tertutup

Sistem sirkulasi darah pada hewan ada yang terbuka dan tertutup, berikut penjelasannya:

1. Sistem Sirkulasi Terbuka Bekerja dengan tekanan rendah pada setiap kontraksi jantung, dan volume darah yang dikeluarkan hanya sedikit, terdorong rendah dan mengalir dengan lambat yang mengakibatkan sari makanan yang dilepaskan sel terbatas sehingga aktivitas metabolisme terbatas. Contohnya: Moluska dan Artropoda. Susunan pembuluh pada arthropoda contohnya insekta, salah satu jenis hewan yang mempunyai sistem sirkulasi terbuka. Arthropoda memiliki jantung berbentuk pipa yang terletak di bagian dorsal tubuh, dan dilengkapi dengan sejumlah lubang beserta klep. Lubang yang dinamakan ostia tersebut member peluang kepada darah untuk masuk kembali ke jantung. Relaksasi otot jantung menyebabkan adanya tekanan negative dalam rongga jantung sehingga menimbulkan kekuatan untuk mengisap darah secara aktif. Pembuluh darah dorsal bagian depan disebut aorta. Dinding aorta bersifat kontraktile dan dapat menimbulkan gelombang peristaltik untuk mendorong darah ke arah depan (ke kepala). Pembuluh ini merupakan cabang pembuluh darah utama, yang berlanjut sampai kepala dan berakhir di bagian tersebut. Percabangan pembuluh aorta membawa pasokan darah untuk sebagian besar tubuh. Namun, pembuluh pada sistem sirkulasi terbuka tidak dilengkapi dengan pembuluh darah perifer (kapiler) sehingga pada tingkat jaringan, darah akan keluar dari pembuluh dan selanjutnya mengalir bebas di antara sel jaringan. Pada tahap selanjutnya, darah atau cairan tubuh tersaring dan secara perlahan-lahan kembali ke jantung melalui ostia yang banyak terdapat di bagian tersebut. Sebagai akibat dari tidak adanya pembuluh kapiler, sistem sirkulasi terbuka bekerja dengan tekanan rendah. Dengan demikian, pada setiap kontraksi jantung, volume darah yang dapat dikeluarkan dari jantung ke rongga tubuh hanya sedikit. Selain itu, tekanan yang ditimbulkan oleh jantung untuk mendorong darah juga rendah sehingga darah mengalir lambat. Hal ini menyebabkan jumlah

sari makanan yang dilepaskan ke sel tubuh terbatas, dan akibatnya aktivitas metabolisme dalam tubuh pun terbatas. Kelemahan lain dari sistem sirkulasi terbuka ialah hewan tidak dapat mengatur aliran darah secara tepat ke berbagai organ yang berbeda.

2. Sistem Sirkulasi Tertutup Bekerja dengan melakukan gerakan memompa secara terus menerus, dan tekanannya dipertahankan tetap tinggi mengakibatkan darah yang keluar dari pembuluh akan segera masuk kembali ke jantung dengan cepat. Dalam sistem darah tertutup umumnya darah mengalir dari jantung ke pembuluh kapiler dan kembali ke jantung. Contohnya : Annelida, Moluska jenis Cephalopoda (oktofus dan cumi-cumi) dan Vertebrata. Sistem sirkulasi tertutup memiliki beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan sistem sirkulasi terbuka. Pada sistem sirkulasi darah tertutup, darah beredar dalam sistem pembuluh yang kontinu, didorong oleh kekuatan dari hasil kerja jantung. Sebagai motor penggerak, jantung bekerja dengan melakukan gerakan memompa secara terus menerus sehingga tekanan dalam pembuluh dapat dipertahankan tetap tinggi. Hasilnya, darah yang keluar dari pembuluh akan segera masuk kembali ke jantung dengan cepat. Selain itu, pada hewan yang memiliki sistem, darah akan mengalir dalam pembuluh secara langsung ke setiap sel tubuh. Hal ini menjamin adanya pasokan sari makanan dan oksigen dalam jumlah memadai ke tiap sel agar proses metabolisme dapat terselenggara dengan baik. Apabila ada peningkatan aktivitas metabolisme (misalnya saat melakukan latihan fisik), vertebrata dapat meningkatkan jumlah pasokan darah ke organ yang aktif (misalnya otot) dan mengurangi penyebaran darah ke daerah yang kurang/ tidak aktif (misalnya organ gasrointestinal). Organ sirkulasi pada hewan yang memiliki sistem terdiri atas jantung dan pembuluh darah, mulai dari pembuluh ateri, vena, arteriol, venula, hingga jaringan kapiler.

4.5 Sistem Sirkulasi Darah pada Hewan Tingkat Rendah

Sistem sirkulasi atau sistem peredaran darah pada organisasi tingkat rendah umumnya belum memiliki sistem sirkulasi secara khusus. Contoh hewan tingkat rendah (invertebrate), antara lain protozoa, cacing tanah, dan serangga. Hewan ini mempunyai system sirkulasi darah yang berbeda.

1. Sistem sirkulasi darah pada protozoa Hewan bersel satu atau protozoa tidak memiliki system sirkulasi darah karena tubuhnya hanya terdiri atas satu sel. Sari-sari makanan yang telah dicerna di dalam vakuola diserap oleh protoplasma di sekelilingnya. Oksigen diserap secara difusi, dan CO₂ dikeluarkan juga secara difusi. Contoh dari protozoa adalah amoeba dan paramaecium. System sirkulasi pada paramecium lebih sempurna daripada amoeba. Pada paramaecium, makanan yang berupa materi halus diserap melalui permukaan tubuhnya. Namun materi makanan yang besar akan masuk sitostoma (mulut sel). Makanan yang berbentuk cair akan diedarkan oleh vakuola kontraktil, sedangkan makanan yang berbentuk padat akan dicerna dan diedarkan oleh vakuola makanan. Penyebarannya ke dalam endoplasma terjadi secara osmosis.
2. Sistem sirkulasi pada darah cacing tanah Sistem sirkulasi pada cacing tanah terdiri atas lengkung aorta, pembuluh darah punggung, dan pembuluh darah perut. Lengkung aorta berjumlah lima dan berfungsi sebagai jantung. Darah dalam cacing beredar di dalam pembuluh sehingga termasuk peredaran darah tertutup. Darah yang terdapat pada pembuluh kapiler akan mengikat oksigen. Pembuluh tersebut banyak terdapat pada kulit. Darah yang telah mengikat oksigen ini akan mengalir ke pembuluh punggung kemudian bergerak menuju lengkung aorta.
3. Sistem sirkulasi darah pada serangga Sistem transportasi pada serangga contohnya pada belalang. Belalang mempunyai sistem peredaran terbuka karena darah tidak selalu berada dalam pembuluh darah. Alat transportasinya berupa pembuluh yang dapat berdenyut sehingga menyerupai jantung. Oleh karena itu, pembuluhnya disebut jantung pembuluh. Peredaran darah pada belalang berlangsung sebagai berikut: Darah dipompa oleh jantung pembuluh ke bagian depan tubuh melalui

aorta dorsal. Selanjutnya darah beredar ke seluruh tubuh ke ruang antar organ tanpa melalui pembuluh darah. Darah serangga tidak mengandung hemoglobin sehingga tidak berwarna merah. Darah serangga disebut hemolimfa. Darah ini mengandung sel darah yang tidak berwarna yang berfungsi untuk melenyapkan organisme asing. Karena tidak mengandung Hb, darah serangga berfungsi untuk mengangkut zat makanan, tidak untuk mengangkut oksigen ataupun gas CO₂. Gas-gas tersebut disalurkan melalui system trakea.

4.6 Sistem sirkulasi darah pada hewan invertebrata lainnya

Hewan invertebrate lainnya seperti porifera dan coelenterata, belum memiliki organ tubuh. System transportasinya juga belum ada. Oleh karena itu zat makanan dan oksigen berdifusi langsung dari lingkungan ke sel, dan dari sel ke sel lainnya. Begitu juga sebaliknya untuk pengeluaran zat-zat sisa. Hewan invertebrate seperti echinodermata, memiliki system sirkulasi radial yang bentuknya mengecil. Pengangkutan zat dibantu dengan system sirkulasi air yang disebut system air ambulakral. System sirkulasi pada mollusca terdiri atas jantung dengan satu atau dua ruang jantung, aorta dan pembuluh lainnya.

4.7 Sistem Transportasi pada Hewan Tingkat Tinggi

Hewan yang berukuran lebih besar dan lebih banyak beraktivitas memerlukan laju metabolisme sel yang lebih tinggi. Metabolisme yang tinggi akan terjadi apabila pemasokan sari makanan dan oksigen berlangsung secara konstan, serta tersedia sistem kapiler yang bertanggung jawab atas pertukaran gas dan pembuangan zat sisa secara cepat. Sistem sirkulasi pada hewan tingkat tinggi terdiri atas jantung, pembuluh darah, dan pembuluh limfa.

Sistem peredaran darah semua vertebrata merupakan system peredaran darah tertutup dan ganda, kecuali pada ikan. Sistem peredaran darah pada ikan termasuk sistem peredaran darah tertutup dan tunggal. Struktur darah (susunan darah) pada vertebrata juga sama, yaitu terdiri atas plasma darah, sel darah merah, sel darah putih, dan trombosit.

- a. Sistem Transportasi pada Ikan Ikan mempunyai sistem transportasi tunggal dan tertutup, karena dalam satu kali beredar, darah ikan hanya melalui

jantung satu kali dan selalu berada dalam pembuluh darah. Darah pada ikan berfungsi mengangkut sari-sari makanan, oksigen dan karbondioksida. Jantung ikan terdiri atas dua ruang, yaitu satu serambi (atrium) dan satu bilik (ventrikel). Di dekat serambi terdapat kantung yang disebut sinus venosus. Peredaran darah pada ikan berlangsung sebagai berikut. Darah mengalir ke seluruh tubuh melalui vena kemudian masuk ke serambi jantung. Darah ini mengandung banyak karbon dioksida. Selanjutnya darah masuk bilik, kemudian dipompa menuju insang melalui pembuluh nadi ventral. Di dalam insang terjadi pelepasan CO₂ dan pengikatan O₂. Selanjutnya darah dari insang yang mengandung oksigen diedarkan ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah dorsal.

b. Sistem Transportasi pada Amphibian Hewan golongan Amphibia contohnya katak. Sistem sirkulasi pada katak tersusun dari jantung dan pembuluh darah. Jantung katak terdiri atas tiga ruang, yaitu serambi kiri, serambi kanan, dan satu bilik. Sistem peredaran darah pada katak tertutup dan rangkap (ganda). Peredaran darah katak sebagai berikut:

- a) Darah campuran (bersih dan kotor) dipompa dari bilik jantung ke paru-paru dan kulit. Di tempat ini darah mengikat oksigen. Selanjutnya, darah ke serambi kiri dan ke bilik lagi.
- b) Darah campuran dipompa dari bilik jantung ke seluruh tubuh (kepala, hati, usus, dinding tubuh, dan ginjal) melalui arteri. Di dalam organ-organ tersebut, darah melepaskan oksigen dan mengikat karbon dioksida.
- c) Darah yang mengandung CO₂ mengalir melalui pembuluh vena (balik) menuju serambi kanan kemudian ke bilik, dan tercampur lagi dengan darah bersih. Demikian seterusnya berulang-ulang.

c. Sistem transportasi pada reptilia

Contoh hewan reptilia adalah kadal. Sistem transportasi pada kadal terdiri atas jantung dan pembuluh darah. Reptilian mempunyai jantung yang terdiri atas empat ruang, yaitu dua serambi dan dua bilik. Sekat biliknya tidak sempurna (kecuali buaya) sehingga darah dari bilik kiri dan bilik kanan dapat bercampur. Sistem peredaran darah reptilian tertutup dan

rangkap (ganda). Kadal memiliki dua aorta, yaitu aorta kanan yang mengalirkan darah menuju kepala dan aorta kiri yang mengalirkan darah menuju organ-organ tubuh bagian belakang.

d. Sistem Transportasi pada Burung

Sistem sirkulasi burung sama dengan mamalia dan manusia. Burung mempunyai jantung yang terdiri atas empat ruang, yaitu dua serambi dan dua bilik. Sekat biliknya sempurna sehingga darah bersih dan darah kotor tidak bercampur. Sistem peredaran darah burung tertutup dan rangkap (ganda). Sistem peredaran darah burung: (a) peredaran darah kecil dan (b) peredaran darah besar.

Peredaran darah burung adalah darah dari paru-paru mengangkut oksigen masuk ke serambi kiri, kemudian ke bilik kiri. Dari bilik kiri, darah dipompa ke seluruh tubuh melalui aorta. Di sel-sel tubuh, darah melepaskan O₂ dan mengikat CO₂. Darah yang mengandung banyak CO₂ ini masuk ke serambi kanan melalui pembuluh balik. Selanjutnya darah masuk bilik kanan, kemudian dipompa masuk ke paru-paru. Di dalam paru-paru, darah melepaskan CO₂ dan mengikat O₂.

e. Sistem peredaran darah Mamalia

Sistem peredaran darah pada mamalia tidak jauh beda dengan sistem peredaran darah pada manusia yaitu terdiri atas darah, alat-alat peredaran darah dan peredaran getah bening. Mengenai darah telah dijelaskan sebelumnya yang selanjutnya akan dibahas tentang alat-alat peredaran darah, untuk mengedarkan sari makanan dan oksigen diperlukan alat-alat peredaran darah berupa jantung dan pembuluh darah.

(a) Jantung Jantung mamalia terletak di daerah rongga dada bagian kiri tepatnya di antara kedua paru-paru, dibungkus oleh selaput tipis yang dinamakan pericardium. Jantung tersebut memiliki 4 rongga terdiri atas dua ruang serambi yang berdinding lebih tipis dan dua ruang bilik yang berdinding lebih tebal. Serambi dan bilik berkontraksi secara bergantian. Pada saat serambi berkontraksi (fase sistol), Jalan masuk darah dari vena ke serambi tertutup oleh kontraksi otot-otot disekitarnya dan tekanan didalamnya meningkat sehingga darah akan

terdorong menuju bilik yang pada saat itu sedang berelaksasi. Dalam peristiwa tersebut, darah akan melewati klep atriventricularis, yaitu dua unit klep yang membatasi rongga serambi dan bilik. Kedua klep tersebut adalah klep bikuspidalis dan trikuspidalis. Klep bikuspidalis menjadi pembatas antara rongga serambi dan bilik jantung sebelah kanan sedangkan trikuspidalis menjadi pembatas antara rongga serambi dan bilik jantung sebelah kiri. Pada saat bilik berkontraksi, serambi mengalami relaksasi sehingga jalan masuk darah dari vena (yang semula tertutup) akan terbuka. Hal ini akan menyebabkan penurunan tekanan dalam serambi sehingga darah tertarik masuk ke dalam serambi jantung. Satu siklus jantung menghasilkan sekali denyutan jantung. Jantung manusia berdenyut kira-kira 70 kali per menit, tetapi pada saat aktif melakukan kegiatan, denyut jantung dapat meningkat hingga lebih dari dua kalinya. Ritme jantung dikendalikan oleh sistem saraf. Kecepatan denyut jantung dikendalikan oleh sistem saraf simpatis dan parasimpatis (saraf vagus). Saraf simpatis bekerja untuk mempercepat denyut jantung, sedangkan saraf vagus bekerja untuk memperlambatnya.

- (b) Pembuluh darah Pembuluh darah adalah saluran khusus untuk mengalirkan darah. Darah adalah cairan dalam pembuluh darah, yang beredar ke seluruh tubuh mulai dari jantung dan segera kembali ke jantung. Darah vertebrata mengalir dalam pembuluh yang elastis (arteri, kapiler dan vena) dan akan kembali ke jantung tanpa meninggalkan sistem pembuluh. Jadi darah tetap berada pada saluran yang tertutup. Sistem sirkulasi yang demikian dinamakan sistem sirkulasi tertutup. Arteri adalah pembuluh yang berfungsi untuk mengangkut darah yang keluar dari jantung. Darah dalam arteri mengeluarkan tekanan yang cukup besar terhadap dinding pembuluh. Untuk menahan tahanan tersebut, arteri harus mempunyai dinding yang tebal dan kuat. Tekanan darah berasal dari kekuatan yang dihasilkan oleh jantung ketika berkontraksi sehingga keberadaan

serabut elastic pada dinding arteri sangat penting untuk memastikan aliran darah yang konstan ke kapiler. Pelepasan darah dari jantung tidak terjadi secara continue tetapi berselang seling seiring dengan kontraksi jantung. Ketika jantung berkontraksi, darah terdorong keluar dari jantung dan masuk ke pembuluh. Segera sesudah darah masuk arteri besar, dinding arteri akan meregang dan menyimpan sejumlah besar energy yang berasal dari peregangan serabut elastis. Pada saat jantung berelaksasi, tidak ada darah yang masuk ke arteri besar sehingga pembuluh tersebut kembali mengkerut ke ukuran semula dan melepaskan sebagian energy yang tersimpan pada dindingnya. Energi tersebut akan mendorong darah dalam pembuluh arteri besar sehingga mengalir lebih jauh ke seluruh system sirkulasi. Arteriola adalah pembuluh arteri kecil yang dindingnya mengandung sejumlah besar otot polos yang proses kontraksinya tidak dikendalikan oleh pusat kesadaran. Kapiler adalah pembuluh darah terkecil dalam system sirkulasi yang merupakan tempat terjadinya pertukaran gas serta berbagai zat lainnya antara pembuluh darah dan jaringan. Venula dan vena merupakan pembuluh darah yang berfungsi untuk membawa darah dari jaringan kembali ke jantung. Venula adalah pembuluh vena yang paling kecil dan berhubungan langsung dengan kapiler. Vena dilengkapi dengan klep yang berguna untuk mencegah aliran darah kembali ke arah jaringan dan menjamin kelancaran aliran darah menuju jantung yang dibantu juga oleh kontraksi otot pada dinding pembuluh vena serta kontraksi otot lurik di sekitar pembuluh tersebut.

f. Sirkulasi darah tertutup dan ganda pada mamalia Sirkulasi darah pada hewan mamalia merupakan sirkulasi darah tertutup dan ganda. Dikatakan sistem sirkulasi tertutup karena peredaran darah berlangsung di dalam pembuluh, sedangkan dikatakan ganda sebab dalam peredarannya, darah mengalir ke organ jantung sebanyak dua kali. pulmonalis dan sistem peredaran darah sistemik Sistem sirkulasi darah ganda pada mamalia meliputi peredaran darah besar dan peredaran darah kecil.

(a) Peredaran darah besar Pada peredaran darah besar, darah meninggalkan ventrikel kiri jantung melalui aorta, yaitu arteri terbesar dalam tubuh. Aorta ini bercabang menjadi arteri lebih kecil yang mengantarkan darah ke berbagai bagian tubuh. Arteri-arteri ini bercabang dan beranting lebih kecil lagi hingga sampai ke arteriola. Arteri ini mempunyai dinding yang sangat berotot yang menyempitkan salurannya dan menahan aliran darah dengan jalan mengubag-ubah ukuran saluran dan mengatur aliran darah dalam kapiler. Dinding kapiler sangat tipis sehingga dapat berlangsung pertukaran zat antara plasma dan jaringan interstisiil. Kemudian kapiler- kapiler ini bergabung dan membentuk pembuluh lebih besar yang disebut vena, yang kemudian juga bersatu menjadi vena, untuk mengantarkan darah kembali ke jantung. Semua vena bersatu dan bersatu lagi sehingga terbentuk dua batang vena, yaitu vena kava inferior yang mengumpulkan darah dari badan dan anggota gerak bawah, dan vena kava superior yang mengumpulkan darah dari kepala dan anggota gerak atas. Kedua pembuluh darah ini menuangkan isisnya ke dalam jantung melalui atrium kanan jantung.

(b) Peredaran darah kecil Darah dari vena tadi kemudian masuk ke dalam ventrikel kanan yang berkontraksi dan memompanya ke dalam arteri pulmonalis. Arteri ini bercabang dua untuk mengantarkan darahnya menuju paru-paru kanan dan kiri. Darah tidak sukar memasuki pembuluh-pembuluh darah yang mengalir paru-paru. Di dalam paru-paru setiap arteri membelah menjadi arteriola dan akhirnya menjadi kapiler pulmonal yang mengitari alveoli di dalam jaringan paru-paru untuk memungut oksigen dan melepaskan karbon dioksida. Kemudian kapiler pulmonal bergabung menjadi vena dan darah dikembalikan ke dalam jantung oleh empat vena pulmonalis. Selanjutnya darah dituangkan ke dalam atrium kiri. Darah ini kemudian mengalir masuk ke dalam ventrikel kiri. Ventrikel ini berkontraksi dan darah dipompa masuk ke dalam aorta. Maka kini mulai lagi peredaran darah besar.

4.8 Pertukaran Zat Di Jaringan

Pada uraian sebelumnya telah dijelaskan bahwa besarnya tekanan systole dan diastole pada manusia adalah 120/80 mm Hg. Hal ini berarti bahwa darah yang dipompa oleh jantung memberikan tekanan sebesar 120 mm Hg. Dari aorta, darah mengalir terus ke cabang-cabang arteri, dan akhirnya sampai di pembuluh kapiler. Semakin jauh dari jantung, tekanan darah dalam pembuluh pun semakin menurun. Di pembuluh kapiler, darah hanya memberikan tekanan hidrostatik sebesar kira-kira 40 mm Hg. Sementara itu, tekanan dalam cairan atau ruang ekstrasel hanya 25 mm Hg (sama di semua bagian tubuh).

Perbedaan tekanan yang timbul antara bagian dalam dan luar pembuluh kapiler menyebabkan terjadinya perpindahan sejumlah air dan partikel-partikel kecil terlarut dari dalam pembuluh kapiler ke cairan jaringan. Tekanan hidrostatik dalam pembuluh kapiler yang berdekatan/ berhubungan dengan pembuluh vena atau venula turun hingga 15 mm Hg. Karena tekanan hidrostatik di bagian ini lebih rendah daripada tekanan osmotik dalam cairan jaringan, sejumlah air dan partikel kecil pada cairan jaringan akan masuk kembali ke pembuluh kapiler. Sekalipun demikian, jumlah total air dan partikel yang keluar dari pembuluh kapiler selalu lebih besar daripada jumlah yang dapat masuk kembali ke kapiler. Untuk menjaga kondisi homeostasis, kelebihan air dan partikel zat yang masih tertinggal dalam cairan jaringan harus dikembalikan ke dalam kapiler darah.

Pengembalian kelebihan air dan zat terlarut tersebut dilaksanakan oleh pembuluh limfe kecil yang sangat permeable, yang akan meneruskannya ke pembuluh limfe yang lebih besar. Hal ini dapat terjadi karena setiap unit pembuluh limfe kecil akan bergabung akan bergabung untuk membentuk pembuluh yang lebih besar. Pembuluh limfe yang paling besar akan berhubungan dengan pembuluh darah, yakni pada pembuluh vena subklavia. Oleh karena itu, cairan yang masuk ke pembuluh limfe kecil nantinya akan masuk ke pembuluh darah juga. Aliran cairan dalam sistem pembuluh limfe dipertahankan oleh sejumlah klep dan aktivitas otot di sekitar pembuluh, seperti yang terjadi pada pembuluh vena.

BAB V

OSMOREGULASI

5.1 Pendahuluan

Osmoregulasi adalah kemampuan hewan mengontrol kadar air dalam tubuh. Osmoregulasi adalah kemampuan organisme untuk mempertahankan keseimbangan kadar dalam tubuh, didalam zat yang kadar garamnya berbeda. (Kashiko.2000:389) Osmoregulasi merupakan suatu fungsi fisiologis yang membutuhkan energi, yang dikontrol oleh penyerapan selektif ion-ion yang melewati insang dan pada beberapa bagian tubuh lainnya dikontrol oleh pembuangan yang selektif terhadap garam-garam (Stickney, 1979 dalam Bestian 1996). Sedangkan menurut Kinne (1964) dalam Bestian (1996),kemampuan osmoregulasi bervariasi bergantung suhu, musim, umur, kondisi fisiologis,jenis kelamin dan perbedaan genotip.

Osmoregulasi adalah pengaturan tekanan osmotik cairan tubuh yang layak bagi kehidupan ikan sehingga proses-proses fisiologis berjalan normal (Raharjo,1970) dalam Bestian,1996). Menurut Affandi dan Usman (2002), ikan mempunyai tekanan osmotik yang berbeda dengan lingkungannya, oleh karena itu ikan harus mencegah kelebihan air atau kekurangan air, agar proses-proses fisiologis di dalam tubuhnya dapat berlangsung dengan normal.

Menurut Gilles dan Jeuniaux (1979), osmoregulasi pada organisme akuatik dapat terjadi dalam dua cara yang berbeda, yaitu:

1. Usaha untuk menjaga konsentrasi osmotik cairan di luar sel (ekstraseluler). Agar tetap konstan terhadap apapun yang terjadi pada konsentrasi osmotik medium eksternalnya.
2. Usaha untuk memelihara isoosmotik cairan dalam sel (interseluler) terhadap cairan luar sel (ekstraseluler).

Menurut Affandi dan Usman (2002), ikan bertulang sejati (telestei), ikan air tawar maupun ikan laut pada dasarnya mempunyai kemampuan untuk mempertahankan komposisi ion-ion dan osmolaritas cairan tubuhnya pada tingkat yang secara signifikan berbeda dari lingkungan eksternalnya. Proses ini

merupakan suatu mekanisme dasar osmotik. Untuk menghadapi masalah osmoregulasi ikan melakukan pengaturan tekanan osmotiknya dengan cara:

1. Mengurangi gradien osmotik antara cairan tubuh dengan lingkungannya.
2. Mengurangi permeabilitas air dan garam.
3. Melakukan pengambilan garam secara selektif.

Secara sederhana hewan dapat diumpamakan sebagai suatu lautan yang terdapat di dalam suatu kantung membran atau kantung permukaan tubuh. Hewan harus menjaga volume tubuh dan konsentrasi larutan tubuhnya dalam rentangan yang agak sempit. Yang menjadi masalah adalah bahwa konsentrasi yang tepat dari cairan tubuh hewan selalu berbeda dengan yang ada di lingkungannya. Perbedaan konsentrasi tersebut cenderung mengganggu keadaan mantap dari kondisi internal. Hanya sedikit hewan yang membiarkan konsentrasi cairan tubuhnya berubah-ubah sesuai dengan lingkungannya; dalam keadaan demikian hewan dikatakan melakukan *osmokonformitas*.

Kebanyakan hewan menjaga agar konsentrasi cairan tubuhnya tetap konstan lebih tinggi dari mediumnya (*regulasi hiperosmotis*) atau lebih rendah dari mediumnya (*regulasi hipoosmotis*). Untuk itu hewan harus berusaha mengurangi gangguan dengan menurunkan (1) *permeabilitas membran* atau *kulitnya*, dan (2) *gradien (landaian) konsentrasi antara cairan tubuh dan lingkungannya*. Keadaan kondisi internal yang mantap dapat dipelihara hanya bila organism mampu mengimbangi kebocoran dengan arus balik melawan gradien konsentrasi yang memerlukan energi.

Untuk memelihara air dan konsentrasi larutan cairan tubuh konstan yang berbeda dengan lingkungannya, antara hewan air laut, air tawar, dan hewan darat sangatlah berbeda. Kelompok hewan yang berbeda menggunakan organ yang berbeda untuk melaksanakan proses regulasi. Mekanisme rinci untuk melaksanakan proses juga bervariasi dan sering menggunakan kombinasi-kombinasi organ yang berbeda. Rentangan zat-zat yang diregulasi sangat luas, melibatkan senyawa-senyawa seperti hormon, vitamin, dan larutan yang signifikan terhadap perubahan nilai osmotik.

Bab ini akan membahas osmoregulasi pada Invertebrata dan vertebrata. Osmoregulasi Invertebrata meliputi osmoregulasi Annelid, Moluska, Crustacea,

Insekta. Osmoregulasi pada vertebrata meliputi osmoregulasi ikan, Amfibi, Reptil, burung, dan Mamalia. Namun sebelumnya akan dibicarakan terlebih dahulu pengertian dasar regulasi dan prinsip-prinsip osmoregulasi.

a. Lingkungan Hidup Hewan

Pada dasarnya lingkungan hidup hewan dapat dibagi menjadi lingkungan air dan lingkungan darat. Lingkungan air masih dibedakan menjadi lingkungan air laut dan air tawar. Sedikit sekali hewan darat yang benar-benar telah meninggalkan lingkungan air. Misalnya serangga dan beberapa hewan darat yang lain, meskipun dianggap paling berhasil beradaptasi dengan kehidupan di darat, namun hidupnya sedikit banyak masih berhubungan langsung dengan air tawar. Kebanyakan hewan selain serangga, hidup di dalam air atau sangat tergantung pada air.

