

Lailatul Ngarofah

MODUL PEMBELAJARAN FISIOLOGI HEWAN



**TIM PENYUSUN
PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UIN RADEN INTAN LAMPUNG
2020**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga kami dapat menyusun *Modul Pembelajaran Fisiologi Hewan* ini. Modul pembelajaran ini disusun sebagai pedoman bagi mahasiswa dalam kegiatan perkuliahan agar tercapai indikator yang telah ditentukan.

Pengembangan pembelajaran dari materi yang ada pada modul ini dapat dilakukan oleh mahasiswa dengan tetap dibimbing oleh dosen pengampu mata kuliah. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk mengoptimalkan penggunaan modul pembelajaran, dan diharapkan agar mahasiswa dapat mencapai indikator pembelajaran yang telah ditentukan.

Demikian semoga dengan tersusunya modul pembelajaran ini dapat memberi manfaat kepada mahasiswa secara pribadi, serta mendukung kelancaran kegiatan perkuliahan. Akhir kata, kami menerima kritik dan saran untuk perbaikan modul ini di masa yang akan datang.

Bandar Lampung, 15 September 2020

Penyusun

Lailatul Ngarofah

DAFTAR ISI

COVER

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI..... ii

Deskripsi v

Petunjuk Penggunaan Modul v

Tujuan Pembelajaran..... v

BAB I KONSEP DASAR FISILOGI HEWAN

A. Pengertian Ruang Lingkup Fisiologi Hewan 1

B. Konsep Dasar dalam Fisiologi 1

C. Berbagai Respon Hewan Terhadap Lingkungannya 2

D. Mekanisme Homeostatis 5

BAB II STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

A. Struktur dan Fungsi Organel Sel 8

B. Sifat Fisik dan Kimia Protoplasma..... 10

C. Metabolisme Sel..... 11

D. Membran Biologis Peranannya langsung dalam Transpor Zat . 13

E. Struktur Mosaik Cair Membran Sel 13

F. Transpor Pasif dan Aktif 15

BAB III SISTEM SIRKULASI

A. Sistem Sirkulasi Invertebrata 17

B. Sistem Sirkulasi Vertebrata 22

BAB IV SISTEM SARAF

A. Sistem Saraf Pusat.....	29
B. Sistem saraf Tepi.....	30
C. Sistem Saraf Sadar	32
D. Saraf Otonom	33
E. Struktur Sel Saraf	34

BAB V RESEPTOR DAN EFEKTOR

A. Pengelompokan dan Fisiologi Reseptor.....	37
B. Penerimaan Rangsang oleh Reseptor	38
C. Efektor dan Cara Kejanya	41
D. Rangka dan Peranannya dalam Pergerakan	44

BAB VI SISTEM ENDOKRIN/HORMON

A. Sistem Endokrin/Hormon.....	45
B. Sel Penyusun Organ Endokrin	45
C. Kasifikasi dan Sifat Hormon	46
D. Mekanisme Aksi Hormon	47
E. Sistem Endokrin pada Vertebrata.....	48
F. Sistem Endokrin pada Vertebrata.....	50

BAB VII SISTEM PENCERNAAN

A. Cara Hewan Memperoleh Makan	53
B. Pencernaan Makanan.....	55

BAB VIII SISTEM PERNAPASAN

A. Alat Respirasi pada Invertebrata	62
B. Alat Respirasi pada Vertebrata.....	62
C. Mekanisme Transport Gas	66
D. Fisiologi Pernapasan Pada Manusia.....	69

BAB IX SISTEM REPRODUKSI

A. Pengertian Reproduksi	74
B. Mekanisme Reproduksi.....	74
C. Reproduksi Hewan	75
D. Sistem Reproduksi pada Mamalia.....	78

BAB X TERMOREGULASI

A. Pengertian Termoregulasi	82
B. Pentingnya Suhu Tubuh yang Stabil bagi Hewan.....	82
C. Poikiloterm dan Homeoterm	83
D. Interaksi panas Antara Hewan dan Lingkungannya.....	83
E. Termoregulasi pada Ektoterm	85
F. Termoregulasi pada Endoterm	88

BAB XI SISTEM EKSKRESI

A. Ekskresi Hewan Darat dan Akuatik	93
B. Organ Ekskresi pada Hewan	94
C. Hewan yang Memiliki Organ Nefridal.....	94
D. Sistem Ekskresi pada Hewan Invertebrata	95
E. Sistem Ekskresi pada Hewan Vertebrata	96

BAB XII OSMOREGULASI

A. Pentingnya Osmoregulasi pada Hewan.....	99
B. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Air Laut.....	99
C. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Air Tawar	100
D. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Air Payau	101
E. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Darat.....	102

DAFTAR PUSTAKA

DESKRIPSI

Modul ini merupakan panduan kegiatan perkuliahan yang efektif karena isinya lebih singkat dan mudah dipahami oleh mahasiswa. Materi yang akan disampaikan pada modul ini adalah tentang konsep dasar fisiologi, struktur dan fungsi sel, sistem sirkulasi, sistem saraf, otot dan gerak, reseptor dan efektor, sistem endokrin/hormon, sistem pencernaan, sistem reproduksi, termoregulasi, sistem ekskresi, dan osmoregulasi.

Petunjuk Penggunaan Modul

1. Keberhasilan belajar dengan modul ini tergantung dari kedisiplinan dan ketekunan anda dalam memahami dan memenuhi langkah-langkah belajar.
2. Langkah-langkah yang perlu anda ikuti secara berurutan dalam mempelajari modul ini sebagai berikut:
 - a. Perhatikan uraian materi yang terdapat dalam modul serta tugas-tugas dan tes formatifnya.
 - b. Carilah tambahan materi yang relevan dengan materi yang dibahas.
 - c. Bila dalam mempelajari modul ini mengalami kesulitan, diskusikan dengan temanmu atau dosen pembimbing.

Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa mampu menjelaskan ruang lingkup fisiologi hewan.
2. Mahasiswa mampu menjelaskan berbagai sistem yang terdapat pada hewan vertebrata maupun invertebrata.
3. Mahasiswa mampu melakukan praktikum-praktikum fisiologi hewan di laboratorium.

BAB I

KONSEP DASAR FISILOGI HEWAN

A. Pengertian dan Ruang Lingkup Fisiologi Hewan

Fisiologi merupakan ilmu yang mempelajari fungsi normal tubuh dengan berbagai gejala yang ada pada sistem hidup, serta pengaturan atas segala fungsi dalam sistem tersebut. Berbagai peristiwa dan aktivitas yang terjadi pada sistem hidup selanjutnya disebut fungsi kehidupan atau fungsi hidup.

Fungsi dan struktur tubuh hewan memiliki hubungan yang sangat erat, keduanya merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Oleh karena itu, untuk mempelajari fungsi jaringan atau organ tertentu, terlebih dahulu kita harus memahami struktur organ atau jaringan yang dimaksud.

B. Konsep Dasar dalam Fisiologi

Konsep dasar yang dimaksud meliputi konsep tentang lingkungan internal, cairan tubuh, homeostatis, regulasi, dan adaptasi. Setiap sistem hidup (pada semua tingkatan) selalu bereaksi terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada lingkungannya, juga mengatur dan mengontrol reaksi yang ditimbulkannya.

Untuk dapat bertahan hidup, hewan harus menjaga stabilitas lingkungan internalnya, antara lain keasaman atau pH, suhu tubuh, kadar garam, kandungan air, dan kandungan nutrien dan zat gizi. Mamalia (golongan hewan yang mempunyai 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 konformer. Proses timbulnya perubahan pada tubuh hewan yang membuat hewan tersebut dapat bertahan ketika lingkungan eksternalnya berubah disebut adaptasi.

C. Berbagai Macam Respon Hewan terhadap Lingkungannya

Seorang ahli fisiologi asal Rusia, K. Bycov, mendefinisikan fisiologi hewan dan manusia sebagai studi tentang fungsi pada tubuh hewan dan manusia, serta interaksinya dengan lingkungan mereka. Dengan demikian jelas bahwa, penyelenggaraan berbagai fungsi tubuh hewan (dan manusia) pada dasarnya tidak pernah lepas dari pengaruh berbagai faktor yang ada di lingkungannya. Lingkungan luar hewan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu lingkungan akuatik dan terestrial.

1. Respon Hewan terhadap Lingkungan Akuatik

Di semua perairan terkandung berbagai zat terlarut seperti garam, gas, sejumlah kecil senyawa organik dan berbagai polutan. Air laut mengandung kira-kira 3,5% garam. Ion utama yang terdapat dalam air laut ialah natrium dan klor. Ion lain yang juga banyak terdapat dalam air laut ialah magnesium, sulfat, dan kalsium. Konsentrasi keseluruhan garam yang terkandung dalam air laut bervariasi, tergantung pada letak geografis suatu perairan.

Tantangan yang timbul dari lingkungan laut ialah salinitas yang tinggi dan ketersediaan air (*water activity*) yang relatif lebih rendah dari pada lingkungan air tawar. Sebagian besar komponen penyusun tubuh hewan adalah air sehingga kehidupan hewan sangat bergantung pada ketersediaan air. Sebagian organisme (termasuk hewan) tumbuh optimal pada lingkungan dengan tingkat ketersediaan air yang tinggi. Hewan yang demikian dinamakan hewan osmofilik. Sebagian hewan bersifat osmofilik, dan sebagian besar lainnya bersifat osmotoleran. Osmotoleran yaitu golongan hewan yang mampu hidup dan berkembang biak pada lingkungan dengan tingkat ketersediaan air yang relatif rendah.

Ketersediaan air berkaitan erat dengan kandungan garam (salinitas) yang terdapat pada suatu lingkungan. Salinitas tinggi seperti yang ditemukan pada lingkungan laut menyebabkan penurunan ketersediaan air bagi hewan. Dalam lingkungan demikian hewan harus mengeluarkan energi lebih banyak untuk memperoleh air dari lingkungannya.

Faktor lingkungan akuatik yang memiliki nilai fisiologis terpenting untuk mendukung kehidupan hewan ialah suhu yang relatif stabil. Kestabilan suhu air sangat menguntungkan bagi hewan yang hidup di dalamnya, yaitu sebagian besar merupakan hewan pikilotherm, yaitu hewan yang suhu tubuhnya berubah-ubah akibat perubahan suhu lingkungan.

Daerah perairan payau memiliki nilai fisiologis sangat penting karena dapat berfungsi sebagai pembatas dalam penyebaran sejumlah hewan. Daerah payau juga menjadi habitat yang sangat unik karena merupakan peralihan antara lingkungan air laut dan air tawar, dengan kadar garam yang berubah-ubah.

Lingkungan air tawar memiliki kandungan zat terlarut yang sangat bervariasi. Sebagian kecil garam yang terkandung pada air tawar berasal dari air hujan, yang sebenarnya berasal dari air laut juga. Air hujan secara ilmiah bersifat sedikit asam karena adanya CO_2 dari atmosfer yang terlarut di dalamnya sehingga keasaman (pH) air dapat mencapai 5,6. Akan tetapi, banyak juga air hujan yang mempunyai pH 4. Keasaman air hujan yang rendah tersebut diduga disebabkan oleh adanya SO_2 dan NO yang berasal dari proses pembakaran fosil yang menggunakan asam kuat sebagai bahan bakar. Hujan semacam ini dinamakan hujan asam. Hujan asam dapat mempengaruhi kehidupan organisme di tempat hujan tersebut turun. Keasaman yang berlebihan dapat menghambat proses pengambilan/penyerapan natrium secara aktif oleh hewan. Hal ini dapat digunakan untuk menjelaskan penyebab musnahnya ikan dari danau yang berkadar garam sangat rendah atau matinya ikan ketika salju mencair pada musim semi. Aliran salju cair pada saat musim semi menambahkan sejumlah besar asam ke dalam air. Lingkungan air menjadi sangat asam sehingga ikan-ikan di lingkungan itu kekurangan natrium dan akhirnya mati.

2. Respon Hewan terhadap Lingkungan Terrestrial

Keadaan lingkungan terrestrial yang paling menguntungkan bagi hewan ialah ketersediaan oksigen yang berlimpah sehingga hewan dapat memperolehnya dengan mudah. Sementara, faktor lingkungan yang merupakan ancaman paling besar bagi kehidupan terrestrial adalah bahaya radiasi dan dehidrasi.

a. Pengaruh Radiasi Terhadap Hewan

Semua benda, termasuk hewan dan manusia, mampu menerima radiasi pada lingkungannya. Kemampuan suatu benda untuk menerima radiasi yang sampai padanya dinamakan absorpsivitas. Absorpsivitas suatu benda bervariasi. Kulit manusia dan bulu binatang memiliki absorpsivitas yang tinggi untuk kisaran spektrum inframerah (panjang gelombang sedang, yakni antara 5000-10.000 nm). Jika dihadapkan pada sinar matahari secara langsung, kulit dan bulu serta rambut yang berwarna lebih gelap akan menyerap energi lebih banyak daripada yang berwarna lebih terang.

Radiasi merupakan salah satu mekanisme penting untuk menjaga panas pada tubuh hewan. Radiasi ultraviolet dari matahari dapat menimbulkan efek mensterilkan, khususnya terhadap protozoa yang ada di atmosfer/udara. Sinar ultraviolet yang terserap secara selektif oleh asam nukleat di dalam sel akan mengubah asam nukleat itu menjadi timin dimer siklobutan. Pembentukan timin dimer akan menghambat replikasi DNA. Proses seperti inilah yang menyebabkan timbulnya efek letal (mematikan) dan efek mutagenik terhadap organisme.

b. Ancaman Dehidrasi bagi Hewan

Dehidrasi berasal dari kata *dehydration*, yang berarti pengeringan. Dalam fisiologi, istilah dehidrasi sering digunakan untuk menunjukkan kondisi tubuh yang kekurangan cairan. Dehidrasi dapat dialami hewan apabila tubuhnya kehilangan air dalam jumlah besar sehingga jumlah air dalam tubuh lebih sedikit daripada yang seharusnya. Ancaman dehidrasi merupakan faktor pembatas bagi penyebaran hewan di daerah terestrial. Agar dapat hidup pada lingkungan terestrial, hewan harus melakukan berbagai upaya untuk menghindarkan diri dari ancaman dehidrasi. Sebagai contoh upaya yang dilakukan hewan unisel (protozoa) untuk menghindarkan diri dari bahaya dehidrasi yaitu dengan cara membentuk dinding protektif (kista), saat kondisi lingkungan sangat panas dan kering.

D. Mekanisme Homeostatis

Mekanisme pengendalian kondisi homeostatis pada hewan berlangsung melalui sistem umpan balik. Akan tetapi, kita tidak boleh lupa bahwa ada dua macam sistem umpan balik, yaitu umpan balik positif dan umpan balik negatif. Sistem umpan balik yang berfungsi dalam pengendalian kondisi homeostatis pada tubuh hewan adalah sistem umpan balik negatif. Sistem umpan balik negatif dapat didefinisikan sebagai perubahan suatu variabel yang dilawan oleh tanggapan yang cenderung mengembalikan perubahan tersebut ke keadaan semula. Sebagai contoh, peristiwa yang terjadi pada burung dan mamalia pada waktu mempertahankan suhu tubuhnya supaya tetap konstan. Peningkatan suhu tubuh sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$ akan mendorong timbulnya tanggapan yang akan mengembalikan suhu tubuh ke suhu awal, yaitu suhu yang seharusnya. Pada mamalia, suhu tubuh yang seharusnya ialah 37°C . Dengan demikian, sistem umpan balik negatif pada contoh di atas akan selalu membawa sistem fisiologis kepada suhu tubuh 37°C .

Peristiwa yang terjadi pada sistem umpan balik positif berlawanan dengan peristiwa pada sistem umpan balik negatif. Pada sistem umpan balik positif, perubahan awal suatu variabel akan menghasilkan perubahan yang semakin besar, misalnya proses pembekuan darah. Mekanisme umpan balik positif tidak terlibat dalam proses menjaga kondisi homeostatis, tetapi terlibat dalam penyelenggaraan fungsi fisiologis tertentu antara lain proses pembekuan darah dan fungsi sel saraf.

1. Komponen Penyusun Sistem Umpan Balik

Sistem umpan balik tersusun atas tiga komponen utama, yaitu reseptor, pusat integrasi, dan efektor. Antara reseptor dan pusat integrasi dihubungkan oleh saraf sensorik, sedangkan antara pusat integrasi dan efektor dihubungkan oleh saraf motorik. Reseptor berperan sebagai pemantau perubahan yang terjadi di lingkungan, baik lingkungan luar maupun dalam tubuh hewan. Dalam sistem umpan balik, reseptor bekerja dengan cara mengubah suatu bentuk energi yang dideteksi dari lingkungan (misalnya energi listrik atau energi kimia) menjadi potensial aksi. Potensial aksi yang terbentuk akan menjalar melalui serabut saraf aferen menuju pusat integrasi (pusat pengatur).

Pusat integrasi pada hewan biasanya berupa otak atau korda spinalis. Peran pusat integrasi ialah membandingkan informasi yang diterimanya dengan keadaan yang seharusnya (keadaan yang diharapkan). Sebagai contoh, hipotalamus yang terletak di dasar otak mamalia berfungsi sebagai pusat integrasi, antara lain dalam proses pengendalian suhu tubuh yang terselenggara dengan sistem umpan balik negatif. Dalam menyelenggarakan fungsi tersebut, hipotalamus bekerja dengan menentukan jenis tanggapan yang sesuai, yaitu tanggapan yang dapat membawa kepada suhu tubuh yang seharusnya.

Efektor ialah struktur dalam tubuh hewan yang berfungsi sebagai organ penghasil tanggapan biologis, yang dapat berupa sel otot atau kelenjar, dan bekerja atas perintah dari pusat integrasi.

2. Cara Kerja Umpan Balik Negatif

Pengendalian homeostatis sesungguhnya merupakan keseimbangan antara masukan (*input*) dan keluaran (*output*). Dalam mengatur suhu tubuh, sistem termoregulasi bekerja untuk menyeimbangkan perolehan panas dengan pelepasan panas. Pernahkah kita membayangkan apa yang akan terjadi jika sistem termoregulasi bekerja dengan sistem umpan balik positif? Tentu saja suhu tubuh akan menjadi kacau. Apabila sistem umpan balik positif bekerja dalam termoregulasi, rangsangan awal berupa peningkatan suhu tubuh/lingkungan akan menimbulkan tanggapan yang meningkatkan suhu tubuh menjadi lebih tinggi. Hal tersebut tidak akan memulihkan suhu tubuh ke suhu harapan, tetapi akan memperbesar kenaikan suhu. Pada sistem umpan balik negatif misalkan rangsangan awal berupa penurunan suhu eksternal. Hal tersebut mendorong efektor untuk menghasilkan respon yang dapat mengembalikan suhu tubuh ke suhu tubuh yang diharapkan.

Pada manusia, nilai patokan untuk suhu tubuh ialah 37°C . Akan tetapi, sebenarnya suhu tubuh yang dapat diterima berada di dalam kisaran $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Dalam tubuh hewan, berbagai variabel fisiologis yang berbeda memiliki kisaran yang berbeda. Tidak satupun kondisi dalam tubuh yang selalu ada pada tingkat yang benar-benar konstan. Pada tubuh hewan ditemukan adanya tingkatan homeostatis.

Memperhatikan uraian di atas maka jelas bahwa yang dimaksud kondisi homeostatis dalam lingkungan internal hewan adalah keadaan homeostatis yang dinamis. Keadaan demikian sering juga dinyatakan sebagai keseimbangan dinamis atau *dynamic equilibrium*. Mekanisme pengendalian kondisi homeostatis seperti yang diuraikan di atas merupakan mekanisme pengendalian secara fisiologis dengan melibatkan sistem saraf, yang biasanya bekerja sama dengan sistem endokrin. Kita juga dapat menjumpai mekanisme pengendalian kondisi homeostatis secara fisiologis yang agak berbeda dari mekanisme yang sudah kita pelajari. Mekanisme tersebut sering disebut *feed forward*. *feed forward* merupakan aktivitas antisipatori, berkaitan dengan perilaku hewan yang dimaksud untuk memperkecil (meminimalkan) kerusakan/gangguan pada sistem hidup, sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah. Contoh dari *feed forward* adalah peristiwa makan dan minum secara bersamaan.

Proses pengendalian kondisi homeostatis juga dapat terjadi melalui mekanisme non fisiologis. Mekanisme semacam ini dapat dijumpai pada beberapa spesies hewan akuatik, baik vertebrata maupun invertebrata. Hewan-hewan tersebut pada umumnya merupakan golongan poikiloterm, sementara air merupakan lingkungan yang sulit mengalami perubahan suhu. Oleh karena itu, pemilihan air bagi tempat hidup hewan poikiloterm merupakan cara yang tepat untuk menjaga homeostatis suhu tubuh mereka.