Komposisi cairan tubuh kebanyakan hewan, khususnya konsentrasi komponen utama, merefleksikan komposisi air lautan permulaan, tempat nenek moyang hewan pertama kali muncul. Air laut mengandung sekitar 3,5% garam. Ion utama adalah natrium, klorida, magnesium, sulfat dan kalsium yang berada dalam jumlah yang besar. Jumlah konsentrasi garam di lingkungan sangat bervariasi sesuai tempat geografisnya. Di lautan tengah dimana penguapan tinggi tidak diikuti dengan jumlah yang sama masuknya air tawar dari sungai, maka lautan tengah memiliki kandungan garam mendekati 4%. Di lain daerah khususnya di daerah pesisir, kandungan agak rendah dibandingkan dengan lautan terbuka, tetapi jumlah relative ion-ion terlarut agak konstan.

5.2 Prinsip-prinsip Dasar Osmoregulasi

Terhadap lingkungan hidupnya, ada hewan air yang membiarkan konsentrasi cairan tubuhnya berubah-ubah mengikuti perubahan mediumnya (*osmokonformer*). Kebanyakan Invertebrata laut tekanan osmotik cairan tubuhnya sama dengan tekanan osmotik air laut. Cairan tubuh demikian dikatakan *isotonik* atau *isosmotik* dengan medium tempat hidupnya. Bila terjadi perubahan konsentrasi dalam mediumnya, maka cairan tubuhnya disesuaikan dengan perubahan tersebut (*osmokonformitas*).

Sebaliknya ada hewan yang mempertahankan agar tekanan osmotik cairan tubuhnya relative konstan lebih rendah dari mediumnya (*hipoosmotik*) atau lebih tinggi dari mediumnya (*hiperosmotik*). Untuk mempertahankan cairan tubuh relative konstan, maka hewan melakukan *regulasi osmotik* (osmoregulasi), hewannya disebut regulator osmotik atau *osmoregulator*. Ada dua macam regulasi osmotik yaitu *regulasi hipoosmotik* dan *regulasi hiperosmotik*.

Pada regulator hipoosmotik, misalnya ikan air laut, hewan ini selalu mempertahankan konsentrasi cairan tubuhnya lebih rendah dari mediumnya (air laut). Sedangkan pada regulator hiperosmotik, misalnya ikan air tawar, hewan ini selalu mempertahankan konsentrasi cairan tubuhnya lebih tinggi dari pada mediumnya (air tawar).

Beberapa hewan ada yang toleran terhadap rentanga luas konsentrasi garam mediumny; hewan demikian disebut hewan *euryhaline* (Yunani *eurys* = luas, *halos* = garam). Sedangkan hewan lain hanya toleran terhadap rentangan yang sempit konsentrasi garam mediumnya; hewan demmikian di sebut *stenohaline* (Yunani *stenos* = sempit, dekat).

Fenomena lain biasanya berhubungan sangat dekat denga tingkat perkembangan kapasitas osmoregulasi adalah kemampuan hewan mengontrol kadar air dalam tubuh. Osmokonformitas rupanya adalah hasil kombinasi dari ketidak mampuan hewan mengontrol volume tubuh dan ketidak mampuan mengontrol isi larutan tubuh. Sebaliknya osmoregulasi merupakan manifestasi perkembangan kemampuan yang baik dari kedua proses tersebut, sehinga dapat dikatakan bahwa hewan osmokonformer juga merupakan konformer volume, sebaliknya osmoregulator juga merpupakan regulator volume.

5.3 Pola dasar Mekanisme Osmoregulasi

Pada dasarnya *regulator hiperosmotik* menghadapi dua masalah fisiologik: (1) air cenderung masuk ke dalam tubuh hewan, sebab konsentrasi zat terlarut dalam tubuh hewan lebih tinggi daripada dalam mediumnya, dan (2) zat terlarut cenderung keluar tubuh, sebab konsentrasi di dalam tubuh lebih tinggi daripada di luar tubuh. Di samping itu pembuangan air sebagai penyeimbang air masuk, juga membawa keluar zat terlarut di dalamnya. Untuk mengatasi masalah ini, maka

regulator hiperosmotik harus (1) mengurangi masuknya air ke dalam tubuh (meningkatkan impermeabilitas dinding tubuh) atau mengeluarkan kelebihan air yang ada dalam tubuh (lewat urin dan feses), sebaliknya terhadap zat terlarut, hewan harus (2) memasukkan garam-garam ke dalam tubuh (lewat makan dan minum) atau mempertahankan zat terlarut yang ada dalam tubuhnya.

Sebaliknya *regulator hiposmotik* menghadapi dua masalah fisiologik: (1) air cenderung keluar tubuh, sebab kadar air dalam tubuh lebih tinggi daripada mediumnya, dan (2) zat terlarut cenderung masuk ke dalam tubuh, sebab kadar zat terlarut di luar tubuh (dalam medium) lebih tinggi daripada dalam cairan tubuhnya. Untuk menghadapi masalah tersebut, maka regulator hiposmotik harus (1) menghambat keluarnya air dari dalam tubuh atau mempertahankan air yang ada dalam tubuh, sebaliknya terhadap zat terlarut, hewan harus (2) berusaha mencegah masuknya garam ke dalam tubuh atau mengeluarkan kelebihan garam yang masuk tubuh.

Untuk mengatur kadar air dan zat terlarut dalam tubuhnya, hewan menggunakan organ-organ ekskresi yang dalam bekerjanya banyak menggunakan mekanisme transpor aktif. Banyak cara untuk menyatakan konsentrasi zat terlarut dalam suatu larutan encer. Tekanan osmotik adalah salah satu dari empat *sifat koligatif* (sifat yang tergantung pada banyaknya zat terlarut, bukan jenis zat terlarut) dari larutan. Tiga sifat koligatif yang lain adalah *penurunan titik beku*, *penurunan tekanan uap*, dan *peningkatan titik didih*. Mengukur tekanan osmotik suatu larutan secara langsung sangatlah sulit, khususnya untuk sampel kecil yang mengandung zat-zat mudah terurai (terdisosiasi) seperti yang biasa terdapat dalam cairan biologik. Keempat sifat koligatif tersebut secara linier berhubungan satu dengan yang lain, sehingga memungkinkan mendeterminasi tekanan osmotik secara tidak langsung dengan mengukur salah satu sifat.

Konsentrasi zat terlarut biasanya dinyatakan dalam unit *molaritas*, yaitu mol per liter larutan. Pada konteks biologi biasanya digunakan unit milimol (mmol). Misalnya suatu larutan 0,5 mol per liter sama dengan 500 mmol per liter. Dapat juga dinyatakan sebagai osmolaritas (osmoles per liter). Osmolaritas suatu larutan tergantung pada jumlah partikel terlarut. Osmolaritas suatu larutan nonelektrolit (misalnya sukrosa) sama dengan konsentrasi molar. Suatu larutan elektrolit

misalnya NaCl yang terurai menjadi Na dan Cl memiliki suatu konsentrasi osmotik lebih tinggi daripada yang ditunjukkan oleh molaritasnya, namun nilai osmotik tersebut tidak menjadi 2 kali nilai osmotiknya sebab garam tidak terurai secara penuh.

Air murni menurut defenisi membeku pada $0,00^{\circ}\text{C}$. satu molar larutan encer (1 mol/kg air) dari larutan yang tidak mengalami disosiasi membeku pada $-1,86^{\circ}\text{C}$. Di sini dikatakan bahwa air memiliki suatu penurunan titik beku sebesar $1,86^{\circ}\text{C}$. pada kebanyakan studi fisiologi hewan, tidak perlu untuk mengkonversi penurunan titik beku menjadi tekanan osmotik yang sebenarnya. Biasanya diubah ke dalam equivalen konsentrasi (konsentrasi osmotik atau konsentrasi total). Konversi yang paling umum adalah mengartikan penurunan titik beku $1,86^{\circ}\text{C}$ sebagai suatu konsentrasi osmotik dari 1 Osmolal (1000 mOsmolal). Jadi bilangan $1,86^{\circ}\text{C}$ adalah penurunan titik beku setiap larutan 1000 mOsm/liter tanpa memperhatikan komposisinya. Biasanya dalam fisiologi, penurunan titik beku dinyatakan dengan lambing Δ (delta).

Karena osmoregulasi bersangkutan dengan cairan tubuh (darah), urin, dan medium, maka tekanan osmotik darah diberi simbol Δ_i , urine diberi simbol Δ_u , dan medium diberi simbol Δ_o .

5.4 Konsep Osmokonformer Dan Osmoregulator

Menurut Affandi dan Usman (2002), organisme air dibagi menjadi dua kategori sehubungan dengan mekanisme fisiologisnya dalam menghadapi tekanan osmotik air media, yaitu : Osmokonformer; adalah organisme air yang secara osmotik labil dan mengubah-ubah tekanan osmotik cairan tubuhnya untuk menyesuaikan dengan tekanan osmotik air media hidupnya.

Osmoregulator, adalah organisme air yang secara osmotik stabil (mantap), selalu berusaha mempertahankan cairan tubuhnya pada tekanan osmotik yang relatif konstan, tidak perlu harus sama dengan tekanan osmotik air media hidupnya.

Ada tiga pola regulasi:

1. *Regulasi hipertonik atau hiperosmotik*, yaitu pengaturan secara aktif konsentrasi cairan tubuh yang lebih tinggi dari konsentrasi media, misal: pada potadrom (ikan air tawar) Potadrom mempertahankan konsentrasi cairan tubuhnya dengan mengurangi minum dan memperbanyak urine. Osmoregulasi beberapa golongan ikan (Telesostei).
2. *Regulasi hipotonik atau hipoosmotik*, yaitu pengaturan secara aktif konsentrasi cairan tubuh yang lebih rendah dari konsentrasi media, misal: pada oseandrom (ikan air laut), Oseandrom memperbanyak minum dan mengurangi volume urine. Diadrom, melakukan aktivitas osmoregulasi seperti potadrom bila berada di air tawar dan seperti oseandrom bila berada di air laut.
3. *Regulasi isotonik atau isoosmotik*, yaitu bila konsentrasi cairan tubuh sama dengan konsentrasi media, misalnya ikan-ikan pada daerah estuarine (ikan eurihaline) contohnya Ikan eurihalin, konsentrasi cairan tubuhnya hampir sama dengan lingkungannya, sehingga hanya sedikit melakukan osmoregulasi.

5.5 Mekanisme Osmoregulasi Hewan Hyperosmotik Air Tawar, Laut, Dan Terrestrial

1. Osmoregulasi Pada Invertebrata Air Laut

Kebanyakan invertebrate laut dan endoparasit memiliki konsentrasi osmotik cairan tubuh sama dengan air laut (isosmotik). Hewan demikian disebut *osmokonformer*. Dari sudut pandang osmotik, osmokonformer tidak harus berjuang mengatasi masalah gerak osmotik air. Meskipun demikian rupanya cairan tubuh osmokonformer tidak sama persis dengan mediumnya. Kenyataan banyak invertebrate laut osmokonformer menjaga konsentrasi garam tertentu dalam cairan tubuhnya tidak seimbang dengan lingkungannya; tentu saja keadaan ini memerlukan regulasi yang ekstensif (lihat tabel 6.1).

Tabel 6.1. konsentrasi ion-ion penting (dalam milimoles per kilogram air) dalam air laut dan dalam cairan tubuh beberapa invertebrate laut.

	Na	Mg	Ca	K	Cl	SO ₄
Air laut	478,3	54,5	10,5	10,1	558,4	28,8
Ubur-ubur (<i>Aurelia</i>)	474	53,0	10,0	10,7	580	15,8
Polychaeta (<i>Aphrodite</i>)	476	54,6	10,5	10,5	557	26,5
Cumi-cumi (<i>Ioligo</i>)	456	55,4	10,6	22,2	578	8,1
Isopoda (<i>Ligia</i>)	556	20,2	34,9	13,3	629	4,0
Kepiting (<i>Maia</i>)	488	44,1	13,6	12,4	554	14,5
Kepiting pantai (<i>Carcinus</i>)	531	19,5	13,3	13,3	557	16,5

(Potts and parry 1964, dalam knut Schmidt.1990. *Animal physiology. Adaptation and environment*. Cambrige: Cambridge university press : p. 304).

Dari tabel Nampak bahwa beberapa hewan (ubur-ubur, polychaeta, cumi-cumi) memiliki konsentrasi ion-ion relative sama dengan air laut, tetapi pada yang lain berbeda banyak. Perbedaan seperti itu dapat dijaga hanya apabila permukaan tubuh termasuk membrane permukaan yang tipis pada insang relatif impermeable terhadap ion-ion yang bersangkutan. Meskipun permukaan tubuh betul-betul impermeable, namun perlu diingat bahwa sejumlah ion-ion masuk tubuh bersama-sama makanan dan minuman yang dikonsumsi. Oleh karena itu hewan harus memiliki mekanisme untuk mengeluarkan beberapa ion, sementara yang lain dijaga lebih tinggi dari air laut. Tugas mengeluarkan zat terlarut merupakan tugas utama organ ekskresi, seperti ginjal.

Nampaknya keberadaan ion-ion tertentu dijaga lebih tinggi atau lebih rendah dari air laut oleh hewan tertentu, diperlukan oleh hewan yang bersangkutan untuk keperluan tertentu. Missalnya pada *Aurelia*, sulfat dijaga lebih rendah dari air laut, diduga ada hubungan dengan keperluan supaya dapat mengapung. Kelas udang-udangan menjaga magnesium dalam plasma lebih rendah dari air laut, diduga ada hubungannya dengan gerak cepat hewan yang bersangkutan. Magnesium merupakan anesthetic yang menghambat transmisi neuromuscular, sehingga konsentrasi magnesium yang rendah akan mengurangi

hambatan pada transmisi neromuskular, sehingga hewan dapat bergerak cepat. Namun dengan adanya bukti baru bahwa konsentrasi magnesium pada sepia (yang dapat bergerak cepat) sama dengan pada kerang (bergerak lambat), maka hubungan timbale balik antara aktivitas dan konsentrasi magnesium, menjadi meragukan.

Bila beberapa hewan laut dipindahkan ke air laut yang diencerkan, misalnya pengenceran antara 50%-80%, ternyata sebagian dari mereka dapat bertahan hidup, dan sebagian lain tidak. Bila setelah beberapa waktu cairan tubuhnya diperiksa, ternyata konsentrasi ion-ion cairan tubuhnya ada yang turun dan ada pula yang tetap seperti semula. Dari kenyataan di atas, maka hewan laut yang pada salah satu siklus hidupnya kadang-kadang berpindah ke pantai atau ke muara sungai dapat dibedakan menjadi: (1) *osmokonformer sempit (osmokonformer stenohaline)*, (2) *osmokonformer luas (osmokonformer euryhaline)*, (3) *osmoregulator sempit (osmoregulator stenohaline)*, (4) *osmoregulator luas (osmoregulator euryhaline)*.

Pada osmokonformer sempit, maka hewan ini memiliki toleransi terbatas terhadap perubahan konsentrasi garam mediumnya, sedangkan osmokonformer luas memiliki toleransi yang tinggi terhadap perubahan konsentrasi garam mediumnya.

Pada osmoregulator sempit, maka hewan ini memiliki toleransi yang terbatas terhadap perubahan konsentrasi garam lingkungannya, sedang osmoregulator luas memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap perubahan konsentrasi garam mediumnya. Yang dimaksud dengan toleransi terbatas (sempit) adalah bahwa hewan yang mampu bertahan hidup pada rentangan garam medium yang sempit saja, sebaliknya memiliki toleransi tinggi artinya hewan masih dapat bertahan hidup pada rentangan konsentrasi garam lingkungan yang luas.

Contoh osmoregulator sedang adalah hewan yang pada salah satu dari siklus hidupnya berpindah dari satu medium ke medium yang lain. Misalnya sejenis kepiting pantai (*Carcinus*) dan sejenis udang (*Artemia*) yang pada dasarnya adalah hewan laut, namun mampu bertahan pada air laut yang kepekatannya lebih rendah. Pada air laut encer cairan tubuh *Artemia* hipertonik terhadap medium dan

bertingkah laku seperti organism air payau, yaitu sebagai regulator hiperosmotik. Pada konsentrasi yang lebih tinggi artemia merupakan regulator hipoosmotik yang baik, meskipun kenyataannya cairan tubuhnya berubah, namun perubahan tadi sedikit sekali tidak lebih dari sepersepuluh mediumnya.

2. Osmoregulasi Pada Invertebrata Air Tawar Dan Payau.

Secara prinsip, hewan air payau merupakan osmoregulator yang mirip hewan air tawar, tetapi memiliki perbedaan besar dalam konsentrasi cairan tubuhnya. Udang-udangan air tawar, misalnya udang *Patomobius*, memelihara konsentrasi osmotik cairan tubuh pada sekitar 500 mOsm per liter, tetapi kerang air tawar *Anodonta* memiliki konsentrasi osmotik kurang dari seper sepuluhnya, hanya sekitar 50 mOsm per liter. Namun cairan tubuh *Anadonta* masih dalam keadaan hiperosmotik terhadap air tawar, dan tidak ada hewan air tawar diketahui osmokonfermer. Pada dasarnya semua hewan air tawar, termasuk ikan, amfibi,, reptile, dan mamalia adalah *regualor hiperosmotik*.

Sebagai hewan yang memiliki cairan tubuh hiperosmotik terhadap mediumnya, maka invertebrate air tawar menghadapi dua masalah osmoregulasi :

1. Tubuhnya cenderung menggelembung karena gerakan air masuk kedalam tubuhnya mengikuti gradient kadar,
2. Hewan menghadapi kehilangan garam tubuhnya, karena medium disekitarnya mengandung garam lebih sedikit. Oleh karena itu Invertebrata air tawar sebagai regulator hiperosmotik harus mengatur jumlah air yang masuk dan jumlah garam yang keluar tubuhnya. Pada umumnya regulator hiperosmotik memiliki urin yang lebih encer dari cairan tuuhnya.

Semua hewan pada umumnya menggunakan organ ekskresinya sebagai organ osmoregulasi utama. Secara umum, organ osmoregulasi Invertebrata menggunakan mekanisme *filtras, reabsorpsi, dan sekresi* yang prinsipnya sama dengan kerja ginjal vertebrata dalam memproduksi urin. Pada ikan dan kebanyakan Invertebrata air, insang berperan sebagai organ osmoregulasi utama, melengkapi fungsi ginjal. Di samping itu pada hewan air selain reptile, burung, dan mamalia, menggunakan kulitnya yang relative permeable sebagai organ bantu osmeregulasi selain organ utama.

3. Osmoregulasi pada Invertebrata Darat

Osmoregulasi pada serangga

Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh hewan darat termasuk Invertebrata darat adalah kehilangan air dari dalam tubuhnya. Untuk mengatasi masalah ini, hewan meningkatkan impermeabilitas kulitnya. Kulit kebanyakan hewan darat relative impermeable terhadap air, dan sedikit sekali air hilang melalui kulit. Serangga misalnya, memiliki kutikula yang berlilin, yang sangat impermeabel terhadap air, sehingga serangga sedikit sekali kehilangan air melalui kulitnya. Lilin disimpan pada permukaan eksoskeleton melalui saluran kecil menembus kutikulanya.

Kehilangan air pada serangga terutama melalui penguapan, sebab karena serangga memiliki luas permukaan tubuh 50 kali lebih besar dari pada volume tubuhnya (Mamalia hanya $\frac{1}{2}$ volume tubuhnya). Jalan penting kehilangan uap air pada serangga adalah spirakel. Untuk mengurangi kehilangan air, pada kebanyakan serangga menutup spirakelnya antara dua gerakan pernafasannya. Spesies yang tidak menutup spirakelnya akan kehilangan air lebih cepat. Pada beberapa kumbang gurun, kehilangan air lewat pernafasan jauh lebih sedikit daripada kehilangan lewat kulitnya.

Invertebrate menunjukkan keragaman evolusi lebih besar dari pada vertebrata dan telah mengembangkan berbagai organ osmoregulatori yang tidak sama dengan ginjal vertebrata. Namun secara umum, organ-organ osmoregulatori Invertebrata menggunakan mekanisme filtrasi, reabsorpsi, dan sekresi, yang secara prinsip mirip dengan mekanisme ginjal membentuk urin. Serangga dan mungkin beberapa laba-laba adalah sekelompok invertebrate darat yang membentuk urin pekat. Terdapat beberapa bukti, meskipun masih kontroversia, bahwa beberapa serangga, urin dan fasesnya didehidrasi melalui transpor aktif air menembus epitelium saluran pencernaan bagian belakang. Pada *Periplaneta* yang mengalami dehidrasi cairan rektal, maka osmokonsentrasi urinnya menjadi 2 kali osmokonsentrasi hemolinfanya.

Pada serangga, saluran Malpighi bersama-sama dengan saluran pencernaan bagian belakang membentuk system ekskretori-osmoregulatori utama. Secara garis besar, system ini terdiri atas saluran Malpighi tipis, panjang, yang bermuara

kedalam aliran pencernaan pada tempat antara usus depan dan usus belakang, dan ujung yang lain berada dalam hemocoel (rongga tubuh yang berisi darah). Sekresi yang dibentuk dalam tubulus masuk ke dalam usus belakang. Kemudian dehidrasi dan masuk ke dalam rektum dan disekresikan melalui anus sebagai *urin pekat*. Karena serangga memiliki sistem sirkulasi terbuka, maka saluran Malpighi tidak mendapat darah langsung dari arteri seperti pada ginjal vertebrata. Saluran Malpighi dikelilingi oleh darah, yang tekanannya lebih tinggi daripada tekanan cairan dalam membrane saluran Malpighi, filtrasi tidak dapat berperan dalam pembentukan urin pada serangga. Oleh karena urin harus dibentuk keseluruhannya melalui sekresi, yang mungkin diikuti reabsorpsi beberapa isi cairan yang disekresikan.

Osmokonsentrasi cairan tubuh serangga darat cenderung lebih tinggi dari pada serangga air. Penurunan titik beku (Δi) cairan tubuh serangga darat misalnya pada scorpion ($-1,125^{\circ} C$), pada laba-laba ($-0,894^{\circ} C$), lebih tinggi daripada serangga air, misalnya larva nyamuk ($-0,65^{\circ} C$).

Osmoregulasi pada Cacing Tanah, Keong, dan Siput

Cacing tanah adalah Anelida yang telah beradaptasi hidup di tanah yang basah, dimana stress osmotik terletak antara air tawar dan udara. Cacing tanah merupakan hewan malam, menghindari tanah kering, dan akan menggali tanah lebih dalam apabila permukaan tanah mulai kering. Bila cacing tanah dimasukkan ke air keran selama 5 jam, maka cacing tanah akan mengabsorpsi air ekuivalen dengan 15% berat tubuh pemulaannya. Bila cacing yang telah beradaptasi dengan air dipindahkan ke tanah atau udara kering, cacing dapat mentoleransi kehilangan 50-80% air tubuhnya.

Cacing tanah misalnya *Lumbricus terrestris*, merupakan regulator hiperosmotik yang efektif. Hewan ini secara aktif mengabsorpsi ion-ion, dapat memproduksi urin encer yang secara esensial hiposmotik terhadap darahnya atau hiposmotik mendekati isosmotik. Diduga bahwa konsentrasi urin disesuaikan menurut kebutuhan keseimbangan air. Dalam keadaan normal penurunan titik beku cairan tubuhnya berkisar antara $0,3^{\circ}-0,5^{\circ} C$.

Moluska darat, misalnya keong dan siput, permukaan tubuhnya yang berdaging sangat permeable. Bila dikeluarkan dari cangkangnya, misalnya pada

keong *Helix aspersa*, akan kehilangan air hampir secepat penguapan pada permukaan air seluas permukaan tubuhnya. Semua keong dan siput bernafas terutama dengan paru-paru yang terbentuk dari mantel tubuhnya, dan terbuka keluar melalui lubang kecil. Bentuk demikian memungkinkan kehilangan air melalui pernafasan.

Pada beberapa spesies yang telah dipelajari, toleransi terhadap kehilangan air adalah tinggi, dan tekanan osmotik internal bervariasi secara luas tergantung pada kandungan air habitatnya. Banyak siput dan keong harus pergi ke microhabitat yang lembab, dan merupakan hewan malam. Bila kondisi makin kering, moluska darat berbunyi di balik dedaunan atau pelindung yang lain. Pada keong yang memiliki penutup cangkang, akan menutup cangkangnya dengan operculum, sehingga tubuhnya terlindung dari kehilangan air.

Banyak keong darat secara rutin mengeluarkan suatu zat yang mengandung sisa nitrogen sebagai asam urat yang sulit larut, dan terdapat bukti bahwa zat ini meningkat pada beberapa spesies selama kesulitan air. Selama estivasi, asam urat disimpan dalam ginjal dalam beberapa bentuk, jadi mengurangi kehilangan air untuk ekskresi nitrogen. Banyak spesies menyimpan air dalam rongga mantelnya, dan rupannya digunakan pada lingkungan yang kering.

4. Osmoregulasi Pada Hewan Vertebrata

Osmoregulasi pada Vertebrata Air

Berdasarkan bukti-bukti diduga ikan *Osteichthyes* dan *Chondrichthyes* bermigrasi dari air tawar ke air laut. Banyak ikan-ikan teleostei telah masuk kembali ke air tawar, dimana beberapa yang lain (holosteans) tetap hidup terus dalam air tawar. Beberapa ikan laut sekarang tidak tergantung pada air tawar, beberapa yang lain seperti ikan salem (*anadromous*) kembali ke air tawar untuk bertelur, sementara yang lain sejenis belut (*catadromous*) berbiak di dalam lautan dan dewasa dalam air tawar. Sementara itu ada ikan yang telah menyesuaikan hidup di air payau, misalnya *Fundulus*, selama hidupnya berada dalam air payau.

Konsentrasi osmotik semua Vertebrata air tawar jauh lebih tinggi daripada mediumnya (air tawar). Vertebrata air tawar memiliki osmolaritas darah antara 200-300 mOsm, sedangkan air tawar kurang lebih hanya 50 mOsm. Keadaan demikian menimbulkan masalah penggelembungan tubuh hewan dan terus

menerus akan kehilangan garam tubuh, meskipun antara hewan satu dengan yang lain berbeda-beda. Perbedaan tersebut dapat terjadi tergantung pada :

1. Perbedaan jumlah membrane absolut dan relatif yang berhadapan dengan medium.
2. Perbedaan permeabilitas absolut terhadap air dan zat terlarut.
3. Perbedaan tingkat perkembangan mekanisme pengambilan zat terlarut pada membran dan.
4. Perbedaan efisiensi organ-organ ekskretori (terutama ginjal) dan menjaga kehilangan zat terlarut.

Keempat faktor tersebut, terutama tiga factor terakhir, dikontrol oleh organisme dan dapat diatur untuk menyesuaikan perubahan kondisi lingkungannya.

Hewan laut dibagi menjadi dua kelompok :

1. *Kelompok yang konsentrasi osmotiknya sama (isosmotik) atau sedikit di atas air laut* (misalny pada hagfish, Elasmobranchii, dan katak pemakan kepiting)
2. *Kelompok yang konsentrasi osmotik kira-kira 1/3 air laut* (belut laut, teleostei)

Kelompok pertama tidak memiliki masalah besar dalam hal keseimbangan air, sebab cairan di dalam dan di luar tubuh konsentrasinya sama, tidak ada aliran air osmotk. Sebaliknya yang kedua, dengan jelas hiposmotik yang hidup dalam medium dengan kosentrasi lebih pekat. Problem osmotik dan cara mengatasi antara keduanya berbeda banyak.

Vertebrata air tawar dilain pihak, secara seragam memiliki konsentrasi sekitar $\frac{1}{4}$ sampai $\frac{1}{3}$ air laut, jadi Vertebrata air tawar dalam keadaan hiperosmotik terhadap air tawar (mediumnya), dan secara prinsip sama dengan invertebrate air tawar.

a. Ikan air tawar

Kondisi osmotic ikan air tawar mirip Invertebrata air tawar. Ikan air tawar memiliki osmokonsentrasi plasma sebesar 130 sampai 170 mOsm, urin banyak

dan encer. Perbandingan penurunan titik beku antara medium, cairan tubuh dan urin adalah sebagai berikut ($\Delta_o = -0,03^\circ\text{C}$, $\Delta_i = -0,57^\circ\text{C}$, dan $\Delta_u = -0,08^\circ\text{C}$), dan volume urinnya 200 sampai 400 ml/kg/hari. Kulitnya relative impermeable, sedikit air masuk lewat minum dan makan, tetapi sejumlah air masuk secara osmotic melalui insang dan membrane mulut. Kelebihan air masuk akan diimbangi dengan ekskresi lewat ginjal, sebab ginjalnya memiliki glomeruli yang telah berkembang dengan baik untuk filtrasi.

Begitu filtrat melalui tubulus, sebagian besar zat terlarut direabsorpsi, sehingga menghasilkan urin yang encer, namun tidak seencer air tawar, sehingga garam yang hilang selain melalui urin juga melalui difusi dan feses. Garam yang hilang sebagian diganti lewat makanan, sebagian lewat absorpsi aktif dari medium oleh sel-sel khusus insang. Klorida diabsorpsi melawan gradient dan medium yang sangat encer.

Dalam mekanisme osmoregulasi pada ikan terdapat penambahan garam, beberapa spesies tergantung terutama pada makan (*Acerina*, *Perca*), sementara yang lain memiliki system absorpsi garam secara aktif melalui insang (*Leuciscus*, *Carassius*). Keadaan ini dapat diteliti dengan menenatkan ikan dalam ruang bersekat, sehingga bagian kepala dan bagian tubuh belakang dapat di pelajari secara terpisah. Dengan penelitian seperti ini diketahui bahwa pengambilan ion secara aktif terjadi hanya pada ruang bagian depan. Kesimpulannya bahwa kulit hanya berperan kecil dalam pengambilan ion, jika melalui absorpsi aktif.

b. Ikan air Laut

"Ikan hag" (*Myxine* dan *Polistotrema*), secara eksklusif adalah hewan laut, cairan tubuh keduanya isosmotic terhadap medium pada rentangan 600-1540 mOsm. Ikan-ikan tersebut menunjukkan kemampuan regulasi ionic, dan total osmokonsentrasi berbeda-beda secara luas dengan mengubah-ubah asam amino. Dengan perkecualian pada "ikan hag", semua Vertebrata laut memiliki konsentrasi garam dalam cairan tubuhnya lebih rendah (*hiposmotik*) dari air laut.

Ikan air laut yang hiposmotik menghadapi masalah kehilangan air tubuh, dan sekaligus menghadapi masalah masuknya zat-zat terlarut ke dalam tubuhnya karena gradient konsentrasi. Permukaan tubuh, terutama permukaan insangnya

agak permeable terhadap. Air banyak hilang melalui insang, urin, dan feses. Untuk menggantikan air yang hilang, ikan air laut minum air laut.

Meskipun minum dapat memperbaiki kadar air, namun sejumlah garam juga ikut tertelan dan diabsorpsi oleh dinding usus bersama-sama air. Konsentrasi garam dalam tubuhnya mengikat, ini merupakan masalah kedua yang diatasi oleh ikan air laut. Untuk mengatasi masalah ini, maka garam harus dikeluarkan dalam konsentrasi lebih tinggi dari pada air laut.

Ginjal pada ikan bertulang sejati tidak dapat melakukan tugas untuk memproduksi urin lebih pekat dari pada darah. Organ-organ yang lain harus ada yang membantunya. Tugas ini dilakukan oleh insang disamping melakukan tugas pertukaran gas. Karena sekresi garam melalui membran insang ini melawan gradien kadar, maka mekanismenya adalah transport aktif.

Mekanisme utama regulasi osmotik pada Teleostei (ikan bertulang sejati) yaitu air hilang secara osmotik melalui ginjal dan melalui urin. Untuk mengganti air hilang, ikan minum air laut, mengabsorpsi air dan garam melalui usus. Ekskresi natrium dan klorida dalam urin kurang penting sebab urin Teleostei biasanya lebih encer daripada cairan tubuhnya. Namun bagaimana pun juga ginjal melakukan peran utama dalam ekskresi ion-ion bivalen, yaitu magnesium dan sulfat, yang mengganti sekitar sepersepuluh garam dalam air laut. Ion ini tidak dieliminasi oleh insang, yang hanya mengekresikan natrium dan klorida.

Meskipun ikan air laut minum air laut, penelitian menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil total natrium yang diambil berasal dari minum, diduga sebagian besar natrium masuk lewat kulit dan insang yang agak permeable.

Pada ikan kili (*Fundulus heteroclitus*) yang telah beradaptasi terhadap air tawar dan laut, telah dipelajari perubahan permeabilitas terhadap natrium dan klorida yang terjadi selama adaptasi terhadap berbagai konsentrasi. Permeabilitasnya turun dalam beberapa menit setelah dimasukkan kedalam air tawar, tetapi peningkatan permeabilitasetelah dikembalikan ke dalam air laut memerlukan waktu sampai beberapa jam.

Pengangkutan ion-ion tidak dilakukan oleh sel-sel khusus yang disebut sel-sel klorida (*chloride cells*). Sel-sel tersebut disebut sel klorida tanpa diketahui fungsinya, dan sampai beberapa tahun tetap tidak pastiapakah mengangkut klorida

secara aktif dan natrium mengikut secara pasif atau natrium yang diangkut secara aktif dengan diikuti klorida secara pasif.

Pada ikan bertulang rawan (*Chondrichthyes*) yang hidup di air laut maupun tawar, misalnya hiu dan sebagainya, memiliki konsentrasi garam darah selalu lebih tinggi daripada mediumnya (air laut). Konsentrasi garam plasmanya sama dengan ikan bertulang sejati, tetapi bagian osmotik yang disebabkan oleh NaCl hanya 45% dari keseluruhan. Bagian terbesar konsentrasi osmotik terbentuk oleh banyaknya urea, dan beberapa oksida trimethylamine (TMO) yang berada dalam semua jalinan dan cairan tubuhnya. Jadi ikan bertulang rawan dapat memelihara gradient osmotik dalam air laut sama dengan dalam air tawar, dan dapat terus mengeluarkan urin yang hiposmotik dari darahnya. Reabsorpsi urea pada ginjal ikan "dogfish" bervariasi tergantung pada konsentrasi urea darah. Kulit dan insang Elasmobranchiata relative impermeable terhadap urea.

Terdapat banyak variasi konsentrasi urea pada berbagai jenis ikan. *Potamotrigon* dari amazon atas hanya memiliki 1,07 mM urea, sedangkan *Carcharhinus* dari Danau Nicaragua memiliki 80 mM urea. Ikan bertulang rawan yang hidup di laut berbeda dalam toleransinya terhadap air payau encer. *Scyliorhinus* akan mati dalam 60 % air laut, tetapi tetap hidup bila ditambahkan urea atau sukrosa untuk meningkatkan osmokonsentrasi setinggi air laut. Hiu Lemon (*Negaprion*) yang diaklimasikan pada 50 % air laut selama satu minggu, konsentrasi osmotik darahnya turun menjadi 40 %, urea plasmanya menjadi 55 %, oksida trimethylamine menjadi 60 %, dan klorida menjadi 20 %.

5.6 Mekanisme osmoregulasi hewan air payau, berpindah dan hewan teresterial yang beraktifitas di laut.

A. Ikan Berpindah Medium

Kebanyakan ikan bertulang sejati memiliki kemampuan terbatas berpindah dari air tawar ke air laut dan sebaliknya, sebab mereka adalah stenohalin. Namun ada beberapa ikan yang mampu berpindah hidup antara air tawar dan air laut dalam siklusnya hidupnya, misalnya lamprey (sejenis belut laut), dan ikan salem. Perpindahan antara air tawar dan air laut membawa konsekuensi perubahan mekanisme osmoregulasinya.

Petromyzon (lamprey) bertelur dan menetas di air tawar, dan hidup dewasa di air laut. Darah petromyzon memiliki penurunan titik beku sebesar $-0,40^{\circ}\text{C}$ di air tawar, dan $-0,59^{\circ}\text{C}$ pada saat berada di dalam laut. Bila lamprey masuk ke air tawar, dia berhenti minum, tetapi bila berada di air payau, mereka minum dan ekskresi ekstrarenal Na dan Cl diaktifkan. Dalam air tawar, mereka dapat mengabsorpsi Cl secara aktif.

Aguilla yulgaris sejenis belut yang hidup di benua Eropa dan Amerika berkembangbiak di laut sugasi Atlantik Tengah, kemudian belut muda bermigrasi ke masing-masing daerahnya. Pada saat hidup di laut, belut memiliki darah dengan penurunan titik beku sebesar $-0,69^{\circ}\text{C}$ sampai $-0,73^{\circ}\text{C}$ dan pada saat hidup di air tawar penurunan titik beku darahnya adalah $-0,61^{\circ}\text{C}$ - $-0,62^{\circ}\text{C}$. Bila belut laut berpindah dari air tawar ke air laut, ia akan kehilangan air osmotik mencapai 4% dari berat tubuhnya dalam 10 jam. Bila belut dicegah minum air laut dengan menempatkan balon pada esofagusnya, ia terus kehilangan air dan dalam beberapa hari akan mati karena dehidrasi.

Bila belut kembali ke air laut, ia segera minum air laut dan berat tubuhnya menjadi normal dalam 1 sampai 2 hari. Bila belut berpindah dari air laut ke air tawar, akan terjadi penambahan berat tubuh tetapi dengan pengeluaran urin encer, maka keadaan normal akan dicapai dalam 1 sampai 2 hari.

Bila belut berpindah dari air tawar ke air laut atau sebaliknya, selain merubah arah aliran osmotik air, untuk mencapai keadaan seimbang dan mengganti zat terlarut yang tambah atau hilang, belut merubah arah transpor ion secara aktif dalam insang. Bagaimana perubahan arah tersebut terjadi, belum diketahui, diasumsikan melibatkan mekanisme endokrin.

Osmoregulasi pada Amfibi

Sebagian besar amfibi adalah hewan air atau semiakuatik. Telurnya diletakkan dalam air, dan larvanya adalah hewan air yang bernafas dengan insang. Melalui metamorfosis, kebanyakan amfibi (tidak semua), mengubah alat pernafasannya dengan paru-paru. Beberapa salamander tetap memiliki insang dan tetap hidup didalam air setelah dewasa, dan kebanyakan katak dan lain-lain berubah menjadi hewan darat, meskipun biasanya tetap memilih habitat berair.

Regulasi osmotik Amfibi mirip ikan air tawar, kulitnya berperan sebagai organ osmoregulasi utama. Pada saat hewan berada dalam air tawar, terdapat aliran osmotik ke air dalam tubuhnya, yang akan keluar sebagai urin yang sangat encer. Bersama urin ikut terbuang gram-gram. Di samping itu di gram hilang melalui kulitnya. Kehilangan gram ini diganti dengan jalan pengambilannya secara aktif dari dalam air tawar melalui kulitnya.

Katak dan salamander umumnya adalah hewan air tawar, akan mati dalam beberapa jam diletakkan dalam air laut, jadi katak dan salamander adalah regulator hiperosmotik sempit. Namun ada sejenis katak pemakan kepiting, hidup di daerah rawa mangrove, mencari makan dan berenang dalam air laut. Pada saat katak berada dalam air laut ia menjadi hewan regulator hiposmotik untuk mencegah kehilangan air osmotik melalui kulitnya, katak menambah jumlah urea dalam darahnya, yang dapat mencapai 480 mmol urea per liter. Mekanisme ini beralasan, sebab kulit pada amfibi relatif permeabel terhadap air, sehingga secara sederhana untuk mencegah kehilangan air dibuat konsentrasi osmotik darah seperti medium.

Karena urea esensial bagi katak untuk hidup normal, maka urea ditahan dalam tubuh dan tidak diekskresikan bersama urin. Pada katak, urea ditahan melalui reabsorpsi aktif dalam tubulus ginjal. Pada katak pemakan kepiting, urea ditahan dengan mereduksi volume urin pada saat katak berada dalam air laut. nampaknya urea tidak direabsorpsi secara aktif, sebab konsentrasi urin tetap dalam keadaan sedikit di atas urea dalam plasma.

Katak pemakan kepiting, yang muda memiliki toleransi lebih besar terhadap salinitas tinggi dari pada yang dewasa. Pada katak muda, pola regulasi osmotiknya dengan teleostei, sedangkan dewasa memiliki elasmobranchii.

Osmoregulasi Pada Reptil

Ada empat ordo utama bangsa reptil yaitu : kadal, kura-kura, dan buaya. Di antara keempat ordo tersebut, buaya sangat tergantung pada air, sedangkan ketiga ordo lainnya (ular, kadal, dan kura-kura), telah beradaptasi dengan baik terhadap habitat kering, dan hanya sedikit sekali yang akuatik atau semiakuatik. Semua reptil akuatik bernafas dengan paru-paru, salah satu ciri hewan darat.

Kulit reptil kering, berzat tanduk dan impermeabel terhadap air. Air hilang terutama melalui penguapan melalui kulit. Kehilangan air karena menguap pada seluruh reptil ternyata lebih besar dari pada lewat pernafasannya. Misalnya pada ular air, kehilangan air lewat kulit sebesar 88% dan dari pernafasan 12% pada kura-kura gurun kehilangan panas lewat kulit 76% dan lewat pernafasan sebesar 24% reptil mengeksresikan asam urat (sebagai hasil metabolisme protein) lewat urin. Karena asam urat tidak larut dalam air, maka untuk mengeksresikanya diperlukan sedikit air. Jadi reptil dapat kehilangan air lewat penguapan, pernafasan dan urin.

Pada beberapa reptil laut, ekresikan gram dilakukan oleh kelenjar gram di kepalanya, di samping ginjalnya. Kelenjar asam menghasilkan cairan dengan konsentrasi tinggi, terutama natrium dan klorida yang konsentrasinya lebih tinggi dari pada air laut kelenjar gram tidak berfungsi terus menerus seperti ginjal, hanya berfungsi apabila kadar gram dalam darah sangat tinggi sehingga ginjal tidak mampu berfungsi. Dalam hal penggunaan air, kelenjar gram lebih ekonomis dari pada ginjal.

Pada kadal laut, kelenjar gramnya (kelenjar nasalnya) mengekresikan hasil ke bagian anterior rongga hidungnya, dan ekshalasi yang tiba-tiba, menyemburkan cairan keluar seperti spreng melalui lubang hidung. Pada reptil laut yang memiliki cairan tubuh isosmetik dengan air laut, misalnya iguana galapagos pemakan rumput laut, tidak memiliki kelenjar gram.

Kura-kura laut pemakan tumbuhan atau karnivora, memiliki kelenjar gram yang besar pada sekitar kedua matanya (kelenjar orbital). Kelenjar ini bermuara pada sudut posterior matanya, dan pada saat mengeluarkan eksresinya kura-kura nampak seperti "menaggis". Kelenjar air mata manusia mirip dengan kelenjar gram pada reptil meskipun tidak secara khusus berperan dalam mengekresikan gram (ingat bahwa rasa, air mata asin). Air mata manusia isosmotik dengan plasma darah.

Ular laut juga mempunyai kelenjar gram yang bermuara ke dalam rongga mulutnya (kelenjar bawah lidah). Sedangkan buaya laut, sebagian tidak memiliki kelenjar gram, sebagian yang memiliki kelenjar- kelenjar kecil yang bermuara pada permukaan lidahnya. Buaya yang tidak memiliki kelenjar gram memelihara

keseimbangan cairan tubuhnya dengan hidup di muara sungai, memakan ikan, dan memiliki kulit yang sangat impermeable.

Osmoregulasi pada Burung dan Mamalia

Kebanyakan burung dan mamalia sangat terkait dengan air tawar, meskipun sebagian ada yang hidup di gurun-gurun dan harus tergantung kepada metabolik, sedang yang lain hidup dan mencari makan di laut. Metabolisme burung tinggi, dan kehilangan air lewat pernafasan juga relatif tinggi. Urin koala mungkin berbentuk pasta encer dari kristal-kristal asam urat, reabsorpsi air mungkin terjadi pada tubuli ginjal, pada koalaka, dan juga dalam usus besar.

Kehilangan transpirasional relatif rendah. Permeabilitas kulit berbedaan antara spesies yang satu dengan yang lain, demikian juga kehilangan air transporasional lewat kulit sangat berbeda. Persentase kehilangan air tubuh setiap hari pada burung kecil pemakan biji lebih tinggi dari pada burung besar. Pada manusia dan tikus pada suhu sekitar 25°C dalam udara kering, sekitar separuh jumlah air yang hilang adalah lewat kulitnya.

Faktor penting untuk mengurangi penguapan dan air masuk tubuh adalah bahwa permeabilitas kulit mamalia adalah sangat rendah. Beberapa mamalia menguapkan air melalui kelenjar keringat atau lewat penguapan pada kulit hilang ini mungkin mencapai titik kritis. Kehilangan air lewat penguapan pada kulit manusia berurutan tidak sejajardengan tekanan uap air di udara di atas kulit. Mamalia kecil seperti kelinci memiliki pendinginan evaporatif rendah atau bahkan tidak ada. Pada manusia kehilangan 10% air tubuhnya dapat menyebabkan keadaan buruk; pada tikus, unta dan domba, kehilangan 30% air tubuhnya dapat menyebabkan kematian. Manusia yang masuk air, kulitnya mungkin menyerap sejumlah air, terutama secara imbibisi oleh stratum korneum.

Kehilangan air lewat feses pada mamalia berbeda seekor unta dalam keadaan tidak minum berlebihan, fesesnya mengandung 76 gr per 100 gr berat kering dalam keadaan kelebihan air, fesesnya mengandung 109 gr air/ 100 gr berat kering, perbandingan kandungan air dalam 100 gr berat kering feses pada beberapa mamalia.



Mamalia laut seperti singa laut, lumba-lumba dan ikan paus, tidak memiliki organ ekresi gram eksternal seperti kelenjar gram pada burung laut dan reptil, atau insang pada ikan. Seperti mamalia yang lain, mamalia laut memiliki ginjal dengan kemampuan efisien dalam memproduksi urin yang sangat hipertonik. Untuk membantu kerja ginjal mamalia laut tidak minum air laut, tetapi hanya menelan air bersama makanan yang dimakan. Sumber air yang lain seperti mamalia gurun adalah air metabiknya. Manusia, seperti mamalia yang lain tidak dilengkapi dengan organ untuk mengekresikan air laut. Ginjal manusia mampu memindahkan sampai sekitar 6 gr Na^+ dari aliran darah/ liter urin yang di produksi. Air laut mengandung sekitar 12 gr/ liter Na^+ . Jadi minum air laut dapat menyebabkan manusia mengakumulasi gram tanpa menambah air yang ekuivalen secara fisiologis. Dengan kata lain, untuk mengekresikan gram yang ditelan bersama sejumlah air laut, ginjal manusia memerlukan jumlah air lebih banyak dari pada yang terkandung dalam air laut yang diminum, jadi minum air laut akan diikuti dehidrasi secara cepat.

BAB VI

SISTEM EKSKRESI

6.1 Pendahuluan

Di dalam tubuh kita berlangsung berbagai proses metabolisme, misalnya respirasi, sintesis protein, dan perombakan zat-zat. Namun, selain menghasilkan bahan-bahan yang berguna bagi tubuh, metabolisme juga menghasilkan zat-zat sisa yang jika tidak dikeluarkan dari tubuh dapat meracuni tubuh. Untuk itu, tubuh kita memiliki sistem ekskresi guna mengeluarkan zat-zat sisa metabolisme.

Ekskresi merupakan proses pengeluaran zat sisa metabolisme tubuh, seperti CO_2 , H_2O , NH_3 , zat warna empedu dan asam urat, selain itu ekskresi juga dapat diartikan sebagai proses pembuangan sisa metabolisme dan benda tidak berguna lainnya. Ekskresi merupakan proses yang ada pada semua bentuk kehidupan. Pada organisme bersel satu, produk buangan dikeluarkan secara langsung melalui permukaan sel. Sisa metabolisme yang mengandung nitrogen ialah amonia (NH_3), urea dan asam urat. Bahan tersebut berasal dari hasil perombakan protein, purin, dan pirimidin.

Amonia dihasilkan dari proses deaminasi asam amino. Amonia merupakan bahan yang sangat racun dan merusak sel. Bagi hewan yang hidup di darat amonia menjadi masalah untuk kelangsungan hidupnya jika ditimbun dalam tubuhnya. Karena itu pada hewan yang hidup di darat amonia segera diubah di dalam hati menjadi persenyawaan yang kurang berbahaya bagi tubuhnya yaitu dalam bentuk urea dan asam urat.

Kebanyakan mamalia, amfibi dan ikan mengekskresikan urea dan hewan-hewan tersebut dapat disebut ureotelik. Urea mudah larut dalam air dan diekskresikan dalam cairan yang disebut urine. Pada burung, reptil, keong darat, dan serangga asam urat yang diekskresikan berbentuk padat bersama kotoran.

Air dalam urine pada hewan-hewan tersebut diabsorpsi oleh tubuh untuk penghematan. Meskipun cara hidup dan habitat mempunyai peran penting pada ekskresi sisa metabolisme yang mengandung nitrogen.

Organisme multiselular memiliki proses ekskresi yang lebih kompleks. Alat ekskresi pada manusia dan vertebrata lainnya berupa ginjal, paru-paru, kulit, dan

hati, sedangkan alat pengeluaran pada hewan invertebrata berupa nefridium, sel api, atau buluh Malphigi.

6.2 Pengertian Ekskresi

Hasil pembakaran dan sisa metabolisme perlu dibuang ke luar tubuh agar tidak meracuni tubuh. Untuk itu, diperlukan sistem pengeluaran atau disebut sistem ekskresi. Ekskresi artinya pengeluaran limbah hasil metabolisme pada organisme hidup. Zat sisa metabolisme yang harus dikeluarkan antara lain karbon dioksida (CO_2), urea, air (H_2O), amonia (NH_3), kelebihan vitamin, dan zat warna empedu. Alat pengeluaran pada manusia berupa ginjal, kulit, paru-paru, dan hati.

Ginjal adalah alat pengeluaran utama. Ginjal berfungsi mengeluarkan air, amonia, dan zat warna empedu. Hasil dari penyaringan di ginjal berupa urin. Kulit berperan untuk mengeluarkan air dan garam-garaman. Paru-paru berperan mengeluarkan karbon dioksida dan air (dalam bentuk uap air). Hati berfungsi menghasilkan zat warna empedu yang merupakan hasil perombakan sel darah.

Aryulina (2004) menyatakan bahwa saat bernapas, kita mengeluarkan karbon dioksida. Di saat udara panas, tubuh kita mengeluarkan keringat. Sebaliknya saat udara dingin, kita sering mengeluarkan air seni (urin). Berbagai reaksi kimia terjadi di dalam sel-sel tubuh kita untuk menjaga kita tetap hidup. Reaksi kimia tersebut menghasilkan beberapa zat sisa yang bersifat racun dan harus dikeluarkan dari dalam tubuh. Pengeluaran zat-zat sisa hasil metabolisme dalam tubuh dengan tujuan agar kesetimbangan tubuh terjaga disebut ekskresi. Ekskresi melibatkan alat-alat khusus dan membentuk suatu sistem yang disebut sistem ekskresi.

Maryati (2006) menyatakan bahwa ginjal yang tidak berfungsi dengan baik menyebabkan proses ekskresi terganggu karena ginjal merupakan salah satu organ ekskresi. Ekskresi adalah proses pembebasan sisa-sisa metabolisme dari tubuh. Kelebihan air, gas, garam-garam dan material organik diekskresikan ke luar. Hewan juga melakukan metabolisme untuk melakukan aktivitas kehidupan. Pada hewan invertebrata belum terdapat sistem ekskresi. Akan tetapi, sisa-sisa metabolisme harus dikeluarkan dari dalam tubuh organisme. Untuk itu hewan invertebrata memiliki alat dan cara ekskresi tersendiri. Alat ekskresi hewan vertebrata yang utama adalah ginjal (ren).

Ekskresi adalah proses pengeluaran zat sisa metabolisme baik berupa zat cair dan zat gas. Zat-zat sisa itu berupa urine (ginjal), keringat (kulit), empedu (hati), dan CO₂ (paru-paru). Zat-zat ini harus dikeluarkan dari tubuh karena jika tidak dikeluarkan akan mengganggu bahkan meracuni tubuh. Selain ekskresi, ada juga defekasi dan sekresi. Defekasi adalah pengeluaran zat sisa hasil proses pencernaan berupa feces (tinja) melalui anus. Sedangkan sekresi adalah pengeluaran oleh sel dan kelenjar yang berupa getah dan masih digunakan oleh tubuh untuk proses lainnya seperti enzim dan hormon.

Secara umum, sistem ekskresi menghasilkan urin melalui dua proses utama yaitu filtrasi cairan tubuh dan penyulingan larutan cair yang dihasilkan dari filtrasi itu. Sistem ekskresi pada hewan invertebrata sangat berbeda dengan sistem ekskresi pada hewan vertebrata. Tetapi walaupun berbeda secara fungsional tetap mengeluarkan urin dari filtrat zat-zat terlarut didalam tubuh yang tidak terpakai lagi, melalui anus ataupun kloaka dan rectum.

Sistem ekskresi membantu memelihara homeostasis dengan tiga cara, yaitu melakukan osmoregulasi, mengeluarkan sisa metabolisme, dan mengatur konsentrasi sebagian besar penyusun cairan tubuh. Zat sisa metabolisme adalah hasil pembongkaran zat makanan yang bermolekul kompleks.

6.3 Sistem Ekskresi Pada Manusia

Alat ekskresi pada manusia terdiri dari ginjal, kulit, hati, dan paru-paru. Air dapat dikeluarkan melalui semua alat ekskresi tersebut, tetapi setiap alat ekskresi mengeluarkan zat sisa metabolisme yang berbeda. Pada bagian ini akan dibahas alat-alat ekskresi pada manusia.

1. Ginjal

Manusia mempunyai sepasang ginjal yang terletak di dalam rongga perut bagian belakang. Ginjal merupakan komponen utama penyusun sistem urine. Ginjal sering disebut juga dengan buah pinggang karena letaknya yang berada di sebelah kanan dan kiri tulang pinggang. Apabila sebuah ginjal dipotong secara melintang maka akan tampak tiga lapisan.

Manusia memiliki sepasang ginjal yang terletak di rongga perut sebelah kanan dan kiri ruas tulang belakang. Letak ginjal sebelah kiri lebih tinggi dari

ginjal sebelah kanan. Itu karena di atas ginjal sebelah kanan terdapat hati yang berukuran besar. Bentuk ginjal seperti biji kacang berwarna merah keunguan dengan panjang sekitar 10 cm dan berat sekitar 200 gram. Ginjal dibungkus oleh semacam selaput tipis yang disebut 'kapsul'.

Fungsi ginjal

- 1) Untuk menyaring darah
- 2) Osmoregulasi, yaitu pembuangan kelebihan air agar keseimbangan konsentrasi darah terjaga
- 3) Memelihara keseimbangan konsentrasi garam-garam tertentu
- 4) Mengekskresikan gula darah yang melebihi kadar normal
- 5) Mempertahankan keseimbangan asam dan basa darah

Proses pembentukan urine

Ada tiga tahap pembentukan urine tersebut adalah:

1) Filtrasi (Penyaringan)

Proses ini terjadi di glomerulus. Cairan yang tersaring ditampung oleh simpai Bowman. Cairan tersebut tersusun oleh urea, glukosa, air, ion-ion anorganik seperti natrium kalium, kalsium, dan klor. Darah dan protein tetap tinggal di dalam kapiler darah karena tidak dapat menembus pori-pori glomerulus. Cairan yang tertampung di simpai Bowman disebut urine primer. Selama 24 jam darah yang tersaring dapat mencapai 170 liter.

2) Reabsorpsi (Penyerapan Kembali)

Proses ini terjadi di tubulus kontortus proksimal. Proses yang terjadi adalah penyerapan kembali zat-zat yang masih dapat diperlukan oleh tubuh. Zat yang diserap kembali adalah glukosa, air, asam amino dan ion-ion anorganik. Sedangkan urea hanya sedikit diserap kembali. Cairan yang dihasilkan dari proses reabsorpsi disebut urine sekunder.

3) Augmentasi (Pengumpulan)

Proses ini terjadi di tubulus kontortus distal dan juga di saluran pengumpul. Pada bagian ini terjadi pengumpulan cairan dari proses sebelumnya. Di bagian ini juga masih terjadi penyerapan ion natrium, klor serta urea. Selain itu di bagian ini juga terjadi penambahan zat-zat yang bersifat racun bagi tubuh. Cairan yang dihasilkan sudah berupa urine sesungguhnya, yang kemudian

disalurkan ke rongga ginjal (pelvis renalis). Urine yang sudah terbentuk dan terkumpul di rongga ginjal dibuang keluar tubuh melalui ureter kemudian ditampung di kandung kemih dan saat dikeluarkan melalui uretra.

Zat-zat yang terkandung dalam urin meliputi: air, kurang lebih 95%; urea, asam urat, dan amonia dan merupakan sisa pembongkaran protein, empedu yang memberikan warna kuning pada urine, garam, zat yang bersifat racun atau berlebihan lainnya.

Faktor yang memengaruhi jumlah urine yang keluar: jumlah air yang diminum, pengaruh hormon antidiuretik(ADH) atau hormon vasopresin; yaitu hormon yang mengatur kadar air dalam darah, iklim/musim/cuaca. Ketika musim hujan(dingin) produksi urin berlebihan, ketika musim kemarau(panas) produksi urin berkurang, stimulus atau saraf.

2. Kulit

Kulit merupakan lapisan tipis yang menutupi dan melindungi seluruh permukaan tubuh. Selain berfungsi menutupi seluruh permukaan tubuh, kulit juga berfungsi sebagai alat pengeluaran. Zat sisa yang dikeluarkan melalui kulit adalah air dangaram-garaman. Kulit terdiri atas tiga lapisan yaitu lapisan kulit ari (epidermis), lapisan kulit jangat (dermis) dan lapisan jaringan ikat bawah kulit.