TUGAS

1. Untuk mempelajari struktur hewan seseorang perlu mengetahui pengetahuan tentang biokimia, biologi sel, dan histologi. Mengapa demikian?
2. Sebutkan masing-masing dua contoh faktor lingkungan air tawar, air laut, dan terestrial (darat) yang merupakan ancaman bagi hewan yang hidup pada lingkungan tersebut! Jelaskan pula bagaimana hewan menanggapi setiap faktor tersebut!
3. Jelaskan perbedaan antara sistem umpan balik positif dan sistem umpan balik negatif!

BAB II

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

A. Struktur dan Fungsi Organela Sel

Bagian sel yang terbesar adalah sitoplasma atau cairan sel. Sitoplasma diselubungi oleh selaput tipis yang disebut membran sitoplasma. Dalam sitoplasma tersuspensi berbagai organela sel seperti retikulum endoplasma (RE), aparatus golgi, lisosom, mitokondria, membran inti, dan sentriol. Macam organela yang terdapat dalam sel bervariasi, tergantung pada fungsi masing-masing sel. Misalnya, sel pankreas banyak memiliki RE, sel makrofag kaya akan lisosom, dan sel hati banyak mengandung vesikula pinositik. Kebanyakan organela mempunyai satu unit membran, namun mitokondria dan inti (nukleus) mempunyai dua unit membran.

Membran sel membantu pengaturan lalu lintas berbagai zat melalui transpor pasif dan aktif. Transpor aktif adalah proses transpor yang memerlukan penggunaan energi dari ATP. Selain itu membran sel juga berfungsi sebagai tempat melekat bagi berbagai enzim. Bangunan yang menonjol dalam sitoplasma adalah inti sel. Pada umumnya, sel mempunyai sebuah inti. Akan tetapi, beberapa jenis sel mempunyai lebih dari satu inti. Cairan dalam inti sel disebut nukleoplasma atau karioplasma, diselubungi oleh dua unit membran inti. Dalam inti terdapat anak inti yang disebut nukleolus, yang merupakan partikel-partikel yang sangat menyerap zat pewarna. Kandungan terpenting dalam nukleolus adalah kromatin.

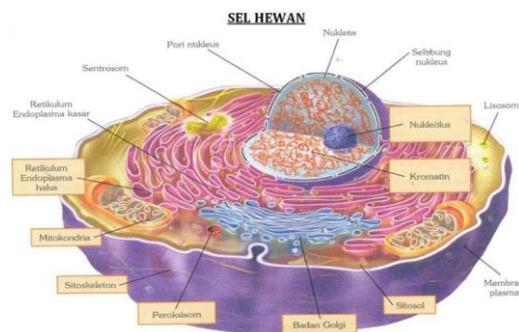
Retikulum endoplasma (RE), merupakan bangunan yang berbentuk saluran berkelok-kelok yang dilapisi oleh membran. RE merupakan perluasan dari membran plasma ke arah dalam, menuju membran inti. RE dapat dibedakan menjadi dua yaitu retikulum endoplasma kasar dan retikulum endoplasma halus. Sesuai dengan namanya RE kasar memiliki banyak butiran atau granula halus yang menempel pada membrannya, sedangkan RE halus tidak. Butiran atau granula halus tersebut adalah ribosom, yang berperan penting dalam sintesis

protein. RE halus berfungsi dalam sintesis zat bukan protein. RE mempunyai hubungan struktural dan fungsional yang erat dengan aparatus golgi dan membran inti.

Aparatus golgi, RE, vesikel dan lisosom, secara keseluruhan menyusun sistem yang bermembran yang terdapat dalam sitoplasma sel. Aparatus golgi bekerja sebagai bagian dari sistem transpor dalam sel, juga berkaitan dengan pembentukan dan pengemasan bahan yang akan dikeluarkan dari sel. Lisosom dapat ditemukan dalam sel sebagai bangunan berbentuk kantong kecil bermembran, yang berisi enzim hidrolitik dan memiliki pH rendah. Enzim dalam lisosom bekerja untuk menghancurkan bagian sel yang sudah tua dan tidak diperlukan lagi, serta berbagai zat lain yang masuk ke dalam sel, baik nutrisi maupun benda asing seperti bakteri dan virus. Oleh karena itu, organel ini disebut lisosom.

Mitokondria merupakan organel yang memiliki dua unit membran, yaitu membran luar dan membran dalam. Antara kedua unit membran tersebut terdapat unit antar membran dan di sebelah dalam membran dalam terdapat matriks. Mitokondria berfungsi sebagai penghasil ATP, yaitu senyawa kimia berenergi tinggi. Dalam mitokondria juga berlangsung reaksi-reaksi untuk biogenesis mitokondria.

Selain itu dalam sel hewan juga dijumpai sentriol dan sitoskeleton. Sentriol merupakan bangunan berbentuk tabung kecil dan memiliki peran penting selama pembelahan sel, yaitu dalam pembentukan benang spindel. Sitoskeleton atau rangka sel dapat ditemukan di setiap sel. Sitoskeleton dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu mikrotubulus, mikrofilamen, dan filamen intermediet.



Gambar 1. Sel hewan

B. Sifat Fisik dan Kimia Protoplasma

Organel sel yang paling menonjol adalah sitoplasma atau protoplasma, yaitu medium cair berupa koloid aktif, yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya berbagai reaksi. Secara kimiawi, komponen penyusun protoplasma terbesar adalah air. Dalam protoplasma tersuspensi berbagai zat yang jumlahnya kira-kira 30% dari massa keseluruhan. Analisis kasar terhadap zat tersuspensi tersebut menunjukkan bahwa 60% diantaranya berupa protein, sedangkan sisanya terdiri dari karbohidrat, lemak dan bahan anorganik (garam, mineral) serta bahan-bahan lain. Selain organel (yang merupakan bahan hidup), dalam protoplasma juga terdapat bahan tidak hidup dan sering kali juga ditemukan bahan-bahan yang bersifat sementara, seperti tetes lemak dan tetes glukosa.

Secara fisis protoplasma mempunyai viskositas yang bervariasi, tergantung pada ukuran serta densitas (kepadatan) partikel yang ada di dalamnya. Seperti halnya ameba, hal inilah yang memungkinkan ameba dapat bergerak menggunakan kaki semu atau pseudopodia.

Mengingat bahwa komponen utama dari protoplasma (sel) adalah air maka sifat-sifat protoplasma tidak jauh berbeda dari sifat-sifat air, baik sifat fisik maupun sifat kimia. Oleh karena itu, pada bagian ini akan diuraikan beberapa sifat fisika dan sifat kimia air, meliputi kapasitas panas, panas penguapan, dan viskositas (kekentalan), serta sifat sebagai molekul bipolar.

Kapasitas panas dapat didefinisikan sebagai banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram air setinggi 1°C. Kapasitas panas air relatif tinggi. Hal tersebut berarti bahwa untuk menaikkan suhu air setinggi 1°C diperlukan panas atau kalor dari lingkungan dalam jumlah relatif besar. Kapasitas panas yang relatif tinggi tersebut menyebabkan air sulit mengalami perubahan suhu. Sifat yang demikian ternyata sangat penting untuk menjaga kestabilan suhu. Itulah sebabnya lingkungan akuatik dan tubuh hewan (yang sebagian besar terdiri atas air) sulit mengalami perubahan suhu.

Panas penguapan dapat didefinisikan sebagai jumlah panas/energi yang diperlukan untuk mengubah cairan menjadi gas pada suhu yang sama. Hal ini berarti bahwa perubahan air dari fase cair ke fase gas/uap memerlukan sejumlah

panas. Sifat air yang demikian sangat penting bagi hewan karena memberi peluang untuk menurunkan suhu tubuh mereka melalui penguapan atau dengan mekanisme berkeringat.

Viskositas dapat diartikan sebagai kekentalan. Sebenarnya istilah “kekentalan” tidak dapat mengartikan istilah “viskositas” secara tepat, tetapi istilah itulah yang paling mendekati makna sebenarnya. Karena viskositasnya relatif rendah, air mudah mengalir ke semua bagian ruang antar sel di dalam tubuh hewan. Kandungan air yang cukup tinggi dalam darah/cairan tubuh hewan menyebabkan aliran darah berlangsung lancar.

Ditinjau dari susunan molekulnya, air mempunyai kutub elektro positif dan elektro negatif sehingga disebut molekul dipolar pada molekul air memberi peluang terjadinya tarik-menarik antarsesamanya. Yaitu antara kutub elektro positif dari suatu molekul air dan kutub negatif dari molekul air yang lain. Hal ini menyebabkan terbentuknya ikatan kimia yang dinamakan ikatan hidrogen.

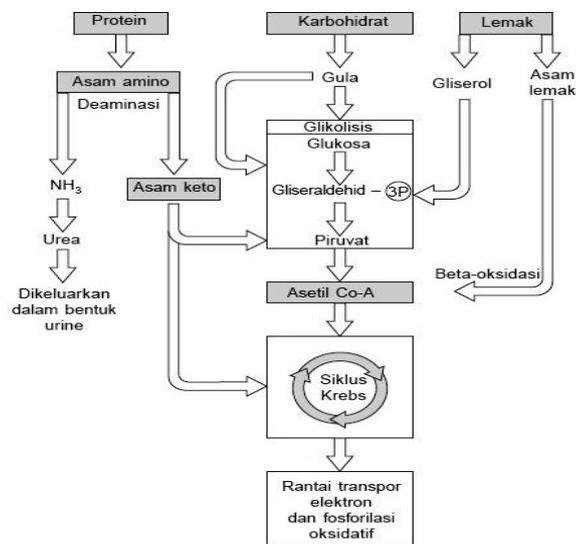
Kemampuan antara dua molekul zat yang sejenis untuk saling berikatan disebut daya kohesi. Karena sesama molekul air sangat mudah berikatan, dapat dikatakan bahwa air mempunyai daya kohesi tinggi. Dari penjelasan di atas jelas bahwa sifat kimia air ternyata berkaitan erat dengan sifat fisiknya.

C. Metabolisme Sel

Metabolisme adalah seluruh aktivitas reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel hidup. Jumlah reaksi kimia yang berlangsung dalam sebuah sel sangat banyak, berkisar antar beberapa ribu. Setiap aktivitas organisme seperti makan, pengeluaran, pergerakan, dan penyaluran impuls saraf sangat tergantung pada berbagai reaksi kimia yang berlangsung dalam setiap sel tubuh. Sebagian besar reaksi kimia yang terjadi dalam sel dikontrol oleh enzim (katalisator biologis) yang bekerja mempercepat reaksi.

Di dalam sel karbohidrat, lemak, dan protein mengalami katabolisme menjadi senyawa yang sederhana, yang selanjutnya akan diproses sedemikian rupa sehingga menghasilkan ATP dan sejumlah zat sisa metabolisme. Proses katabolisme dapat dibedakan menjadi tiga, (lihat gambar 2), yaitu sebagai berikut.

1. Tahap pertama merupakan tahap pemecahan makromolekul (karbohidrat, lemak, dan protein) menjadi senyawa sederhana seperti gula, asam lemak, gliserol, dan asam amino. Tahap ini terjadi selama proses pencernaan makanan, berlangsung di saluran pencernaan (pada hewan yang tingkatannya lebih tinggi) atau di dalam sel (pada hewan sederhana, yang belum mempunyai sistem pencernaan khusus).
2. Tahap kedua merupakan tahap pemecahan senyawa sederhana menjadi asetil ko-A, yang berkaitan erat dengan pembentukan ATP dan NADH dalam jumlah terbatas. Tahap ini antara lain terjadi selama glikolisis. Glikolisis ialah proses pengubahan glukosa menjadi asam piruvat, yang berlangsung dalam sitoplasma sel. Glikolisis tiap molekul glukosa hanya menghasilkan 2 ATP.
3. Tahap ketiga merupakan tahap oksidasi asetil ko-A secara sempurna menjadi H_2O dan CO_2 . Proses ini melibatkan proses pembentukan NADH, yang selanjutnya akan menghasilkan ATP dalam jumlah lebih banyak melalui sistem transpor elektron. Tahap ini berlangsung dalam kondisi aerob sehingga ketersediaan oksigen mutlak diperlukan. Kekurangan oksigen dapat mengganggu proses pembentukan ATP.



Sumber: *Biology, Salomon*

Gambar 2. Diagram tiga tahap katabolisme untuk mengubah bahan makanan menjadi ATP

D. Membran Biologis dan Perannya dalam Transpor zat

Hewan bersel satu, contohnya ameba, menyelenggarakan proses pertukaran gas, menyerap makanan, dan mengeluarkan zat-zat sisa melalui seluruh permukaan tubuhnya. Berbagai aktivitas tersebut mengakibatkan timbulnya perbedaan komposisi zat antara di dalam dan di luar sel. Perbedaan komposisi tersebut mendorong terjadinya lalu lintas berbagai macam zat dari dalam ke luar sel, atau sebaliknya. Pada hewan multiseluler yang kompleks, proses-proses tersebut berlangsung pada jaringan dan organ khusus. Untuk memperoleh gambaran yang mudah mengenai organ khusus tersebut, perhatikanlah jaringan dan fungsi organ berikut. Sel epitel insang memiliki fungsi khusus untuk transpor gas dan ion, paru-paru dikhususkan untuk pertukaran O_2 dan CO_2 , sistem pencernaan digunakan untuk mengeluarkan zat-zat sisa.

Sejumlah sel mempunyai tugas khusus untuk mengikat zat tertentu dan menghasilkan senyawa khusus, antara lain sel kelenjar yang menghasilkan hormon. Contoh khusus untuk sel semacam itu adalah sel kelenjar tiroid (kelenjar gondok), yang mempunyai kemampuan unik yaitu mengikat iodium dan menghasilkan hormon tiroksin. Iodium dari darah akan masuk ke dalam kelenjar gondok dengan melintasi membran sel kelenjar. Selanjutnya, pengeluaran hormon tiroksin dari kelenjar gondok juga harus melewati membran sel.

Memperhatikan uraian di atas maka jelas bahwa dalam tubuh hewan selalu terjadi perpindahan zat dari bagian tubuh yang satu ke bagian yang lain, melalui suatu pembatas. Pembatas yang dimaksud dapat berupa struktur yang kompleks, misalnya kulit, atau struktur sederhana berupa selaput tipis, seperti dinding kapiler darah dan selaput alveoli paru-paru, atau bahkan berupa membran sel. Untuk masuk ke dalam sel, suatu zat harus dapat menembus membran sel atau membran plasma. Membran plasma disebut juga plasmalema. Membran sel memiliki susunan unik yang sering dilukiskan dengan model mozaik cair.

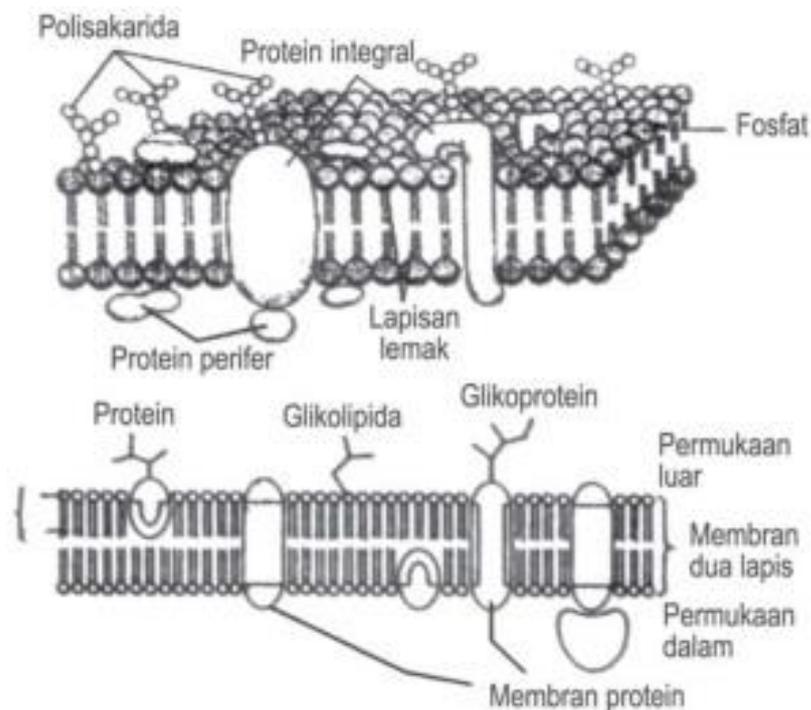
E. Struktur Mosaik Cair Membran sel

Lipid penyusun membran merupakan senyawa amfipatik, yaitu senyawa yang mempunyai gugus hidrofobik pada satu bagian dan gugus hidrofilik pada bagian

lainya. Keberadaan molekul/senyawa amfipatik tersebut memungkinkan terbentuknya susunan lipid lapis ganda pada membran (lihat gambar 3). Lipid penyusun membran dapat dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu fosfolipid, sfingolipid, glikolipid dan sterol.

Protein penyusun membran sangat bervariasi sehingga struktur maupun sifat fisika-kimianya kurang diketahui dengan baik. Struktur protein yang paling dominan adalah globular.

Karbohidrat (polisakarida) penyusun membran terikat pada lipid dan protein. Seperti halnya protein, struktur dan fungsi karbohidrat pada membran juga belum diketahui secara jelas. Ada dua macam karbohidrat pada membran, yaitu polisakarida kompleks yang merupakan hasil sekresi sel dan karbohidrat yang berikatan secara kovalen dengan membran. Ikatan kovalen antara karbohidrat dan lipid membentuk struktur glikolipid, sedangkan ikatan kovalen karbohidrat dengan protein membentuk struktur glikoprotein. Glikolipid dan glikoprotein secara bersamaan membentuk struktur glikokalik pada membran sel.



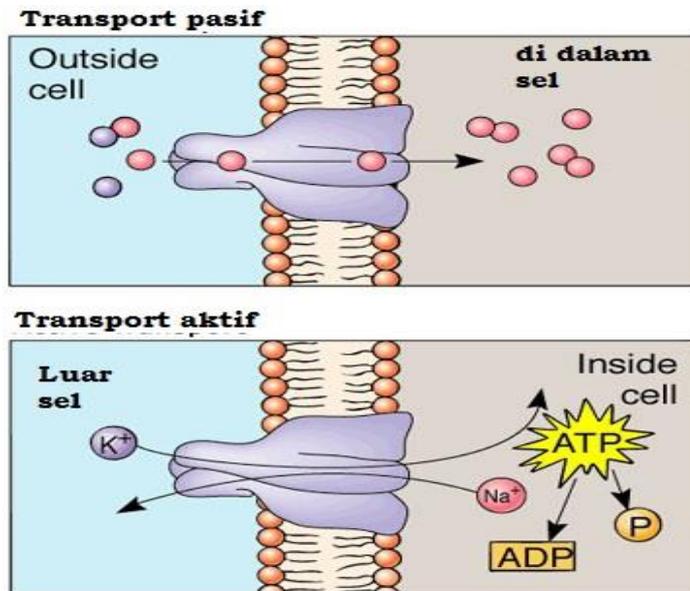
Gambar 3. Struktur membran sel menurut model mosaik cair

F. Transpor Pasif dan Aktif

Transpor zat melalui membran dapat terjadi dengan dua cara, yaitu secara pasif (osmosis dan difusi) atau aktif (menggunakan energi dari sel). Osmosis adalah perpindahan air atau zat pelarut dari larutan yang lebih encer ke larutan yang lebih pekat. Sedangkan difusi adalah perpindahan air atau zat pelarut dari larutan yang lebih encer ke larutan yang lebih pekat. Sebagai contoh, jika ada dua macam larutan, misalnya larutan NaCl 5% dan 10%, maka perpindahan air dari larutan NaCl 5% ke larutan NaCl 10% merupakan proses osmosis. Sementara, difusi ialah perpindahan molekul/partikel zat terlarut dari larutan yang lebih pekat (konsentrasi zat terlarut lebih tinggi) ke larutan yang lebih encer (konsentrasi zat terlarut lebih rendah). Apabila di antara NaCl 5% dan NaCl 10% dalam contoh di atas terdapat membran pembatas yang bersifat permeabel terhadap NaCl, NaCl dapat menembus membran tersebut dan berpindah dari larutan NaCl 10% ke larutan NaCl 5% hingga terjadi kesetimbangan. Perpindahan NaCl tersebut dinamakan difusi.

Selain peristiwa difusi seperti yang telah diterangkan, dikenal pula difusi dipermudah atau *facilitated diffusion*. Difusi dipermudah ialah proses pengangkutan zat terlarut dari larutan yang lebih pekat ke larutan yang lebih encer, dengan dibantu protein pembawa (karier = pengemban) yang terdapat pada membran. Dalam difusi dipermudah, zat yang akan ditranspor harus dapat berikatan dengan protein karier pada membran, kemudian membentuk kompleks substrat-protein yang dapat larut dalam lapisan lipid membran.

Transpor aktif yaitu perpindahan zat dari larutan konsentrasi yang lebih rendah ke larutan dengan konsentrasi yang lebih tinggi, dengan bantuan yang berasal dari sel. Untuk kegiatan tersebut, membran menyediakan energi yang dihasilkan dari pemecahan ATP. Salah satu contoh transpor aktif yang sangat baik ialah pompa Ca^{++} pada sel otot dan pompa $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ pada setiap sel. Pompa $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ bekerja untuk mempertahankan kadar natrium di luar sel tetap lebih tinggi dari pada di dalam sel, dan kadar kalium di dalam sel tetap lebih tinggi dari pada luar sel.