Epidermis (Kulit Ari)

Epidermis tersusun oleh sejumlah lapisan sel yang pada dasarnya terdiri atas dua lapisan yaitu :

- a) Lapisan tanduk; merupakan lapisan epidermis paling luar. Pada lapisan ini tidak terdapat pembuluh darah dan serabut saraf, karena merupakan sel-sel mati dan selalu mengelupas.
- b) Lapisan malpighi; lapisan ini terdapat di bawah lapisan tanduk. Sel-selnya terdapat pigmen yang menentukan warna kulit.

Dermis (Kulit Jangat)

Merupakan lapisan kulit di bawah epidermis, di dalam lapisan ini terdapat beberapa jaringan yaitu :

- a) Kelenjar keringat, yang berfungsi untuk menghasilkan keringat. Keringat tersebut bermuara pada pori-pori kulit.

- b) Kelenjar minyak, yang berfungsi untuk menghasilkan minyak guna menjaga rambut tidak kering. Kelenjar ini letaknya dekat akar rambut.
- c) Pembuluh darah, yang berfungsi untuk mengedarkan darah ke semua sel atau jaringan termasuk akar rambut.
- d) Ujung-ujung saraf. Ujung saraf yang terdapat pada lapisan ini adalah ujung saraf perasa dan peraba.

Jaringan Ikat Bawah Kulit

Di bagian ini terdapat jaringan lemak (adiposa). Fungsinya antara lain untuk menahan suhu tubuh dan cadangan makanan. Dengan adanya berbagai jaringan yang terdapat di dalamnya, maka kulit dapat berfungsi sebagai :

- a) indra peraba dan perasa
- b) pelindung tubuh terhadap luka dan kuman
- c) tempat pembentukan vitamin D dari provitamin D dengan bantuan sinar ultraviolet cahaya matahari
- d) menyimpan kelebihan lemak
- e) pengatur suhu tubuh.

Fungsi kulit

- Pengatur suhu tubuh
- Pelindung tubuh dari gangguan fisik berupa tekanan, gangguan biologis berupa jamur dan gangguan yang bersifat kimiawi.
- Tempat penyimpanan kelebihan lemak.
- Tempat pembentukan vitamin D dari provitamin D dengan bantuan sinar matahari.
- Tempat indera peraba dan perasa

Faktor-faktor pemicu keringat

- Peningkatan aktifitas tubuh
- peningkatan suhu lingkungan
- guncangan emosi
- syaraf

3. Paru-paru

Pembahasan tentang organ paru-paru sudah banyak dibahas pada pokok bahasan sistem pernapasan. Selain berfungsi sebagai alat pernapasan, paru-paru juga berfungsi sebagai alat ekskresi. Karena paru-paru mengeluarkan gas CO_2 dan uap air. Paru-paru berfungsi sebagai pertukaran oksigen dan karbondioksida yang tidak dibutuhkan tubuh. Selain itu masih banyak lagi fungsi paru-paru diantaranya penjaga keseimbangan asam basa tubuh. Bila terjadi acidosis, maka tubuh akan mengkompensasi dengan mengeluarkan banyak karbondioksida yang bersifat asam ke luar tubuh.

4. Hati

Hati merupakan salah satu alat ekskresi karena hati mengeluarkan urea dan amonia ke luar tubuh. Hati terletak di rongga perut bagian kanan di bawah diafragma. Hati berwarna merah tua kecoklatan dengan berat sekitar 2 kg.

Fungsi hati

- 1) Menghasilkan Getah Empedu; getah empedu dihasilkan dari hasil perombakan sel darah merah. Getah ini ditampung di dalam kantung empedu kemudian disalurkan ke usus 12 jari. Getah empedu pada dasarnya terdiri atas dua komponen yaitu garam empedu dan zat warna empedu. Garam empedu berfungsi dalam proses pencernaan makanan yaitu untuk mengemulsi lemak. Sedangkan zat warna empedu tidak berfungsi sehingga harus diekskresikan. Zat warna empedu yang diekskresikan ke usus 12 jari, sebagian menjadi sterkobilin, yaitu zat yang mewarnai feses dan beberapa diserap kembali oleh darah dibuang melalui ginjal sehingga membuat warna pada urine yang disebut urobilin. Kedua zat ini mengakibatkan warna feses dan urine kuning kecoklatan.
- 2) Menghasilkan Urea; urea adalah salah satu zat hasil pemecahan protein yang rusak yang selanjutnya dikeluarkan dari tubuh melalui urin. Karena zat ini beracun bagi tubuh maka harus dibuang keluar tubuh. Dari hati urea diangkut ke ginjal untuk dikeluarkan bersama urine.

6.4 Ekskresi pada Hewan Invertebrata

Invertebrata belum memiliki ginjal yang berstruktur sempurna seperti pada vertebrata. Pada umumnya invertebrata memiliki sistem ekskresi yang sangat sederhana, dan sistem ini berbeda antara invertebrata satu dengan invertebrata lainnya. Alat ekskresi pada invertebrata secara umum berupa saluran malphigi, nefridium, dan sel api. Nefridium adalah tipe yang umumnya dari struktur ekskresi khusus pada invertebrata. Berikut sistem ekskresi pada hewan invertebrata, yaitu :

Sistem Ekskresi pada Cacing Pipih

Proses pengeluaran zat sisa pada cacing pipih, dilakukan melalui pembuluh bercabang-cabang yang memanjang pada bagian samping kiri dan kanan disepanjang tubuhnya. Setiap cabang berakhir pada sel-sel api (solenosit) yang dilengkapi dengan silia (bulu getar) dan beberapa flagella yang gerakannya seperti gerakan api lilin. Saluran ini disebut protonefridium. Silia pada sel api akan selalu bergerak. Akibat gerakan silia tersebut, air atau cairan tubuh dan zat sisa yang sudah disaring didalam sel api akan terdorong masuk ke dalam saluran ekskresi.

Cairan tubuh dan zat sisa kemudian dikeluarkan dari tubuh melalui suatu lubang yang disebut nefridiofor. Sebagian besar sisa nitrogen tidak masuk ke dalam saluran ekskresi. Sisa nitrogen lewat dari sel ke sistem pencernaan dan diekskresikan lewat mulut. Beberapa zat sisa berdifusi secara langsung dari sel ke air.

Sistem Ekskresi pada Annelida

Cacing tanah termasuk kedalam filum Annelida, oleh karena itu, pada setiap segmen terdapat sepasang ginjal atau nefridium, kecuali pada tiga segmen pertama dan segmen terakhir. Setiap nefridium memiliki dua lubang, lubang yang pertama berupa corong yang terbuka dan bersilia yang disebut nefrostom (dibagian anterior) dan terletak pada segmen yang lain. Nefrostom terdapat didalam rongga tubuh dan berisi penuh dengan cairan.

Cairan tubuh ditarik dan diambil oleh nefrostom, yang kemudian masuk ke dalam nefridia yang berupa pembuluh panjang dan berliku-liku. Pada waktu cairan tubuh mengalir mengalir melalui nefridia terjadi penyerapan kembali zat-zat yang masih bermanfaat, seperti glukosa, air, dan ion-ion. Kemudian zat-zat

tersebut diedarkan keseluruh kapiler sistem sirkulasi. Sedangkan sisa cairan tubuh, seperti air, senyawa nitrogen, dan garam-garam yang tidak diperlukan oleh tubuh akan dikeluarkan melalui ujung nefrostom yang berupa lubang atau nefridiofor.

Sistem Ekskresi pada Serangga

Alat ekskresi pada serangga disebut pembuluh malphigi. Pembuluh malphigi merupakan tabung kecil dan panjang yang berfungsi sebagai alat pengeluaran seperti ginjal pada vertebrata. Pembuluh malphigi terletak dalam homosol dan tergenang di dalam darah. Bagian pangkal pembuluh malphigi melekat pada ujung anterior dinding usus dan bagian ujungnya menuju ke homosol yang mengandung hemolimfa. Hemolimfa merupakan darah pada invertebrata dengan sistem peredaran darah terbuka.

Pembuluh malphigi pada bagian dalam tersusun oleh selapis sel epitel yang berperan dalam pemindahan urea, limbah nitrogen, garam-garam dan air dari hemolimfa ke dalam rongga pembuluh. Bahan-bahan yang penting dan air masuk kedalam pembuluh, lalu diserap kembali secara osmosis di rektum untuk diedarkan keseluruh tubuh oleh hemolimfa. Sebaliknya, bahan yang mengandung nitrogen diendapkan sebagai kristal asam urat yang akan dikeluarkan bersama feses melalui anus. Disamping pembuluh malphigi, terdapat trakea yang berfungsi untuk mengeluarkan zat sisa hasil oksidasi yang berupa CO_2 . Sistem trakea ini berfungsi sebagai paru-paru pada invertebrata.

6.5 Sistem Ekskresi pada Hewan Vertebrata

Sistem hewan vertebrata sudah memiliki ginjal seperti manusia dengan struktur yang sempurna, walaupun masih terdapat perbedaan dalam struktur dan fungsinya. Perbedaan-perbedaan ini dapat dihubungkan dengan lingkungan hidup hewan tersebut.

Pada vertebrata terdapat beberapa tipe ginjal, yaitu pronefros, opistonefros, mesonefros, dan metanefros. Berikut sistem pencernaan pada hewan vertebrata, yaitu :

Sistem Ekskresi pada Ikan

Alat ekskresi pada ikan berupa sepasang ginjal yang memanjang (opistonefros) dan berwarna kemerah-merahan. Pada beberapa jenis ikan, seperti ikan mas saluran ginjal (kemih) menyatu dengan saluran kelenjar kelamin yang disebut saluran urogenital. Saluran urogenital terletak dibelakang anus, sedangkan pada beberapa jenis ikan yang lain memiliki kloaka.

Karena ikan hidup di air, ikan harus selalu menjaga keseimbangan tekanan osmotiknya. Pada ikan yang bernafas dengan insang, urin dikeluarkan melalui kloaka atau porus urogenitalis, dan karbon dioksida dikeluarkan melalui insang. Pada ikan yang bernafas dengan paru-paru, karbon dioksida dikeluarkan melalui paru-paru dan urin dikeluarkan melalui kloaka.

Mekanisme ekskresi pada ikan yang hidup di air tawar dan air laut berbeda. Ikan yang hidup di air tawar mengekskresikan ammonia dan aktif menyerap oksigen melalui insang, serta mengeluarkan urin dalam jumlah yang besar. Sebaliknya, ikan yang hidup dilaut akan mengekskresikan ammonia melalui urin yang jumlahnya sedikit.

Sistem Ekskresi pada Katak

Alat ekskresi utama pada katak adalah sepasang ginjal (opistonefros) yang terletak di kanan dan kiri tulang belakang. Warnanya merah kecoklatan, bentuknya memanjang dari depan ke belakang. Zat sisa yang diambil oleh ginjal akan disalurkan melalui ureter menuju ke kantong kemih yang berupa kantong berdinding tipis yang terbentuk dari tonjolan dinding kloaka. Fungsinya untuk menyimpan urine sementara. Pada katak jantan, saluran ginjal dan saluran kelinannya menyatu, sedangkan pada katak betina tidak.

Sistem Ekskresi pada Reptil

Alat ekskresi pada reptil berupa ginjal (metanefros) yang sudah berkembang sejak masa fase embrio. Ginjal ini dihubungkan oleh saluran ke kantung kemih dan langsung bermuara ke kloaka. Selain ginjal, pada reptil memiliki kelenjar kulit yang menghasilkan asam urat tertentu yang berguna untuk mengusir musuh.

Sistem Ekskresi pada Aves

Alat ekskresi pada burung terdiri dari ginjal (metanefros), paru-paru dan kulit. Burung memiliki sepasang ginjal yang berwarna coklat. Saluran ekskresi

terdiri dari ginjal yang menyatu dengan saluran kelamin pada bagian akhir usus (kloaka). Burung mengekskresikan zat berupa asam urat dan garam. Kelebihan kelarutan garam akan mengalir ke rongga hidung dan keluar melalui nares (lubang hidung). Burung hampir tidak memiliki kelenjar kulit, tetapi memiliki kelenjar minyak yang terdapat pada tunggingnya. Kelenjar minyak berguna untuk meminyaki bulu-bulunya.

Saraf yang saling terhubung dan esensial untuk persepsi sensoris indrawi, aktivitas motorik volunter dan involunter organ atau jaringan tubuh, dan homeostasis berbagai proses fisiologis tubuh. Sistem saraf merupakan jaringan paling rumit dan paling penting karena terdiri dari jutaan sel saraf (neuron) yang saling terhubung dan vital untuk perkembangan bahasa, pikiran dan ingatan. Satuan kerja utama dalam sistem saraf adalah neuron yang dikat oleh sel-sel glia.

Pada tingkat paling sederhana, fungsi sistem saraf adalah untuk mengirimkan sinyal dari 1 sel ke sel lain, atau dari 1 bagian tubuh ke bagian tubuh lain. Sistem saraf manusia terdapat malfungsi dalam berbagai cara, sebagai hasil cacat genetik, kerusakan fisik akibat trauma atau racun, infeksi, atau sekuestrasi pematangan. Perkembangan penelitian media di bidang neurologi mempelajari penyebab malfungsi sistem saraf, dan mencari intervensi yang dapat mengobatinya atau memperbaikinya. Dalam sistem saraf perifer (SST), masalah yang paling sering terjadi adalah kegagalan konduksi saraf yang mana dapat disebabkan oleh berbagai macam penyebab termasuk neuropati diabetik dan kelainan demielinasi seperti sklerosis ganda dan sklerosis lateral amiotrofik.

7.1 Struktur Sistem Saraf Manusia

Di dalam tubuh kita terdapat jutaan sel saraf yang membentuk sistem saraf. Sistem saraf manusia terbagi dari sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang. Sedangkan sistem saraf tepi terdiri dari sistem saraf somatis dan sistem saraf otonom.

Sistem Saraf Pusat

1) Otak

Otak merupakan pusat pengatur dan segala kegiatan manusia. Otak terdapat di rongga tengkorak dan dilindungi oleh tiga lapis selaput keel yang disebut

BAB VII

SISTIM SARAF PADA HEWAN

7.1 Pendahuluan

Sistem saraf adalah sistem organ pada hewan yang terdiri atas serabut saraf yang tersusun atas sel-sel saraf yang saling terhubung dan esensial untuk persepsi sensoris indrawi, aktivitas motorik volunter dan involunter organ atau jaringan tubuh, dan homeostasis berbagai proses fisiologis tubuh. Sistem saraf merupakan jaringan paling rumit dan paling penting karena terdiri dari jutaan sel saraf (neuron) yang saling terhubung dan vital untuk perkembangan bahasa, pikiran dan ingatan. Satuan kerja utama dalam sistem saraf adalah neuron yang diikat oleh sel-sel glia.

Pada tingkatan paling sederhana, fungsi sistem saraf adalah untuk mengirimkan sinyal dari 1 sel ke sel lain, atau dari 1 bagian tubuh ke bagian tubuh lain. Sistem saraf rawan terhadap malfungsi dalam berbagai cara, sebagai hasil cacat genetik, kerusakan fisik akibat trauma atau racun, infeksi, atau sederhananya penuaan. Kekhususan penelitian medis di bidang neurologi mempelajari penyebab malfungsi sistem saraf, dan mencari intervensi yang dapat mencegahnya atau memperbaikinya. Dalam sistem saraf perifer/tepi (SST), masalah yang paling sering terjadi adalah kegagalan konduksi saraf, yang mana dapat disebabkan oleh berbagai macam penyebab termasuk neuropati diabetik dan kelainan demyelinasi seperti sklerosis ganda dan sklerosis lateral amiotrofik.

7.2 Susunan Sistem Saraf Manusia

Di dalam tubuh kita terdapat miliaran sel saraf yang membentuk sistem saraf. Sistem saraf manusia tersusun dari sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat terdiri atas otak dan sumsum tulang belakang. Sedangkan sistem saraf tepi terdiri atas sistem saraf somatis dan sistem saraf otonom.

Sistem Saraf Pusat

1) Otak

Otak merupakan pusat pengatur dari segala kegiatan manusia. Otak terletak di rongga tengkorak dan dibungkus oleh tiga lapis selaput kuat yang disebut

meninges. Selaput paling luar disebut duramater, paling dalam adalah piamater dan yang tengah disebut arachnoid. Di antara ketiga selaput tersebut terdapat cairan serebrospinal yang berfungsi untuk mengurangi benturan atau guncangan. Peradangan yang terjadi pada selaput ini dinamakan meningitis. Penyebabnya bisa karena infeksi virus. Otak manusia terbagi menjadi tiga bagian yaitu otak besar (*cerebrum*), otak kecil (*cerebellum*) dan sumsum lanjutan.

Otak besar (cerebrum)

Otak besar memiliki permukaan yang berlipat-lipat dan terbagi atas dua belahan. Belahan otak kiri melayani tubuh sebelah kanan dan belahan otak kanan melayani tubuh sebelah kiri. Otak besar terdiri atas dua lapisan. Lapisan luar berwarna kelabu disebut korteks, berisi badan-badan sel saraf. Lapisan dalam berwarna putih berisi serabut-serabut saraf (neurit/akson). Otak besar berfungsi sebagai *pusat kegiatan-kegiatan yang disadari* seperti berpikir, mengingat, berbicara, melihat, mendengar, dan bergerak.

Otak Kecil (Cerebellum)

Otak kecil terletak di bawah otak besar bagian belakang. Susunan otak kecil seperti otak besar. Terdiri atas belahan kanan dan kiri. Belahan kanan dan kiri otak kecil dihubungkan oleh *jembatan Varol*. Terbagi menjadi dua lapis sama seperti otak besar yaitu lapisan luar berwarna kelabu dan lapisan dalam berwarna putih. Otak kecil berfungsi untuk mengatur keseimbangan tubuh dan mengkoordinasi kerja otot-otot ketika kita bergerak.

Sumsum lanjutan

Sumsum lanjutan (*medula Oblongata*) terbagi menjadi dua lapis, yaitu lapisan dalam yang berwarna kelabu karena banyak mengandung badan sel-sel saraf dan lapisan luar berwarna putih karena berisi neurit (akson). Sumsum lanjutan berfungsi sebagai pusat pengendali pernapasan, menyempitkan pembuluh darah, mengatur denyut jantung, mengatur suhu tubuh dan kegiatan-kegiatan lain yang tidak disadari.

Sumsum tulang belakang (medulla spinalis)

Sumsum tulang belakang terdapat memanjang di dalam rongga tulang belakang, mulai dari ruas-ruas tulang leher sampai ruas tulang pinggang ke dua. Sumsum tulang belakang juga dibungkus oleh selaput meninges. Bila diamati

secara melintang, sumsum tulang belakang bagian luar tampak berwarna putih (substansi alba) karena banyak mengandung akson (neurit) dan bagian dalam yang berbentuk seperti kupu-kupu, berwarna kelabu (substansi grisea) karena banyak mengandung badan sel-sel saraf.

Sumsum tulang belakang berfungsi untuk:

- a) menghantarkan impuls dari dan ke otak,
- b) memberi kemungkinan jalan terpendek gerak refleks.

Sistem saraf tepi

1) Sistem saraf somatis

Sistem saraf somatis disebut juga dengan sistem saraf sadar. Proses yang dipengaruhi saraf sadar, berarti kamu dapat memutuskan untuk menggerakkan atau tidak menggerakkan bagian-bagian tubuh di bawah pengaruh sistem ini. Misalnya ketika kita mendengar bel rumah berbunyi, isyarat dari telinga akan sampai ke otak. Otak menerjemahkan pesan tersebut dan mengirimkan isyarat ke kaki untuk berjalan mendekati pintu dan mengisyaratkan ke tangan untuk membukakan pintu.

Sistem saraf somatis terdiri atas :

- a. Saraf otak (saraf cranial), saraf otak terdapat pada bagian kepala yang keluar dari otak dan melewati lubang yang terdapat pada tulang tengkorak. Urat saraf ini berjumlah 12 pasang.
- b. Saraf sumsum tulang belakang (saraf spinal), saraf sumsum tulang belakang berjumlah 31 pasang. Saraf sumsum tulang belakang berfungsi untuk meneruskan impuls dari reseptor ke sistem saraf pusat juga meneruskan impuls dari sistem saraf pusat ke semua otot rangka tubuh.

2) Sistem saraf autonom (tak sadar)

Sistem saraf autonom merupakan bagian dari susunan saraf tepi yang bekerjanya tidak dapat disadari dan bekerja secara otomatis. Sistem saraf autonom mengendalikan kegiatan organ-organ dalam seperti otot perut, pembuluh darah, jantung dan alat-alat reproduksi. Menurut fungsinya, saraf autonom terdiri atas dua macam yaitu:

- a. Sistem saraf simpatik
- b. Sistem saraf parasimpatik

Sistem saraf simpatik dan sistem saraf parasimpatik bekerja secara antagonis (berlawanan) dalam mengendalikan kerja suatu organ. Organ atau kelenjar yang dikendalikan oleh sistem saraf simpatik dan sistem saraf parasimpatik disebut sistem pengendalian ganda. Fungsi dari sistem saraf simpatik adalah sebagai berikut :

- Mempercepat denyut jantung.
- Memperlebar pembuluh darah.
- Memperlebar bronkus.
- Mempertinggi tekanan darah
- Memperlambat gerak peristaltis.
- Memperlebar pupil.
- Menghambat sekresi empedu.
- Menurunkan sekresi ludah.
- Meningkatkan sekresi adrenalin.

Sistem saraf parasimpatik memiliki fungsi yang *berkebalikan* dengan fungsi sistem saraf simpatik. Misalnya pada sistem saraf simpatik berfungsi mempercepat denyut jantung, sedangkan pada system saraf parasimpatik akan memperlambat denyut jantung.

7.3 Sistem Saraf Pada Hewan (Vertebrata dan Avertebrata)

7.3.1 Sistem Saraf pada Vertebrata

a. Mamalia

Bagian-bagian otak hewan mamalia terdiri atas otak depan, otak tengah, dan otak belakang yang berkembang dengan baik. Selain itu, mamalia juga memiliki sumsum lanjutan dan sumsum tulang belakang (sumsum spinal). Beberapa jenis mamalia memiliki kemampuan lebih karena pusat-pusat saraf di otak hewan tersebut mengalami perkembangan yang lebih menonjol. Kemampuan seperti itu bermanfaat bagi hewan dalam mencari mangsa. Misalnya, kemampuan lebih pada indra penglihat dan indra pendengar kucing, indra

pendengar kelelawar yang sangat tajam, dan indra pencium anjing yang sangat tajam.

b. Burung

Sistem saraf burung terdiri atas sistem saraf pusat dan saraf tepi. Sistem saraf pusat terdiri atas otak dan sumsum tulang belakang. Sistem saraf tepi terdiri atas serabut-serabut saraf yang berasal dari otak dan serabut-serabut saraf yang berasal dari sela-sela ruas tulang belakang; Otak burung terdiri atas otak depan, otak tengah, otak belakang, dan sumsum lanjutan.

Otak besar sebagai bagian utama dan otak depan terbagi menjadi belahan kanan dan belahan kiri. Permukaannya tidak berlipat-lipat sehingga tidak menampung lebih banyak sel-sel saraf seperti pada otak besar manusia.

Otak tengah burung sebagai pusat saraf penglihat berkembang baik dengan membentuk gelembung sehingga indra penglihat burung berkembang dengan baik. Di permukaan otak kecil terdapat lipatan-lipatan yang mampu menampung sel-sel saraf lebih banyak. Sel saraf yang makin banyak pada otak kecil menunjukkan pusat keseimbangan burung ketika terbang berkembang dengan baik.

c. Reptilia

Sistem saraf reptilia terdiri atas sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Di bagian otak besar, lobus olfaktorius yang merupakan pusat pencium berkembang dengan baik sehingga indra penciumannya lebih tajam.

Perkembangan otak tengah reptilia terdesak oleh otak besar. Otak tengah menjadi kurang berkembang dengan baik sehingga menyebabkan indra penglihat reptilia kurang tajam.

d. Amfibi

Salah satu contoh hewan amfibi adalah katak. Sistem saraf katak tersusun atas sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Hewan tersebut memiliki otak depan, otak tengah, otak belakang, dan sumsum lanjutan yang membentuk suatu sistem saraf pusat, sedangkan serabut-serabut saraf yang berasal dari sela-sela ruas tulang belakang membentuk suatu sistem saraf tepi. Otak besar berkembang memanjang sehingga berbentuk oval.

Ujung depan otak besar berhubungan dengan indra pencium. Otak tengah berkembang cukup baik dan berhubungan dengan indra penglihat (lobus optikus). Otak kecil berbentuk lengkung mendatar menuju ke arah sumsum lanjutan dan kurang berkembang dengan baik.

e. Ikan

Sistem saraf ikan terdiri atas sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat terdiri atas otak dan sumsum tulang belakang. Otak ikan terdiri atas otak depan, otak tengah, otak kecil, dan sumsum lanjutan. Sistem saraf tepi terdiri atas serabut saraf otak dan serabut saraf dari sumsum tulang belakang. Otak depan berhubungan dengan saraf pencium dan hidung, sedangkan otak tengah berhubungan dengan saraf penglihat.

Kedua bagian tersebut kurang berkembang dengan baik sehingga indra pencium dan penglihat ikan kurang berkembang dengan baik. Bagian otak ikan yang berkembang paling baik adalah otak kecil. Otak kecil berfungsi sebagai pusat keseimbangan dan pusat pengaturan gerak otot-otot ketika berenang. Keberadaan pusat keseimbangan dan pengaturan gerak ini memungkinkan ikan dapat bergerak cepat dalam air tanpa terganggu keseimbangannya.

7.3.2 Sistem Saraf pada Avertebrata

a. Cacing

Hewan cacing (Vermes) memiliki sistem saraf berbentuk seperti tangga tali yang memanjang dan arah kepala ke arah belakang atau ekor. Pada sistem saraf tangga tali terdapat berkas saraf yang membentuk simpul-simpul saraf di bagian-bagian tertentu yang disebut ganglion atau ganglia (jamak). Cacing pipih, misalnya planaria, memiliki susunan saraf berupa dua buah ganglia di daerah kepala. Selanjutnya di setiap ganglion terdapat seberkas saraf memanjang (longitudinal) ke bagian ekor. Tiap-tiap berkas saraf bercabang-cabang lagi membentuk cabang-cabang yang lebih kecil sehingga dapat menjangkau seluruh bagian tubuh.

Cacing tanah memiliki sistem saraf yang terdiri atas ganglion kepala, ganglion bawah kerongkongan, dan ganglion ruas badan. Ganglion kepala merupakan kumpulan badan sel saraf, terletak di ujung depan tubuh pada ruas

ketiga. Ganglion kerongkongan dan ganglion ruas badan terletak di bawah saluran pencernaan. Di antara ganglion kepala dan ganglion bawah kerongkongan terdapat dua buah saraf penghubung. Di antara ganglion bawah kerongkongan dan ganglion ruas badan terdapat satu buah saraf penghubung.

Selanjutnya, pada tiap-tiap ruas tubuh terdapat ganglion yang membentuk cabang-cabang halus. Sistem saraf pada ruas tubuh dengan percabangannya berfungsi mengatur gerakan tubuh cacing tanah.

b. Serangga

Salah satu contoh serangga adalah belalang. Hewan tersebut memiliki sistem saraf tangga tali yang mirip dengan sistem saraf cacing tanah. Sistem saraf pada belalang terdiri atas ganglion kepala, ganglion bawah kerongkongan, dan ganglion ruas badan. Ganglion kepala merupakan dua buah ganglion terbesar yang terletak di bagian kepala sebelah atas. Di dalam ganglion kepala ini terdapat saraf penglihatan dan mata dan saraf peraba dan antena. Ganglion bawah kerongkongan berhubungan dengan ganglion kepala melalui dua buah serabut saraf yang masing-masing terdapat di sebelah kanan dan sebelah kiri kerongkongan. Ganglion bawah kerongkongan dihubungkan dengan ganglion ruas badan oleh dua buah serabut saraf.

Demikian juga, antara ganglion ruas badan yang satu dan ganglion ruas badan yang lain dihubungkan oleh dua buah serabut saraf. Tiap-tiap ganglion ruas badan membentuk cabang-cabang serabut saraf yang masing-masing bercabang lagi hingga ke bagian bawah tubuh yang berdekatan. Dengan demikian, pada semua bagian tubuh terdapat ujung-ujung saraf.

c. Ubur-Ubur dan Hydra sp.

Ubur-ubur dan Hydra sp. belum memiliki sistem saraf. Sel-sel saraf ubur-ubur dan Hydra sp. menyebar secara merata keseluruh tubuh dan berhubungan satu dengan yang lain membentuk suatu anyaman. Sel-sel saraf motorik berakhir pada serabut otot, sedangkan sel saraf sensorik berakhir pada permukaan tubuh. Hubungan sel-sel saraf dan otot memungkinkan hewan tersebut memberikan reaksi terhadap berbagai rangsangan dan luar tubuh, seperti sentuhan, cahaya, dan keberadaan makanan.

d. Hewan Bersel Satu

Hewan bersel satu (Protozoa), misalnya *Amoeba sp.* dan *Paramecium sp.*, tidak memiliki sistem saraf. Akan tetapi, hewan tersebut memiliki kemampuan untuk menerima dan mereaksi rangsang. Ingat, salah satu ciri makhluk hidup adalah iritabilitas. Apabila *Amoeba sp.* mendapat rangsangan cahaya yang kuat, ia akan bergerak menjauh. Sebaliknya, apabila mendapat rangsangan cahaya yang lembut ia akan bergerak mendekat. *Paramecium sp.* sebagai hewan berambut getar memiliki serabut-serabut saraf yang berakhir pada tumpukan rambut getar (silia). Serabut saraf tersebut berfungsi sebagai pengatur gerakan silia. Ubur-ubur *Hydra sp.*, dan hewan bersel satu belum memiliki sistem saraf khusus.

7.4 Sel Saraf Yang Terdapat Dalam Tubuh

Sistem saraf terdiri atas sel-sel saraf yang disebut neuron. Neuron bergabung membentuk suatu jaringan untuk mengantarkan impuls (rangsangan). Satu sel saraf tersusun dari badan sel, dendrit, dan akson.

a. Badan sel

Badan sel saraf merupakan bagian yang paling besar dari sel saraf. Badan sel berfungsi untuk menerima rangsangan dari dendrit dan meneruskannya ke akson. Pada badan sel saraf terdapat inti sel, sitoplasma, mitokondria, sentrosom, badan golgi, lisosom, dan badan nisel. Badan nisel merupakan kumpulan retikulum endoplasma tempat transportasi sintesis protein.

b. Dendrit

Dendrit adalah serabut sel saraf pendek dan bercabang-cabang. Dendrit merupakan perluasan dari badan sel. Dendrit berfungsi untuk menerima dan mengantarkan rangsangan ke badan sel.

c. Akson

Akson disebut neurit. Neurit adalah serabut sel saraf panjang yang merupakan perwujudan sitoplasma badan sel. Di dalam neurit terdapat benang-benang halus yang disebut neurofibril. Neurofibril dibungkus oleh beberapa lapis selaput mielin yang banyak mengandung zat lemak dan berfungsi untuk

mempercepat jalannya rangsangan. Selaput mielin tersebut dibungkus oleh sel-sel Schwann yang akan membentuk suatu jaringan yang dapat menyediakan makanan untuk neurit dan membantu pembentukan neurit. Lapisan mielin sebelah luar disebut neurilemma yang melindungi akson dari kerusakan. Bagian neurit ada yang tidak dibungkus oleh lapisan mielin. Bagian ini disebut dengan nodus Ranvier dan berfungsi mempercepat jalannya rangsangan.

Berdasarkan struktur dan fungsinya, sel saraf dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu sel saraf sensoris, sel saraf motor, dan sel saraf intermediet (asosiasi).

a. Sel saraf sensoris

Fungsi sel saraf sensoris adalah menghantar impuls dari reseptor ke sistem saraf pusat, yaitu otak (ensefalon) dan sumsum belakang (medula spinalis). Ujung akson dari saraf sensoris berhubungan dengan saraf asosiasi (intermediet)

b. Sel saraf motor

Fungsi sel saraf motor adalah mengirim impuls dari sistem saraf pusat ke otot atau kelenjar yang hasilnya berupa tanggapan tubuh terhadap rangsangan. Badan sel saraf motor berada di sistem saraf pusat. Dendritnya sangat pendek berhubungan dengan akson saraf asosiasi, sedangkan aksonnya dapat sangat panjang.

c. Sel saraf intermediet

Sel saraf intermediet disebut juga sel saraf asosiasi. Sel ini dapat ditemukan di dalam sistem saraf pusat dan berfungsi menghubungkan sel saraf motor dengan sel saraf sensoris atau berhubungan dengan sel saraf lainnya yang ada di dalam sistem saraf pusat. Sel saraf intermediet menerima impuls dari reseptor sensoris atau sel saraf asosiasi lainnya.

Kelompok-kelompok serabut saraf, akson dan dendrit bergabung dalam satu selubung dan membentuk urat saraf. Sedangkan badan sel saraf berkumpul membentuk ganglion atau simpul saraf.

Berdasarkan jumlah ulurannya/strukturnya, dibedakan menjadi:

1. Neuron unipolar, memiliki satu prosesus tunggal. Terdapat pada embrio dan dalam fotoreseptor mata.
2. Bipolar, mempunyai dua uluran yaitu akson dan dendrit. Badan selnya berbentuk lonjong dan ulurannya timbul dari dua ujung badan sel. Neuron

macam ini terdapat pada retina (mata), koklea (telinga), dan epitel olfaktori (hidung).

3. Neuron multipolar, mempunyai satu dan beberapa dendrit. Penyebaran neuron multipolar ini paling banyak terdapat di dalam tubuh dibandingkan dengan neuron unipolar atau bipolar. Neuron motorik yang keluar dari sumsum tulang belakang semuanya adalah neuron multipolar.

7.5 Pengertian Impuls Saraf

Impuls saraf atau rangsang saraf adalah pesan saraf yang dialirkan sepanjang akson dalam bentuk gelombang listrik. Bila sebuah saraf tidak menghantarkan impuls, maka serabut saraf tersebut dalam keadaan istirahat. Salah satu sifat neuron yaitu permukaan luarnya bermuatan positif, sedangkan bagian dalamnya bermuatan negatif. Bila neuron mendapat rangsangan, maka akan terjadi perubahan muatan pada kedua permukaannya, yaitu permukaan luar bermuatan negatif sedangkan bagian dalamnya bermuatan positif, keadaan ini disebut depolarisasi. Contoh rangsang adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan dari dingin menjadi panas.
- b. Perubahan dari tidak ada tekanan pada kulit menjadi ada tekanan.
- c. Berbagai macam aroma yang tercium oleh hidung
- d. Suatu benda yang menarik perhatian.
- e. Suara bising.
- f. Rasa asam, manis, asin dan pahit pada makanan.

Impuls yang diterima oleh reseptor dan disampaikan ke efektor akan menyebabkan terjadinya gerakan atau perubahan pada efektor. Gerakan tersebut adalah sebagai berikut:

Contoh gerak refleks adalah sebagai berikut.

- 1) Terangkatnya kaki jika terinjak sesuatu.
- 2) Gerakan menutup kelopak mata dengan cepat jika ada benda asing yang masuk ke mata.
- 3) Menutup hidung pada waktu mencium bau yang sangat busuk.
- 4) Gerakan tangan menangkap benda yang tiba-tiba terjatuh.
- 5) Gerakan tangan melepaskan benda yang bersuhu tinggi

7.6 Mekanisme dari Impuls Saraf

Impuls dapat dikatakan sebagai "aliran listrik" yang merambat pada serabut saraf. Jika sebuah serabut saraf tidak menghantarkan impuls, dikatakan bahwa serabut saraf tersebut dalam keadaan istirahat. Impuls dapat dihantarkan melalui sel saraf dan sinapsis.

a. Impuls Melalui Sel Saraf

Impuls dapat mengalir melalui serabut saraf karena adanya perbedaan potensial listrik antara bagian luar dan bagian dalam serabut saraf. Pada saat sel saraf istirahat, sebelah dalam serabut saraf bermuatan negatif, kira-kira -60 mV, sedangkan di sebelah luar serabut saraf bermuatan positif. Keadaan muatan listrik tersebut diberi nama *potensial istirahat*, sedangkan membran serabut saraf dalam keadaan *polarisasi*. Jika sebuah impuls merambat melalui sebuah akson, dalam waktu singkat muatan di sebelah dalam menjadi positif, kira-kira $+60$ mV, dan muatan di sebelah luar menjadi negatif. Perubahan tiba-tiba pada potensial istirahat bersamaan dengan impuls disebut *potensial kerja*. Pada saat ini terjadi depolarisasi pada selaput membran akson. Proses depolarisasi merambat sepanjang serabut saraf bersamaan dengan merambatnya impuls. Akibatnya, muatan negatif di sebelah luar membran merambat sepanjang serabut saraf.

Apabila impuls telah lewat, maka sementara waktu serabut saraf tidak dapat dilalui oleh impuls karena terjadi perubahan dari potensial kerja menjadi potensial istirahat. Agar dapat berfungsi kembali, diperlukan waktu kira-kira $1/500$ sampai $1/1.000$ detik untuk pemulihan. Kecepatan merambatnya impuls pada mamalia tertentu dapat lebih dari 100 meter per detik sedangkan pada beberapa hewan tingkat rendah kira-kira hanya 0,5 meter per detik. Ada dua faktor yang mempengaruhi kecepatan rambatan impuls saraf, yaitu selaput myelin dan diameter serabut saraf.

Pada serabut saraf yang bermyelin, depolarisasi hanya terjadi pada nodus ranvier sehingga terjadi lompatan potensial kerja, akibatnya impuls saraf lebih cepat merambat. Semakin besar diameter serabut saraf semakin cepat rambatan impuls sarafnya.

b. Impuls Melalui Sinapsis

Sinapsis merupakan titik temu antara ujung neurit dari suatu neuron dengan ujung dendrit dari neuron lainnya. Setiap ujung neurit membengkak membentuk bonggol yang disebut *bonggol sinapsis*. Pada bonggol sinapsis tersebut terdapat mitokondria dan gelembung-gelembung sinapsis. Gelembung-gelembung sinapsis tersebut berisi zat kimia *neurotransmitter* yang berperan penting dalam merambatkan impuls saraf ke sel saraf lain. Ada berbagai macam neurotransmitter, antara lain *asetilkolin* yang terdapat pada sinapsis di seluruh tubuh, *noradrenalin* yang terdapat di sistem saraf simpatik, dan *dopamin* serta *serotonin* yang terdapat di otak.

Antara ujung bonggol sinapsis dengan membran sel saraf berikutnya terdapat celah sinapsis yang dibatasi oleh *membran prasinapsis* dan *membran postsinapsis* dari sel saraf berikutnya atau *membran efektor*. Apabila impuls saraf sampai pada bonggol sinapsis, maka gelembung-gelembung sinapsis akan mendekati membran prasinapsis, kemudian melepaskan isinya, yaitu *neurotransmitter*, ke celah sinapsis. Impuls saraf dibawa oleh *neurotransmitter* ini. *Neurotransmitter* menyeberang celah sinapsis menuju membran postsinapsis. Zat kimia *neurotransmitter* mengakibatkan terjadinya depolarisasi pada membran postsinapsis dan terjadilah potensial kerja. Ini berarti impuls telah diberikan ke sarabut saraf berikutnya. Dengan demikian impuls saraf menyeberangi celah sinapsis dengan cara perpindahan zat-zat kimia, untuk kemudian dilanjutkan pada sal saraf berikutnya dengan cara rambatan potensial kerja.

Apabila *neurotransmitter* sudah melaksanakan tugas, *neurotransmitter* akan diuraikan oleh enzim yang dihasilkan oleh membran postsinapsis, Misalnya, apabila *neurotransmitter* berupa *asetikolin* maka enzim yang menguraikannya adalah *enzim asetilkolinesterase*.

Neurotransmitter

Gerak sadar atau gerak biasa adalah gerak yang terjadi karena disengaja atau disadari. Impuls yang menyebabkan gerakan ini disampaikan melalui jalan yang panjang. Bagannya adalah sebagai berikut. Gerak refleks adalah gerak yang tidak disengaja atau tidak disadari. Impuls yang menyebabkan gerakan ini disampaikan melalui jalan yang sangat singkat dan tidak melewati otak. Bagannya sebagai berikut.

Fungsi kemampuan gerak reflek sebenarnya adalah untuk perlindungan diri. Agar memungkinkan hal tersebut maka respon sebagai jawaban atas rangsang harus dipercepat dengan mem-*bypass* proses pengolahan respon di otak. Itu sebabnya gerak refleks tidak pernah memerlukan pengolahan jawaban di otak, karena memerlukan kecepatan untuk tujuan proteksi.

Alur impuls saraf adalah:

1. Saraf dalam keadaan istirahat (tidak menghantarkan impuls), serabut saraf dalam keadaan polarisasi yaitu permukaan membran luar bermuatan positif, sedangkan membran dalam bermuatan negatif.
2. Saraf dirangsang disuatu tempat tertentu sehingga terjadi depolarisasi, yaitu permukaan luar bermuatan negatif, sedang permukaan dalam bermuatn positif.
3. Antara daerah yang mengalami depolarisasi dengan daerah yang mengalami polarisasi timbul aliran listrik. Aliran listrik ini disebut arus lokal. Adanya arus lokal menyebabkan depolarisasi didaerah sebelahnya, kemudian diikuti arus lokal dan depolarisasi didaerah sebelahnya demikian seterusnya.
4. Depolarisasi akan menjalar disepanjang serabut saraf, hal ini yang disebut impuls saraf.

7.7 Pengertian dan Fungsi dari Sinapsis

Sinapsis adalah sebuah celah diantara ujung akson suatu neuron dengan ujung dendrit neuron yang lain. Dengan cara inilah antar neuron bersambungan satu sama lain. Pada sinapsis ini terdapat cairan penerus rangsang impuls yang disebut asetilkolin. Asetilkolin dihasilkan oleh ujung akson apabila ada impuls yang datang. Asetilkolin ini berfungsi menghantar impuls yang datang sedemikian rupa sehingga impuls bisa menyeberangi celah sinapsis tersebut, sehingga impuls bisa sampai ke dendrit neuron berikutnya untuk diteruskan ke tujuan. Setelah impuls menyeberangi sinapsis, asetilkolin akan dihapus oleh kolinesterase.

Fungsi sinapsis yaitu untuk menyediakan koneksi antara neuron yang memungkinkan informasi sensorik mengalir di antara mereka. Informasi sensorik bergerak melalui proyeksi khusus neuron hingga mencapai sinapsis, yang

bertindak seperti terminal persimpangan. Ini fungsi sinapsis untuk memungkinkan impuls sensorik untuk melakukan perjalanan dalam satu arah, membagi impuls antara beberapa neuron, atau menggabungkan impuls ke neuron tunggal. Ada tiga jenis sinapsis: *sinapsis axodentritic*, yang ditemukan pada dendrit, *sinapsis axosomatic*, yang ditemukan pada sel tubuh, dan *sinapsis axoaxonic*, yang ditemukan pada akson.

Pada saat impuls melintasi sinaps, impuls dapat terus diteruskan atau dihambat. Sinapsis terdapat di tempat-tempat sebagai berikut:

1. Antara akson dari neuron yang satu dengan badan sel dari neuron lain.
Sinapsis macam ini disebut sinapsis *aksosomatik*.
2. Antara akson dari neuron yang satu dengan dendrit dari neuron lain.
Sinapsis ini disebut sinapsis *aksodendrit*.
3. Antara ujung akson dari neuron yang satu dengan akson neuron lain.
Sinapsis macam ini disebut *aksoakson*.

7.8 Jenis dan Peran Neuron Sinapsis

Neuron sinapsis dapat berupa listrik atau kimia dan struktur yang memungkinkan neuron dalam tubuh untuk berkomunikasi satu sama lain dan, pada dasarnya, ke area lain dari tubuh. Sinyal antara neuron presinaptik dan postsinaptik berlangsung melalui neuron sinapsis, dan komunikasi antara kedua terjadi sebagai akibat dari potensial aksi. Komunikasi dapat terjadi karena adanya hubungan antara tombol terminal satu neuron ke neuron lain baik atau ke membran sel saraf, seperti sel kelenjar atau sel otot. Sebuah potensial aksi terjadi ketika ada distribusi yang tidak teratur bermuatan positif dan negatif ion dalam akson. Ion tertentu dapat masuk dan keluar akson melalui saluran ion. Ini adalah ketika sejumlah saluran ion terdekati sel tubuh, atau soma, neuron dibuka sehingga itu disebabkan potensial aksi.

Pembukaan saluran tersebut memungkinkan ion natrium bermuatan positif untuk memasuki akson, membalikkan potensial pada posisi itu. Hal ini menyebabkan saluran tetangga untuk membuka, lebih lanjut menciptakan pembalikan potensial membran pada saat itu. Ini singkat elektrokimia terjadinya dilakukan menuruni akson dari neuron ke tombol terminal dan ditularkan melalui

sinapsis neuron. Neuron yang mengirimkan pesan disebut neuron presinaptik. Ketika potensial aksi mencapai tombol terminal neuron presinaptik, zat pemancar dilepaskan ke celah sinaptik, celah yang diisi dengan cairan. Ini neuron postsinaptik, atau neuron yang menerima pesan tersebut, mampu melakukannya karena molekul protein khusus yang terletak di membran. Protein ini merespon substansi transmitter yang dilepaskan ke celah sinaptik dari neuron presinaptik. Sistem sinyal di antara kedua neuron presinaptik dan postsinaptik dapat terjadi hanya melalui sinapsis neuron, dan meskipun ada baik sinapsis elektrik dan kimia dikenakan, ada yang kimia lebih signifikan.

Neuron sinapsis dapat berupa rangsangan atau penghambatan. Istilah "sinapsis rangsang" mengacu pada saat tombol terminal zat pelepasan neuron ke celah sinaptik yang merangsang neuron postsinaptik. Sebagai akibat dari hal ini, akson dari neuron postsinaptik lebih mungkin untuk menembak, mengirimkan sinyal elektrokimia untuk neuron atau sel saraf yang berbeda. Semakin aktif sinapsis rangsang, akan semakin cepat akson menjalankan. Sinapsis hambat memiliki efek sebaliknya. Mereka membuat akson sinapsis postsinaptik mungkin untuk menembak. Semakin aktif sinapsis penghambatan, akan semakin lambat menjalankan.

7.9 Pengertian Dari Neurotransmitter Dan Macam-Macam Neurontransmitter Beserta Fungsinya

Neurotransmitter merupakan zat kimia yang disintesis dalam neuron dan disimpan dalam gelembung sinaptik pada ujung akson. Zat kimia ini dilepaskan dari akson terminal melalui eksositosis dan juga direabsorpsi untuk daur ulang. Neurotransmitter merupakan cara komunikasi antar neuron. Zat-zat kimia ini menyebabkan perubahan permeabilitas sel neuron, sehingga neuron menjadi lebih kurang dapat menyalurkan impuls, tergantung dari neuron dan transmitter tersebut. Contoh-contoh neurotransmitter adalah norepinefrin, acetilkolin, dopamin, serotonin, asam gama aminobutirat (GABA), glisin, dan lain-lain. Macam-macam neurontransmitter dan fungsinya adalah sebagai berikut :

1. Asetilkolin

Asetilkolin merupakan substansi transmitter yang disintesis diujung presinap dari koenzim asetil A dan kolin dengan menggunakan enzim kolin asetiltransferase. Kemudian substansi ini dibawa ke dalam gelembung spesifiknya. Ketika kemudian gelembung melepaskan asetilkolin ke dalam celah sinap, asetilkolin dengan cepat memecah kembali asetat dan kolin dengan bantuan enzim kolinesterase, yang berikatan dengan retikulum proteoglikan dan mengisi ruang celah sinap. Kemudian gelembung mengalami daur ulang dan kolin juga secara aktif dibawa kembali ke dalam ujung sinap untuk digunakan kembali bagi keperluan sintesis asetilkolin baru.

2. Norepinefrin, epinephrine, dan dopamine

Noepinephrine, epinephrine, dan dopamine dikelompokkan dalam *catecholamines*. Hidroksilasi tirosin merupakan tahap penentu (*rate-limiting step*) dalam biosintesis catecholamin. Disamping itu, enzim tirosin hidroksilase ini dihambat oleh oleh katekol (umpan balik negatif oleh hasil akhirnya).

a. Dopamin

Merupakan neurotransmitter yang mirip dengan adrenalin dimana mempengaruhi proses otak yang mengontrol gerakan, respon emosional dan kemampuan untuk merasakan kesenangan dan rasa sakit. Dopamin sangat penting untuk mengontrol gerakan keseimbangan. Jika kekurangan dopamin akan menyebabkan berkurangnya kontrol gerakan seperti kasus pada penyakit Parkinson. Jika kekurangan atau masalah dengan aliran dopamine dapat menyebabkan orang kehilangan kemampuan untuk berpikir rasional, ditunjukkan dalam skizofrenia. dari perut tegmental area yang banyak bagian limbic sistem akan menyebabkan seseorang selalu curiga dan memungkinkan untuk mempunyai kepribadian paranoia. Jika kekurangan Dopamin di bidang mesocortical dari daerah perut tegmental ke neocortex terutama di daerah prefrontal dapat mengurangi salah satu dari memori.

b. Norepineprin

Disekresi oleh sebagian besar neuron yang badan sel/somanya terletak pada batang otak dan hipotalamus. Secara khas neuron-neuron penyekresi

norepinephrin yang terletak di lokus seruleus di dalam pons akan mengirimkan serabut-serabut saraf yang luas di dalam otak dan akan membantu pengaturan seluruh aktivitas dan perasaan, seperti peningkatan kewaspadaan. Pada sebagian daerah ini, norepinephrin mungkin mengaktivasi reseptor aksitasi, namun pada yang lebih sempit malahan mengatur reseptor inhibisi. Norepinephrin juga sebagian disekresikan oleh sebagian besar neuron post ganglion sistem saraf simpatisdimana ephineprin merangsang beberapa organ tetapi menghambat organ yang lain.

3. Glutamate

Glutamate merupakan neurotransmitter yang paling umum di sistem saraf pusat, jumlahnya kira-kira separuh dari semua neurons di otak. Sangat penting dalam hal memori. Kelebihan Glutamate akan membunuh neuron di otak. Terkadang kerusakan otak atau stroke akan mengakibatkan produksi glutamat berlebih akan mengakibatkan kelebihan dan diakhiri dengan banyak sel-sel otak mati daripada yang asli dari trauma. ALS, lebih dikenal sebagai penyakit Lou Gehrig's, dari hasil produksi berlebihan glutamate. Banyak percaya mungkin juga cukup bertanggung jawab untuk berbagai penyakit pada sistem saraf, dan mencari cara untuk meminimalisir efek.

4. Serotonin

Serotonin (5-hydroxytryptamine, atau 5-HT) adalah suatu neurotransmitter monoamino yang disintesis dalam neuron-neuron serotonergis dalam sistem saraf pusat (CNS) dan sel-sel enterochromaffin dalam saluran pencernaan. Pada system saraf pusat serotonin memiliki peranan penting sebagai neurotransmitter yang berperan pada proses marah, agresif, temperature tubuh, mood, tidur, *human sexuality*, selera makan, dan metabolisme, serta rangsang muntah.

Serotonin memiliki aktivitas yang luas pada otak dan variasi genetic pada reseptor serotonin dan transporter serotonin, yang juga memiliki kemampuan untuk *reuptake* yang jika terganggu akan memiliki dampak pada kelainan neurologist. Obat-obatan yang mempengaruhi jalur dari pembentukan serotonin biasanya digunakan sebagai terapi pada banyak gangguan psikiatri, selain itu

serotonin juga merupakan salah satu dari pusat penelitian pengaruh genetic pada perubahan genetic psikiatri.

Pada beberapa studi yang telah dilakukan dapat dibuktikan bahwa pada beberapa orang dengan gangguan cemas memiliki serotonin transporter yang tidak normal dan efek dari perubahan ini adalah adanya peluang terjadinya depresi jauh lebih besar dibanding orang normal. Dari penelitian terbaru juga didapatkan bahwa serotonin bersama-sama dengan asetilkolin dan norepinefrin akan bertindak sebagai neurotransmitter yang dilepaskan pada ujung-ujung saraf enteric. Kebanyakan nuclei rafe akan mensekresi serotonin yang membantu dalam pengaturan tidur normal. Serotonin juga merupakan salah satu dari beberapa bahan aktif yang akan mengaktifkan proses peradangan, yang akan dimulai dengan vasodilatasi pembuluh darah lokal sampai pada tahap pembengkakan sel jaringan, selain itu serotonin juga memiliki kendali pada aliran darah, kontraksi otot polos, rangsang nyeri, system analgesic, dan peristaltic usus halus.

5. GABA

γ -Aminobutyric acid (GABA) adalah neurotransmitter inhibisi utama pada sistem saraf pusat. GABA berperan penting dalam mengatur excitability neuron melalui sistem saraf. Pada manusia, GABA juga bertanggung jawab langsung pada pengaturan tonus otot. GABA dibentuk dari dekarboksilasi glutamat yang dikatalis oleh glutamate decarboxylase (GAD). GAD umumnya terdapat dalam akhiran saraf. Aktivitas GAD membutuhkan pyridoxal phosphate (PLP) sebagai kofaktor. PLP dibentuk dari vitamin B₆ (pyridoxine, pyridoxal, and pyridoxamine) dengan bantuan pyridoxal kinase. Pyridoxal kinase sendiri membutuhkan zinc untuk aktivasi. Kekurangan pyridoxal kinase atau zinc dapat menyebabkan kejang, seperti pada pasien preeklamsi. Reseptor GABA dibagi dalam dua jenis: GABA_A dan GABA_B. Reseptor GABA_A membuka saluran florida dan diantagonis oleh pikrotoksin dan bikukulin, yang keduanya dapat menimbulkan konvulsi umum.

Reseptor GABA_B yang secara selektif dapat diaktifkan oleh obat anti spastik baklofen, bergabung dalam saluran kalium dalam membran pascasinaps. Pada sebagian besar daerah otak IPSP terdiri atas komponen lambat dan cepat. Bukti-bukti menunjukkan bahwa GABA adalah transmitter penghambat yang memperantarai kedua komponen tersebut. IPSP cepat dihambat oleh antagonis GABA_A, sedangkan IPSP lambat oleh antagonis GABA_B. Penelitian imunohistokimia menunjukkan bahwa sebagian besar dari saraf sirkuit local mensintesis GABA. Satu kelompok khusus saraf dari sirkuit local terdapat di tanduk dorsal sumsum tulang belakang juga menghasilkan GABA. Saraf-saraf ini membentuk sinaps aksoaksonik dengan terminal saraf sensoris primer dan bekerja untuk inhibisi presinaps.

Pada vertebrata, GABA berperan dalam inhibisi sinaps pada otak melalui pengikatan terhadap reseptor spesifik transmembran dalam membran plasma pada proses pre dan post sinaps. Pengikatan ini menyebabkan terbukanya saluran ion sehingga ion klorida yang bermuatan negatif masuk ke dalam sel dan ion kalium yang bermuatan positif keluar dari sel. Akibatnya terjadi perubahan potensial transmembran, yang biasanya menyebabkan hiperpolarisasi. Reseptor GABA_A merupakan reseptor inotropik yang merupakan saluran ion itu sendiri, sedangkan Reseptor GABA_B merupakan reseptor metabotropik yang membuka saluran ion melalui perantara G protein (G protein-coupled reseptor). Neuron-neuron yang menghasilkan yang menghasilkan GABA disebut neuron GABAergic. Sel medium spiny merupakan salah satu contoh sel GABAergic.

6. Glisin

Glisin (Gly, G) atau asam aminoetanoat adalah asam amino alami paling sederhana. Rumus kimianya $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$. Glisin merupakan asam amino terkecil dari 20 asam amino yang umum ditemukan dalam protein. Kodonnya adalah GGU, GGC, GGA dan GGG. Glisin merupakan satu-satunya asam amino yang tidak memiliki isomer optik karena gugus residu yang terikat pada atom karbon *alpha* adalah atom hidrogen sehingga terjadi simetri. Jadi, tidak ada L-glisin atau D-glisin.

Glisin merupakan asam amino yang mudah menyesuaikan diri dengan berbagai situasi karena strukturnya sederhana. Sebagai contoh, glisin adalah satu-

satunya asam amino internal pada heliks kolagen, suatu protein struktural. Pada sejumlah protein penting tertentu, misalnya sitokrom c, mioglobin, dan hemoglobin, glisin selalu berada pada posisi yang sama sepanjang evolusi (terkonservasi).

Penggantian glisin dengan asam amino lain akan merusak struktur dan membuat protein tidak berfungsi dengan normal. Secara umum protein tidak banyak mengandung glisina. Perkecualian ialah pada kolagen yang dua per tiga dari keseluruhan asam aminonya adalah glisin.

Glisin bekerja sebagai transmittor inhibisi pada sistem saraf pusat, terutama pada medula spinalis, brainstem, dan retina. Jika reseptor glisin teraktivasi, korida memasuki neuron melalui reseptor inotropik, menyebabkan terjadinya potensial inhibisi post sinaps (Inhibitory postsynaptic potential / IPSP). Strychnine merupakan antagonis reseptor glisin yang kuat, sedangkan bicuculline merupakan antagonis reseptor glisin yang lemah. Glisin merupakan reseptor agonis bagi glutamat reseptor NMDA.

7. Aspartat

Asam aspartat (Asp) adalah α -asam amino dengan rumus kimia $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$. Asam aspartat (atau sering disebut *aspartat* saja, karena terionisasi di dalam sel), merupakan satu dari 20 asam amino penyusun protein. Asam aspartat bersama dengan asam glutamat bersifat asam dengan pKa dari 4.0. Bagi mamalia aspartat tidaklah esensial. Fungsinya diketahui sebagai pembangkit neurotransmisi di otak dan saraf otot. Diduga, aspartat berperan dalam daya tahan terhadap kelelahan. Senyawa ini juga merupakan produk dari daur urea dan terlibat dalam glukoneogenesis.