Gambar 4. Transpor Pasif dan Aktif

TUGAS

1. Sebutkan dan jelaskan struktur dan fungsi organel sel!
2. Sebutkan dan jelaskan proses katabolisme!
3. Keberadaan senyawa amfipatik sebagai salah satu komponen penyusun membran memungkinkan terbentuknya lapisan lipid lapis ganda. Berikan penjelasan!

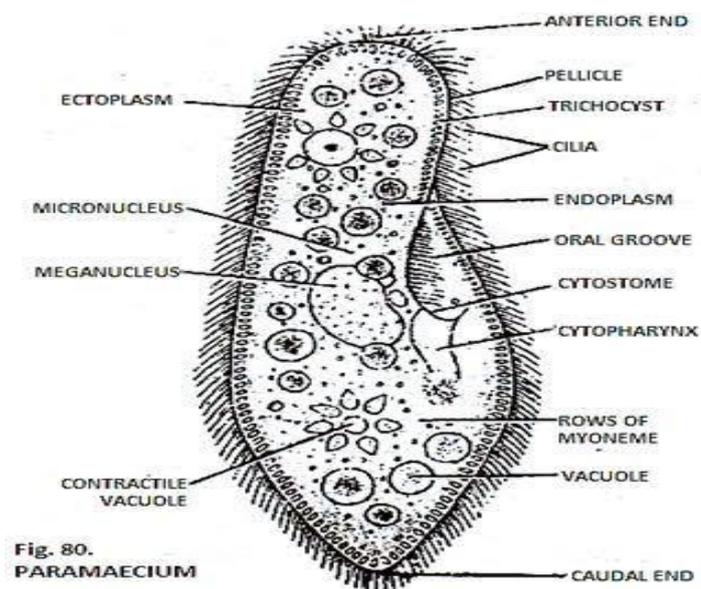
BAB III

SISTEM SIRKULASI

A. Sistem Sirkulasi Invertebrata

1. Protozoa

Hewan bersel satu atau protozoa tidak memiliki sistem sirkulasi darah karena tubuhnya hanya terdiri dari atas satu sel. Sari-sari makanan yang telah dicerna di dalam vakuola diserap oleh protoplasma dan sekelilingnya. O₂ diserap secara difusi, dan CO₂ dikeluarkan juga melalui difusi. Contoh dari protozoa adalah amoeba dan paramecium. Sistem sirkulasi pada paramecium lebih sempurna dari amoeba. Pada paramecium, makanan yang berupa materi halus diserap melalui permukaan tubuhnya. Namun materi makan yang besar akan memasuki sitosma (mulut sel).



Gambar 5. *Paramecium sp*

2. Porifera

Organisme ini belum memiliki sistem peredaran darah khusus, dengan kata lain sistem sirkulasinya tergabung dengan sistem pencernaan. Tubuhnya terdiri atas dua lapisan sel yaitu, sel ameboid dan koanosit. Sel-sel ameboid yang

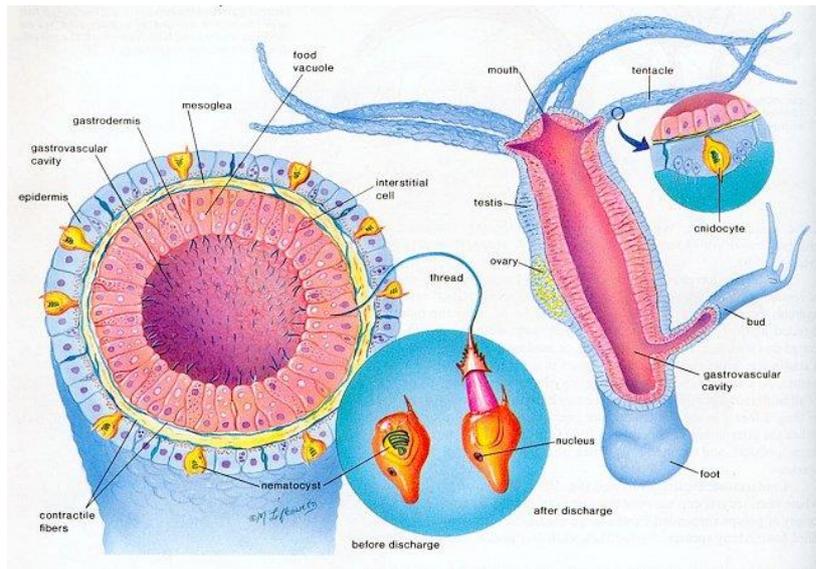
berfungsi mengedarkan makanan. Makanan melalui porifera diperoleh melalui aliran air yang melintas ostia atau pori dan keluar melalui oskulum. Makanan ditangkap dan dicerna oleh sel-sel leher (kanosit), kemudian diberikan kepada sel-sel ameboid. Kemudian sel-sel ameboid mengembara ke sel-sel yang lain untuk mengedarkan makanan.



Gambar 6. a) porifera tabung kuning (*Aplysina Fistularis*), b) penampang membujur organisme porifera

3. Coelenterata

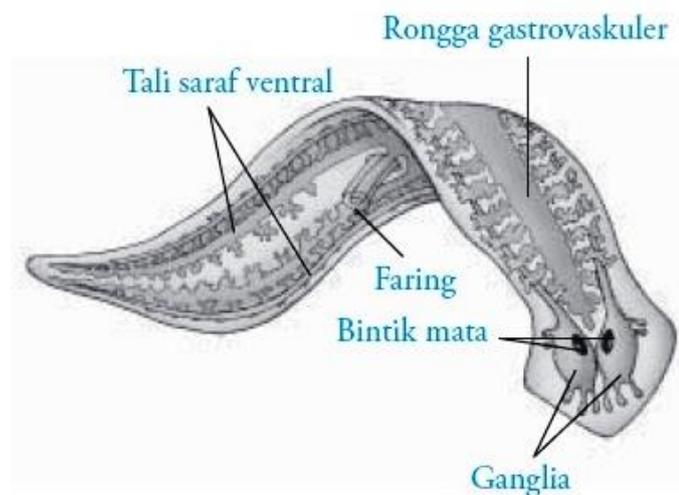
Pada coelenterata juga belum memiliki sistem peredaran khusus, misalnya hydra, transportasinya dilakukan oleh sistem gastrovaskuler. Yakni saluran pencernaan yang berfungsi sekaligus sebagai alat peredaran. Saluran pencernaan pada hydra bercabang-cabang dan bercabang-cabang lagi kesemua bagian tubuh. Percabangan ini menyebabkan permukaan dalam saluran pencernaan semakin luas, sehingga saluran ini akan lebih efisien dalam melakukan penyerapan zat serta sekaligus menghantarkan zat yang diserapnya keseluruh jaringan tubuh.



Gambar 7. Penampang melintang dan membujur *Hydra sp*

4. Platyhelminthes

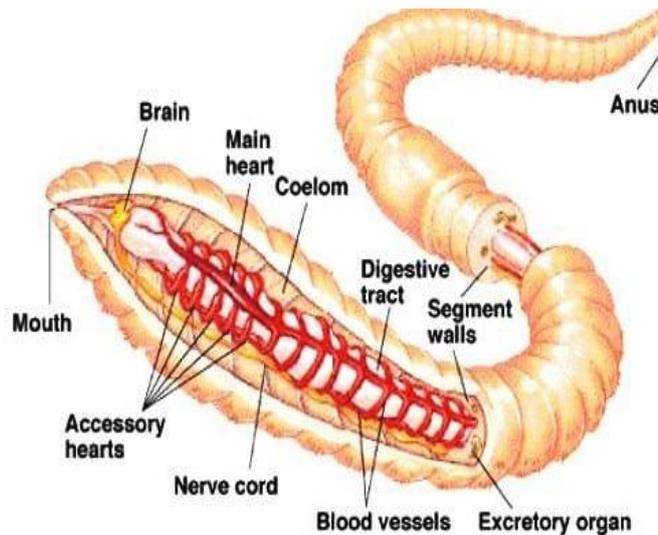
Pada platyhelminthes khususnya planaria juga belum mempunyai sistem peredaran darah khusus, namun menggunakan sistem gastrovaskuler. Awal mulanya makanan masuk ke dalam usus. Selanjutnya, dari usus bercabang-cabang keseluruh tubuh untuk mengedarkan makanan. Percabangan tersebut menyebabkan usus lebih besar sehingga lebih efisien dalam menyerap makanan.



Gambar 8. Sirkulasi Planaria

5. Annelida

Sistem sirkulasi pada cacing tanah merupakan peredaran darah tertutup. Selama dalam peredarannya darah tetap berada di dalam pembuluh. Alat peredaran darah cacing tanah terdiri atas pembuluh darah punggung (dorsal), pembuluh darah perut (ventral) dan lima pasang lengkung aorta yang berfungsi sebagai jantung. Karena itu jantung cacing sering disebut jantung aorta. Darah dalam cacing beredar di dalam pembuluh sehingga termasuk peredaran darah tertutup. Darah yang terdapat pada pembuluh kapiler akan mengikat oksigen. Cacing tanah belum memiliki alat pernapasan khusus. Oksigen dari udara bebas berdifusi ke dalam darah cacing melalui seluruh permukaan kulit. Dari sini oksigen diangkut oleh darah di dalam kapiler bersama-sama dengan darah yang mengangkut zat makanan dari usus menuju ke pembuluh darah punggung. Selanjutnya darah tersebut dipompakan keseluruh jaringan tubuh. Berbeda dengan darah vertebrata yang hemoglobinnya terikat dalam sel darah merah, hemoglobin darah cacing larut dalam plasma darah.

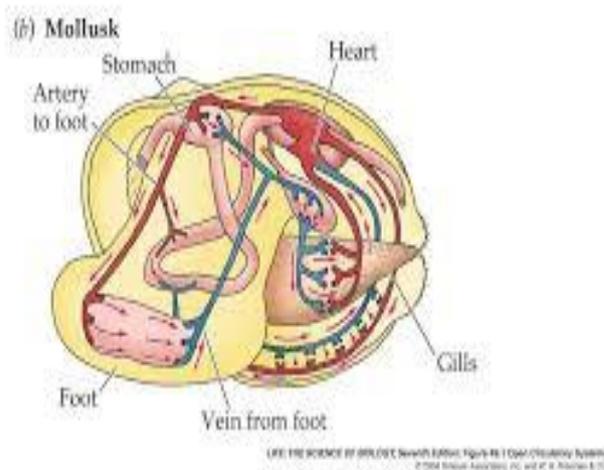


Gambar 9. Sistem peredaran darah tertutup cacing tanah

6. Mollusca

Pada mollusca sistem peredaran darahnya terbuka, jantung terdiri atas ventrikel dan atrium, aorta interior, dan aorta posterior. Tidak memiliki arteri dan vena. Ventrikel memompa darah ke dalam aorta anterior, kemudian darah

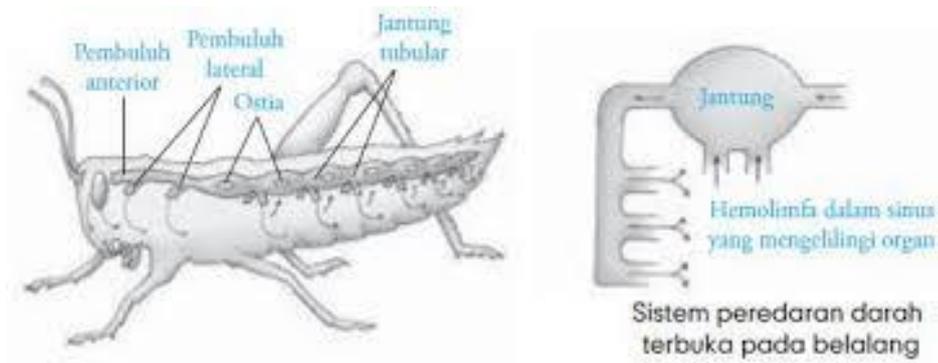
dialirkan tanpa pembuluh ke bagian kaki serta alat-alat tubuh lainnya kecuali punggung. Ke bagian abdomen, darah dialirkan melalui rectum dan mantel (kulit luar). Darah yang mengandung O_2 didalam mantel akan dialirkan ke atrium, darah yang mengandung CO_2 dikumpulkam dalam pembuluh kemudian masuk kedalam ginjal dan insang untuk mengikat O_2 dan kembali lagi ke jantung.



Gambar 10. Peredaran darah terbuka pada *Amphidromus perversus*

7. Arthropoda

Sistem sirkulasi arthropoda meliputi jantung dan arteri, sedangkan vena tidak ada. contohnya pada belalang mempunyai sistem peredaran terbuka karena darah tidak selalu berada dalam pembuluh darah, darah kembali ke jantung melalui rongga-rongga tubuh (hemocoel). Alat transportasinya berupa pembuluh yang dapat berdenyut sehingga menyerupai jantung. Oleh karena itu, pembuluhnya disebut “jantung pembuluh”. Pada saat jantung pembuluh ini berdenyut, darah keluar dari jantung pembuluh ke bagian depan melalui aorta.

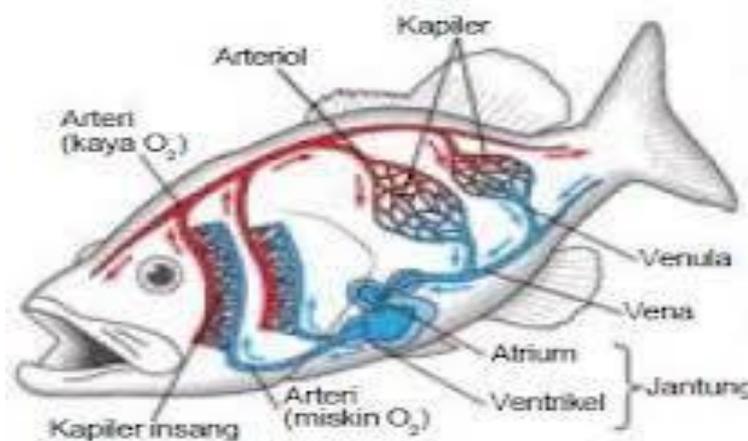


Gambar 11. Sistem peredaran darah terbuka pada belalang

B. Sistem Sirkulasi Vertebrata

1. Pisces

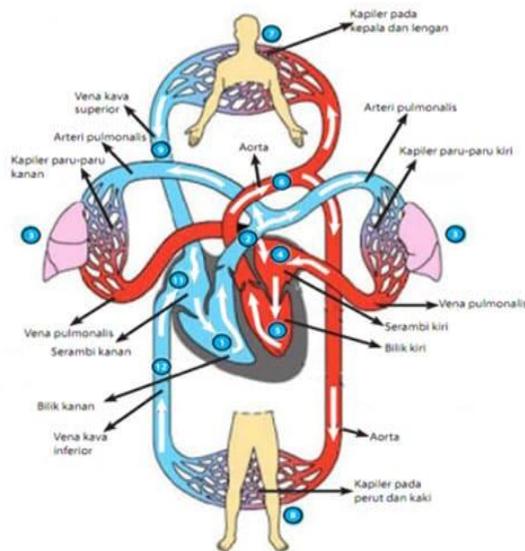
Ikan memiliki pola sirkulasi tunggal, dimana darah melewati jantung hanya sekali selama setiap rangkaian lengkap. Darah yang kekurangan oksigen dari jaringan tubuh datang ke jantung, dimana ia dipompa ke insang. Pertukaran gas terjadi dalam insang, dan darah beroksigen dari insang yang beredar ke seluruh tubuh. Di sisi lain, pada mamalia, darah terdeoksigenasi memasuki jantung, dimana ia dipompa ke paru-paru untuk oksigenasi. Darah beroksigen dikembalikan ke jantung dari paru-paru, yang akan diangkut ke seluruh tubuh.



Gambar 12. Sistem peredaran darah tertutup pada ikan

2. Manusia

Sistem peredaran darah manusia merupakan sistem organ yang terutama berkaitan dengan transportasi nutrisi, gas, sel-sel darah dan hormon ke seluruh tubuh, melalui jaringan pembuluh darah. Itu juga merupakan pendingin utama serta sistem transportasi tubuh. Sistem Peredaran darah pada manusia terdiri dari jantung, pembuluh darah, dan darah. Pembuluh darah arteri meliputi, arteriol, vena, dan kapiler. Semua bagian ini memainkan peran masing-masing dalam fungsi normal dari peredaran darah atau sistem kardiovaskular. Struktur dasar dari sistem peredaran darah dapat dianggap sebagai loop tertutup yang dimulai di jantung dan selesai di sana.

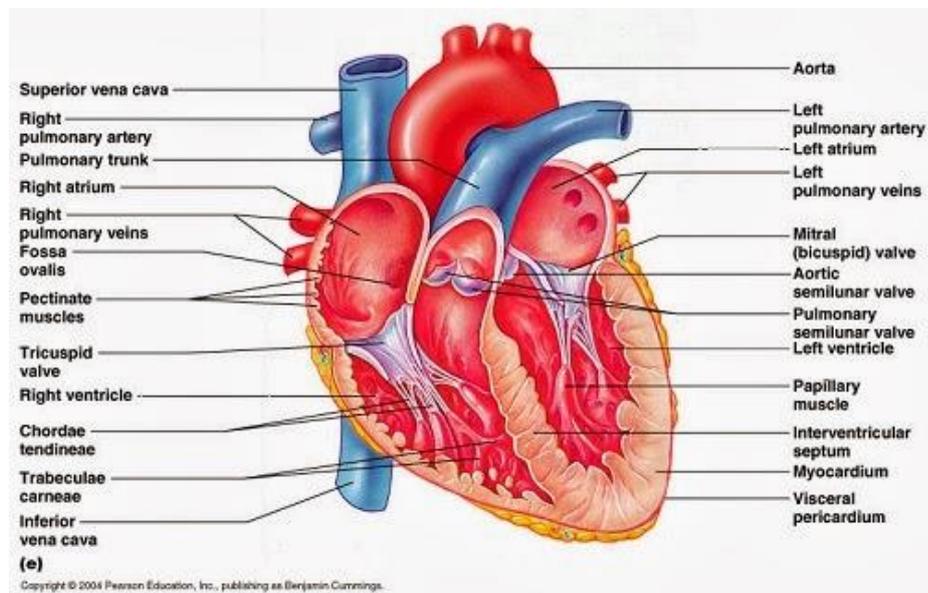


Gambar 13. Sistem sirkulasi pada manusia

Jantung manusia dibagi menjadi empat ruang: atrium kiri, ventrikel kiri, atrium kanan dan ventrikel kanan. Dinding ventrikel lebih tebal dan lebih kuat dibandingkan dengan dinding atrium. Ruang ini berkontraksi dan darah mendorong ke pembuluh darah. Atrium kanan adalah ruang kanan atas yang menerima darah teroksigenasi melalui vena kava superior (untuk tubuh bagian atas) dan inferior venacava (untuk tubuh bagian bawah). Atrium kiri

mengumpulkan darah beroksigen dari vena paru dan dipompa ke aorta (arteri terbesar jantung), untuk dibagikan ke arteri dan arteriol.

Seperti yang semua kita ketahui, fungsi utama dari sistem sirkulasi adalah untuk memberikan nutrisi dan oksigen ke berbagai bagian tubuh, melalui darah, yang beredar melalui pembuluh darah dan arteri. Arteri membawa darah beroksigen dari jantung ke sel dan jaringan, sedangkan vena mengembalikan darah mengurangi oksigen dari sel dan jaringan ke jantung. Berdasarkan modus fungsi, sistem peredaran darah dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu sirkulasi sistemik dan sirkulasi paru-paru. William Harvey adalah orang pertama yang menemukan fungsi jantung dan sirkulasi darah. Dia menyatakan bahwa jantung adalah organ pemompa yang tersedia dengan katup, untuk mempertahankan aliran darah hanya dalam satu arah, darah yang didistribusikan ke organ melalui pembuluh yang terletak di bagian dalam yang ia sebut arteri, dan darah dikembalikan ke jantung oleh pembuluh vena, yang masih berlaku sampai sekarang. Sistem ini sering disebut dengan sistem kardiovaskuler. Namun ada sistem lain yang bekerja di dekat koordinasi dengan sistem kardiovaskuler, yang merupakan sistem limfatik. Keduanya membentuk sistem peredaran darah.

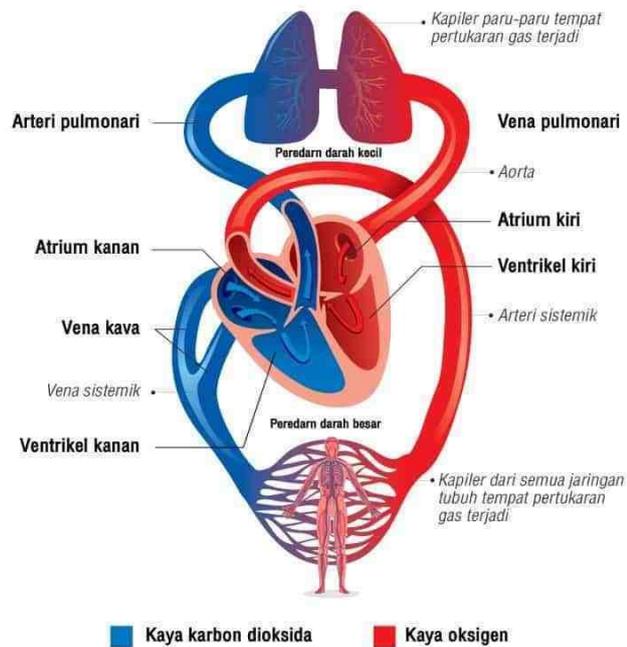


Gambar 14. Jantung mamalia

a. Sirkulasi Sistemik (Peredaran Darah Besar)

Sirkulasi sistemik sebenarnya loop mulai dari jantung dan mendistribusikan ke berbagai bagian tubuh. Dari sirkulasi sistemik ini arteri mengumpulkan darah yang kaya oksigen dari jantung dan diangkut ke jaringan tubuh. Dalam proses ini, oksigen dari darah yang disebarkan ke dalam sel-sel tubuh, sedangkan karbon dioksida dari sel menyebar dalam darah. Pertukaran gas ini berlangsung dengan bantuan kapiler kecil yang mengelilingi sel-sel tubuh.

Secara lengkap sistem peredaran darah besar dapat dijelaskan sebagai berikut, (lihat gambar 15). Dari atrium kiri (darah kaya oksigen) mengalir ke ventrikel kiri melalui katup bikuspidalis. Kontraksi ventrikel menyebabkan katup aorta membuka. Pada aorta terdapat arteri-arteri yang keluar langsung ke permukaan jantung dan ke seluruh tubuh. Arteri ini menuju ke arteriol-arteriol yang selanjutnya membawa darah yang kaya akan oksigen ke kapiler seluruh tubuh, pada pembuluh kapiler ini terjadi pertukaran, yaitu oksigen dari darah akan berdifusi masuk ke jaringan dan karbondioksida dari jaringan akan berdifusi masuk ke dalam darah, selanjutnya darah akan menuju ke venula dan akhirnya menuju vena cava. Darah dari organ tubuh yang berada di bawah jantung akan menuju ke vena cava inferior, sedangkan darah dari organ yang berada di atas jantung akan mengalir menuju vena cava superior, kedua vena tersebut akan bermuara di atrium kanan dengan membawa darah yang kaya akan karbondioksida. Selain itu pada aorta terdapat arteri yang keluar langsung ke permukaan jantung. Arteri ini menuju ke arteriol-arteriol, yang selanjutnya memberikan darah ke kapiler menuju ke seluruh bagian jantung. Kapiler-kapiler ini disaring oleh venula yang menuju ke vena koroner (vena dari jantung dan ke jantung) yang bermuara ke atrium kiri.



Gambar 15. Aliran darah dan oksigen dari jantung, paru-paru dan seluruh tubuh

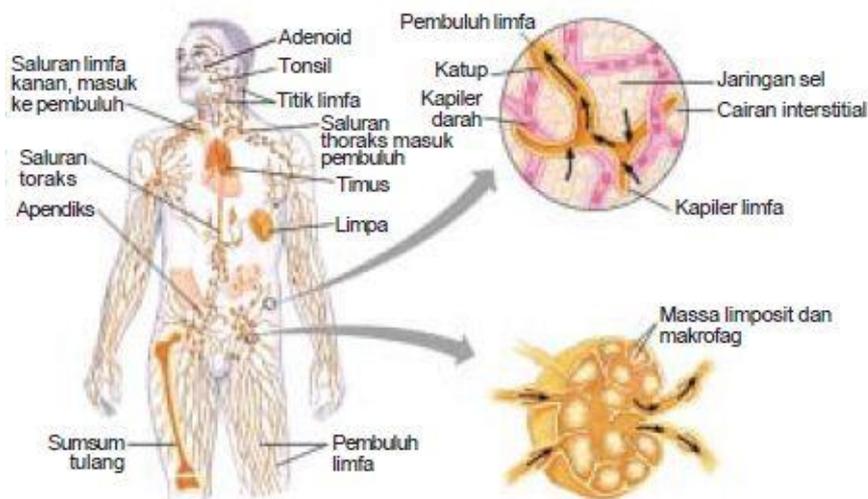
b. Sirkulasi Paru (peredaran darah kecil)

Sirkulasi paru juga sebuah loop yang dimulai pada jantung dan berlanjut ke paru-paru. Dalam peredaran darah kecil di mana darah terdeoksigenasi dari jantung dibawa ke paru-paru dan pada gilirannya, kembali darah beroksigen ke jantung. Darah kurang oksigen meninggalkan jantung (ventrikel kanan) melalui dua arteri paru-paru dan bergerak ke paru-paru. Di paru-paru, respirasi terjadi di mana sel darah merah (eritrosit) melepaskan karbondioksida dan menyerap oksigen. Darah beroksigen dari paru-paru ini kemudian dibawa kembali ke jantung (atrium kiri) dengan bantuan pembuluh darah paru. Sirkulasi sistemik mendistribusikan darah kaya oksigen ke bagian-bagian tubuh.

c. Sistem Limfatik

Sistem limfatik adalah jaringan pembuluh seperti sistem kardiovaskuler tetapi tidak memiliki jantung yang memompa, dan hanya terdiri dari jenis pembuluh dengan katup dan kelenjar di tempat-tempat tertentu seperti ketiak, timus, limpa

dan leher. Cairan yang beredar ini disebut getah bening, yang sebenarnya berasal dari plasma darah yang dipaksa keluar dari pembuluh darah. Kelenjar getah bening hadir pada interval tertentu membantu menyaring benda asing dari getah bening. Getah bening mengandung leukosit untuk mendukung kekebalan dan pertahanan terhadap penyakit. Sistem limfatik mengangkut lemak yang diserap dari usus halus ke hati, cairan interstitial beredar dan memerankan peran penting dalam pertahanan terhadap agen-agen asing atau mikroba.



Gambar 16. Sistem Limfatik pada Manusia

C. Perbedaan antara Sistem Peredaran Darah dan Sistem limfatik

1. Sistem limfatik pada dasarnya adalah bagian dari sistem peredaran darah. Oleh karena itu, berbagi fungsi dengan sistem peredaran darah membawa cairan dan bahan terlarut dari salah satu ke yang lain.
2. Namun, sistem limfatik tidak memiliki darah dan dua jenis pembuluh: vena dan arteri, di mana mereka dibawa.
3. Cairan dari sistem peredaran darah bergerak melalui jantung, arteri, kapiler, pembuluh darah dan paru-paru, tapi getah bening hanya mengalir melalui pembuluh limfatik.
4. Media konduktif dari sistem peredaran darah terdiri dari eritrosit plasma, leukosit dan trombosit. Tapi getah bening hanya terdiri dari limfosit, yang membantu menciptakan respon imun.

5. Media konduktif dari sistem peredaran darah bertanggung jawab untuk pengangkutan gas pernapasan ke seluruh tubuh. Karena pigmen pernapasan hilang dari getah bening, tidak dapat berkontribusi untuk ini.
6. Sistem peredaran darah membawa bahan makanan yang dicerna dan limbah dari sel ke dan dari organ, tetapi sistem limfatik hanya membawa lemak tercerna.
7. Leukosit dalam darah menimbulkan pertahanan terhadap benda asing yang menyerang dan racun, tapi limfosit dari sistem limfatik, yang membantu, membangun kekebalan.
8. Sistem limfatik, oleh karena itu, tidak hanya bagian dari sistem peredaran darah, tetapi juga merupakan bagian penting dari itu.

TUGAS

1. Sebutkan komponen penyusun sistem sirkulasi dan jelaskan masing-masing fungsinya!
2. Jelaskan sistem sirkulasi pada pisces!
3. Jelaskan perbedaan antara sistem peredaran darah dan sistem limfatik!

BAB IV

SISTEM SARAF

A. Sistem Saraf Pusat

Sistem saraf pusat terdiri dari otak dan medula spinalis. Tidak ada bagian otak yang bekerja sendiri dan terpisah dari bagian-bagian otak lain karena anyaman neuron-neuron terhubung secara anatomis oleh sinaps, dan neuron-neuron di seluruh otak berkomunikasi secara ekstensif satu sama lain secara listrik atau kimiawi. Akan tetapi, neuron-neuron yang bekerja sama untuk melaksanakan fungsi tertentu cenderung tersusun dalam lokasi yang terpisah.

Medula spinalis memiliki lokasi strategis anatara otak dan serat aferen dan eferen susunan saraf tepi. Lokasi ini memungkinkan medula spinalis memenuhi dua fungsi primernya, yaitu sebagai penghubung untuk transmisi informasi antara otak dan bagian tubuh lainnya dan mengintegrasikan aktivitas refleks antara masukan aferen dan keluaran eferen tanpa melibatkan otak. Jenis aktivitas refleks ini disebut refleks spinal.

1. Fungsi dan Bagian Sistem Saraf Pusat

a. Otak depan

Menerima dan memproses informasi sensorik, berpikir, memahami, produksi dan pemahaman bahasa, dan pengendalian fungsi motorik. Ada dua divisi utama dari otak depan :

- 1) Diencephalon : berisi struktur seperti talamus dan hipotalamus yang bertanggung jawab atas fungsi seperti kontrol motorik, menyampaikan informasi sensorik, dan pengendalian fungsi otonom.
- 2) Telencephalon berisi bagian terbesar dari otak, korteks cerebral. Sebagian besar pemrosesan informasi aktual di otak terjadi dalam korteks.

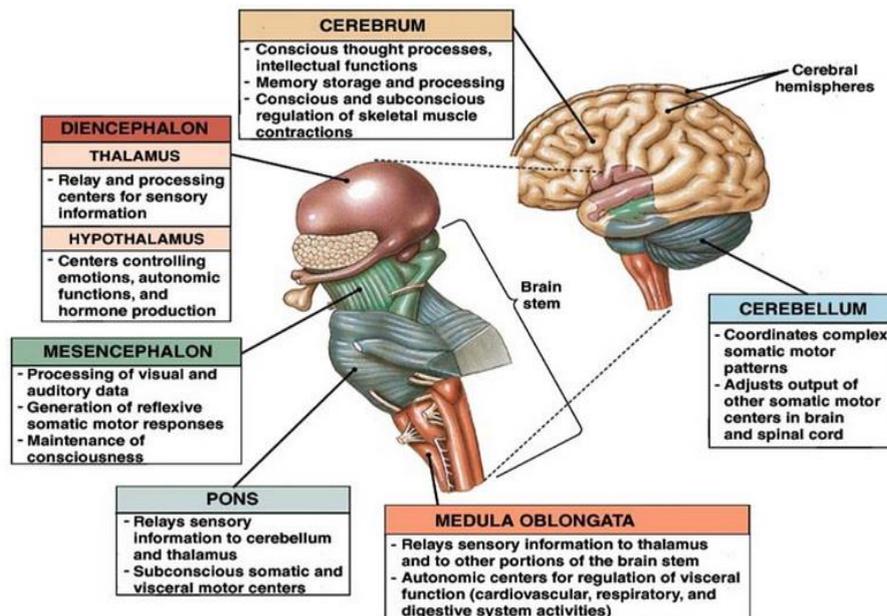
b. Otak tengah

Otak tengah dan otak belakang bersama-sama membentuk brainstem. Otak tengah terlibat dalam tanggapan pendengaran dan visual serta fungsi motorik.

c. Otak Belakang

Membentang dari sumsum tulang belakang dan terdiri dari metencephalon dan myelencephalon.

- 1) Metencephalon: struktur seperti pons dan serebelum. Daerah ini membantu dalam menjaga keseimbangan dan koordinasi gerakan, dan informasi konduksi sensorik.
- 2) Myelencephalon : dari medula oblongata yang bertanggung jawab untuk mengontrol fungsi otonomik seperti pernapasan, denyut jantung, dan pencernaan.



Gambar 12. Sistem saraf pusat dan fungsinya

B. Sistem Saraf Tepi

Sistem saraf tepi terdiri dari sistem saraf sadar dan sistem saraf tak sadar (sistem saraf otonom). Sistem saraf sadar mengontrol aktivitas yang kerjanya diatur oleh otak, sedangkan saraf otonom mengontrol aktivitas yang tidak dapat

diatur otak antara lain denyut jantung, gerak saluran pencernaan, dan sekresi keringat.

1. Sistem Saraf Sadar

Sistem saraf sadar disusun oleh saraf otak (saraf kranial), yaitu saraf-saraf yang keluar dari otak, dan saraf sumsum tulang belakang, saraf pada otak terdiri dari 12 pasang yaitu: 3 pasang saraf sensori, 5 pasang saraf motor, dan 4 pasang saraf gabungan sensori dan motor.

Saraf otak dikhususkan untuk daerah kepala dan leher, kecuali nervus vagus yang melewati leher ke bawah sampai daerah toraks dan rongga perut. Nervus vagus membentuk bagian saraf otonom. Karena daerah jangkauannya sangat luas maka nervus vagus disebut saraf pengembara dan sekaligus merupakan saraf otak yang paling penting.

Saraf sumsum tulang belakang berjumlah 31 pasang saraf gabungan. Berdasarkan asalnya, saraf sumsum tulang belakang dibedakan atas 8 pasang saraf leher, 12 pasang saraf punggung, 5 pasang saraf pinggang, 5 pasang saraf pinggul, dan 1 pasang saraf ekor.

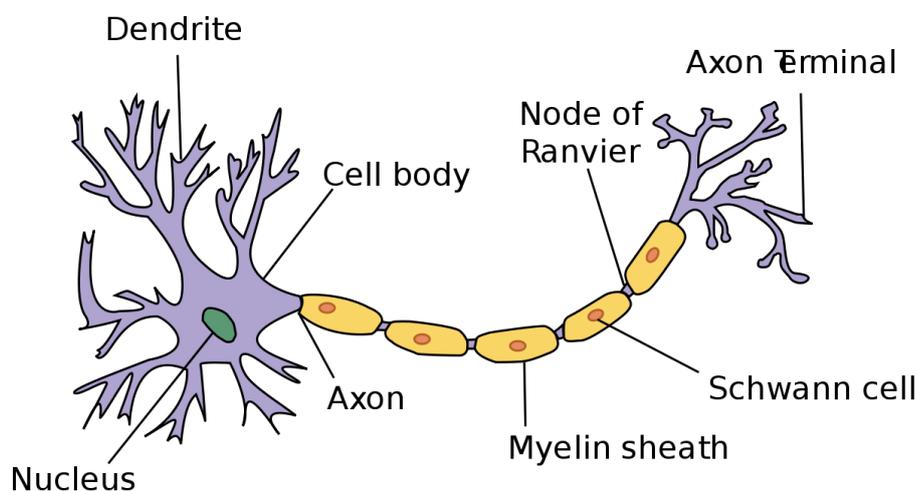
2. Saraf Otonom

Sistem saraf otonom disusun oleh serabut saraf yang berasal dari otak maupun dari sumsum tulang belakang dan menuju organ yang bersangkutan. Dalam sistem ini terdapat beberapa jalur dan masing-masing jalur membentuk sinaps yang kompleks dan juga membentuk ganglion. Urat saraf yang terdapat pada pangkal ganglion disebut urat saraf pra ganglion dan yang berada pada ujung ganglion disebut urat saraf post ganglion. Sistem saraf otonom dapat dibagi atas sistem saraf simpatik dan sistem saraf parasimpatik. Perbedaan struktur antara sistem saraf simpatik dan sistem saraf parasimpatik terletak pada posisi ganglion. Saraf simpatik mempunyai ganglion yang terletak disepanjang tulang belakang menempel pada sumsum tulang belakang sehingga mempunyai urat pra ganglion pendek, sedangkan saraf parasimpatik mempunyai urat pra ganglion yang panjang karena urat ganglion menempel pada organ yang dibantu. Fungsi sistem saraf

simpatik dan parasimpatik selalu berlawanan (antagonis). Sistem saraf parasimpatik terdiri dari keseluruhan nervus vagus bersama cabang-cabangnya ditambah dengan beberapa saraf sumsum sambung.

C. Struktur Sel Saraf

Setiap neuron terdiri dari satu badan sel yang di dalamnya terdapat sitoplasma dan inti sel. Dari badan sel keluar dua macam serabut saraf, yaitu dendrit dan akson (neurit). Dendrit berfungsi mengirimkan impuls ke badan sel saraf, sedangkan akson berfungsi mengirimkan impuls dari badan sel ke jaringan lain. Akson biasanya sangat panjang. Sebaliknya, dendrit pendek. Setiap neuron hanya mempunyai satu akson dan minimal satu dendrit. Kedua serabut saraf ini berisi plasma sel. Pada bagian luar akson terdapat lapisan lemak disebut mielin yang merupakan kumpulan sel Schwann yang menempel pada akson. Sel Schwann adalah sel glia yang membentuk selubung lemak di seluruh serabut saraf mielin. Membran plasma sel Schwann disebut neurilemma. Fungsi mielin adalah melindungi akson dan memberi nutrisi. Bagian dari akson yang tidak terbungkus mielin disebut nodus Ranvier, yang berfungsi mempercepat penghantaran impuls.



Gambar 13. Struktur Sel Saraf

D. Mekanisme Penghantar Impuls

1. Penghantar Impuls melalui sel saraf

Penghantaran impuls baik yang berupa rangsangan ataupun tanggapan melalui serabut saraf (akson) dapat terjadi karena adanya perbedaan potensial listrik antara bagian luar dan bagian dalam sel. Pada waktu sel saraf beristirahat, kutub positif terdapat di bagian luar dan kutub negatif terdapat di bagian dalam sel saraf. Diperkirakan bahwa rangsangan (stimulus) pada indra menyebabkan terjadinya pembalikan perbedaan potensial listrik sesaat. Perubahan potensial ini (depolarisasi) terjadi berurutan sepanjang serabut saraf. Kecepatan perjalanan gelombang perbedaan potensial bervariasi antara 1 sampai dengan 120 m per detik, tergantung pada diameter akson dan ada atau tidaknya selubung mielin.

Bila impuls telah lewat maka untuk sementara serabut saraf tidak dapat dilalui oleh impuls, karena terjadi perubahan potensial kembali seperti semula (potensial istirahat). Untuk dapat berfungsi kembali diperlukan waktu 1/500 sampai 1/1000 detik. Energi yang digunakan berasal dari hasil pemapasan sel yang dilakukan oleh mitokondria dalam sel saraf.

Stimulasi yang kurang kuat atau di bawah ambang (threshold) tidak akan menghasilkan impuls yang dapat merubah potensial listrik. Tetapi bila kekuatannya di atas ambang maka impuls akan dihantarkan sampai ke ujung akson. Stimulasi yang kuat dapat menimbulkan jumlah impuls yang lebih besar pada periode waktu tertentu daripada impuls yang lemah.

2. Penghantaran Impuls Melalui Sinaps

Titik temu antara terminal akson salah satu neuron dengan neuron lain dinamakan sinapsis. Setiap terminal akson membengkak membentuk tonjolan sinapsis. Di dalam sitoplasma tonjolan sinapsis terdapat struktur kumpulan membran kecil berisi neurotransmitter; yang disebut vesikula sinapsis. Neuron yang berakhir pada tonjolan sinapsis disebut neuron pra-sinapsis. Membran ujung dendrit dari sel berikutnya yang membentuk sinapsis disebut post-sinapsis. Bila impuls sampai pada ujung neuron, maka vesikula bergerak dan melebur dengan

membran pra-sinapsis. Kemudian vesikula akan melepaskan neurotransmitter berupa asetilkolin.

Neurontransmitter adalah suatu zat kimia yang dapat menyeberangkan impuls dari neuron pra-sinapsis ke post-sinapsis. Neurontransmitter ada bermacam-macam misalnya asetilkolin yang terdapat di seluruh tubuh, noradrenalin terdapat di sistem saraf simpatik, dan dopamin serta serotonin yang terdapat di otak. Asetilkolin kemudian berdifusi melewati celah sinapsis dan menempel pada reseptor yang terdapat pada membran post-sinapsis.

Penempelan asetilkolin pada reseptor menimbulkan impuls pada sel saraf berikutnya. Bila asetilkolin sudah melaksanakan tugasnya maka akan diuraikan oleh enzim asetilkolinesterase yang dihasilkan oleh membran post-sinapsis.

Antara saraf motor dan otot terdapat sinapsis berbentuk cawan dengan membran pra-sinapsis dan membran post-sinapsis yang terbentuk dari sarkolema yang mengelilingi sel otot. Prinsip kerjanya sama dengan sinapsis saraf-saraf lainnya.

E. Sistem Saraf Pada Vertebrata

1. Sistem saraf Pisces

Ikan mempunyai otak yang pendek. Lobus olfaktorius, hemisfer serebral, dan diensefalon kecil, sedang lobus optikus dan serebellum besar. Ada 10 pasang saraf kranial. Korda saraf tertutup dengan lengkung-lengkung neural sehingga mengakibatkan saraf spinal berpasangan pada tiap segmen tubuh.