Aspartat (basa konjugasi dari asam aspartat) merupakan neurotransmitter yang bersifat eksitasi terhadap sistem saraf pusat. Aspartat merangsang reseptor NMDA (N-metil-D-Aspartat), meskipun tidak sekuat rangsangan glutamat terhadap reseptor tersebut. Sebagai neurotransmitter, aspartat berperan dalam daya tahan terhadap kelelahan. Tetapi, bukti-bukti yang mendukung gagasan ini kurang kuat.

8. Epinefrin

Epinefrin merupakan salah satu hormon yang berperan pada reaksi stres jangka pendek. Epinefrin disekresi oleh kelenjar adrenal saat ada keadaan gawat ataupun berbahaya. Di dalam aliran darah epinefrin dengan cepat menjaga kebutuhan tubuh saat terjadi ketegangan, atau kondisi gawat dengan memberi suplai oksigen dan glukosa lebih pada otak dan otot. Selain itu epinefrin juga meningkatkan denyut jantung, *stroke volume*, dilatasi dan kontraksi arteriol pada gastrointestinal dan otot skeleton. Epinefrin akan meningkatkan gula darah dengan jalan meningkatkan katabolisme dari glikogen menjadi glukosa di hati dan saat bersamaan menurunkan pembentukan lipid dari sel-sel lemak.

Epinefrin memiliki banyak sekali fungsi di hampir seluruh tubuh, diantaranya dalam mengatur konsentrasi asam lemak, konsentrasi glukosa darah, kontrol aliran darah ginjal, mengatur laju metabolisme, kontraksi otot polos, termogenesis kimia, vasodilatasi, vasokonstriksi, dll.

9. Asetilkolin

Asetilkolin disekresi oleh neuron-neuron yang terdapat di sebagian besar daerah otak, namun khususnya oleh sel-sel piramid besar korteks motorik, oleh beberapa neuron dalam ganglia basalis, neuron motorik yang menginervasi otot rangka, neuron preganglion sistem saraf otonom, neuron postganglion sistem saraf simpatik. Pada sebagian besar contoh di atas asetilkolin memiliki efek eksitasi, namun asetilkolin juga telah diketahui memiliki efek inhibisi pada beberapa ujung saraf parasimpatik perifer, misalnya inhibisi jantung oleh nervus vagus.

10. Nitrat Oksida (NO)

NO adalah substansi molekul kecil yang baru ditemukan. Zat ini terutama timbul di daerah otak yang bertanggung jawab terhadap tingkah laku jangka panjang dan untuk ingatan. Karena itu, transmitter yang baru ditemukan ini dapat menolong kita untuk menjelaskan mengenai tingkah laku dan fungsi ingatan. Oksida nitrat berbeda dengan transmitter molekul lainnya dalam hal mekanisme pembentukan di ujung presinap dan kerjanya di neuron post sinap. Zat ini tidak dibentuk sebelumnya dan disimpan dalam gelembung ujung presinap seperti transmitter lain. Zat ini disintesis hampir segera saat diperlukan dan kemudian

berdifusi keluar dari ujung presinap dalam waktu beberapa detik dan tidak dilepaskan dalam paket gelembung-gelembung. Selanjutnya zat ini berdifusi ke dalam neuron post sinap yang paling dekat, selanjutnya di neuron postsinap, zat ini tidak mempengaruhi membran potensial menjadi lebih besar, tetapi sebaliknya mengubah fungsi metabolik intraseluler yang kemudian mempengaruhi eksitabilitas neuron dalam beberapa detik, menit, atau barangkali lebih lama.

11. Neuropeptida

Neuropeptida merupakan kelompok transmitter yang sangat berbeda dan biasanya bekerja lambat dan dalam hal lain sedikit berbeda dengan yang terdapat pada transmitter molekul kecil. Sekitar 40 jenis peptida diperkirakan memiliki fungsi sebagai neurotransmitter. Daftar peptida ini semakin panjang dengan ditemukannya putative neurotransmitter (diperkirakan memiliki fungsi sebagai neurotransmitter berdasarkan bukti-bukti yang ada tetapi belum dapat dibuktikan secara langsung). Neuropeptida sudah dipelajari sejak lama, namun bukan dalam fungsinya sebagai neurotransmitter, namun fungsinya sebagai substansi hormonal. Peptida ini mula-mula dilepaskan ke dalam aliran darah oleh kelenjar endokrin, kemudian hormon-hormon peptida itu akan menuju ke jaringan-jaringan otak. Dahulu para ahli meyakini bahwa peptida dihasilkan dalam kelenjar hormon dan masuk ke dalam jaringan otak, namun saat ini sudah dapat dibuktikan bahwa peptida yang berfungsi sebagai neurotransmitter, dapat disintesa dan dilepaskan oleh neuron di susunan saraf

BAB VIII

SISTEM REPRODUKSI

8.1 Pendahuluan

Reproduksi merupakan salah satu kemampuan hewan yang sangat penting. Tanpa kemampuan tersebut, suatu jenis hewan akan punah. Oleh karena itu, perlu dihasilkan sejumlah besar individu baru yang akan mempertahankan jenis suatu hewan. Proses pembentukan individu baru inilah yang disebut reproduksi (Urogenital). Reproduksi dapat terjadi secara generative atau vegetative. Reproduksi secara vegetative tidak melibatkan proses pembentukan gamet, sedangkan reproduksi generative diawali dengan pembentukan gamet. Di dalam gamet terkandung unit hereditas (faktor yang diturunkan) yang disebut gen. Gen berisi sejumlah besar kode informasi hereditas yang sebenarnya, yang terletak pada DNA.

Sistem reproduksi vertebrata jantan terdiri atas sepasang testis, saluran reproduksi jantan, kelenjar seks aksesoris (pada mamalia) dan organ kopulatoris (pada hewan-hewan dengan fertilisasi internal). Sistem reproduksi betina terdiri atas sepasang ovarium (pada beberapa hanya satu) dan saluran reproduksi betina. Pada mamalia yang dilengkapi organ kelamin luar (vulva) dan kelenjar susu.

Reproduksi vertebrata pada umumnya sama, tetapi karena tempat hidup, perkembangan anatomi, dan cara hidup yang berbeda menyebabkan adanya perbedaan pada proses fertilisasi. Misalnya hewan akuatik pada umumnya melakukan fertilisasi di luar tubuh (fertilisasi eksternal), sedangkan hewan darat melakukan fertilisasi di dalam tubuh (fertilisasi internal). Bagi hewan yang melakukan fertilisasi internal dilengkapi dengan adanya organ kopulatori, yaitu suatu organ yang berfungsi menyalurkan sperma dari organisme jantan ke betina.

8.2 Mekanisme Reproduksi

Reproduksi pada hewan dapat terjadi secara seksual maupun aseksual. Reproduksi seksual dicirikan dengan bersatunya gamet jantan dan betina melalui proses fertilisasi atau singami. Akan tetapi, kadang-kadang pertemuan gamet tersebut tidak terjadi. Hal ini tampak pada peristiwa parthenogenesis. Dalam

peristiwa parthenogenesis, individu baru terbentuk dari telur atau sperma tanpa peran serta sel benih dari lawan jenisnya. Meskipun demikian, hewan partenogenetik hanya dapat berkembang dari telur. Parthenogenesis pada hewan dapat diamati pada insekta tertentu, contohnya lebah madu dan beberapa jenis tawon lainnya. Telur lebah madu yang tidak dibuahi akan berkembang menjadi jantan haploid.

Dalam peristiwa lainnya, sperma mengaktivasi ovum untuk membelah, tetapi tidak ikut menyumbangkan materi genetic. Peristiwa ini disebut *ginogenesis*. Dalam *ginogenesis*, embrio hanya membawa kromosom induk betina. Kebalikan dari peristiwa *ginogenesis* adalah *androgenesis*. Individu *parthenogenesis*, *ginogenesis*, dan *androgenesis* menunjukkan kesamaan dalam hal materi genetic yang dibawanya, yaitu materi genetic dari salah satu induk saja. Kadang-kadang, gamet jantan dan betina dikeluarkan oleh individu yang sama. Individu yang mengalami hal itu disebut hewan hermaprodit.

Dari uraian di atas, dapat dipahami adanya reproduksi pada tingkat individu, yang dapat terjadi melalui proses menetas atau lahir. Proses reproduksi juga dapat terjadi pada tingkat sel, seperti pembelahan biner yang terjadi pada protozoa, yang mengalami pembelahan sel secara mitosis. Namun masih dapat diamati reproduksi pada tingkat yang lebih khusus lagi yaitu di tingkat molekuler. Contoh peristiwa reproduksi yang terjadi pada tingkat molekuler misalnya proses membuat salinan DNA, yang mengawali proses pembelahan mitosis. Jadi, pembelahan di tingkat molekuler merupakan bentuk proses reproduksi yang paling awal.

Proses menyalin DNA sebenarnya merupakan proses reproduksi berbagai faktor yang akan diwariskan kepada keturunannya. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa DNA dapat membuat salinan dirinya. Mekanisme membuat salinan DNA ini merupakan proses reproduksi pada tingkat molekuler.

Diantara vertebrata, beberapa genera ikan, amfibia dan kadal bereproduksi secara eksklusif melalui suatu bentuk kompleks partenogenesis yang melibatkan penggandaan kromosom setelah meiosis untuk menciptakan "zigot" diploid. Sebagai contoh, terdapat sekitar 15 spesies kadal whiptail yang bereproduksi secara eksklusif melalui partenogenesis. Tidak ada jantan pada spesies ini, tetapi

kadal itu meniru perilaku percumbuan dan perkawinan yang khas pada spesies yang bereproduksi secara seksual dengan genus yang sama.

Pola reproduksi yang menakjubkan lainnya adalah hermafroditisme sekuensiul, dimana suatu individu mengubah jenis kelaminnya selama masa hidupnya. Pada beberapa spesies, hewan hermafrodit sekuensial bersifat protogini (*protogynous*, betina dulu baru berganti menjadi jantan) misalnya ikan karang wrasse, sementara spesies lain bersifat protandri (*protandrous*, jantan dulu baru berganti menjadi betina) misalnya tiram.

8.3 Susunan Fungsional Organ Reproduksi Pada Hewan

Pada hewan yang masih primitif, jaringan yang menghasilkan sel gamet tersusun menyebar (difus). Jaringan ini terdiri atas sejumlah sel lokus yang berfungsi untuk memperbanyak sel kelamin. Pada hewan yang perkembangannya sudah lebih maju, bentuk dan lokasi gonad sudah lebih jelas, terletak simetris bilateral, dan biasanya merupakan organ berpasangan. Kadang-kadang salah satu gonad mengalami degenerasi, seperti yang ditemui pada burung betina. Pada hewan ini, ovarium yang berkembang hanya bagian kiri, sedangkan burung jantan tetap memiliki sepasang testis. Ovarium dan testis merupakan organ penghasil gamet yang terbentuk melalui gametogenesis. Gamet dihasilkan dari sel khusus, yaitu sel benih primordial, yang terdapat dalam gonad (ovarium atau testis). Gamet ini selanjutnya akan berkembang menjadi sel benih.

Gametogenesis

Gametogenesis adalah peristiwa pembentukan sel-sel gamet di dalam kelenjar kelamin. Peristiwa pembentukan sel-sel gamet ini dibedakan atas :

- *Spermatogenesis*

Spermatogenesis adalah proses pembentukan sperma (gamet jantan) yang terjadi dalam testis tepatnya pada tubulus seminiferus. Testis mamalia tersusun atas ratusan tubulus seminiferus, yang merupakan bagian terpenting dalam proses pembentukan sperma. Pada bagian yang terdekat dengan dinding tubulus seminiferus terdapat spermatogonia, yang merupakan sel diploid pembentuk sperma yang belum terdiferensiasi.

Selama proses spermatogenesis, spermatogonia akan berkembang biak dengan cara membelah, menghasilkan spermatosit primer, spermatosit sekunder,

dan akhirnya spermatid. Spermatid akan mengalami proses diferensiasi dan pemasakan (maturasi) sehingga akhirnya terbentuk sperma atau spermatozoon haploid (memiliki jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom spermatogonia). Diferensiasi spermatid menjadi spermatozoon berlangsung di dekat lumen tubulus, yaitu dalam sel sertoli. Jika telah masak, spermatozoon akan dilepaskan ke lumen tubulus seminiferus.

Bentuk sel sperma pada berbagai hewan bervariasi, tetapi pada prinsipnya dapat dibedakan menjadi bagian kepala, bagian tengah, dan ekor. Pada kepala sperma bagian paling depan terdapat akrosoma, yang mengandung enzim untuk melisiskan bungkus telur (pada sperma manusia enzim tersebut dinamakan hialuronidase). Di pusat kepala sperma terdapat inti sperma, yang menyimpan sejumlah kode/informasi genetic yang akan diwariskan kepada keturunannya. Di belakang kepala sperma terdapat bagian tengah sperma (sering disebut leher) yang banyak menyimpan mitokondria. Mitokondria sangat penting dalam pembentukan ATP, yang merupakan sumber energy bagi sperma. Sementara, bagian ekor sangat diperlukan untuk membantu pergerakan sperma.

Proses pembentukan sperma (spermatogenesis) dikendalikan oleh hormon. Informasi tentang proses pengendalian spermatogenesis oleh hormone banyak diperoleh dari hasil studi pada mamalia. Diferensiasi spermatid menjadi spermatozoon (spermiogenesis) berlangsung di dalam sel sertoli. Sel sertoli merupakan sel berukuran besar yang berperan sangat penting antara lain dalam menyediakan makanan bagi calon sperma yang sedang berkembang dan menyingkirkan sel sperma yang mati. Oleh karena itu, sel ini juga sering disebut sebagai sel perawat atau nurse cells. Kerja sel sertoli dirangsang oleh FSH (Follicle Stimulating Hormone) yang dihasilkan oleh kelenjar pituitari bagian depan.

Pengeluaran FSH dirangsang oleh GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone), yaitu hormone pelepas gonadotropin dari hipotalamus. Gonadotropin pada manusia meliputi FSH dan LH. Pada mulanya, FSH merangsang sel spermatogonia untuk membelah secara mitosis beberapa kali, dan diakhiri dengan pembelahan meiosis sehingga dihasilkan spermatid yang bersifat haploid. Diduga,

FSH juga merangsang sel Sertoli untuk melepaskan zat tertentu yang dapat merangsang dimulainya spermiogenesis (diferensiasi spermatid menjadi sperma).

Selain oleh FSH, sel sertoli juga dirangsang oleh testostosterone atau androgen (hormone yang dikeluarkan oleh sel Leydig). Testosteron merupakan hormon yang juga penting untuk merangsang pertumbuhan dan perkembangan organ reproduksi serta cirri seks sekunder pada hewan jantan. Pelepasan testostosterone dikendalikan oleh hormon pituitari anterior yang lain, yaitu LH (Luteinizing Hormone), yang pengeluarannya juga dikendalikan oleh GnRH.

Spermatogenesis yang terjadi pada vertebrata yang lebih rendah pada dasarnya sama dengan proses yang terjadi pada manusia. Namun, di antara kelas vertebrata terdapat perbedaan struktur testis. Testis mamalia, burung, reptile, dan amfibi anura memperlihatkan komponen tubulus seminiferus berbentuk tubular (saluran/pipa), yang berselang-seling dengan sekumpulan sel interstitial. Sementara, testis amfibi urodela dan ikan tersusun atas lobus atau lobules yang masing-masing mengandung sejumlah besar kista seluler.

- *Oogenesis*

Oogenesis adalah proses pembentukan gamet betina (ovum) yang terjadi dalam ovarium. Proses ini ditandai dengan adanya perubahan oogonium menjadi oosit (calon ovum) yang akan mengalami pemasakan sehingga menjadi ovum yang siap dibuahi. Selama perkembangan oosit, vitelogenesis. Vitelus yang disintesis akan ditimbun di ooplasma sebagai cadangan makanan bagi embrio yang akan berkembang kelak. Adanya timbuna vitelus dalam ovum (pada ooplasma) menyebabkan oosit bertambah besar.

Pada akhir oogenesis, oosit mengalami pembelahan meiosis atau sering disebut pembelahan pemasakan, yang akan menghasilkan ovum haploid, yaitu ovum yang memiliki kromosom setengah dari jumlah kromosom sel induk (n -kromosom). Akan tetapi, proses meiosis tersebut pada umumnya tidak berlangsung hingga tuntas dan berhenti pada meiosis tahap pertama. Oleh karena itu, pada saat diovulasikan, ovum (oosit) masih mengandung dua perangkat kromosom dan belum bersifat haploid.

Proses penyelesaian pembelahan meiosis pada ovum akan terjadi jika ada rangsang berupa pemasukan sperma ke ovum. Jadi, meiosis tahap dua baru

terselesaikan pada saat sperma masuk kedalam ovum, tepatnya ketika inti sperma baru sampai di sitoplasma, sebelum terjadi pertemuan antara inti sperma dan inti ovum. Pada saat inti sperma bertemu dengan inti ovum, pembelahan meiosis tahap dua sudah berlangsung, sehingga ovum benar-benar telah menjadi ovum haploid dan telah siap dibuahi. Pada vertebrata rendah, misalnya ikan, pertumbuhan oosit, vitelogenesis, dan ovulasi juga dipacu oleh hormone gonadotropin.

Proses pemasakan telur (ovum) yang terjadi pada mamalia telah dipahami dengan lebih baik daripada pemasakan telur yang terjadi pada hewan lain. Proses pemasakan telur pada hakikatnya merupakan peristiwa yang membentuk siklus. Siklus pemasakan telur pada kebanyakan mamalia disebut siklus estrus, sedangkan siklus pada primate disebut siklus menstrual. Kedua siklus tersebut memperlihatkan adanya perbedaan.

Pada hewan yang mengalami siklus estrus, selama satu siklus hewan betina siap menerima hewan jantan untuk kawin hanya dalam waktu yang singkat yaitu pada masa ovulasi. Selain itu, dinding saluran reproduksi pada akhir siklus tidak mengalami disintegrasi dan tidak luruh sehingga tidak ada pendarahan. Siklus estrus terdiri atas empat tahap/fase yaitu tahap diestrus, proestrus, estrus, dan melestrus. Tahapan/ fase estrus yang dialami hewan dapat dikenali dari gambaran sel yang diperoleh melalui hasil apus vagina.

Pada hewan yang mengalami siklus menstrual, setiap saat di sepanjang siklus hewan betina siap menerima hewan jantan untuk kawin, sekalipun ovum baru dilepaskan kira-kira pada pertengahan siklus. Dalam tubuh hewan betina, ovum mampu bertahan hidup dalam keadaan baik dan siap dibuahi hingga 72-96 jam setelah ovulasi. Pada hewan ini, selama siklus menstrual dapat ditemukan berbagai perubahan di dalam tubuh dan organ reproduksinya. Perubahan yang dimaksud meliputi perubahan keadaan ovarium, rahim (ketebalan endometrium), dan tingkat hormone reproduktif di dalam darah.

Siklus menstruasi dan siklus estrus merupakan proses yang dikendalikan oleh berbagai hormone, baik hormone dari hipotalamus-hipofisis maupun dari ovarium. Pengendalian hormone terhadap oogenesis dan siklus menstrual pada mamalia. Tampak bahwa awal siklus ditandai dengan adanya menstruasi.

Selanjutnya, terjadi perkembangan folikel yang diawali oleh hormon FSH dari kelenjar pituitari bagian depan. Folikel yang sedang berkembang akan mengeluarkan estrogen, yaitu hormone yang merangsang endometrium untuk menebal. Hormone ini juga berperan untuk merangsang perkembangan ciri seks sekunder wanita, sekaligus menekan pengeluaran FSH dan merangsang pengeluaran LH dari pituitary bagian depan. LH adalah hormone yang bertanggung jawab terhadap pemasakan folikel agar dapat berembang secara sempurna. Apabila folikel telah masak, ovum akan keluar dari ovarium dan membiarkan sisa folikel tetap tertinggal di dalam ovarium. Proses keluarnya ovum dari ovarium dinamakan ovulasi.

Di bawah pengaruh LH sisa folikel di ovarium diubah menjadi badan kuning atau korpus luteum, yang selama beberapa hari akan menghasilkan progesterone. Progesterone yaitu hormone yang berfungsi untuk mempertahankan ketebalan endometrium dan perkembangan kelenjar air susu. Apabila fertilisasi tidak terjadi dan pengeluaran progesterone dari korpus luteum mulai berkurang maka kadar progesterone dalam darah akan menurun. Hal ini mengakibatkan endometrium meluruh dan menstruasi pun terjadi lagi.

Proses reproduksi pada semua hewan dikendalikan oleh hormone. Akan tetapi, pengendalian reproduksi yang terjadi pada setiap kelas hewan tidak selalu sama. Pada ikan reproduksi bukan hanya dipengaruhi oleh hormone, tetapi juga oleh factor lingkungan luar seperti foto periodic, kondisi air, makanan dan rangsang social. Rangsang luar tersebut diterima oleh ikan melalui reseptor, kemudian diteruskan ke pusat neuroendokrin dan akhirnya akan memengaruhi perubahan dalam gonad (organ reproduksi).

Reproduksi dapat dipengaruhi oleh factor dalam yaitu saraf dan hormone dan juga oleh berbagai faktor luar seperti suhu lingkungan, makanan, dan fotoperiodisitas. Pembentukan individu baru secara generative diawali dengan adanya pembentukan gamet, pembuahan, dan proses perkembangan embrio sehingga individu baru akan muncul melalui proses kelahiran atau penetasan. Mamalia memelihara hewan muda dengan memproduksi air susu, yang proses pembentukannya dikendalikan oleh saraf dan hormone. Masa pemberian air susu kepada mamalia muda dinamakan masa laktasi.

Proses reproduksi merupakan proses yang membentuk siklus dengan gejala yang mudah diamati, terutama pada hewan betina. Kebanyakan mamalia betina mengalami siklus estrus, tetapi primata mengalami siklus menstrual. Hormone yang mengendalikan proses reproduksi dinamakan hormone gonadotropin, yang pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu LH dan FSH. Kedua hormone tersebut dihasilkan dari kelenjar pituitary bagian depan dan pengeluarannya dikendalikan oleh Gn-RH dari hipotalamus.

8.4 Sistem Reproduksi Seksual Pada Hewan

Reproduksi seksual adalah penciptaan keturunan melalui peleburan gamet haploid untuk membentuk zigot (telur yang sudah dibuahi), yang diploid. Gamet dibentuk melalui meiosis. Gamet betina, ovum (telur yang belum dibuahi), umumnya adalah sel relatif lebih besar dan tidak motil. Gamet jantan, spermatozoon, umumnya adalah sel yang kecil namun motil. Reproduksi seksual meningkatkan keragaman genetik di antara keturunan dengan cara membangkitkan kombinasi unik gen yang diwariskan dari dua induk. Reproduksi seksual pada hewan ini, ada yang terjadi pada hewan vertebrata dan ada juga pada hewan invertebrata.

Hewan Vertebrata

Reproduksi seksual pada vertebrata diawali dengan perkawinan yang diikuti dengan terjadinya fertilisasi. Fertilisasi tersebut kemudian menghasilkan zigot yang akan berkembang menjadi embrio. Fertilisasi pada vertebrata dapat terjadi secara eksternal atau secara internal.

Fertilisasi eksternal

Fertilisasi eksternal merupakan penyatuan sperma dan ovum di luar tubuh hewan betina, yakni berlangsung dalam suatu media cair, misalnya air. Contohnya pada ikan (pisces) dan amfibi (katak).

Pisces (ikan)

Ikan melakukan reproduksi secara eksternal. Dalam hal ini, ikan jantan dan betina akan saling mendekat satu sama lain kemudian ikan betina akan mengeluarkan telur. Selanjutnya ikan jantan akan segera mengeluarkan spermanya, lalu sperma dan telur ini bercampur di dalam air. Cara reproduksi ini

dikenal sebagai oviparus, yaitu telur yang dibuahi dan berkembang di luar tubuh ikan. Ikan terkenal sebagai makhluk yang mempunyai potensi fekunditas yang tinggi dimana kebanyakan jenis ikan yang merupakan penghasil telur beribu-ribu bahkan berjuta-juta tiap tahun. Apabila alam tidak mengaturnya maka dunia akan sangat padat dengan ikan. Cara reproduksi ikan antara lain :

- Ovipar, sel telur dan sel sperma bertemu di luar tubuh dan embrio ikan berkembang di luar tubuh sang induk. Contoh : ikan pada umumnya.
- Vivipar, kandungan kuning telur sangat sedikit, perkembangan embrio ditentukan oleh hubungannya dengan placenta, dan anak ikan menyerupai induk dewasa.
- Ovovivipar, sel telur cukup banyak mempunyai kuning telur, Embrio berkembang di dalam tubuh ikan induk betina, dan anak ikan menyerupai induk dewasa. Contoh : ikan-ikan livebearers.

Organ reproduksinya pada pisces (ikan) meliputi testis, vas deferens, lubang urogenitalia untuk jantan dan untuk betina adalah ovarium, oviduk dan lubang urogenitalia. Ikan merupakan kelompok hewan ovipar, ikan betina dan ikan jantan tidak memiliki alat kelamin luar. Ikan betina tidak mengeluarkan telur yang bercangkang, namun mengeluarkan ovum yang tidak akan berkembang lebih lanjut apabila tidak dibuahi oleh sperma. Ovum tersebut dikeluarkan dari ovarium melalui oviduk dan dikeluarkan melalui kloaka. Saat akan bertelur, ikan betina mencari tempat yang rimbun oleh tumbuhan air atau diantara bebatuan di dalam air.

Bersamaan dengan itu, ikan jantan juga mengeluarkan sperma dari testis yang disalurkan melalui saluran urogenital (saluran kemih sekaligus saluran sperma) dan keluar melalui kloaka, sehingga terjadifertilisasi di dalam air (fertilisasi eksternal). Peristiwa ini terus berlangsung sampai ratusan ovum yang dibuahi melekat pada tumbuhan air atau pada celah-celah batu. Telur-telur yang telah dibuahi tampak seperti bulatan-bulatan kecil berwarna putih. Telur-telur ini akan menetas dalam waktu 24 – 40 jam.

Anak ikan yang baru menetas akan mendapat makanan pertamanya dari sisa kuning telurnya, yang tampak seperti gumpalan di dalam perutnya yang masih jernih. Dari sedemikian banyaknya anak ikan, hanya beberapa saja yang dapat

bertahan hidup. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kematangan seksual ikan antara lain spesies, ukuran, dan umur. Secara umum ikan-ikan yang mempunyai ukuran maksimum kecil dan jangka waktu hidup yang relatif pendek, akan mencapai kematangan seksual lebih cepat dibandingkan ikan yang mempunyai ukuran maksimum lebih besar.

Ada berbagai cara yang sudah dilakukan oleh orang-orang perikanan yang bekerja di bidang akuakultur. Adanya pemijahan buatan dapat mempercepat produksi ikan di sebuah tambak atau hatchery. Hal ini dilakukan untuk mengejar target pasar agar kebutuhan konsumen terpenuhi. Dengan cara menyuntikan hormon untuk mematangkan sel telur. Sehingga kita dapat mengawinkan ikan sesuai kebutuhan yang kita inginkan.

Amfibi (katak)

Amfibi melakukan reproduksi secara eksternal. Organ reproduksinya meliputi testis, vasa efferentia dan kloaka untuk jantan dan untuk betina yaitu ovarium, oviduk dan kloaka. Kelompok amfibi, misalnya katak, merupakan jenis hewan ovipar. Katak jantan dan katak betina tidak memiliki alat kelamin luar. Pembuahan katak terjadi di luar tubuh. Pada saat kawin, katak jantan dan katak betina akan melakukan amplexus, yaitu katak jantan akan menempel pada punggung katak betina dan menekan perut katak betina. Kemudian katak betina akan mengeluarkan ovum ke dalam air. Setiap ovum yang dikeluarkan diselaputi oleh selaput telur (membran vitelin). Sebelumnya, ovum katak yang telah matang dan berjumlah sepasang ditampung oleh suatu corong. Perjalanan ovum dilanjutkan melalui oviduk.

Dekat pangkal oviduk pada katak betina dewasa, terdapat saluran yang menggembung yang disebut kantung telur (uterus). Oviduk katak betina terpisah dengan ureter. Oviduk nya berkelok-kelok dan bermuara di kloaka. Segera setelah katak betina mengeluarkan ovum, katak jantan juga akan menyusul mengeluarkan sperma. Sperma dihasilkan oleh testis yang berjumlah sepasang dan disalurkan ke dalam vas deferens. Vas deferens katak jantan bersatu dengan ureter. Dari vas deferens sperma lalu bermuara di kloaka. Setelah terjadi fertilisasi eksternal, ovum akan diselubungi cairan kental sehingga kelompok telur tersebut berbentuk gumpalan telur.