Terdapat pada ikan bertulang menulang yaitu saku olfaktoris pada moncong dengan sel-sel yang sensitif terhadap substansi yang larut dalam air, kuncup perasa di sekitar mulut. Mata lebar mungkin hanya jelas untuk melihat dekat, tetapi dapat digunakan untuk mendeteksi benda-benda yang bergerak diatas permukaan air atau di darat didekatnya. Telinga dalam dengan 3 saluran semisirkular, dan sebuah otolit untuk keseimbangan. Ikan tidak mempunyai telinga tengah jadi tidak ada gendang telinga. Oleh sebab itu, vibrasi atau suara diterima dan diteruskan melalui kepala atau tubuh.

2. Sistem saraf Amphibi

Otak terbagi atas lima bagian dan serebellum merupakan bagian yang terkecil. Ada 10 saraf kranial. Tiga saraf pertama membentuk pleksus brakeal. Saraf ke-7, ke-8, dan ke-9 membentuk pleksus iskiadikus. Mata dengan kelopak mata atas dan kelopak mata bawah, dan ada lagi kelopak mata yang ketiga yang transparan (membran niktitans). Mata digerakkan oleh 6 otot, yaitu oto-otot superior, inferior, rektus internal, rektus eksternal, oblikus interior, dan oblikus superior.

Telinga dengan organ pendengar dan keseimbangan yang berupa 3 szlurzn semisirkular, yaitu vertikal anterior, vertikal posterior, dan horizontal. Membran timpani (dalam telinga tengah, tetapi tidak ada telinga luar), membawa implus-implus ke kolumella (tulang tipis dalam telinga tengah yang memancarkan implus-implus melalui stapes ke koklea).

3. Sistem saraf Reptil

Otak dengan dua lobus olfaktorius yang panjang, hemisfer serebral, 2 lobus optikus, serebellum, medulla oblongata yang melanjut ke korda saraf. Di bawah hemisfer serebral terdapat traktus optikus dan syaraf optikus, infundibulum, dan hipofisis. Terdapat 12 pasang syaraf kranial. Pasangan-pasangan syaraf spinal menuju ke somit-somit tubuh.

Pada lidah terdapat kuncup-kuncup perasa, dan terdapat organ pembau pada rungsa hidung. Mata dengan kelenjar air mata. Telinganya seperti telinga vertebrata rendah. Saluran auditori eksternal tertutup kulit, dengan membran tympani. Telingadalam dengan tiga saluran semi sirkular untuk mendengar. Dari ruang tympani ada saluran eustachius dan bermuara dalam faring di belakang hidung dalam.

4. Sistem saraf Aves

Bentuk otak dan bagian-bagiannya tipikal pada burung. Lobus olfaktorius kecil, serebrum besar sekali. Pada ventro-kaudal serebrum terletak serebellum dan ventral lobus optikus. lubang telinga nampak dari luar, dengan meatus auditoris

eksternal terus membran tympani (gendang telinga). Telinga tengah dengan saluran-saluran semi sirkulat terus ke koklea. Pendengaran burung dara sangat baik. Dari telinga tengah ada saluran eustachius menuju ke faring dan bermuara pada langit-langit bagian belakang.

Hidung sebagai organ pembau dimulai dengan dua lubang hidung yang berupa celah pada dorsal paruh. Indra pencium pada burung kurang baik. Mata besar dengan pekten yaitu sebuah membran bervaskulasi dan berpikmen yang melekat pada mangkuk optik, dan melanjut kedalam humor vitreus. Saraf optik memasuki sklera mata di tempat yang disebut bingkai skleral. Mata dengan kelenjar air mata. Penglihatan terhadap warna sangat tajam dan cepat berakomodasi pada berbagai jarak.

5. Sistem saraf Mamalia

Cerebrum besar jika dibandingkan dengan keseluruhan otak. Serebelum juga besar dan berlobus lateral 2 buah. Lobus optikus ada 4 buah. Setiap bagian lateralnya dibagi oleh alur transversal menjadi lobus anterior dan posterior. Mempunyai telinga luar. Gelombang suara disalurkan melalui meatus auditori eksternal ke membran tympani. Telinga tengah mengandung 3 buah osikel auditori. Koklea agak berkelok. Mata tidak mengandung pekten (seperti yang terdapat pada burung). Di banding dengan vertebrata yang lebih rendah, maka pada kelinci membran olfaktori lebih luas, organ pembau lebih efektif, karena membran olfaktori itu lebih luas. Hal itu disebabkan karena papan-papan tulang dalam rongga hidung bergulung-gulung membentuk kurva.

TUGAS

1. Buatlah klasifikasi sel saraf menurut fungsi dan strukturnya!
2. Jelaskan perbedaan antara sistem saraf simpatik dan sistem saraf parasimpatik!
3. Jelaskan mekanisme penghantar impuls melalui sel saraf!

BAB V

RESEPTOR DAN EFEKTOR

A. Pengelompokan dan Fisiologi Reseptor

Pada umumnya, reseptor bekerja secara khusus. Artinya, respon tertentu hanya akan menerima rangsangan tertentu. Jadi dalam satu individu hewan, dapat ditemukan berbagai macam reseptor.

Reseptor dapat dikelompokkan dengan berbagai cara, yaitu berdasarkan struktur, lokasi sumber rangsang, dan jenis/sifat rangsang yang dapat diterima oleh reseptor tersebut. Berdasarkan strukturnya reseptor dapat dibedakan menjadi dua, yaitu reseptor saraf dan bukan saraf. Struktur reseptor saraf yang paling sederhana, yang hanya berupa ujung dendrit dari suatu sel saraf (tidak memiliki selubung mielin), dapat ditemukan pada reseptor nyeri atau nosiseptor. Struktur respon yang lebih rumit dapat ditemukan dalam organ pendengaran vertebrata (berupa sel rambut) dan pada organ penglihatan (berupa sel batang dan kerucut). Reseptor ini merupakan reseptor khusus dan bukan reseptor saraf.

Berdasarkan jenis rangsang yang dapat diterimanya, reseptor dapat dibedakan menjadi enam, yaitu, kemoreseptor, termoreseptor, mekanoreseptor, fotoreseptor, magnetoreseptor, dan elektroreseptor. Secara berturut-turut, masing-masing reseptor tersebut peka terhadap rangsang kimia, suhu, mekanik, cahaya, medan magnet, dan medan listrik.

Berdasarkan lokasi sumber rangsang yang dapat diterimanya, reseptor dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu interoreseptor dan eksteroreseptor. Interoreseptor merupakan reseptor yang berfungsi untuk menerima rangsang dari dalam tubuh hewan. Contoh interoreseptor ialah kemoreseptor untuk memantau pH, kadar gula, dan kadar kalsium dalam cairan tubuh. Sementara, eksteroreseptor berfungsi untuk menerima rangsang dari lingkungan di luar tubuh hewan. Contoh eksteroreseptor ialah reseptor penerima gelombang suara (pada alat pendengaran) dan reseptor cahaya (mata).

Dalam sistem saraf, reseptor biasanya berhubungan dengan saraf sensorik, sedangkan efektor berhubungan erat dengan saraf motorik. Reseptor berfungsi sebagai transduser (pengubah energi), yaitu mengubah energi dari satu bentuk tertentu menjadi bentuk energi yang lain. Pada saat sampai di reseptor, semua energi dalam bentuk apapun akan diubah segera menjadi energi listrik, yang selanjutnya akan membawa kepada perubahan elektrokimia sehingga timbul potensial aksi.

B. Penerimaan Rangsang oleh Reseptor

Semua hewan sangat memerlukan informasi mengenai keadaan lingkungan mereka. Hal yang perlu kita pahami ialah cara hewan memperoleh informasi dari lingkungan mereka dan mekanisme penerimaan informasi tersebut. Hewan memperoleh informasi dari lingkungannya melalui reseptor (organ sensori).

1. Penerimaan Rangsang Kimia oleh Kemoreseptor

Dalam proses penerimaan rangsang kimia (kemoresepsi), terjadi antara bahan kimia dengan kemoreseptor dengan membentuk kompleks bahan kimia-kemoreseptor. Kompleks tersebut mengawali proses pembentukan potensial generator pada reseptor, yang akan segera menghasilkan potensial aksi pada sel saraf sensoris dan sel berikutnya sehingga akhirnya timbul tanggapan.

Kemoreseptor terdapat pada vertebrata maupun invertebrata. Pada insekta, kemoreseptor terdapat pada bagian mulut, antena, dan kaki. Pada umumnya kemoreseptor ini berupa rambut atau duri sensori yang kaku, ukuran panjang dapat mencapai beberapa milimeter, dan ujungnya terbuka ke lingkungan luar. Rambut sensori insekta memiliki susunan yang khas dengan lima buah neuron pada bagian dasar, yang berfungsi sebagai kemoreseptor, yakni 1 reseptor untuk gula, 1 untuk air, serta 1 atau 2 reseptor untuk garam dan senyawa lainnya.

2. Penerimaan Rangsang Mekanik oleh Mekanoreseptor

Proses penerimaan rangsang mekanik oleh mekanoreseptor dinamakan mekanoresepsi. Mekanisme sederhana yang diusulkan untuk menjelaskan mekanoresepsi adalah sebagai berikut.

- a. Saat sel dalam keadaan istirahat, pintu ion Na^+ pada membran mekanoreseptor masih dalam keadaan tertutup.
- b. Rangsang mekanik yang menekan reseptor menyebabkan membran mekanoreseptor merenggang.
- c. Perenggangan membran mekanoreseptor tersebut menimbulkan perubahan konformasi protein penyusun pintu ion Na^+ .
- d. Pintu ion Na^+ terbuka diikuti terjadinya perubahan elektronika yang mendepolarisasikan mekanoreseptor.

Mekanoresepsi dapat terjadi pada vertebrata maupun invertebrata. Invertebrata memiliki respon untuk menerima rangsang tekanan, suara, dan gerakan. Bahkan, insekta juga mekanoreseptor pada permukaan tubuhnya, yang dapat memberikan informasi mengenai arah angin, orientasi tubuh saat berada dalam ruangan, serta kecepatan gerakan dan suara.

3. Penerimaan Rangsang Suhu oleh Termoreseptor

Termoreseptor adalah proses mengenali suhu tubuh tinggi dan rendah serta perubahan suhu lingkungan. Proses ini sangat penting bagi hewan, mengingat perubahan suhu dapat berpengaruh buruk terhadap tubuh individu. Tempat terdapatnya termoreseptor sangat bervariasi. Pada insekta, termoreseptor terdapat pada antena dan kaki, berguna untuk memantau suhu di udara maupun tanah. Pada mamalia, termoreseptor terdapat di kulit dan hipotalamus, masing-masing untuk memantau suhu tubuh di bagian perifer dan pusat tubuh.

4. Penerimaan Rangsangan Cahaya oleh Fotoreseptor

Struktur fotoreseptor bervariasi, dari yang paling sederhana berupa *eye-spot* (daerah sitoplasma yang peka terhadap cahaya, seperti yang terdapat pada

Euglena) hingga struktur yang rumit dan terorganisasi. Dengan baik seperti yang dimiliki vertebrata.

Pada cacing pipih, fotoreseptor terdapat pada sepasang mata yang berbentuk mangkuk. Apabila diberi rangsang cahaya, cacing pipih akan bergerak menghindarinya dan berusaha untuk mencari tempat yang gelap guna memperkecil resiko tertangkap oleh pemangsa. Fotoreseptor yang sangat unik dapat ditemukan pada mata artropoda (insekta, krustasea, dan laba-laba), yang memiliki susunan mata majemuk. Pada hewan ini mata tersusun atas sejumlah unit optik yang lebih kecil, yang disebut omatidia. Vertebrata dan Moluska jenis Cephalopoda mempunyai mata fesikular yang dilengkapi retina. Burung dan mamalia memiliki lensa mata khas, yang dapat berubah bentuk (berakomodasi) sedemikian rupa sehingga bayangan benda dapat terfokus pada retina.

5. Penerimaan Rangsangan Listrik oleh Elektreseptor

Sejumlah hewan, terutama ikan hiu, ikan pari, dan ikan berkumis (sejenis lele), mempunyai kemampuan mendeteksi medan elektrik kecil yang dihasilkan oleh hewan lain. Medan elektrik yang demikian itu dihasilkan oleh aktivitas otot dan berfungsi untuk mendeteksi adanya musuh maupun makanan. Alat penerima rangsang berupa medan elektrik disebut elektreseptor. Elektreseptor yang banyak dipelajari ialah reseptor yang terdapat pada gurat sisi dan ampula *Lorenzini* (dimiliki ikan hiu dan ikan pari). Elektreseptor pada ikan hiu kecil dapat mendeteksi medan elektrik yang lemah (hanya 10 mV per cm²).

6. Penerimaan Rangsangan Medan Magnet oleh Magnetoreseptor

Beberapa jenis hewan memiliki kemampuan untuk berorientasi terhadap medan magnet bumi. Kemampuan semacam itu bermanfaat dalam navigasi, yang memungkinkan hewan mengenali sumbu utara-selatan. Contoh hewan yang memiliki kemampuan ini ialah lebah madu, yang menggunakan medan magnet bumi untuk berkomunikasi. Ketika terbang dari sarangnya dan menemukan sumber makanan baru, lebah menyampaikan informasi tentang arah sumber makanan tersebut kepada lebah lainnya dengan cara menunjukkan tarian tertentu.

Dalam tariannya itu, lebah membentuk sudut tertentu antara sumber makanan dan matahari, untuk menunjukkan apakah makanan terletak pada arah menjauhi atau mendekati matahari. Hewan lain yang menggunakan medan magnet untuk kembali ke sarangnya adalah burung.

C. Efektor dan Cara Kerjanya

Efektor adalah alat penghasil tanggapan biologis. Tanggapan yang dihasilkan oleh efektor sangat bervariasi, mulai dari tanggapan yang dapat dilihat secara jelas menggunakan mata (misalnya gerak tubuh yang dihasilkan oleh jaringan otot dengan kemampuan kontraksinya) sampai tanggapan yang tidak terlihat mata (misalnya sekresi hormon oleh organ endokrin dan perubahan beberapa aspek metabolisme akibat adanya hormon). Beberapa jenis hewan mempunyai kemampuan untuk menghasilkan tanggapan berupa perubahan warna kulit, misalnya cumi-cumi, oktopus, ikan flounder (ikan pipih), bunglon, katak, dan ular. Perubahan warna kulit dapat terjadi karena hewan mempunyai kromatofor pada kulitnya. Kromatofor adalah sel yang mengandung pigmen. Di bawah kendali endokrin, kromatofor dapat mengubah penyebaran pigmen pada sel pigmen (terkumpul atau tersebar) dalam ukuran menit atau detik.

Mekanisme perubahan warna yang terjadi pada setiap spesies hewan tidak sama. Pada cumi-cumi dan oktopus, kromatofor terikat oleh sel otot sehingga aktivitas kontraksi relaksasi otot akan mengubah penyebaran pigmen. Jika otot berkontraksi, kromatofor pada cumi-cumi dan oktopus meluas dan pigmen tersebar. Akibatnya kulit tampak lebih gelap. Sebaliknya, pada saat otot berelaksasi, kromatofor mengerut dan pigmen di dalamnya terkumpul sehingga kulit tampak berwarna lebih terang. Jadi, perubahan warna kulit pada cumi-cumi dan oktopus tergantung pada aktivitas otot, sedangkan kontraksi otot dikendalikan oleh saraf. Cara kerja kromatofor tersebut berbeda dengan cara kerja kromatofor amfibi. Pada amfibi, kromatofor bekerja dengan penyebaran dan pengumpulan pigmen secara sederhana, atau kadang-kadang dikendalikan oleh hormon (bukan oleh saraf).

1. Tanggapan Berupa Pergerakan Intrasel

Semua sel hewan pada dasarnya merupakan struktur yang dinamis, dengan organela dan substansi lain yang terus bergerak. Pergerakan dalam sel dapat terjadi karena adanya rangka sel yang disebut sitoskeleton. Sitoskeleton memiliki beberapa peran penting, yaitu mempertahankan bentuk sel dan menyelenggarakan pergerakan sel baik pergerakan sel secara keseluruhan maupun pergerakan organela di dalam sel.

Pergerakan intrasel dapat diamati pada hampir semua sel, misalnya pada sel saraf. Di dalam sel saraf selalu terjadi pergerakan, terutama pergerakan/aliran sitoplasma beserta sejumlah besar vesikel yang berisi neurotransmitter. Aliran sitoplasma itu disebut aliran sitoplasmik. Pada sel saraf, aliran tersebut sangat berguna untuk membawa neurotransmitter yang disintesis di badan sel, kemudian diangkut ke ujung akson untuk menyelenggarakan transmisi sinaptik. Aliran sitoplasmik juga terjadi di pada sel ameba. Pergerakan ameba sangat tergantung pada adanya aliran sitoplasmik.

2. Tanggapan Berupa Pergerakan Ameboid

Pergerakan ameboid merupakan pergerakan khas baik pada hewan, uniseluler (misalnya ameba) maupun sel hewan multiseluler. Pada hewan multiseluler, gerak ameboid terjadi pada sel darah putih yang meninggalkan aliran darah dan masuk ke dalam jaringan yang mengalami radang. Gerakan ameboid pada hewan bersel satu (ameba) terjadi dengan membentuk kaki semu (pseudopodia).

Mekanisme pembentukan pseudopodia tidak diketahui secara jelas, tetapi diduga berkaitan dengan adanya perubahan fase gel-sol pada sitoplasmanya. Pada saat ameba diam, pada bagian perifer sitoplasma berada pada fase gel. Sementara pada bagian tengah berada pada fase sol. Pada saat memperoleh rangsang (misalnya makanan), plasma gel pada bagian tertentu di dekat membran yang berdekatan dengan rangsang akan mengalami perubahan ke fase sol. Sementara itu pada bagian lain terjadi interaksi antara filamen aktin dan miosin sehingga bagian tersebut mengerut, dan menimbulkan tekanan positif.

3. Tanggapan Berupa Pergerakan Otot

Seperti halnya pada ameba, gerakan pada otot juga melibatkan aktin dan miosin. Akan tetapi, aktin dan miosin pada otot tersusun secara teratur (terutama pada otot rangka/lurik) sehingga dapat menghasilkan kekuatan yang besar. Gerakan otot sebenarnya merupakan akibat dari adanya tarik menarik antara filamen aktin dan miosin.

Pada invertebrata, misalnya Annelida, Moluska, dan kebanyakan Artropoda, terdapat dua macam otot, yaitu otot lurik dan otot polos. Otot polos terdapat pada usus dan berfungsi untuk menyelenggarakan kontraksi terus menerus. Otot lurik berfungsi untuk terbang atau berpindah tempat.

Pada vertebrata, selain terdapat otot polos dan otot lurik juga terdapat otot jantung (otot kardiak) yang bersifat sangat khas. Otot lurik vertebrata melekat ke tulang pada lapisan periosteum dengan bantuan tendon. Tiap sel otot diselubungi oleh selubung elastis yang disebut sarkolema yang di dalamnya terdapat sitoplasma sel otot yang disebut sarkoplasma. Ketika otot berelaksasi, kepala miosin selalu mengikat ATP dan tidak menempel pada aktin. Untuk menghidrolisis ATP pada kepala miosin diperlukan aktin sebagai kofaktor. Pada saat sel otot berkontraksi, aktin dan miosin pada miofibril saling menempel dan melakukan tarik menarik sehingga sel otot tampak memendek.

4. Tanggapan Berupa Pelepasan Arus Listrik

Organ elektrik yang paling terkenal adalah yang terdapat pada belut listrik dari sungai Nil, *Electrophorus electricus*. Apabila merasa terancam, hewan ini akan menghasilkan dan melepaskan arus listrik yang besarnya mencapai 750 volt sehingga dapat membunuh hewan lain yang besarnya hampir sama dengan ukuran tubuh manusia dewasa.

Organ elektrik tersusun atas unit fungsional berupa lempengan tipis seperti wafer, yang disebut elektroplak atau elektroplat atau elektrosit atau plak. Setiap unit plak merupakan badan mioneural, hasil modifikasi dari sel otot atau kadang-kadang dari sinaps antara saraf dan otot atau dari ujung akson. Badan mioneural

ialah bangunan/struktur yang memiliki sifat seperti saraf dan otot atau mengandung komponen saraf dan otot. Setiap plak mempunyai dua sisi yang sifatnya berbeda. Sisi yang satu menghadap ke arah ekor, mampu menanggapi rangsang (rangsang listrik dan saraf), dan dinamakan *innervated face*. Sisi yang lain menghadap ke arah kepala dan tidak mampu menanggapi rangsang, disebut *non innervated face*. Jumlah plak pada hewan bervariasi, tergantung pada jenis dan ukurannya.

Pelepasan arus listrik dari tubuh ikan/belut listrik dilakukan dengan membuat gerakan khusus yang mempertemukan daerah kepala dan ekor. Dengan gerakan tersebut, terjadi pertemuan antara daerah bermuatan positif dan negatif, yang menyebabkan pelepasan arus listrik ke lingkungannya.

D. Rangka dan Perannya dalam Pergerakan

Tempat tumpuan atau penahan tarikan otot pada vertebrata pada umumnya berupa tulang dan tulang rawan. Pada vertebrata, tulang juga berfungsi sebagai rangka tubuh (skeleton) yang memperkuat dan memantapkan bentuk tubuh serta melindungi organ-organ dalam yang lunak. Pada invertebrata, misalnya Annelida, skeleton tidak berupa tulang, tetapi berupa substrat (cairan) yang akan bergerak ketika menahan tarikan otot. Sistem skeleton/rangka pada hewan dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu rangka hidrostatik, rangka luar dan rangka dalam.

TUGAS

1. Apa yang dimaksud dengan reseptor dan efektor? Jelaskan fungsinya!
2. Jelaskan cara kerja efektor!
3. Jelaskan mekanisme terjadinya kontraksi otot beserta relaksasinya!

BAB VI

SISTEM ENDOKRIN/HORMON

A. Sistem Endokrin/Hormon

Sistem endokrin dapat dijumpai pada semua golongan hewan, baik vertebrata maupun invertebrata. Sistem endokrin (hormon) dari sistem saraf secara bersama lebih dikenal sebagai super sistem neuroendokrin yang bekerja sama secara kooperatif untuk menyelenggarakan fungsi kendali dan koordinasi pada tubuh hewan. Pada umumnya, sistem endokrin bekerja untuk mengendalikan berbagai fungsi fisiologi tubuh, antara lain aktivitas metabolisme, pertumbuhan, reproduksi, regulasi osmotik, dan regulasi ionik.

B. Sel Penyusun Organ Endokrin

Sel-sel penyusun organ endokrin dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sebagai berikut :

1. Sel Neusekretori

Adalah sel yang berbentuk seperti sel saraf, tetapi berfungsi sebagai penghasil hormon. Contoh sel neusekretori ialah sel saraf pada hipotalamus. Sel tersebut memperhatikan fungsi endokrin sehingga dapat juga disebut sebagai sel neuroendokrin. Sesungguhnya, semua sel yang dapat menghasilkan sekret disebut sebagai sel sekretori. Oleh karena itu, sel saraf seperti yang terdapat pada hipotalamus disebut sel neusekretori.

2. Sel Endokrin sejati

Sel endokrin sejati disebut juga sel endokrin klasik yaitu sel endokrin yang benar-benar berfungsi sebagai penghasil hormon, tidak memiliki bentuk seperti sel saraf. Kelenjar endokrin sejati melepaskan hormon yang dihasilkannya secara langsung ke dalam darah (cairan tubuh). Kelenjar endokrin sejati dapat ditemukan pada hewan yang mempunyai sistem sirkulasi, baik vertebrata maupun

invertebrata. Hewan invertebrata yang sering menjadi objek studi sistem endokrin yaitu Insekta, Crustaceae, Cephalopoda, dan Moluska. Kelenjar endokrin dapat berupa sel tunggal atau berupa organ multisel.

C. Klasifikasi dan Sifat Hormon

Berdasarkan hakekat kimianya, hormon dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu hormon peptida dan protein, steroid, dan turunan tirosin.

Tabel 1. Klasifikasi Hormon pada Vertebrata Berdasarkan Struktur dan Hakikat Kimianya

Steroid	Peptida dan Protein Besar		Turunan Tirosin
	Peptida	Protein Besar	
1. Testosteron	1. Hormon Hipotalamus	1. Hormon Pertumbuhan	Katekolamin meliputi:
2. Estrogen	2. Angiotensin	2. Prolaktin	1. Norardenalin
3. Progesteron	3. Somatostatin	3. LH	2. Adrenalin
4. Kortikosteroid	4. Glukagon	4. FSH	Hormon Tiroid, meliputi:
5. Vitamin D ₃	5. Klasitonin	5. TSH	1. Tiroksin (T ₄)
	6. Insulin		2. Triiodotironon (T ₃)
	7. Parathormon		

Selain berbagai hormon yang disebutkan di atas, terdapat sejumlah zat kimia yang menyerupai hormon. Zat kimia yang kerjanya menyerupai hormon antara lain bradikinin, eritropuitin, histamin, kinin, renin, prostaglandin, dan hormon *thymic*. Hormon *thymic* adalah hormon dari kelenjar timus (*thymus*) yang berperan untuk mempengaruhi perkembangan sel *limfosit* B menjadi sel plasma.

Bradikinin merupakan suatu polipeptida yang dihasilkan oleh kelenjar yang sedang aktif., contohnya kelenjar keringat dan kelenjar ludah pada saat aktif. Bradikinin bekerja sebagai vasodilator kuat yang dapat meningkatkan aliran darah

lokal secara signifikan sehingga merangsang pengeluaran keringat dan air ludah dalam jumlah lebih banyak.

Eritropoitin merupakan glikoprotein yang proses sintesisnya melibatkan hati dan ginjal. Pembentukan eritropoitin dirangsang oleh rendahnya kadar oksigen dalam darah atau jaringan, contohnya pada saat tubuh kita sedang giat beraktivitas (misal sedang berolahraga).

Berbagai senyawa kimia seperti prostaglandin, eritropoitin, histamin, kinin, dan renin dapat disintesis secara luas oleh berbagai jaringan atau organ yang sebenarnya tidak berfungsi sebagai organ endokrin. Misalnya, ginjal mampu menyintesis renin dan eritropoitin. Senyawa kimia yang mirip hormon semacam itu secara bersama-sama disebut sebagai hormon jaringan. Selain hormon jaringan, terdapat juga feromon. Feromon adalah suatu senyawa kimia spesifik yang dilepaskan oleh hewan ke lingkungannya dan dapat menimbulkan respon perilaku (mempengaruhi tingkah laku), respons perkembangan, atau respons produktif. Senyawa kimia tersebut bermanfaat bagi hewan misal, untuk memberi daya tarik seksual, menandai daerah kekuasaan, mengenali individu lain dalam spesies yang sama, dan berperan penting dalam sinkronisasi siklus seksual.

D. Mekanisme Aksi Hormon

Untuk dapat memperlihatkan efek biologis, suatu hormon harus berinteraksi dengan sel sasaran melalui reseptor khusus bagi hormon tersebut. Reseptor khusus ini disebut reseptor hormon. Interaksi hormon dengan sel sasaran biasanya terjadi melalui pembentukan kompleks hormon-reseptor. Reseptor hormon pada sel sasaran umumnya berupa molekul protein besar dengan bentuk tiga dimensi yang unik. Reseptor tersebut hanya akan berikatan dengan hormon tertentu atau analognya, yaitu senyawa lain yang mempunyai gugus fungsional sangat mirip dengan gugus fungsional hormon yang dimaksud.

1. Reseptor Hormon pada Membran

Reseptor untuk hormon pada suatu sel dapat terletak pada membran atau sitoplasma. Reseptor hormon yang terdapat pada membran biasanya merupakan

reseptor protein atau peptida. Apabila sudah sampai di dekat sel sasaran, hormon akan segera berikatan dengan responnya dengan membentuk kompleks hormon-reseptor. Pembentukan ikatan hormon-reseptor terjadi melalui mekanisme yang serupa dengan penggabungan antara anak kunci dan gemboknya. Kompleks hormon-reseptor selanjutnya akan memicu serangkaian reaksi biokimia yang menimbulkan tanggapan hayati.

2. Reseptor Hormon pada Sitoplasma (Reseptor Sitosolik)

Reseptor sitosolik merupakan reseptor hormon yang terdapat dalam sitoplasma sel sasaran. Hormon yang menggunakan reseptor sitosolik ialah hormon steroid dan hormon turunan asam amino. Hormon tersebut sangat mudah larut dalam lipid sehingga mudah melewati membran sel sasaran. Diperkirakan, hormon tersebut sampai pada sel sasaran dalam keadaan berikatan dengan beberapa jenis molekul pembawa.

Dalam sitoplasma sel sasaran, hormon berikatan dengan reseptor khusus sehingga menghasilkan kompleks hormon reseptor yang aktif. Kompleks tersebut mempunyai daya gabung (afinitas) yang sangat tinggi terhadap DNA. Hal inilah yang mengawali transkripsi DNA. Tempat pembentukan ikatan kompleks hormon-reseptor pada DNA tidak diketahui dengan pasti, tetapi diduga terjadi pada bagian DNA yang disebut daerah promotor. Pengikatan kompleks hormon-reseptor pada daerah promotor akan merangsang gen tertentu untuk aktif (*on*) atau pasif (*off*).

E. Sistem Endokrin Pada Invertebrata

1. Coelenterata

Contohnya ialah Hydra. Hydra mempunyai sejumlah sel yang dapat menghasilkan senyawa kimia yang berperan dalam proses reproduksi, pertumbuhan, dan regenerasi. Apabila kepala hydra dipotong, sisa tubuhnya akan mengeluarkan molekul peptida yang disebut activator kepala. Zat tersebut akan menyebabkan sisa tubuh hydra dapat membentuk mulut dan tentakel, dan selanjutnya membenyuk daerah kepala.

2. Platyhelminthes

Hewan ini dapat menghasilkan hormon yang berperan penting dalam proses regenerasi. Hormon yang dihasilkan tersebut juga terlibat dalam regulasi osmotik, ionic, dan dalam proses reproduksi.

3. Nematoda

Hewan ini dapat mengalami ganti kulit hingga 4 kali dalam siklus hidupnya., serta mempunyai struktur khusus yang berfungsi untuk sekresi neurohormon, yang berkaitan erat dengan sistem saraf. Struktur khusus tersebut terdapat pada ganglion di daerah kepala dan beberapa pada daerah korda saraf.

4. Annelida

Cacing polisetia dewasa dapat mengalami epitoki yakni perubahan sejumlah ruas tubuh menjadi struktur reproduktif. Epitoki ini dikendalikan oleh sistem neuroendokrin. Hormon yang dilepaskan akan menghambat epitoki sehingga epitoki akan berlangsung ketika kadar hormon tersebut sangat rendah. Cara kerja hormon ini tidak diketahui secara jelas, tetapi diduga sekresinya diatur oleh faktor lingkungan.

5. Moluska

Pada hewan ini ditemukannya hormon yang merangsang pelepasan telur dari gonad dan pengeluaran telur dari tubuh. dalam hal ini, kelenjar endokrin klasik memiliki peran yang sangat penting. Kelenjar optic diduga menyekresi beberapa hormon yang diperlukan untuk perkembangan sperma dan ovum.

6. Crustacea

Crustacea memiliki sejumlah sel kecil sel endokrin klasik, yaitu organ Y dan kelenjar mandibula. Organ Y merupakan sepasang kelenjar yang terletak di daerah toraks tepatnya pada ruas maksila atau antenna. Hormon Y mempengaruhi proses molting. Kelenjar mandibula terletak di dekat organ Y memiliki fungsi endokrin

juga. Krustasea juga memiliki kelenjar androgenic yang berperan dalam perkembangan testis dan produksi sperma.

7. Insekta

Terdapat 3 kelompok sel neuroendokrin yang utama, sebagai berikut.

- a. Sel neurosekretori medialis : memiliki akson yang membentang hingga ke korpora kardiaka, yakni sepasang organ yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan pelepasan neurohormon.
- b. Sel neurosekretori lateralis : memiliki akson yang membentang hingga ke korpora kardiaka.
- c. Sel neurosekretori subesofageal : terdapat di bawah kerongkongan dan memiliki akson yang membentang ke korpora alata yang merupakan organ endokrin klasik.

Ketiganya berfungsi untuk mengendalikan berbagai aktivitas pertumbuhan dan pengelupasan rangka luar (kulit luar).

F. Sistem Endokrin Pada Vertebrata

Sistem endokrin pada vertebrata pada terutama sekali tersusun atas berbagai organ endokrin klasik. Sistem endokrin vertebrata dibedakan menjadi tiga kelompok kelenjar utama, yaitu hipotalamus, hipofisis, atau pituitari, dan kelenjar endokrin tepi.

1. Hipotalamus dan Pituitari

Hipotalamus dan pituitari merupakan organ endokrin pusat yang dimiliki hewan vertebrata. Hipotalamus merupakan bagian otak yang terletak di bawah talamus dan berperan dalam mempertemukan sistem saraf dan endokrin. Talamus ialah kumpulan sel saraf yang terletak dibagian tengah otak vertebrata. Hipotalamus berfungsi mengendalikan kelenjar pituitari, sementara pituitari juga berfungsi mengendalikan kelenjar endokrin lainnya.

Hormon yang dikeluarkan oleh hipotalamus akan dibawa ke pituitari. Ada dua jenis hormon dari hipotalamus, yaitu hormon yang dilepaskan ke pituitari

depan (*adenohipofisis*) dan hormon yang dilepas ke pituitari belakang (*neurohipofisis*).

2. Organ Endokrin Tepi

Organ endokrin tepi adalah semua organ endokrin di luar hipotalamus dan pituitari. Semakin hari, semakin banyak ditemukan organ endokrin baru pada vertebrata. Setelah ini telah diketahui bahwa jantung juga mampu menghasilkan hormon, yang disebut *atrial natriuretic peptide* (ANP). Hormon tersebut berkaitan erat dengan pengaturan ion natrium di ginjal.

Tabel 2. Sebagian dari Organ Endokrin Perifer, Hormon yang Disekresikan, serta fungsinya masing-masing

Organ	Hormon	Fungsi Hormon
Paratiroid	Parathormon	Meningkatkan kadar kalsium darah
Tiroid	Kalsitonin Tiroksin	Menurunkan kadar kalsium darah Meningkatkan metabolisme sel dan berperan penting dalam pertumbuhan serta pemasakan sel (tubuh) secara normal
Lambung	Gastrin	Mengatur sekresi asam lambung
Medula adrenal	Adrenalin	Respons segera terhadap stres, antara lain meningkatkan kadar gula darah dan curah jantung
Korteks adrenal	Glukokortikoid (kortikosteron) Mineralokortikoid (aldosteron)	Regulasi metabolisme Mengatur kadar elektrolit
Ovarium	Estrogen Progesteron	Menginisiasi proliferasi endometrium Mempertahankan ketebalan

		endometrium
Testis	Androgen (testosteron)	Mempertahankan pembentukan sperma, dan terlibat dalam perkembangan ciri seks sekunder

TUGAS

1. Apa yang dimaksud dengan kelenjar endokrin, hormon, sel neurosekretori, sel endokrin sejati, sel target, dan reseptor hormon?
2. Sebutkan macam organ endokrin pada vertebrata dan hormon yang dihasilkan!
3. Sebutkan macam organ endokrin pada invertebrata dan hormon yang dihasilkan!

BAB VII

SISTEM PENCERNAAN

A. Cara Hewan Memperoleh Makan

Hewan memerlukan senyawa organik seperti karbohidrat, lipid, dan protein sebagai sumber energi untuk menyelenggarakan berbagai aktivitasnya. Namun, kemampuan untuk menyintesis senyawa organik sangat terbatas. Oleh karena itu, hewan memenuhi segala kebutuhannya dari tumbuhan dan hewan lain. Organisme yang demikian dinamakan organisme heterotrof. Ada juga yang dapat menyintesis sendiri berbagai senyawa organik esensial, contoh *Euglena*. Organisme semacam ini disebut organisme mesotrof.

Cara makan dan jenis makan hewan sangat bervariasi, tergantung pada susunan alat yang dimiliki serta kemampuan untuk mempersiapkan makanan agar dapat diserap. Hewan yang belum mempunyai sistem pencernaan makanan khusus seperti protozoa, parasit (endoparasit), dan cacing pita memerlukan makanan berupa zat organik terlarut. Hewan-hewan tersebut mengambil makanan melalui penyerapan atau *pinositosis*. “alat pencernaan makanan” yang dimiliki biasanya berupa vakuola makanan. Hewan yang hidup menetap seperti hidra dan koelenterata mendapatkan makanan dengan cara menjerat (*trapping method*) dengan menggunakan alat yang disebut knidoblas atau nematosit. Beberapa hewan aktif seperti burung petrel, burung flamingo, ikan hering, kopepoda, dan ikan hiu balen mencari makanan dengan cara menyaring (*filter feeding*).

Organ/sistem pencernaan hewan melaksanakan empat fungsi, yaitu memasukan makanan ke dalam tubuh (*ingesti*), mengubah bahan makanan yang kompleks menjadi sederhana (pencernaan), menyerap hasil pencernaan serta membawa ke dalam darah (penyerapan), dan mengeluarkan sisa makanan yang tidak tercerna ataupun yang tidak diserap oleh tubuh (ekskresi). Bahan makanan yang tercerna dan terserap digunakan oleh sel tubuh sebagai sumber energi dan bahan pembangun tubuh.

Tabel 3. Metode untuk Memperoleh Makan Berdasarkan Sifat

Tipe Makanan	Metode Makan	Hewan yang Menggunakan Metode Tersebut
Partikel Kecil	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membentuk vakuola makanan 2. Menggunakan silia 3. Membentuk lendir penjerat 4. Menggunakan tentakel 5. Menggunakan seta, menyaring 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ameba dan radiolaria 2. Spons, bivalvia, kecebong 3. Ciliata, Gastropoda, Tunikata 4. Mentimun laut 5. Krustasea kecil
Partikel/massa makanan besar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Manelan massa inaktif 2. Mengerat, mengunyah, melubangi 3. Menangkap dan menelan mangsa 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cacing Tanah (<i>detritus feeder</i>) 2. Landak laut, siput, insekta, vertebrata 3. Koelenterata, ikan burung, kelelawar
Cairan atau Jaringan Lunak	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghisap getah tumbuhan, nektar 2. Mengisap darah 3. Mengisap susu atau sekresi mirip susu 4. Pencernaan eksternal 5. Penyerapan melalui permukaan tubuh 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aphidae, lebah, burung pengisap nektar (hummingbird) 2. Lintah, insekta, kelelawar (vampire) 3. Mamalia muda, burung muda 4. Laba-laba 5. Parasit, cacing pita
Bahan Organik Terlarut	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengambil makan dari cairan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Invertebrata akuatik
Nutrien Hasil Simbiosis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kerja dari alga simbiotik intraseluler 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Paramecium, spons, bintanag karang, hidra,

		cacing pipih, dan remis
--	--	-------------------------

B. Pencernaan Makanan

Setelah mendapatkan makan, hewan harus mencernanya dengan baik agar sari-sarinya dapat diserap oleh sel-sel tubuh. Pada protozoa proses pencernaan terjadi dalam vakuola makanan. Mula-mula lisosom menyekresi enzim pencernaan ke dalam vakuola makanan. Enzim tersebut menyebabkan suasana vakuola makanan berubah menjadi asam sehingga bahan makanan tercerna. Selanjutnya terjadi pemisahan berbagai garam kalsium. Bahan makanan akan disederhanakan sehingga dapat diserap oleh sitoplasma. Berakhirnya proses pencernaan ditandai dengan adanya perubahan keadaan dalam vakuola menjadi netral. Bahan makanan yang tidak dicerna akan dikeluarkan melalui proses eksositosis.

Invertebrata tingkat rendah tidak mempunyai organ pencernaan khusus. Pencernaan makanan terjadi secara intraseluler, yakni di dalam sel khusus. Porifera tidak mempunyai rongga pencernaan tetapi mempunyai sel khusus yang disebut *khoanosit*. Alat pencernaan pada koelenterata berupa *gastrovaskuler*, yaitu ruang yang berfungsi untuk proses pencernaan sekaligus untuk sirkulasi. Sel yang membatasi rongga gastrovaskuler disebut *gastrodermis*.

Beberapa spesies cacing pipih yang hidup bebas sudah mempunyai mulut, tetapi tidak mempunyai rongga pencernaan (makanan dicerna oleh sel jaringan dekat mulut). Permukaan tubuh cacing pipih sering digunakan untuk menyerap makanan. Untuk keperluan tersebut cacing pipih mempunyai mikrofili yang serupa dengan mikrifili pada usus halus mamalia.

Pada hewan tingkat tinggi, makanan dicerna dalam saluran khusus yaitu di dalam organ gastrointestinal (secara ekstraseluler). Sistem gastrointestinal tersusun atas berbagai organ yang secara fungsional dapat dibedakan menjadi empat bagian, yaitu daerah penerimaan makanan, daerah penyimpanan, daerah pencernaan dan penyerapan nutrisi, serta daerah penyerapan air dan ekskresi.

1. Daerah Penerimaan

Daerah untuk menerima makanan adalah mulut. Mulut biasanya dilengkapi dengan gigi dan kelenjar ludah, yang membantu proses mengunyah dan menelan makanan. Dalam ludah terkandung berbagai substansi seperti amilase (enzim pencernaan karbohidrat pada beberapa mamalia), toksin (pada ular berbisa), dan antikoagulan (pada insekta pengisap darah). Esofagus juga dikelompokkan sebagai daerah penerimaan makanan. Organ ini bertugas membawa makanan dari mulut ke lambung dengan gerakan peristaltik.

2. Daerah penyimpanan

Daerah penyimpanan makann terdiri atas empedal (gizzard) dan lambung. Organ tersebut merupakan pelebaran saluran gastrointestinal pada bagian depan, yang memiliki fungsi utama sebagai tempat menyimpan makanan. Sebagai proses pencernaan makanan sudah terjadi di bagian ini.