Gumpalan telur yang telah dibuahi kemudian berkembang menjadi berudu. Berudu awal yang keluar dari gumpalan telur bernapas dengan insang dan melekat pada tumbuhan air dengan alat hisap. Makanannya berupa fitoplankton sehingga berudu tahap awal merupakan herbivora. Berudu awal kemudian berkembang dari herbivora menjadi karnivora atau insektivora (pemakan serangga). Bersamaan dengan itu mulai terbentuk lubang hidung dan paru-paru, serta celah-celah insang mulai tertutup. Selanjutnya celah insang digantikan dengan anggota gerak depan.

Setelah 3 bulan sejak terjadi fertilisasi, mulailah terjadi metamorfosis. Anggota gerak depan menjadi sempurna. Anak katak mulai berani muncul ke permukaan air, sehingga paru-parunya mulai berfungsi. Pada saat itu, anak katak bernapas dengan dua organ, yaitu insang dan paru-paru. Kelak fungsi insang berkurang dan menghilang, sedangkan ekor makin memendek hingga akhirnya lenyap. Pada saat itulah metamorfosis katak selesai.

Fertilisasi Internal

Fertilisasi internal merupakan penyatuan sperma dan ovum yang terjadi di dalam tubuh hewan betina. Hal ini dapat terjadi karena adanya peristiwa kopulasi, yaitu masuknya alat kelamin jantan ke dalam alat kelamin betina. Fertilisasi internal terjadi pada hewan yang hidup di darat (terrestrial), misalnya hewan dari kelompok reptil, aves dan mamalia.

Setelah fertilisasi internal, ada tiga cara perkembangan embrio dan kelahiran keturunannya, yaitu dengan cara ovipar, vivipar dan ovovivipar.

- **Ovipar (Bertelur)**

Ovipar merupakan embrio yang berkembang dalam telur dan dilindungi oleh cangkang. Embrio mendapat makanan dari cadangan makanan yang ada di dalam telur. Telur dikeluarkan dari tubuh induk betina lalu dierami hingga menetas menjadi anak. Ovipar terjadi pada burung dan beberapa jenis reptil.

- **Vivipar (Beranak)**

Vivipar merupakan embrio yang berkembang dan mendapatkan makanan dari dalam uterus (rahim) induk betina. Setelah anak siap untuk dilahirkan, anak akan dikeluarkan dari vagina induk betinanya. Contoh hewan vivipar adalah kelompok mamalia (hewan yang menyusui), misalnya kelinci dan kucing.

- Ovovivipar (Bertelur dan Beranak)

Ovovivipar merupakan embrio yang berkembang di dalam telur, tetapi telur tersebut masih tersimpan di dalam tubuh induk betina. Embrio mendapat makanan dari cadangan makanan yang berada di dalam telur. Setelah cukup umur, telur akan pecah di dalam tubuh induknya dan anak akan keluar dari vagina induk betinanya. Contoh hewan ovovivipar adalah kelompok reptil (kadal) dan ikan hiu.

Reptil (reptilia)

Kelompok reptil seperti kadal, ular dan kura-kura merupakan hewan-hewan yang fertilisasinya terjadi di dalam tubuh (fertilisasi internal). Organ reproduksinya meliputi testis, hemipenis, vas deferens, epididimis dan kloaka. Untuk betina yaitu ovarium, oviduk dan kloaka. Umumnya reptil bersifat ovipar, namun ada juga reptil yang bersifat ovovivipar, seperti ular garter dan kadal. Telur ular garter atau kadal akan menetas di dalam tubuh induk betinanya. Namun makanannya diperoleh dari cadangan makanan yang ada dalam telur.

Reptil betina menghasilkan ovum di dalam ovarium. Ovum kemudian bergerak di sepanjang oviduk menuju kloaka. Reptil jantan menghasilkan sperma di dalam testis. Sperma bergerak di sepanjang saluran yang langsung berhubungan dengan testis, yaitu epididimis. Dari epididimis sperma bergerak menuju vas deferens dan berakhir di hemipenis. Hemipenis merupakan dua penis yang dihubungkan oleh satu testis yang dapat dibolak-balik seperti jari-jari pada sarung tangan karet. Pada saat kelompok hewan reptil mengadakan kopulasi, hanya satu hemipenis saja yang dimasukkan ke dalam saluran kelamin betina.

Ovum reptil betina yang telah dibuahi sperma akan melalui oviduk dan pada saat melalui oviduk, ovum yang telah dibuahi akan dikelilingi oleh cangkang yang tahan air. Hal ini akan mengatasi persoalan setelah telur diletakkan dalam lingkungan basah. Pada kebanyakan jenis reptil, telur ditanam dalam tempat yang hangat dan ditinggalkan oleh induknya. Dalam telur terdapat persediaan kuning telur yang berlimpah. Hewan reptil seperti kadal, iguana laut, beberapa ular dan kura-kura serta berbagai jenis buaya melewati sebagian besar hidupnya di dalam air. Namun mereka akan kembali ke daratan ketika meletakkan telurnya.

Aves (burung)

Kelompok burung merupakan hewan ovipar. Walaupun kelompok burung tidak memiliki alat kelamin luar, fertilisasi tetap terjadi di dalam tubuh. Hal ini dilakukan dengan cara saling menempelkan kloaka. Pada burung betina hanya ada satu ovarium, yaitu ovarium kiri. Ovarium kanan tidak tumbuh sempurna dan tetap kecil yang disebut rudimenter. Ovarium dilekati oleh suatu corong penerima ovum yang dilanjutkan oleh oviduk. Ujung oviduk membesar menjadi uterus yang bermuara pada kloaka. Pada burung jantan terdapat sepasang testis yang berhimpit dengan ureter dan bermuara di kloaka. Organ reproduksi bagi yang jantan yaitu testis, vas deferens dan kloaka. Untuk yang betina meliputi ovarium kiri, oviduk, dan kloaka.

Fertilisasi akan berlangsung di daerah ujung oviduk pada saat sperma masuk ke dalam oviduk. Ovum yang telah dibuahi akan bergerak mendekati kloaka. Saat perjalanan menuju kloaka di daerah oviduk, ovum yang telah dibuahi sperma akan dikelilingi oleh materi cangkang berupa zat kapur. Telur burung mempunyai struktur sebagai berikut :

- a. *Cangkang telur*, terbuat dari zat kapur yang berpori untuk keluar masuknya udara. Di sebelah dalam cangkang terdapat dua buah membran yang pada salah satu ujungnya tidak saling melekat, sehingga terbentuk rongga udara.
- b. *Albumen (putih telur)*, berupa cairan kental berwarna putih bening yang berfungsi sebagai cadangan makanan dan melindungi embrio dari guncangan.
- c. *Kuning telur*, terdapat di bagian tengah albumen. Pada kuning telur ini terdapat calon embrio. Agar kuning telur tetap pada posisinya, maka terdapat kalaza yang berfungsi menjaga posisi kuning telur.

Pada saat telur dierami, embrio mulai tumbuh. Kuning telur dan putih telur diserap melalui pembuluh darah yang terbentuk mengelilingi kuning telur. Bagian-bagian yang berperan dalam mendukung pertumbuhan embrio adalah sebagai berikut.

- a. *Amnion*, merupakan cairan ketuban yang terdapat pada suatu kantung tempat tumbuhnya embrio.
- b. *Alantois*, merupakan tempat penyimpanan hasil ekskresi, mengangkut O₂ ke dalam embrio dan CO₂ keluar dari embrio.
- c. *Tali pusat*, yaitu bagian yang menghubungkan kuning telur dengan alantois.

Telur dapat menetas apabila dierami oleh induknya. Suhu tubuh induk akan membantu pertumbuhan embrio menjadi anak burung. Anak burung menetas dengan memecah kulit telur dengan menggunakan paruhnya. Anak burung yang baru menetas masih tertutup matanya dan belum dapat mencari makan sendiri, serta perlu dibesarkan dalam sarang.

Mamalia

Semua jenis mamalia, misalnya sapi, kambing dan marmut merupakan hewan vivipar (kecuali *Platypus*). Mamalia jantan dan betina memiliki alat kelamin luar, sehingga pembuahannya bersifat internal. Organ reproduksi jantan meliputi penis, vas deferens, testis dan anus. Untuk yang betina meliputi ovarium, oviduk, uterus dan anus. Mamalia memiliki sistem menstruasi yang disebut dengan fase estrus serta tipe uterus yang kompleks. Sebelum terjadi pembuahan internal, mamalia jantan mengawini mamalia betina dengan cara memasukkan alat kelamin jantan (penis) ke dalam liang alat kelamin betina (vagina). Ovarium menghasilkan ovum yang kemudian bergerak di sepanjang oviduk menuju uterus. Setelah uterus, terdapat serviks (liang rahim) yang berakhir pada vagina.

Testis berisi sperma, berjumlah sepasang dan terletak dalam skrotum. Sperma yang dihasilkan testis disalurkan melalui vas deferens yang bersatu dengan ureter. Pada pangkal ureter juga bermuara saluran prostat dari kelenjar prostat. Kelenjar prostat menghasilkan cairan yang merupakan media tempat hidup sperma. Sperma yang telah masuk ke dalam serviks akan bergerak menuju uterus dan oviduk untuk mencari ovum. Ovum yang telah dibuahi sperma akan membentuk zigot yang selanjutnya akan menempel pada dinding uterus. Zigot akan berkembang menjadi embrio dan fetus. Selama proses pertumbuhan dan perkembangan zigot menjadi fetus, zigot membutuhkan banyak zat makanan dan oksigen yang diperoleh dari uterus induk dengan perantara plasenta (ari-ari) dan tali pusar.

Hewan Invertebrata

Selain pada hewan-hewan vertebrata, reproduksi secara seksual juga terjadi pada hewan-hewan invertebrata, diantaranya adalah :

Platyhelminthes

Organ reproduksi jantan (testis) dan organ betina (Ovarium) pada Platyhelminthes terdapat dalam satu individu sehingga disebut hewan hermafrodit. Alat reproduksi terdapat pada bagian ventral tubuh. Platyhelminthes ada yang hidup bebas maupun parasit. Platyhelminthes yang hidup bebas memakan hewan-hewan dan tumbuhan kecil atau zat organik lainnya seperti sisa organisme. Platyhelminthes parasit hidup pada jaringan atau cairan tubuh inangnya.

Habitat Platyhelminthes yang hidup bebas adalah di air tawar, laut, dan tempat-tempat yang lembap. Platyhelminthes yang parasit hidup di dalam tubuh inangnya (endoparasit) pada siput air, sapi, babi, atau manusia. Reproduksi Platyhelminthes dilakukan secara seksual dan aseksual. Pada reproduksi seksual akan menghasilkan gamet. Fertilisasi ovum oleh sperma terjadi di dalam tubuh (internal). Fertilisasi dapat dilakukan sendiri ataupun dengan pasangan lain. Reproduksi aseksual tidak dilakukan oleh semua Platyhelminthes. Kelompok Platyhelminthes tertentu dapat melakukan reproduksi aseksual dengan cara membelah diri (fragmentasi), kemudian regenerasi potongan tubuh tersebut menjadi individu baru.

Nemathelminthes

Nemathelminthes umumnya bereproduksi secara seksual karena sistem reproduksinya bersifat gonokoris, yaitu alat kelamin jantan dan betinanya terpisah pada individu yang berbeda. Fertilisasi dilakukan secara internal. Hasil fertilisasi dapat mencapai lebih dari 100.000 telur per hari. Saat berada di lingkungan yang tidak menguntungkan, maka telur dapat membentuk kista untuk perlindungan dirinya.

Annelida

Annelida umumnya bereproduksi secara seksual dengan pembantuan gamet, memiliki klitelum sebagai alat kopulasi. Klitelum = struktur reproduksi yang mengsekresi cairan & membentuk kokon tempat deposit telur. Namun ada juga yang bereproduksi secara fregmentasi, yang kemudian beregenerasi. Organ

seksual Annelida ada yang menjadi satu dengan individu (hermafrodit) dan ada yang terpisah pada individu lain (gonokoris) melalui larva trochophore berenang bebas.

Arthropoda

Secara normal udang adalah dioisius, hanya dalam keadaan luar biasa mereka adalah hemaprodit. Alat reproduksi jantan adalah testis terletak di bawah pericardial sinus. Dua vasa differensia yang terbuka melalui coxopodite pada kaki jalan ke 5. Alat reproduksi betina adalah ovarium yang berupa testis baik bentuk maupun letaknya. Sebuah oviduct terbuka pada coxopodite pada kaki jalan ketiga. Kopulasi udang biasanya terjadi pada bulan September, Oktober, Nopember pada tahun pertama. Mereka hidup bersama setelah umur mereka lebih satu bulan. Kopulasi kedua terjadi pada musim hujan kedua.

Molusca

Mollusca bereproduksi secara seksual dan masing-masing organ seksual saling terpisah pada individu lain. Fertilisasi dilakukan secara internal dan eksternal untuk menghasilkan telur. Telur berkembang menjadi larva dan berkembang lagi menjadi individu dewasa.

Echinodermata

Secara umum filum Echinodermata, mengalami seks secara terpisah dengan beberapa perkecualian. Gonad yang relative besar terletak di sebelah luar dengan pembuluh sederhana, jumlah ovum banyak sekali dan pembuahan terjadi dalam air, larva mikroskopis, bersilia dan transparan serta biasanya hidup bebas dengan berenang-renang dalam air, bermetamorfosis yang kompleks. Beberapa spesies vivipar, beberapa berkembang biak dengan aseksual yaitu dengan pembelahan sel, memiliki daya regenerasi yang besar sekali bila terdapat bagian yang rusak atau terlepas.

Contohnya pada bintang laut, seks bintang laut terpisah yakni ada yang jantan atau betina. Alat reproduksi strukturnya bercabang-cabang pada masing-masing lengan terdapat dua cabang yang berada di bagian dasar pertemuan lengan. Pada hewan betina alat seksnya dapat melepaskan 2,5 juta telur dalam tiap 2 jam, sehingga tiap musim bertelur dapat melepaskan telur sebanyak kurang lebih 200 juta. Hewan jantan pun dapat menghasilkan sperma lebih banyak dari

jumlah sel telur telur betina. Fertilisasi atau pembuahan terjadi dalam air, kemudian akan tumbuh menjadi larva bipinria.

Porifera

Porifera melakukan reproduksi secara aseksual maupun seksual. Reproduksi secara aseksual terjadi dengan pembentukan tunas dan gemmule. Gemmule disebut juga tunas internal. Gemmule dihasilkan menjelang musim dingin di dalam tubuh Porifera yang hidup di air tawar. Secara seksual dengan cara peleburan sel sperma dengan sel ovum, pembuahan ini terjadi di luar tubuh porifera.

Coelenterata

Reproduksi Coelenterata terjadi secara aseksual dan seksual. Reproduksi aseksual dilakukan dengan pembentukan tunas. Pembentukan tunas selalu terjadi pada Coelenterata yang berbentuk polip. Tunas tumbuh di dekat kaki polip dan akan tetap melekat pada tubuh induknya sehingga membentuk koloni. Reproduksi seksual dilakukan dengan pembentukan gamet (ovum dengan sperma). Gamet dihasilkan oleh seluruh Coelenterata bentuk medusa dan beberapa Coelenterata bentuk polip. Contoh Coelenterata berbentuk polip yang membentuk gamet adalah hydra.

BAB IX

SISTEM GERAK

9.1 Pendahuluan

Gerak merupakan salah satu bentuk reaksi terhadap rangsangan. Gerak pada tumbuhan dan hewan berbeda karena tumbuhan tidak mempunyai alat khusus untuk bergerak, sedangkan hewan umumnya mempunyai alat. Mikroorganisme bergerak dengan cara tertentu. Dalam kehidupan, ada beberapa bagian yang dapat membantu antara organ satu dengan organ lainnya, contohnya saja otot. Otot dapat melekat di tulang yang berfungsi untuk bergerak aktif. Selain itu otot merupakan jaringan pada tubuh hewan yang bercirikan mampu berkontraksi, aktivitas biasanya dipengaruhi oleh stimulus dari sistem saraf. Unit dasar dari seluruh jenis otot adalah miofibril yaitu struktur filamen yang berukuran sangat kecil tersusun dari protein kompleks, yaitu filamen aktin dan miosin (Awik, 2004).

Pada saat otot berkontraksi, filamen-filamen tersebut saling bertautan yang mendapatkan energi dari mitokondria di sekitar miofibril. Oleh karena itu, banyak jenis otot yang saling berhubungan walaupun jenis otot terdiri dari otot lurik, otot jantung, dan otot rangka. Ketiganya mempunyai fungsi dan tujuan yang berbeda pula.

Hewan bergerak dengan menggunakan alat gerak khusus, contohnya Colenterata bergerak dengan menggunakan tentakel, Mollusca bergerak dengan menggunakan kaki otot, masih ada berbagai contoh pada hewan invertebrata. Pada vertebrata terdapat tulang sebagai alat gerak. Otot sebagai alat gerak aktif sedangkan tulang sebagai alat gerak pasif. Anggota gerak pada hewan yang hidup di darat biasanya berupa kaki dan sayap, sedangkan pada hewan yang hidup di air berupa sirip. Untuk dapat bergerak memerlukan tiga hal yaitu *Propulsion* (Penyebab gerak ke arah yang dituju), *Support* (Kegiatan tubuh yang melawan tempat hidup/medium), *Stabilias* (Kemampuan memulihkan keseimbangan yang hilang pada waktu melakukan gerak).

9.2 Otot

Otot merupakan suatu organ/alat yang dapat bergerak ini adalah suatu penting bagi organisme. Gerak sel terjadi karena sitoplasma merubah bentuk. Pada sel-sel sitoplasma ini merupakan benang-benang halus yang panjang disebut miofibril. Kalau sel otot yang mendapatkan rangasangan maka miofibril akan memendek, dengan kata lain sel oto akan memendekkan dirinya kearah tertentu.

Otot merupakan jaringan pada tubuh hewan yang bercirikan mampu berkontraksi, aktivitas biasanya dipengaruhi oleh stimulus dari sistem saraf. Unit dasar dari seluruh jenis otot adalah miofibril yaitu struktur filamen yang berukuran sangat kecil yang tersusun dari protein kompleks, yaitu filamen aktin dan miosin. Pada saat berkontraksi, filameb-filamen tersebut saling bertautan yang mendapatkan energi dari mitokondriadi sekitar miofibril. Terdapat pula macam – macam otot yang berbeda pada vertebrata. Yang pertama ialah otot jantung, yaitu otot yang menyusun dinding jantung. Otot polos terdapat pada dinding semua organ tubuh yang berlubang (kecuali jantung).

Kontraksi otot polos yang umumnya tidak terkendali, memperkecil ukuran struktur-struktur yang berlubang ini. Pembuluh darah, usus, kandung kemih dan rahim merupakan beberapa contoh dari struktur yang dindingnya sebagian besar terdiri atas otot poos. Sehingga kontraksi otot polos melaksanakan bermacam-macam tugas seperti meneruskan makanan kita dari mulut ke saluran pencernaan, mengeluarkan urin, dan mengirimkan bayi ke dunia. Otot kerangka, seperti namanya, adalah oto yang melengkat pada kerangka. Otot ini dikendalikan dengan sengaja.

Kontraksinya memungkinkan adanya aksi yang disengaja seperti berlari, berenang, mengerjakan alat-alat, dan bermain bola. Akan tetapi, apabila otot jantung, otot polos, ataupun otot kerangka atau lurik memeberikan suatu ciri, maka otot tersebut merupakan alat yang menggunakan energi kimia dan makanan untuk melakukan kerja mekanisme.

Jenis-jenis otot

Dalam garis besarnya sel otot dapat dibagi menjadi 3(tiga) golongan yaitu :

Otot Polos

Otot polos terdiri dari sel-sel otot polos. Sel otot ini bentuknya seperti gelendongan, dibagian tengah terbesar dan kedua ujungnya meruncing. Otot polos memiliki serat yang arahnya searah panjang sel tersebut miofibril. Serat miofilamen dan masing-masing miofilamen terdiri dari protein otot yaitu aktin dan miosin. Otot polos bergerak secara teratur, dan tidak cepat lelah. Walaupun tidur. Otot masih mampu bekerja. Otot polos terdapat pada alat-alat dinding tubuh dalam, misalnya pada dinding usus, dinding pembuluh darah, pembuluh limfe, dinding saluran pencernaan, takea, cabang tenggorok, pada muskulus siliaris mata, otot polos dalam kulit, saluran kelamin dan saluran ekskresi (Ville, 1984).

Cara kerja otot polos

Bila otot polos berkontraksi, maka bagian tengahnya membesar dan otot menjadi pendek. Kerutan itu terjadi lambat, bila otot itu mendapat suatu rangsang, maka reaksi terhadap berasal dari susunan saraf tak sadar (otot involunter), oleh karena itu otot polos tidak berada di bawah kehendak. Jadi bekerja di luar kesadaran kita.

Otot lurik

Sel-sel otot lurik berbentuk silindris atau seperti tabung dan berinti banyak, letaknya di pinggir, panjangnya 2,5 cm dan diameternya 50 mikron. Sel otot lurik ujungnya sel nya tidak menunjukkan batas yang jelas dan miofibril tidak homogen akibatnya tampak serat-serat lintang. Otot lurik di bedakan menjadi 3 macam, yaitu: otot rangka, otot lurik, dan otot lingkar. Otot-otot rangka mempunyai hubungan dengan tulang dan berfungsi menggerakkan tulang. Otot ini bila di lihat di bawah mikroskop, maka tampak susunannya serabut-serabut panjang yang mengandung banyak inti sel, dan tampak adanya garis-garis terang di selingi gelap yang melintang (Ville, 1984).

Otot-otot kulit seperti yang terdapat pada roman muka termasuk otot-otot lurik berada di bawah kehendak kita. Perlekatannya pda tulang dan kulit, tetapi ada juga terdapat dalam kulit seluruhnya. Otot-otot yang merupakan lingkaran di sebuah otot lingkaran, misalnya otot yang mengelilingi mulut dan mata.

Cara kerja otot lurik

Bila otot lurik berkontraksi, maka menjadi pendek dan setiap serabut turut dengan berkontraksi. Otot-otot jenis ini hanya berkontraksi jika di rangsang oleh rangsangan sadar (otot volunter). Kerja otot lurik adalah bersifat sadar, karena itu disebut otot sadar, artinya bekerja menurut kemauan, karena itu disebut otot sadar, artinya bekerja menurut kemauan atau perintah otak. Reaksi kerja otot lurik terhadap perangsang cepat tapi tidak tahan kelelahan.

Otot jantung

Otot jantung merupakan otot "istimewa". Otot ini bentuknya seperti otot lurik perbedaannya ialah bahwa serabutnya bercabang dan bersambung satu sama lain. Berciri merah khas dan tidak dapat dikendalikan kemauan. Kontraksi tidak dipengaruhi saraf, fungsi saraf hanya untuk mempercepat atau memperlambat kontraksi karena itu disebut otot tak sadar. Otot jantung di temukan hanya pada jantung (kor), mempunyai kemampuan khusus untuk mengadakan kontraksi otomatis dan gerakan tanpa tergantung pada ada tidaknya rangsangan saraf. Cara kerja otot jantung ini disebut miogenik yang membedakannya dengan neurogenik (Ville, 1984).

9.3 Mekanisme Kerja Otot

Dibalik mekanisme otot yang secara eksplisit hanya merupakan gerak mekanik itu. Terjadilah beberapa proses kimiawi dasar yang berseri demi kelangsungan kontrakso otot. Hampir semua jenis makhluk hidup memiliki kemampuan untuk melakukan pergerakan. Fenomena pergerakan ini dapat berupa transport aktif melalui membran, translokasi polimerase DNA sepanjang rantai DNA, dan lain-lain termasuk kontraksi otot.

Struktur Otot Lurik

Otot pengisi atau otot yang menempel pada sebagian besar tulang kita (=skeletal) tampak bergaris-garis atau berlurik-lurik jika dilihat melalui mikroskop. Otot tersebut terdiri dari banyak kumpulan (bundel) serabut paralel panjang dengan diameter penampang 20-100 μ m yang disebut serabut otot. Panjang serabut otot ini mampu mencapai panjang serabut otot ini mampu mencapai panjang otot itu sendiri dan merupakan sel-sel berinti jamak (=multinucleated cells). Serabut

otot sendiri tersusun dari kumpulan-kumpulan paralel seribu miofibril yang berdiameter 1-2 μm dan memanjang sepanjang sebuah serat otot

Garis-garis pada otot lurik disebabkan oleh struktur miofibril-miofibril yang saling berkaitan. lurik merupakan daerah dengan densitas / kepadatan yang silih berganti (antara padat dan renggang) dengan sebutan lurik lurik A dan lurik-lurik I. Pola-pola itu berepetisi dengan teratur sehingga tiap satu unit pola dinamakan sarkomer. Sarkomer memiliki panjang 2.5 - 3.0 μm pada otot yang rileks dan akan memendek saat otot berkontraksi. Antara sarkomer satu dengan lainnya, terdapatlah lapisan gelap disebut disk Z (=piringan Z). Lurik A terpusat pada daerah terang yang dinamakan daerah H yang peusatnya terletak pada lurik / disk M.

Jika kita melihat gambar 2 lebih teliti lagi, maka terdapat sekelompok filamen yang tebal dan filamen tipis. Filamen filamen tebal dengan diameter 150 Angstrom itu tertata secara paralel heksagonal dalam daerah yang disebut daerah H. Sementara itu filamen-filamen tipis dengan diameter 70 Angstrom memiliki ujung yang terkait langsung dengan disk Z. Daerah yang terlihat gelap pada ujung-ujung daerah A merupakan tempat relasi-relasi antara filamen tebal dan filamen tipis. Relasi-relasi ini berupa cross-bridges (=jembatan-silang) yang berselang secara teratur.

Filamen-filamen tebal tersusun dari Miosin

Filamen-filamen tebal pada vertebrata (makhluk hidup bertulang belakang) hampir sebagian besar tersusun dari sejenis protein yang disebut Miosin. Molekul miosin terdiri dari enam rantai polipeptida yang disebut rantai berat dan dua pasang rantai ringan yang berbeda (disebut rantai ringan esensial dan regulatori, ELC dan RLC). Miosin termasuk protein yang khusus karena memiliki sifat berserat (=fibrous) dan globular.

Secara umum, molekul miosin dapat dilihat sebagai segmen berbentuk batang sepanjang 1600 Angstrom dengan dua kepala globular. Miosin hanya berada dalam wujud molekul-molekul tunggal dengan kekuatan ioniknya yang lemah. Bagaimanapun juga, protein-protein ini berkaitan satu sama lain menjadi struktur. Struktur tersebut ialah struktur dari filamen tebal yang telah dibicarakan sebelumnya. Pada struktur itu, filamen tebal merupakan suatu bentuk yang bipolar

dengan kepala-kepala miosin yang menghadap tiap-tiap ujung filamen dan menyisakan bagian tengah yang tidak memiliki kepala satupun (=bare zone / jalur kosong). Kepala-kepala miosin itulah yang merupakan wujud dari cross-bridges dalam perhubungannya dengan miofibrilmiofibril. Sebenarnya, rantai berat miosin berupa sebuah ATPase yang menghidrolisis ATP menjadi ADP dan Pi dalam suatu reaksi yang membuat terjadinya kontraksi otot. Jadi, otot merupakan alat untuk mengubah energi bebas kimia berupa ATP menjadi energi mekanik. Sementara itu, fungsi rantai ringan miosin diyakini sebagai modulator aktivitas ATPase dari rantai berat yang bersambungan dengannya.

Di tahun 1953, Andrew Szent-Gyorgi menunjukkan bahwa miosin yang diberi tripsin secukupnya akan memecah miosin menjadi dua fragmen (Gambar 5) yaitu Meromiosin ringan (LMM) dan Meromiosin berat (HMM). HMM dapat dipecah dengan papain menjadi dua bagian lagi yaitu dua molekul identik dari subfragmen-1 (S1) dan sebuah subfragmen-2 (S2) yang berbentuk mirip batang.

a. Filamen-filamen tipis tersusun dari Aktin, Tropomiosin dan Troponin

Komponen penyusun utama filamen tipis ialah Aktin. Aktin merupakan protein eukariotik yang umum, banyak jumlahnya, dan mudah didapati. Aktin didapati dalam wujud monomer-monomer bilobal globular yang disebut G-aktin yang secara normal mengikat satu molekul ATP untuk tiap-tiap monomer. G-aktin itu nantinya akan berpolimerisasi untuk membentuk fiber-fiber yang disebut F-aktin. Polimerisasi ini merupakan suatu proses yang menghidrolisis ATP menjadi ADP dengan ADP yang nantinya terikat pada unit monomer F-aktin. Sebagai hasilnya, F-aktin akan membentuk sumbu rantai utama dari filamen tipis

Tiap-tiap unit monomer F-aktin mampu mengikat sebuah kepala miosin (S1) yang ada pada filamen tebal. Mikrograf elektron juga menunjukkan bahwa F-aktin merupakan deretan monomer terkait dengan urutan kepala ekor-kepala. Maka dari itu, F-aktin memiliki wujud yang polar. Semua unit monomer F-aktin memiliki orientasi yang sama dilihat dari sumbu fiber. Filamen-filamen tipis itu juga memiliki arah yang menjauhi disk Z. Sehingga kumpulan-kumpulan filamen tipis yang menjulur pada kedua sisi disk Z itu memiliki orientasi yang berlawanan.