Empedal merupakan kantong berotot yang berperan dalam pencernaan mekanik. Organ ini dapat ditemukan pada vertebrata maupun invertebrata. Pada Artropoda, empedal dapat menggerus dan menyaring makanan. Yang berukuran tertentu. Sementara, partikel makanan yang ukurannya melebihi ukuran “saringan” akan tetap dipertahankan di dalam empedal. Pada burung, pencernaan makanan secara mekanik yang terjadi di empedal dilakukan oleh kontraksi otot empedal, dibantu oleh kerikil yang ditelannya.

3. Daerah Pencernaan dan Penyerapan

Proses pencernaan secara lebih sempuran dan penyerapa sari makanan berlangsung di dalam usus. Di usus bahan makanan (karbohidrat, lipid, dan protein) dicerna lebih lanjut dengan bantuan enzim dan diubah menjadi berbagai komponen penyusunnya agar dapat diserap dan digunakan secara optimal oleh hewan. Secara garis besar, enzim pencernaan pada hewan dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu enzim pemecah karbohidrat, pemecah lemak, dan pemecah protein.

a. Pencernaan Karbohidrat

Enzim yang bertanggung jawab dalam pencernaan karbohidrat ialah karbohidrase. Enzim ini memutuskan ikatan glikosidik pada karbohidrat sehingga dapat dihasilkan disakarida, trisakarida, dan polisakarida lain yang memiliki rantai lebih pendek. Berdasarkan jumlah unit sakarida penyusunnya, karbohidrat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu polisakarida dan oligosakarida.

Di dalam mulut, karbohidrat dalam makanan akan dicerna secara mekanik (dengan bantuan gigi) dan secara enzimatik (oleh enzim ptialin/amilase ludah). Selain mengandung enzim amilase, air ludah juga berperan penting untuk membasahkan makanan sehingga mudah ditelan. Amilase ludah menguraikan karbohidrat dengan cara memutus ikatan glikosidik pada pati dan glikogen sehingga dihasilkan campuran maltosa, glukosa, dan oligosakarida. Enzim amilase juga disekresikan oleh pankreas. Amilase pankreas dialirkan ke usus halus bagian atas (duodenum, usus 12 jari) dan akan memecah pati menjadi dekstrin, maltotriosa, dan maltosa.

Enzim lain yang penting ialah disakarase atau glukosidae, yang akan memecah disakarida seperti maltosa, laktosa, dan sukrosa menjadi glukosa, galaktosa dan fruktosa. Pada invertebrata, amilase disekresikan oleh kelenjar ludah atau jaringan kelenjar pada usus (usus tengah). Oligosakaridase adalah enzim yang memecah disakarida atau trisakarida menjadi subunit penyusunnya. Pada vertebrata, enzim oligosakaridase yang biasanya disekresi oleh usus, terdiri atas enzim sukrase, maltase, trehalase, dan laktase.

Karbohidrat yang banyak ditemukan pada dinding sel tumbuhan ialah selulosa. Selulosa tersusun atas komponen dasar penyusun selulosa (monomer) yang saling berikatan dengan ikatan glikosidik. Padahal hewan tidak memiliki enzim yang berfungsi untuk memecah ikatan glikosidik. Oleh karena itu, untuk mencerna selulosa, hewan memerlukan bantuan mikroorganisme (bakteri dan protozoa) yang memiliki enzim pemutus ikatan beta glikosidik.

b. Pencernaan Protein

Enzim yang berperan penting untuk mencerna protein adalah protease. Protease disekresikan dalam bentuk inaktif (zimogen), yang dapat segera teraktifkan. Penyimpanan protease dalam bentuk inaktif sangat penting untuk menghindari terjadinya *self digestion* (mencerna sel/jaringannya sendiri). Apabila disimpan dalam bentuk aktif, protease dapat mencerna sel lambung, yang juga banyak mengandung protein. Apabila dalam lambung terdapat protein, sel dinding lambung akan menghasilkan gastrin, yaitu senyawa kimia yang merangsang lambung untuk mengeluarkan HCL dari sel parietal, dan pepsinogen dari sel kepala. (*chief cells*). Selanjutnya, enzim pemecah protein (proteolitik) akan menguraikan protein dengan cara memutuskan ikatan peptida pada protein sehingga dihasilkan asam amino.

Enzim proteolitik (pemecah protein) dapat dibedakan menjadi dua, yaitu enzim peptidase, dan eksopeptidase. Keduanya diperlukan dalam pencernaan protein baik pada pencernaan intraseluler maupun ekstraseluler. Endopeptidase bertanggung jawab untuk memecah ikatan peptida spesifik pada bagian tengah rantai protein (ikatan peptida yang jauh dari kedua ujung rantai protein). Kelompok enzim ini terdiri atas pepsin, tripsin, dan kimotripsin. Tripsin berasal dari tripsinogen yang diaktivasi oleh enterokinase (yang disekresikan oleh sel mukosa usus) atau oleh tripsin aktif dinamakan autokatalisis. Tripsin akan memecah ikatan peptida yang berdekatan dengan asam amino basik di antara residu arginin dan lisin. Kimotripsin dapat diaktivasi oleh tripsin, dan selanjutnya akan memecah ikatan peptida yang mengandung asam amino aromatik.

Pada krustasea dan insekta juga ditemukan adanya enzim yang cara kerjanya mirip dengan tripsin dan kimotripsin. Pada hewan tersebut, enzim pepsin akan memecah ikatan peptida yang terdapat di dekat asam amino aromatik, seperti tirosin dan fenilalanin.

Eksopeptidase berfungsi untuk memutuskan ikatan peptida di bagian ujung rantai polipeptida, baik di ujung yang mengandung gugus amino maupun dekat ujung yang mengandung gugus karboksil. Pemutusan ikatan peptida di dekat

ujung yang mengandung gugus amino terjadi dengan bantuan enzim aminopeptidase. Sementara, pemutusan ikatan peptida di dekat ujung yang mengandung gugus karboksil terjadi dengan bantuan enzim karboksipetidase.

c. Pencernaan Lipid

Pencernaan lipid baru dimulai pada saat bahan makanan sampai di usus. Pencernaan ini terjadi dengan bantuan enzim lipase usus, lipase lambung, dan lipase pankreas. Lipase akan menghidrolisis lipid dan trigliserida menjadi digliserida, monogliserida, gliserol, dan asam lemak bebas. Lipase pankreas lebih mudah bereaksi dengan trigliserida berantai. Panjang, yang biasanya berlangsung pada pH 7-9. Lipase dalam bentuk zimogen (prolipase) akan diaktifkan oleh protein khusus dari sel epitel usus (disebut kolipase) sehingga dapat memecah lipid menjadi asam lemak.

C. Penyerapan Sari Makanan

Pengetahuan mengenai proses penyerapan sari makanan lebih banyak diperoleh dari hasil studi pada vertebrata. Pada vertebrata, penyerapan sari makanan terutama berlangsung dalam usus halus, kemudian menembus vili usus dan masuk ke pembuluh darah atau ke pembuluh limfe. Sari makanan yang masuk ke pembuluh darah akan beredar melalui vena mesenterika dan vena porta, kemudian ke hati. Apabila zat yang diserap masuk ke pembuluh limfe, zat tersebut akan masuk ke duktus toraksilus, dan kemudian ke sistem venosus di dekat jantung, yaitu pada pembuluh vena subklavia kiri. Penyerapan sari makanan dari saluran gastrointestinal terjadi dengan cara transpor pasif (difusi dan osmosis) atau dengan difusi dipermudah. Transpor pasif berlangsung menurut gradien konsentrasi. Agar dapat terjadi transpor pasif, konsentrasi zat di lumen usus halus harus lebih tinggi daripada di dalam sel penyerap (sel epitel usus). Difusi dipermudah pada dasarnya sama seperti difusi biasa, yaitu transpor zat dari daerah berkonsentrasi lebih tinggi ke daerah yang berkonsentrasi lebih rendah. Bedanya, difusi dipermudah memerlukan molekul karier pada membran sel penyerap, sedangkan difusi biasa tidak demikian.

1. Penyerapan Karbohidrat/Gula

Penyerapan gula (glukosa dan galaktosa) dari lumen usus terjadi melalui difusi dipermudah atau transpor aktif sekunder, dengan bantuan ion natrium. Dalam hal ini, sebenarnya glukosa diserap dengan difusi dipermudah. Sedangkan transpor aktif diperlukan untuk memompakan natrium dari dalam keluar sel epitel usus agar kondisi homeostatis tetap terjaga. Fruktosa juga diserap dengan cara difusi dipermudah.

2. Penyerapan Protein

Protein dapat diserap dan masuk ke dalam darah hanya dalam bentuk asam amino sederhana dalam bentuk mono-peptida, di-peptida dan tri-peptida. Pemasukan asam amino melintasi membran sel epitel usus berlangsung melalui mekanisme yang serupa dengan penyerapan glukosa, yaitu difusi dipermudah. Sistem transpor untuk penyerapan asam amino melibatkan pembentukan kompleks antara pengemban, asam amino spesifik, dan ion natrium.

3. Penyerapan Lipid

Lipid tidak pernah tercerna seluruhnya secara sempurna menjadi gliserol dan asam lemak. Hasil pencernaan lipid merupakan campuran trigliserida, digliserida, monogliserida, dan lain-lain. Semua bentuk lipid tersebut dapat diserap oleh usus, tetapi molekul yang paling mudah dan paling banyak diserap adalah monogliserida, gliserol, dan asam lemak. Dalam proses penyerapan tersebut, garam empedu berperan penting untuk mengemulsikan lemak sehingga mempermudah terjadinya kontak antara molekul lemak dengan mikrovili, yaitu dengan membentuk kompleks garam empedu-lemak. Setelah terjadi kontak dengan mikrovili, kompleks tersebut akan terpisah lagi dan garam empedu kembali lagi ke lumen usus sehingga dapat digunakan kembali untuk membawa molekul lipid lainnya.

Garam empedu akan mengubah hasil pencernaan lipid menjadi butiran kecil (diameter 3-10 nm) yang lebih hidrofili. Butiran kecil tersebut akan menembus

membran sel epitel mukosa usus pada jejunum. Pada bagian ini, molekul asam lemak dan gliserol akan terpecah dan berdifusi melalui membran plasma (masuk ke dalam sel) dengan cara pinositosis. Asam lemak rantai pendek (kurang dari 10-12 atom karbon) akan berdifusi secara langsung ke pembuluh darah, sedangkan asam lemak rantai panjang dan gliserol akan berkombinasi dengan trigliserida (di retikulum endoplasma halus). Hasil kombinasi tersebut kemudian akan dikemas dalam selubung protein tipis, membentuk kumpulan molekul khusus yang disebut *kilomikron*. Kilomikron akan masuk ke dalam pembuluh lakteal pada vili usus. Pembuluh lakteal ialah pembuluh limfe yang dikhususkan untuk menangkut lemak dan merupakan struktur khas pada usus burung dan mamalia (tidak dijumpai pada vertebrata lain yang lebih rendah).

TUGAS

1. Jelaskan fungsi sistem pencernaan pada hewan!.
2. Jelaskan dan sebutkan fungsi senyawa kimia yang dihasilkan lambung pada saat terjadi pencernaan kimiawi!
3. Jelaskan proses pencernaan makanan secara enzimatik dan sebutkan hasilnya!

BAB VIII

SISTEM RESPIRASI

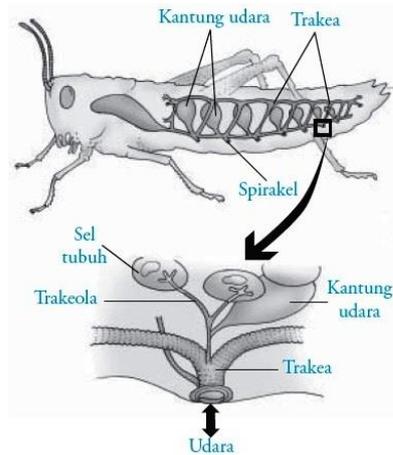
A. Pengertian Sistem Respirasi

Kita sering mendengar istilah respirasi eksternal dan respirasi internal. Pada dasarnya sistem respirasi eksternal sama dengan bernapas, sedangkan respirasi internal atau respirasi seluler ialah proses penggunaan oksigen oleh sel tubuh dan pembuangan zat sisa metabolisme sel yang berupa CO₂. Penyelenggaraan respirasi harus didukung oleh alat pernapasan yang sesuai, yaitu alat yang dapat digunakan oleh hewan untuk melakukan pertukaran gas dengan lingkungannya. Alat yang dimaksud dapat berupa alat pernapasan khusus atau tidak.

B. Alat respirasi pada Invertebrata

1. Alat Resepirasi pada Serangga

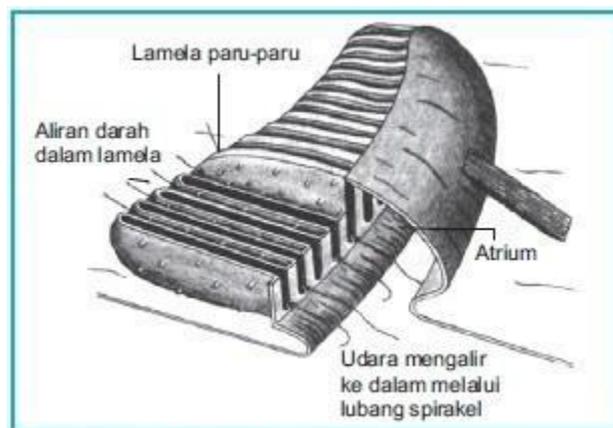
Trakea adalah alat pernapasan pada serangga dan arthropoda lainnya. Pembuluh trakea bermuara pada lubang kecil yang ada di kerangka luar (eksoskeleton) yang disebut spirakel (stigma). Spirakel mempunyai katup yang dikontrol oleh otot sehingga menutup dan membukanya spirakel terjadi secara teratur. Oksigen dari luar masuk lewat spirakel. Kemudian menuju pembuluh-pembuluh trakea dan selanjutnya pembuluh trakea bercabang lagi menjadi cabang halus yang disebut trakeolus sehingga dapat mencapai seluruh jaringan dan alat tubuh bagian dalam.



Gambar 14. Alat Respirasi Serangga

2. Alat Respirasi pada Kalajengking dan Laba-Laba

Kalajengking dan laba-laba yang hidup di darat memiliki alat pernapasan berupa paru-paru buku, sedangkan jika hidup di air bernapas dengan insang buku. Paru-paru buku memiliki spirakel tempat masuknya oksigen dari luar. Keluar masuknya udara disebabkan oleh gerakan otot yang terjadi secara teratur. Baik paru-paru buku dan insang buku keduanya memiliki fungsi yang sama seperti fungsi paru-paru pada vertebrata.

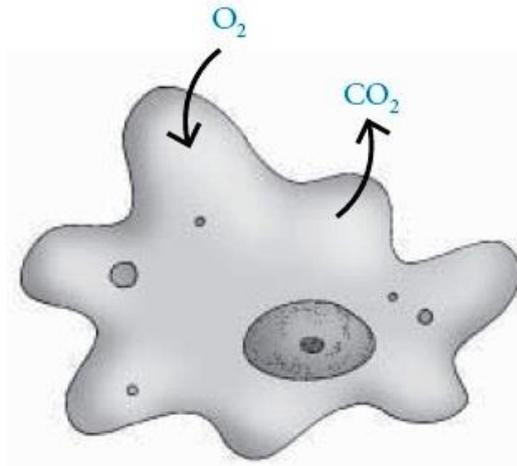


Gambar 15. Irisan Melintang Paru-Paru Buku

3. Alat Respirasi pada Protozoa

Hewan dalam golongan ini melakukan pernapasan melalui seluruh permukaan selnya. Oksigen dan karbon dioksida keluar masuk melalui membran sel secara

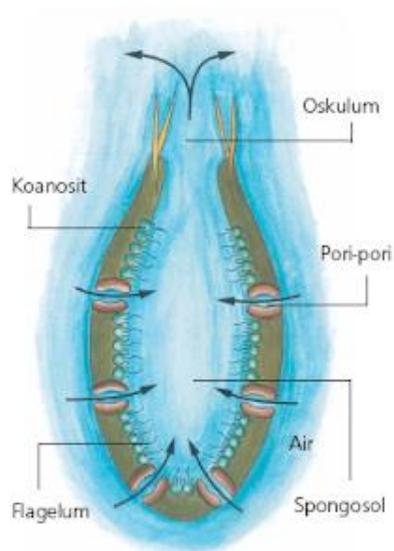
difusi. Oksigen dan karbon dioksida tersebut merupakan gas-gas yang terlarut di dalam air. Contoh: *Amoeba sp.*



Gambar 16. Sistem Respirasi Protozoa

4. Alat Respirasi pada Porifera

Hewan filum ini tubuhnya tersusun atas banyak sel dan memiliki jaringan yang sederhana. Porifera tidak memiliki alat pernapasan khusus. Porifera bernapas dengan cara memasukan air melalui paru-paru (ostium) yang terdapat pada seluruh permukaan tubuhnya, masuk ke dalam rongga spongocoel. Proses pernapasan selanjutnya dilakukan oleh sel leher (koanosit), yaitu sel yang berbatasan langsung dengan rongga spongocoel. Udara pernapasan dipertukarkan langsung oleh sel-sel dipermukaan tubuh atau oleh sel-sel leher yang bersentuhan dengan air. Contoh: *Spongia sp.*



Gambar 17. Alat Respirasi Porifera

5. Alat Respirasi pada Coelenterata

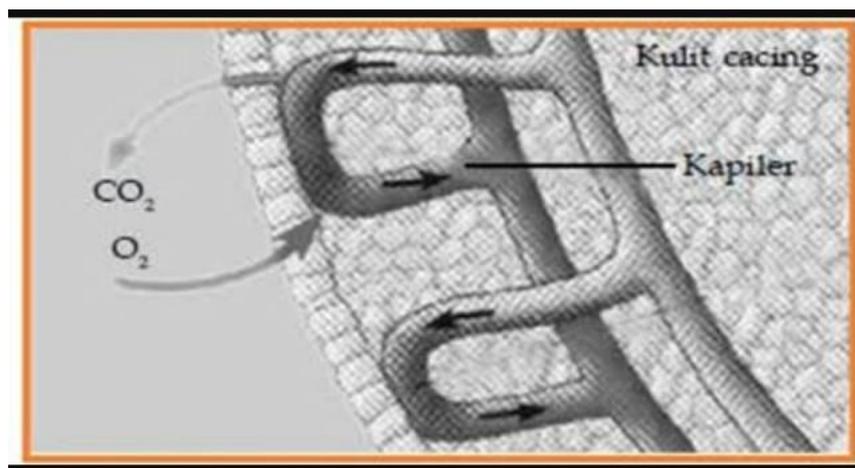
Hewan filum ini tubuhnya tersusun atas banyak sel dan memiliki jaringan. Hewan ini tidak memiliki alat pernapasan yang lengkap. Alat bantu pernapasan berupa lekukan-lekukan lapisan gastrodermal yang berada sedikit di bawah mulut, yaitu disebut sifonoglifa. Namun sel-sel di permukaan tubuh yang lain juga dapat melakukan pertukaran gas dengan lingkungannya. Contoh: *Aurelia sp*, *Hydra sp* dan *Metrium sp*.



Gambar 18. Alat Respirasi Coelenterata

6. Alat Respirasi pada Cacing

Golongan cacing (vermes) terbagi dalam tiga filum. Pada cacing pipih (platyhelminthes) pernapasan terjadi diseluruh permukaan tubuh melalui difusi. Contoh: *Planaria sp.* Pada cacing gilik tidak bersegmen (nematelminthes) pernapasan juga melalui difusi lewat permukaan tubuhnya. Contoh: *ascaris lumbricoides*. Pada cacing gilik bersegmen (annelida) pernapasan melalui permukaan kulit yang selalu basah oleh cairan mukus. Contoh: *Lumbricus sp.*

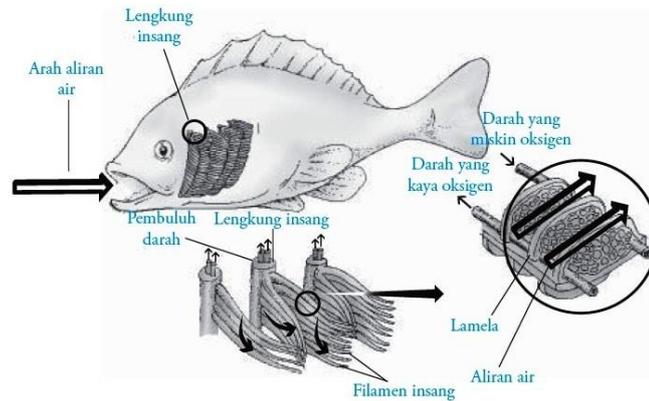


Gambar 19. Alat Respirasi Cacing

C. Alat Respirasi pada Vertebrata

1. Alat Respirasi pada Ikan

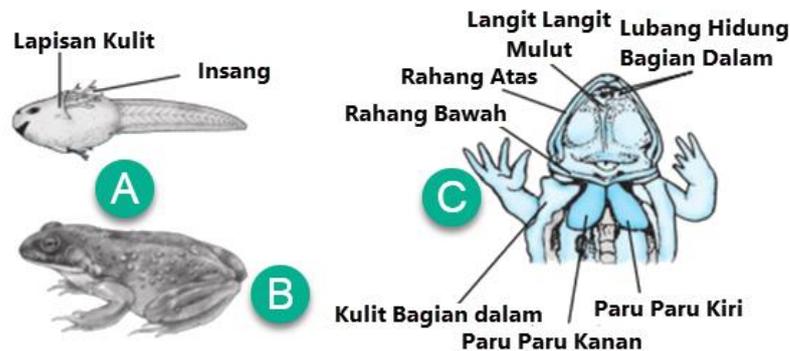
Insang dimiliki oleh jenis ikan (pisces). Insang berbentuk lembaran-lembaran tipis berwarna merah muda dan selalu lembab. Tiap lembaran insang terdiri dari sepasang filamen, dan tiap filamen mengandung banyak lapisan tipis (lamela). Pada filamen terdapat pembuluh darah yang memiliki banyak kapiler sehingga memungkinkan O₂ berdifusi masuk dan CO₂ berdifusi keluar.