Komposisi miosin dan aktin masing-masing sebesar 60-70% dan 20-25% dari protein total pada otot. Sisa protein lainnya berkaitan dengan filamen tipis yakni Tropomiosin dan Troponin. Troponin terdiri dari tiga subunit yaitu TnC (protein pengikat ion Ca), TnI (protein yang mengikat aktin), dan TnT (protein yang mengikat tropomiosin). Dari sini, dapat disimpulkan bahwa kompleks tropomiosin - Troponin mengatur kontraksi otot dengan cara mengontrol akses cross-bridges S1 pada posisi pengikat aktin. (Anonim, 2010)

b. Protein minor pada Otot yang mengatur jaringan-jaringan Miofibril

Disk Z merupakan wujud amorf dan mengandung beberapa protein berserat (fibrous). Protein-protein lain itu ialah α -aktinin (untuk mengikat filamen-filamen tipis pada disk Z), desmin (banyak terdapat pada daerah perifer / tepi disk Z dan berfungsi untuk menjaga keteraturan susunan antar sesama miofibril), vimentin (bersifat sama dengan desmin), titin (merupakan polipeptida dengan massa terbesar, berada sepanjang filamen tebal sampai disk Z, dan berfungsi seperti pegas yang mengatur agar letak filamen tebal tetap di tengah-sarkomer), dan nebulin (berada di sepanjang filamen tipis dan berfungsi untuk mempertahankan panjang filamen).

Sementara itu, disk M yang merupakan hasil penebalan akibat sambungan filamen-filamen tebal itu juga mengandung C-protein dan Mprotein. Peranan kedua protein itu ada pada susunan atau perkaitan antara filamen-filamen tebal pada disk M.

9.4 Mekanisme Kontraksi Otot

Setelah struktur otot dan komponen-komponen penyusunnya ditinjau, mekanisme atau interaksi antar komponen-komponen itu akan dapat menjelaskan proses kontraksi otot.

a. **Filamen-filamen tebal dan tipis yang saling bergeser saat proses kontraksi**

Menurut fakta, kita telah mengetahui bahwa panjang otot yang berkontraksi akan lebih pendek daripada panjang awalnya saat otot sedang rileks. Pemendekan ini rata-rata sekitar sepertiga panjang awal. Melalui mikroskop elektron,

pemendekan ini dapat dilihat sebagai konsekuensi dari pemendekan sarkomer. Sebenarnya, pada saat pemendekan berlangsung, panjang filamen tebal dan tipis tetap dan tak berubah (dengan melihat tetapnya lebar lurik A dan jarak disk Z sampai ujung daerah H tetangga) namun lurik I dan daerah H mengalami reduksi yang sama besarnya. Berdasar pengamatan ini, Hugh Huxley, Jean Hanson, Andrew Huxley dan R. Niedergerke pada tahun 1954 menyarankan model pergeseran filamen (=filament sliding). Model ini mengatakan bahwa gaya kontraksi otot itu dihasilkan oleh suatu proses yang membuat beberapa set filamen tebal dan tipis dapat bergeser antar sesamanya.

b. Aktin merangsang Aktivitas ATPase Miosin

Model pergeseran filamen tadi hanya menjelaskan mekanika kontraksinya dan bukan asal-usul gaya kontraktile. Pada tahun 1940, Szent-Gyorgi kembali menunjukkan mekanisme kontraksi. Pencampuran larutan aktin dan miosin untuk membentuk kompleks bernama Aktomiosin ternyata disertai oleh peningkatan kekentalan larutan yang cukup besar. Kekentalan ini dapat dikurangi dengan menambahkan ATP ke dalam larutan aktomiosin. Maka dari itu, ATP mengurangi daya tarik atau afinitas miosin terhadap aktin. Selanjutnya, untuk dapat mendapatkan penjelasan lebih tentang peranan ATP dalam proses kontraksi itu, kita memerlukan studi kinetika kimia. Daya kerja ATPase miosin yang terisolasi ialah sebesar 0.05 per detik. Daya kerja sebesar itu ternyata jauh lebih kecil dari daya kerja ATPase miosin yang berada dalam otot yang berkontraksi.

Bagaimanapun juga, secara paradoks, adanya aktin (dalam otot) meningkatkan laju hidrolisis ATP miosin menjadi sekitar 10 per detik. Karena aktin menyebabkan peningkatan atau pengaktifan miosin inilah, muncullah sebutan aktin. Selanjutnya, Edwin Taylor mengemukakan sebuah model hidrolisis ATP yang dimediasi / ditengahi oleh aktomiosin. Pada tahap pertama, ATP terikat pada bagian miosin dari aktomiosin dan menghasilkan disosiasi aktin dan miosin. Miosin yang merupakan produk proses ini memiliki ikatan dengan ATP. Selanjutnya, pada tahap kedua, ATP yang terikat dengan miosin tadi terhidrolisis dengan cepat membentuk kompleks miosin-ADP-Pi. Kompleks tersebut yang kemudian berikatan dengan Aktin pada tahap ketiga.

Pada tahap keempat yang merupakan tahap untuk relaksasi konformasional, kompleks aktin-miosin-ADP-Pi tadi secara tahap demi tahap melepaskan ikatan dengan Pi dan ADP sehingga kompleks yang tersisa hanyalah kompleks Aktin-Miosin yang siap untuk siklus hidrolisis ATP selanjutnya. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa proses terkait dan terlepasnya aktin yang diatur oleh ATP tersebut menghasilkan gaya vektorial untuk kontraksi otot.

c. Model untuk interaksi Aktin dan Miosin berdasar strukturnya

Rayment, Holden, dan Ronald Milligan telah memformulasikan suatu model yang dinamakan kompleks rigor terhadap kepala S1 miosin dan Faktin. Mereka mengamati kompleks tersebut melalui mikroskopi elektron. Daerah yang mirip bola pada S1 itu berikatan secara tangensial pada filamen aktin pada sudut 45^o terhadap sumbu filamen. Sementara itu, ekor S1 mengarah sejajar sumbu filamen. Relasi kepala S1 miosin itu nampaknya berinteraksi dengan aktin melalui pasangan ion yang melibatkan beberapa residu Lisin dari miosin dan beberapa residu asam Aspartik dan asam Glutamik dari aktin.

d. Kepala-kepala Miosin "berjalan" sepanjang filamen-filamen aktin

Hidrolisis ATP dapat dikaitkan dengan model pergeseran-filamen. Pada mulanya, kita mengasumsikan jika cross-bridges miosin memiliki letak yang konstan tanpa berpindah-pindah, maka model ini tak dapat dibenarkan. Sebaliknya, cross bridges itu harus berulang kali terputus dan terkait kembali pada posisi lain namun masih di daerah sepanjang filamen dengan arah menuju disk Z. Melalui pengamatan dengan sinar X terhadap struktur filamen dan kondisinya saat proses hidrolisis terjadi, Rayment, Holden, dan Milligan mengeluarkan postulat bahwa tertutupnya celah aktin akibat rangsangan (berupa ejskasi ADP) itu berperan besar untuk sebuah perubahan konformasional (yang menghasilkan hentakan daya miosin) dalam siklus kontraksi otot. Postulat ini selanjutnya mengarah pada model "perahu dayung" untuk siklus kontraktile yang telah banyak diterima berbagai pihak.

Pada mulanya, ATP muncul dan mengikatkan diri pada kepala miosin S1 sehingga celah aktin terbuka. Sebagai akibatnya, kepala S1 melepaskan ikatannya pada aktin. Pada tahap kedua, celah aktin akan menutup kembali bersamaan dengan proses hidrolisis ATP yang menyebabkan tegaknya posisi kepala S1.

Posisi tegak itu merupakan keadaan molekul dengan energi tinggi (jelas-jelas memerlukan energi). Pada tahap ketiga, kepala S1 mengikatkan diri dengan lemah pada suatu monomer aktin yang posisinya lebih dekat dengan disk Z dibandingkan dengan monomer aktin sebelumnya. Pada tahap keempat, Kepala S1 melepaskan Pi yang mengakibatkan tertutupnya celah aktin sehingga afinitas kepala S1 terhadap aktin membesar. Keadaan itu disebut keadaan transien. Selanjutnya, pada tahap kelima, hentakan-daya terjadi dan suatu geseran konformasional yang turut menarik ekor kepala S1 tadi terjadi sepanjang 60 Angstrom menuju disk Z. Lalu, pada tahap akhir, ADP dilepaskan oleh kepala S1 dan siklus berlangsung lengkap.

9.5 Pengaturan untuk Kontraksi Otot

Gerakan otot lurik tentu dibawah komando atau suatu kontrol yang disebut impuls saraf motor.

- a. Ca^{2+} mengatur Kontraksi Otot dengan proses yang ditengahi oleh Troponin dan Tropomiosin

Sejak tahun 1940, ion Kalsium diyakini turut berperan serta dalam pengaturan kontraksi otot. Kemudian, sebelum 1960, Setsuro Ebashi menunjukkan bahwa pengaruh Ca^{2+} ditengahi oleh Troponin dan Tropomiosin. Ia menunjukkan aktomiosin yang diekstrak langsung dari otot (sehingga mengandung ikatan dengan troponin dan tropomiosin) berkontraksi karena ATP hanya jika Ca^{2+} ada pula. Kehadiran troponin dan tropomiosin pada sistem aktomiosin tersebut meningkatkan sensitivitas sistem terhadap Ca^{2+} . Di samping itu, subunit dari troponin, TnC, merupakan satu-satunya komponen pengikat Ca^{2+} . Secara molekuler, proses kontraksi (Anonim,2010)

- b. Impuls saraf melepaskan Ca^{2+} dari Retikulum Sarcoplasma

Sebuah impuls saraf yang tiba pada sebuah persambungan neuromuskular (= sambungan antara neuron dan otot) akan dihantar langsung kepada tiap-tiap sarkomer oleh sebuah sistem tubula transversal / T. Tubula tersebut merupakan pembungkus-pembungkus semacam saraf pada membran plasma fiber. Tubula tersebut mengelilingi tiap miofibril pada disk Z masing-masing. Semua sarkomer pada sebuah otot akan menerima sinyal untuk berkontraksi sehingga otot dapat

berkontraksi sebagai satu kesatuan utuh. Sinyal elektrik itu dihantar (dengan proses yang belum begitu dimengerti) menuju retikulum sarkoplasmik (SR). SR merupakan suatu sistem dari vesicles (saluran yang mengandung air di dalamnya) yang pipih, bersifat membran, dan berasal dari retikulum endoplasma. Sistem tersebut membungkus tiap-tiap miofibril hampir seperti rajutan kain. Membran SR yang secara normal non-permeabel terhadap Ca^{2+} itu mengandung sebuah transmembran Ca^{2+} -ATPase yang memompa Ca^{2+} ke dalam SR untuk mempertahankan konsentrasi $[\text{Ca}^{2+}]$ bagi otot rileks. Kemampuan SR untuk dapat menyimpan Ca^{2+} ditingkatkan lagi oleh adanya protein yang bersifat amat asam yaitu kalsequestrin (memiliki situs lebih dari 40 untuk berikatan dengan Ca^{2+}). Kedatangan impuls saraf membuat SR menjadi permeabel terhadap Ca^{2+} . Akibatnya, Ca^{2+} berdifusi melalui saluran-saluran Ca^{2+} khusus menuju interior miofibril, dan konsentrasi internal $[\text{Ca}^{2+}]$ akan bertambah. Peningkatan konsentrasi Ca^{2+} ini cukup untuk memicu perubahan konformasional dalam troponin dan tropomiosin. Akhirnya, kontraksi otot terjadi dengan mekanisme "perahu dayung" tadi. Saat rangsangan saraf berakhir, membran SR kembali menjadi impermeabel terhadap Ca^{2+} sehingga Ca^{2+} dalam miofibril akan terpompa keluar menuju SR. Kemudian otot menjadi rileks seperti sediakala.

c. Otot Halus (Smooth Muscles)

Makhluk hidup vertebrata memiliki dua jenis otot selain otot lurik yaitu otot cardiac (=kardiak; berhubungan dengan jantung) dan otot halus. Otot cardiac ternyata juga berlurik-lurik sehingga mengindikasikan suatu persamaan antara otot cardiac dan otot lurik. Walaupun begitu, otot skeletal (lurik) dan otot cardiac masih memiliki perbedaan antar sesamanya terutama pada metabolismenya. Otot cardiac harus beroperasi secara kontinu sepanjang usia hidup dan lebih banyak tergantung pada metabolisme secara aerobik. Otot cardiac juga secara spontan dirangsang oleh otot jantung itu sendiri dibanding oleh rangsangan saraf eksternal (=rangsangan volunter). Di samping itu, otot halus berperan dalam kontraksi yang lambat, tahan lama, dan tanpa melalui rangsang eksternal seperti pada dinding usus, uterus, pembuluh darah besar. Otot halus disini memiliki sifat yang sedikit berbeda dibanding otot lurik. Otot halus atau sering dikatakan otot polos ini berbentuk seperti spindel, tersusun oleh sel sel berinti tunggal, dan tidak

membentuk miofibril. Miosin dari otot halus (protein khusus secara genetik) berbeda secara fungsional daripada miosin otot lurik dalam beberapa hal:

- Aktivitas maksimum ATPase hanya sekitar 10% dari otot lurik
- Berinteraksi dengan aktin hanya saat salah satu rantai ringannya terfosforilasi
- Membentuk filamen-filamen tebal dengan cross-bridges yang tak begitu teratur serta tersebar di seluruh panjang filamen tebal

Kontraksi Otot Halus dipicu oleh Ca^{2+}

Filamen-filamen tipis otot halus memang mengandung Aktin dan Tropomiosin namun tak seberapa mengandung Troponin. Kontraksi otot halus tetap dipicu oleh Ca^{2+} karena miosin rantai ringan kinase (=myosin light chain kinase / MLCK) secara enzimatik akan menjadi aktif hanya jika Ca^{2+} -kalmodulin hadir. MLCK merupakan sebuah enzim yang memfosforilasi rantai ringan miosin sehingga menstimulasi terjadinya kontraksi otot halus. Proses kontraksi otot halus secara kimiawi. Konsentrasi intraselular $[Ca^{2+}]$ bergantung pada permeabilitas membran plasma sel otot halus terhadap Ca^{2+} . Permeabilitas otot halus tersebut dipengaruhi oleh sistem saraf involunter atau autonomik. Saat $[Ca^{2+}]$ meningkat, kontraksi otot halus dimulai. Saat $[Ca^{2+}]$ menurun akibat pengaruh Ca^{2+} -ATPase dari membran plasma, MLCK kemudian dideaktivasi. Lalu, rantai ringan terdefosforilasi oleh miosin rantai ringan phosphatase dan otot halus kembali rileks.

Aktivitas Otot Halus termodulasi secara Hormonal

Otot halus juga memberi tanggapan pada hormon seperti epinefrin. Pengaruh hormon tersebut juga dapat dilihat pada gambar 12. Tahap-tahap kontraksi yang terjadi pada otot halus ternyata lebih lambat daripada tahap-tahap yang terjadi untuk otot lurik. Jadi, struktur dan pengaturan kontrol otot halus tepat dengan fungsi yang diembannya yaitu pengadaan suatu gaya tegang selama rentang waktu cukup lama namun mengkonsumsi ATP dengan laju konsumsi rendah.

9.6 Perbandingan Otot Dan System Gerak Hewan Sistem Gerak pada Invertebrata

- Gerak ameboid

Gerak ameboid adalah suatu bentuk gerak yang merupakan ciri khas amoeba dan protozoa lain. Sel-sel ameboid mengubah bentuknya dengan menonjolkan dan menarik pseudopodia (kaki semu) dari titik mana saja pada permukaan sel. Sel-sel seperti itu diselubungi oleh suatu membrane lembut dan sangat fleksibel, disebut plasmalema. Dibawah plasmalema terbentuk lapisan tak-berbutir (non granular), suatu ektoplasma yang seperti gel, yang menyelubungi endoplasma yang lebih encer. Selama gerak ameboid, beberapa pseudopodia dapat mulai terbentuk di beberapa bagian sel tetapi biasanya hanyansatu yang dominan dan sel bergerak ke arah itu. Perlu ditegaskan bahwa sebenarnya tidak ada bagian depan (anterior) yang permanen, karena kaki semu yang dominan dapat terbentuk dipermukaan sel mana saja. Seperti yang sudah disebut diatas, sitoplasma amoeba dapat dibagi menjadi ektoplasma yang setengah keras/ kaku di bawah membrane sel dan endoplasma yang lebih encer yang terletak lebih dalam.

- Gerak Kelijak dan Flagel. Ada pendapat yang mengatakan, bahwa kelijak (cilia, rambut getar) merupakan nama umum untuk :
 - Flagel yang merupakan organel relatife panjang, biasanya terdapat tunggal atau beberapa saja pada sel.
 - Kelijak dalam arti sempit yang jauh lebih pendek dan terdapat dalam jumlah besar pada sel.

Flagel adalah khas pada kelas Mastigophora (Flagellata). Yang juga mempunyai flagel misalnya koanosit Porifera, Gastroderm banyak Colentrata, solenosit Annelida dan sel sperma banyak hewan. Kelijak pada klas pada Ciliata dan biasa terdapat pada tubuh permukaan Coelenterata, Turbellaria dan Nemertea. Pada semua fylum hewan kecuali Nematoda dan Arthropoda.

Perbedaan utama antara kelijak dengan flagel terletak pada pola geraknya. Suatu flagel bergerak simetris dengan undulasi mirip pada ular sehingga air didorong sejajar dengan sumbu memanjang flagel. Sebaliknya, kelijak bergerak tidak semetris ; gerak kearah yang satu berlangsung dengan kelijak dalam keadaan tegang/ kaku disertai tenaga kuat dan cepat (kayuhan efektif); ini diikuti oleh gerak balik yang lambat dengan kelijak melengkung berawal dari pangkalnya (kayuhan balik), sehingga kembali pada posisi semula. Air didorong sejajar

dengan permukaan yang berkelidak itu. Gerak dasar kelidak terdiri atas tiga gerak yaitu gerak pendulum (gerak yang paling sederhana), gerak fleksural dan gerak undulasi.

Sistem Gerak Hewan Vertebrata

Hewan vertebrata membutuhkan sistem rangka untuk menyokong berat tubuh. Hal tersebut diatasi dengan adanya endoskeleton (rangka dalam) yang dapat tumbuh seiring dengan pertumbuhan tubuhnya. Endoskeleton terusun dari tulang, dan otot berkerja sama dengan tulang untuk membentuk sistem gerak. Endoskeleton hewan memiliki bentuk khas. Bentuk khas inilah yang member bentuk tubuh pada masing-masing jenis hewan.

Sistem gerak hewan vertebrata sama seperti pada manusia. Otot sebagai alat gerak aktif dan tulang sebagai gerak pasif. Hewan yang hidup di darat memiliki struktur tulang dan otot yang tidak jauh berbeda dengan manusia. Namun, hewan yang hidup di udara dan di air memiliki struktur yang khas. Selain itu, hewan-hewan tersebut juga memiliki struktur tambahan pada tubuhnya untuk mendukung pergerakan.

Ciri-ciri tubuh hewan yang bertulang belakang:

1. Mempunyai tulang yang terentang dari belakang kepala sampai bagian ekor.
2. Mempunyai otak yang dilindungi oleh tulang-tulang tengkorak.
3. Tubuh berbentuk simetris bilateral.
4. Mempunyai kepala, leher, badan dan ekor walaupun ekor dan leher tidak mutlak ada contohnya pada katak.

Ciri alat tubuh hewan yang bertulang belakang sebagai berikut:

1. Mempunyai kelenjar bundar, endoksin yang menghasilkan hormon untuk pengendalian. Pertumbuhan dan proses fisiologis atau faal tubuh
2. Susunan saraf terdiri atas otak dan sumsum tulang belakang
3. Bersuhu tubuh panas dan tetap (homoiternal) dan bersuhu tubuh dingin sesuai dengan kondisi lingkungan (poikiloternal)
4. Sistem pernapasan/terpirasi dengan paru-paru (pulmonosum) kulit dan insang operculum

5. Alat pencernaan memanjang mulai dari mulut sampai ke anus yang terletak di sebelah ventral (depan) dan tulang belakang
6. Kulit terdiri atas epidermis (bagian luar) dan endodermis (bagian dalam)
7. Alat reproduksi berpasangan kecuali pada burung, kedua kelenjar kelamin berupa ovarium dan testis menghasilkan sel telur dan sel sperma

Sistem Gerak Hewan Yang Hidup Di Air

Air memiliki kerapatan yang lebih besar dibandingkan udara sehingga hewan lebih sulit bergerak di air. Namun sebaliknya, air memiliki gaya angkat yang lebih besar dibandingkan dengan udara. Beberapa hewan yang hidup di air memiliki struktur tubuh dan sistem gerak yang khas. Untuk bergerak didalam air, ikan memiliki:

- 1) Bentuk tubuh yang aerodinamis (streamline) untuk mengurangi hambatan ketika bergerak didalam air
- 2) Ekor dan sirip ekor yang lebar untuk mendorong gerakan ikan dalam air;
- 3) Sirip tambahan untuk mencegah gerakan yang tidak diinginkan;
- 4) Gelembung renang untuk mengatur gerakan vertikal; Susunan otot dan tulang belakang yang fleksibel untuk mendorong ekor ikan didalam air.

Pisces; sistem otot (urat daging); penggerak tubuh, sirip-sirip, insang-organ listrik (Sonic, 2008).

Belut laut; sistem otot, Tubuh berupa lingkaran-lingkaran otot yang tersusun sebagai huruf W. Corong bukal digerakan oleh otot-otot radial. Lidah digerakan oleh otot retraktor dan protraktor.

Ikan hiu; sistem otot, Otot-otot di seluruh tubuh secara teratur bersegmen (materi) disebut miotom. Otot-otot itu bermodifikasi kepala dan di apendiks.

Ikan perak; sistem otot, Otot tubuh dan ekor terutama terdiri dari miomer-miomer (otot-otot bersegmen) yang berselang-seling/berganti-ganti tempat dengan vertebra ketika mengadakan gerakan berenang dan berbalik arah. Miomermiomermiomer itu secara kasar berbentuk seperti huruf W dan dirakit menjadi 4 sabuk miomer, yang di sepanjang punggung merupakan rakitan yang terberat. Antara miomer-

miomer itu terdapat jaringan ikatan yang jika direbus, sabuk-sabuk miomer itu terpisah-pisah menjadi lapisan-lapisan daging (Sonic, 2008).

Sistem Gerak Amphibia

Contoh amphibia adalah katak. Katak memiliki rangka dalam (endoskeleton). Rangka katak tersusun dari tiga kelompok tulang yaitu tulang tengkorak, tulang badan, dan tulang anggota gerak. Katak adalah pelompat yang baik karena tungkai belakangnya panjang dan memiliki otot yang sangat kuat. Katak ini juga memiliki selaput renang di tungkainya sehingga bisa berenang. Selaput ini memberikan tekanan yang kuat melawan air sehingga terjadilah gerakan di air.

system otot : Secara majemuk, sistem otot katak berbeda dari susunan mioton primitif, terutama dalam apendiks. Otot-otot segmental mencolok pada tubuh. Segmen kaki teratas berotot besar (Sonic, 2008).

Sistem Gerak Reptilia

Ular dan buaya adalah contoh dari reptilia. Reptil memiliki rangkadam, contoh pada gambar di bawah, gambar rangka ular). Rangka ular tersusun dari tulang tengkorak, tulang badan dan tulang ekor. Tulang badan ular terdiri dari ruas-ruas tulang belakang yang jumlahnya paling sedikit seratus ruas. Hal ini akan memudahkan ular bergerak. Tulang rusuk ular tidak melekat pada tulang dada dan tulang belakang seperti manusia. Akan tetapi, akan dihubungkan dengan tulang belakang dengan tulang otot yang elastis. Hal ini memungkinkan ular untuk mengembangkan rongga dadanya misalnya pada saat menelan mangsa yang besar. Ular bergerak dengan merayap, caranya ular membentuk tubuhnya berkelok-kelok mengelilingi batu atau dengan benda-benda ditanah kemudian ular menekan batu-batuan atau tanah dan menyebabkan ular dapat bergerak maju atau ke samping. *sistem otot*; dibandingkan dengan katak, sistem otot buaya itu lebih rumit, karena gerakannya lebih kompleks. Otot-otot kepala, leher, dan kaki tumbuh baik, walaupun kurang jika dibandingkan pada mammalia. Segmentasi otot jelas pada kolumna vertebralis dan rusuk (Sonic, 2008) .

Sistem Gerak Aves

Burung merupakan contoh hewan yang beradaptasi dengan baik untuk bergerak di udara. Burung memiliki :

- Sayap dan bulu-bulu yang berfungsi untuk mengangkat tubuh burung di udara;
- Rangka yang ringan dan ramping atau ipih;
- Sistem tulang dan otot yang kuat untuk menggerakkan sayap.
- Bulu burung, selain berfungsi untuk terbang juga berfungsi untuk menahan panas sehingga menjaga tubuh burung tetap hangat. Sedangkan tulang burung memiliki struktur yang teradaptasi untuk terbang :
- Burung memiliki paruh yang lebih ringan daripada rahang pada hewan mamalia;
- Burung memiliki sternum (tulang dada) yang pipih dan luas, berguna sebagai tempat peletakan otot terbang yang luas;
- Tulang-tulang burung berongga dan ringan. Tulang-tulang tersebut sangat kuat karena memiliki struktur bersilang;
- Sayap tersusun dari tulang-tulang yang lebih sedikit dibandingkan tulang-tulang pada tangan manusia. Hal ini berfungsi untuk mengurangi berat terutama ketika burung terbang;
- Tulang belakang bergabung untuk memberi bentuk rangka yang padat, terutama ketika mengempakkan sayap pada saat terbang.

Teknik Terbang pada burung

Burung terbang dengan mengempakkan sayap, yaitu menggerakkan sayap ke atas dan ke bawah untuk menimbulkan gerakan mengangkat dan mendorong tubuhnya di udara. Gerakan mendorong dan mengangkat sayap memerlukan kekuatan yang paling besar. Sementara pada saat mengangkat sayap, memerlukan kekuatan yang lebih kecil. Pada saat mengangkat sayap, burung menempatkan posisi sayapnya ke semula, untuk memulai gerakan mendorong dan mengangkat kembali.

System otot :

Tulang kuadrat dari tengkorak mempunyai 2 permukaan artikular dorsal. Semua tulang pelvis bersatu. Ada sebuah pigostil. Sternum mempunyai 4 buah tekik (celah) posterior. Otot pektoralis mayor dimulai pada lunas tulang sternum, dan

menarik tulang humerus kebawah (berarti menarik sayap ke bawah). Sebaliknya, otot pektoralis minor menarik sayap ke atas (Sonic, 2008).

Sistem Gerak Mamalia

Hewan bergerak dari suatu tempat ke tempat lainnya. Untuk berenang, ikan menekan melawan air. Untuk terbang, burung menekan untuk melawan udara. Bagaimana dengan hewan-hewan darat? Contoh salah satu dari mamalia yaitu kuda. Kuda memiliki rangka dalam menyokong tubuhnya. Seperti pada halnya manusia, alat gerak kuda adalah tulang-tulang yang dibantu otot-otot. Pada saat berjalan dan berlari, kaki belakang kuda menekan melawan tanah dan tubuh bergerak ke depan. Dalam mengamati gerakan kuda, paling tepat di mulai dari kaki belakang karena dari kaki belakang inilah kekuatan terbentuk.

System otot; Tulang kuadrat dari tengkorak mempunyai 2 permukaan artikular dorsal. Semua tulang pelvis bersatu. Ada sebuah pigostil. Sternum mempunyai 4 buah tekik (celah) posterior. Otot pektoralis mayor dimulai pada lunas tulang sternum, dan menarik tulang humerus kebawah (berarti menarik sayap ke bawah). Sebaliknya, otot pektoralis minor menarik sayap ke atas

DAFTAR PUSTAKA

- Aryulina, D. (2003). *Biologi Vertebrata I*. Jakarta: PT. Glora Angkasa Pratama
- Hickman, Cleveland, P. (2004). *Integrated Principle of Zoology*. Boston : Higher Education
- Isnaini, Wiwi. 2003. *Fisiologi Hewan*. Yogyakarta: Kanisius
- Pearce, Evelyn. C. 1984. *Anatomi dan Fisiologi Untuk Keperawatan*. Jakarta: Gramedia
- Soegiri, Nawangsari. 1999. *Zoologi Umum Edisi Ke-6 Jilid I*. Jakarta: Erlangga
- Soewando, 2000. *Pengantar Fisiologi Hewan*. Jakarta: Depdiknas
- Ville, Walket, Barnes. 1999. *Zoology Umum*, Terjemahan Oleh Nawangsari Soegiri. Jakarta: Erlangga
- Wiwi, Isnaeni. 2006. *Fisiologi Hewan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Wulangi, Kartolo. 1993. *Prinsip-Prinsip Fisiologi Hewan*. Jakarta: Depdikbud.