Gambar 20. Alat Respirasi Ikan

2. Alat Respirasi pada Katak

Pada katak oksigen berdifusi lewat selaput rongga mulut, kulit, dan paru-paru. Kecuali pada berudu bernapas dengan insang karena hidupnya di air. Selaput rongga mulut berfungsi sebagai alat pernapasan karena tipis dan banyak terdapat kapiler yang bermuara di tempat itu.

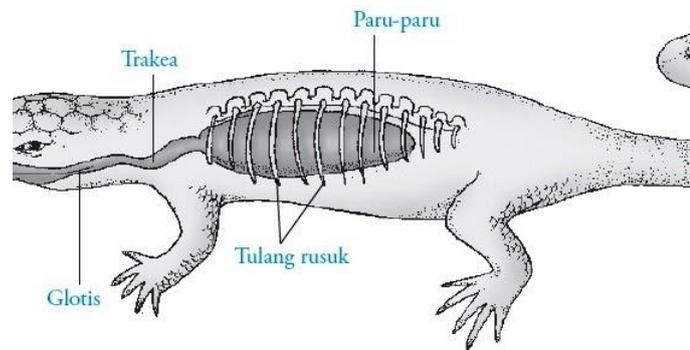


Gambar 21. Berudu (A), Katak Dewasa (B), Sistem Respirasi Katak (C)

3. Alat Respirasi pada Reptilia

Paru-paru pada reptilia berada dalam rongga dada dan dilindungi oleh tulang rusuk. Paru-paru reptilia lebih sederhana, hanya dengan beberapa lipatan dinding yang berfungsi memperbesar pertukaran gas. Pada reptilia pertukaran gas tidak efektif, pada kadal, buaya dan kura-kura paru-paru lebih kompleks, dengan

beberapa belahan-belahan yang membuat paru-parunya bertekstur seperti spon. Paru-paru pada beberapa jenis kadal misalnya bunglon afrika mempunyai pundi-pundi hawa cadangan yang memungkinkan hewan tersebut melayang di udara.



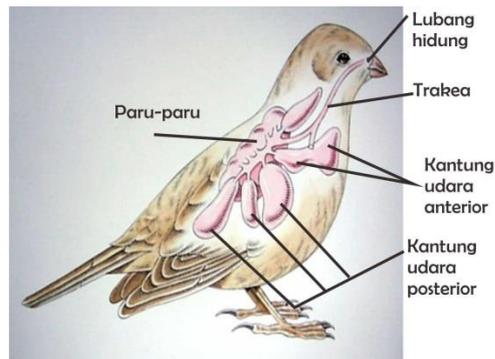
Gambar 22. Sistem Respirasi Reptil

4. Alat Respirasi pada Burung

Pada burung, alat berdifusinya gas pernapasan hanya terjadi di paru-paru. Paru-paru burung berjumlah sepasang dan terletak dalam rongga dada yang dilindungi oleh tulang rusuk. Jalur pernapasan pada burung berawal di lubang hidung. Pada tempat ini, udara masuk kemudian diteruskan pada celah tekak yang terdapat pada dasar faring yang menghubungkan trakea.

Trakea bercabang menjadi dua yaitu, bronkus kanan dan bronkus kiri. Pada bronkus terdapat sirink yang pada bagian dalamnya terdapat lipatan-lipatan berupa selaput yang dapat bergetar. Bergetarnya selaput itu menimbulkan suara. Bronkus bercabang lagi menjadi mesobronkus yang merupakan bronkus sekunder dan dapat dibedakan menjadi ventrobronkus (di bagian ventral) dan doso bronkus (di bagian dorsal). Ventrobronkus dihubungkan dengan dorsobronkus, oleh banyak parabronkus (100 atau lebih).

Parabronkus berupa tabung-tabung kecil. Di parabronkus bermuara banyak kapiler sehingga memungkinkan udara berdifusi. Selain paru-paru, burung memiliki 8 atau 9 perluasan paru-paru atau pundi-pundi hawa (sakus pneumatikus) yang menyebar ampai ke perut, leher dan sayap. Di pundi-pundi hawa ini tidak terjadi difusi gas pernapasan dan berfungsi sebagai penyimpanan cadangan oksigen dan meringankan tubuh.



Gambar 23. Sistem Respirasi Burung

D. Mekanisme Transport Gas

1. Mekanisme Transport Gas Serangga

Pada sistem trakea berfungsi mengangkut O_2 dan mengedarkannya ke seluruh tubuh, dan sebaliknya mengangkut CO_2 hasil respirasi untuk dikeluarkan dari tubuh. Dengan demikian, darah pada serangga hanya berfungsi mengangkut sari makanan dan bukan untuk mengangkut gas pernapasan.

Di bagian ujung trakeolus terdapat cairan sehingga udara mudah untuk berdifusi ke jaringan. Pada serangga air misalnya nyamuk udara diperoleh dengan menjulurkan tabung pernapasan ke permukaan air untuk mengambil udara. Serangga tertentu mempunyai gelembung udara sehingga dapat menyelam di air dalam waktu lama. Misalnya *kepik notonecta sp.* Mempunyai gelembung udara yang menyerupai rambut pada permukaan ventral. Selama menyelam, O_2 dalam gelembung dipindahkan melalui sistem trakea ke sel-sel pernapasan.

Selain itu, ada pula serangga yang mempunyai insang trakea yang berfungsi menyerap udara dari air, atau pengambilan udara melalui cabang-cabang halus serupa insang. Selanjutnya dari cabang halus ini oksigen diedarkan melalui pembuluh trakea.

2. Mekanisme Transport Gas Ikan

Mekanisme pernapasan pada ikan melalui dua tahap, yakni inspirasi dan ekspirasi. Pada fase inspirasi, O_2 dari air masuk ke dalam insang kemudian O_2

diikat oleh kapiler darah untuk dibawa ke jaringan-jaringan yang membutuhkan. Sebaliknya pada fase ekspirasi, CO₂ yang dibawa oleh darah dari jaringan akan bermuara ke insang dan dari insang diekskresikan keluar tubuh.

3. Mekanisme Transport Gas Katak

Mekanisme pernapasan pada katak melalui dua tahap, yakni inspirasi dan ekspirasi yang keduanya terjadi pada saat mulut tertutup. Fase inspirasi adalah saat udara (kaya oksigen) yang masuk lewat selaput rongga mulut dan kulit berdifusi pada gelembung-gelembung di paru-paru. Mekanisme inspirasi adalah sebagai berikut. Otot *sternohioideus* berkontraksi sehingga rongga mulut membesar, akibatnya oksigen masuk melalui koane. Setelah itu koane menutup dan otot rahang bawah dan otot *geniohioideus* berkontraksi sehingga rongga mulut mengecil. Mengecilnya rongga mulut mendorong oksigen masuk ke paru-paru lewat celah-celah. Dalam paru-paru terjadi perukaran gas, oksigen diikat oleh darah yang berada di dalam kapiler dinding paru-paru dan sebaliknya, karbondioksida dilepaskan ke lingkungan. Mekanisme ekspirasi adalah sebagai berikut. Otot-otot perut dan *sternohioideus* berkontraksi sehingga udara dalam paru-paru tertekan keluar dan masuk ke dalam rongga mulut. Celah tekak menutup dan sebaliknya koane membuka. Bersamaan itu otot rahang bawah berkontraksi yang juga diikuti dengan berkontraksinya *geniohioideus* sehingga rongga mulut mengecil. Dengan mengecilnya rongga mulut maka udara yang kaya karbondioksida keluar.

4. Mekanisme Transport Gas Burung

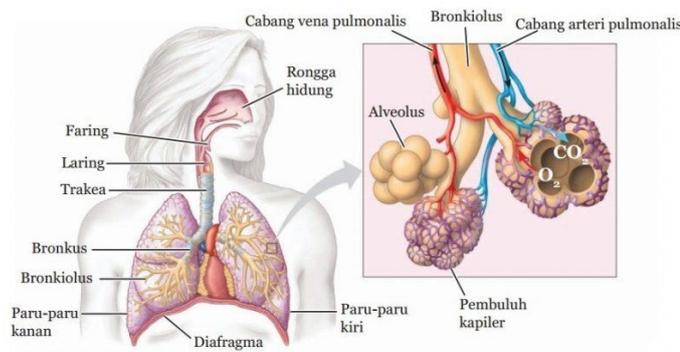
Mekanisme pernapasan pada burung melalui dua tahap, yaitu inspirasi disebabkan adanya kontraksi otot antar tulang rusuk (intrekostal) sehingga tulang rusuk bergerak keluar dan tulang dada bergerak ke bawah. Udara luar yang masuk sebagian kecil akan tinggal di paru-paru dan sebagian besar akan diteruskan ke pundi-pundi hawa sebagai cadangan udara. Sebaliknya, ekspirasi terjadi apabila otot interkostal relaksasi maka tulang rusuk dan tulang dada kembali ke posisi semula, sehingga rongga dada mengecil dan tekanan menjadi lebih

besardari tekanan di udara luar akibatnya udara dari paru-paru yang kaya karbondioksida keluar. Bersamaan dengan mengecilnya rongga dada, udara dari kantong hawa masuk ke paru-paru dan terjadi pelepasan oksigen dalam pembuluh kapiler di paru-paru. Jadi, pelepasan oksigen di paru-paru dapat terjadi pada saat ekspirasi maupun inspirasi.

E. Fisiologi Sistem Pernapasan pada Manusia

1. Pernapasan Paru

Pernapasan paru adalah pertukaran oksigen dan karbondioksida yang terjadi pada paru-paru, pernapasan paru-paru atau pernapasan eksterna, oksigen diambil melalui mulut dan hidung pada waktu bernapas yang oksigen masuk melalui trakea sampai ke alveoli berhubungan darah dalam kapiler pulmonar. Alveoli memisahkan oksigen dari darah, oksigen menembus membran, diambil oleh sel darah merah dibawa ke jantung dan dari jantung dipompa keseluruh tubuh.



Sumber: Reece *et al.* 2010

Gambar 24. Sistem Pernapasan pada Manusia

2. Pernapasan Sel

a. Transpor Gas Paru-Paru dan Jaringan

Selisih tekanan parsial antara O₂ dan CO₂ menekankan bahwa kunci dari pergerakan gas O₂ mengalir dari alveoli masuk ke dalam jaringan melalui darah, sedangkan CO₂ mengalir dari jantung ke alveoli melalui pembuluh darah, akan tetapi jumlah kedua gas yang ditranspor ke jaringan dan dari jaringan secara keseluruhan tidak cukup bila O₂ tidak larut dalam darah dan bergabung dengan protein membawa O₂ (hemoglobin). Dengan demikian juga CO₂ yang larut masuk

ke dalam serangkaian reaksi kimia reversibel (rangkaian perubahan udara). Yang mengubah menjadi senyawa lain. Adanya hemoglobin menaikkan kapasitas pengangkutan O_2 dalam darah sampai 70 kali dan reaksi CO_2 menaikkan kadar CO_2 dalam darah menjadi 17 kali.

b. Pengangkutan Oksigen ke Jaringan

Sistem pengangkutan O_2 dalam tubuh terdiri dari paru-paru dan sistem kardiovaskuler. Oksigen masuk ke jaringan bergantung pada jumlahnya yang masuk ke dalam paru-paru, pertukaran gas yang cukup pada paru-paru, aliran darah ke jaringan dan kapasitas pengangkutan O_2 dalam darah. Aliran darah bergantung pada derajat konsentrasi dalam jaringan dan curah jantung. Jumlah O_2 dalam darah ditentukan oleh jumlah O_2 yang larut, hemoglobin, dan afinitas (daya tarik) hemoglobin.

c. Reaksi Hemoglobin dan Oksigen

Dinamakan reaksi hemoglobin sangat cocok untuk mengangkut O_2 . Hemoglobin adalah protein yang terikat pada rantai polipeptida, dibentuk porfirin dan satu atom besi ferro. Masing-masing besi dapat mengikat secara reversibel (perubahan arah) dengan satu molekul O_2 . Besi berada dalam bentuk ferro sehingga reaksinya adalah oksigenasi bukan oksidasi.

d. Transpor Karbondioksida

Kelarutan CO_2 dalam darah kira-kira 20 kali kelarutan O_2 sehingga terdapat lebih banyak CO_2 dari pada O_2 dalam larutan sederhana. CO_2 berdifusi dalam sel darah merah dengan cepat mengalami hidrasi menjadi H_2CO_2 karena adanya anhidrase (berkurangnya sekresi keringat) karbonat berdifusi ke dalam plasma. Penurunan kejenuhan hemoglobin terhadap O_2 bila darah melalui kapiler-kapiler jaringan. Sebagian dari CO_2 dalam sel darah merah beraksi dengan gugus amino dari protein, hemoglobin membentuk senyawa karbamino (senyawa karbondioksida). Besarnya kenaikan kapasitas darah mengangkut CO_2 ditunjukkan

oleh selisih antara garis kelarutan CO_2 dan garis kadar total CO_2 di antara 49 ml dalam darah arterial 2,6 ml dalam senyawa karbamino dan 43,8 ml HCO_2 .

TUGAS

1. Jelaskan pengertian respirasi!
2. Jelaskan sistem respirasi pada kaljengking dan laba-laba!
3. Jelaskan mekanisme transport gas serangga, pisces, katak dan belalang!

BAB IX

SISTEM REPRODUKSI

A. Pengertian Reproduksi

Reproduksi merupakan salah satu kemampuan hewan yang sangat penting. Tanpa kemampuan tersebut suatu jenis hewan akan segera punah. Oleh karena itu, perlu dihasilkan sejumlah besar individu baru yang akan mempertahankan jenis suatu hewan. Proses pembentukan individu baru inilah yang disebut reproduksi.

B. Mekanisme Reproduksi

Reproduksi pada hewan dapat terjadi secara seksual maupun aseksual. Konsep reproduksi aseksual tidak dapat didefinisikan dengan tepat (karena terlalu banyak variasi), tetapi jelas bahwa proses ini tidak berkaitan dengan proses pembentukan gamet. Reproduksi aseksual dapat berlangsung dengan cara pembelahan, fragmentasi, atau budding/bertunas.

Reproduksi seksual dicirikan dengan bersatunya gamet jantan dan gamet betina melalui proses fertilisasi atau *ingami*. Akan tetapi, kadang-kadang pertemuan gamet tersebut tidak terjadi. Hal ini tampak pada peristiwa partenogenesis, individu baru terbentuk dari telur atau sperma tanpa peran serta sel benih dari lawan jenisnya. Meskipun demikian, hewan partenogenetik hanya dapat berkembang dari telur. Partenogenesis pada hewan dapat diamati pada insekta tertentu, contohnya lebah madu dan beberapa jenis tawon lainnya. Telur lebah madu yang dibuahi akan berkembang menjadi individu betina diploid, sedangkan telur yang tidak dibuahi akan berkembang menjadi individu jantan haploid.

Dalam peristiwa lain, sperma mengaktivasi ovum untuk membelah, tetapi tidak ikut menyumbangkan materi genetik. Peristiwa ini disebut ginogenesis. Dalam ginogenesis, embrio hanya membawa kromosom induk betina. Kebalikan dari peristiwa ginogenesis adalah androgenesis.

Individu partenogenesis, ginogenesis, dan androgenesis menunjukkan kesamaan dalam hal materi genetik yang dibawanya, yaitu materi genetik dari

salah satu induk saja. Kadang-kadang, gamet jantan dan betina dikeluarkan oleh individu yang sma. Individu yang mengalami hal itu disebut hewan hemaprodit.

C. Sistem Reproduksi Hewan

1. Sistem Reproduksi pada Amphibi

a. Sistem genitalia jantan

Testis berjumlah sepasang, berwarna putih kekuning-kuningan yang digantungkan oleh mesosium. Sebelah kaudal dijumpai korpus adiposum, terletak di bagian posterior rongga abdomen.

Saluran reproduksi, tubulus ginjal akan menjadi duktus eferen dan membawa spermatozoa dari testis menuju duktus mesoneferus. Di dekat kloaka, duktus mesoneferus pada beberapa spesies akan membesar membentuk vesikula seminalis (penyimpanan sperma sementara). Vesikula seminalis akan membesar hanya pada saat musim kawin saja. Vasa eferen merupakan saluran-saluran halus yang meninggalkan testis, berjalan ke medial menuju ke bagian kranial ginjal. Duktus wolf keluar dari dorsolateral ginjal, ia berjalan di sebelah lateral ginjal. Kloaka kadang-kadang masih jelas dijumpai.

b. Sistem genitalia betina

Ovarium berjumlah sepasang, pada sebelah kranialnya dijumpai jaringan lemak berwarna kuning (korpus adiposum). Baik ovarium maupun korpus adiposum berasal dari plica gametalis. Masing-masing gonalis, dan pars grogonalis. Ovarium digantungkan oleh mesovarium. saluran reproduksi, oviducts merupakan saluran yang berkelok-kelok. Oviduk dimulai dari bangunan yang mirip corong (infundibulum) dengan lubangnya yang disebut ductus mesoneferus, dan akhirnya bermuara di kloaka.

c. Fertilisasi pada amphibi (Pembuluh eksternal)

Pembuahan pada amphibi terjadi secara eksternal artinya penyatuan gamet jantan dan gamet betina terjadi di luar tubuh. Pada pembuahan eksternal biasanya dibentuk ovum dalam jumlah besar, karena kemungkinan terjadinya fertilisasi

lebih kecil dari pada pembuahan secara internal. Pada katak betina menghasilkan ovum yang banyak. Pada katak betina juga ditemukan semacam lekukan pada bagian leher, yang berfungsi sebagai tempat “pegangan” bagi katak jantan yang mengadakan fertilisasi. Hal ini diimbangi oleh katak jantan dengan adanya struktur khusus pada kaki depannya, yaitu berupa telapak yang lebih kasar.

2. Sistem Reproduksi pada Aves

a. Sistem genitalia jantan

Testis berjumlah sepasang, beebentuk oval atau bulat bagian permukaannya licin, terletak di sebelah ventral lobus penis bagian paling kranial. Saluran reproduksi, tubulus mesonefrus membentuk ductus aferen dan epididimis. Duktus wolf bergelung dan membentuk duktus deferen. Duktus eferen berhubungan dengan epididimis yang kecil dengan ureter ketika masuk kloaka.

b. Sistem genitalia betina

Ovarium aves yang berkembang hanya kiri, dan terletak pada bagian dorsal rongga abdomen. Saluran reproduksi, oviduk yang berkembang hanya sebelah kiri, dan dibagi menjadi beberapa bagian, bagian interior adalah infundibulum yang punya bagian terbuka yang mengarah ke rongga selom sebagai ostium yang dikelilingi oleh fimbria-fimbria. Diposteriornya adalah magnum yang akan mensekresi albumin, selanjutnya istimus yang mensekresikan fimbria. Selanjutnya istimus akan mensekresikan membran sel telur dalam dan luar.

c. Proses fertilisasi aves

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 dan menjadi uterus yang bermuara pada kloaka.

Pada burung jantan terdapat sepasang testis yang terhimpit dengan ureter dan bermuara di kloaka. Fertilisasi akan terjadi 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 dapat menetas jika dierami induknya.

3. Sistem Reproduksi pada Reptil

a. Sistem genitalia jantan

Testis berbentuk oval, relatif kecil, berwarna keputih-putihan, berjumlah sepasang, dan terletak di dorsal rongga abdomen. Pada kadal dan ular, salah satu testis terletak lebih kedepan dari pada yang lain, testis akan membesar saat musim kawin.

Saluran reproduksi, duktus mesonefrus berfungsi sebagai saluran reproduksi, dan saluran ini akan menuju kloaka. Sebagian duktus wolf dekat testis bergelung membentuk epididimis. Tubulus mesonefrus membentuk duktus eferen yang menghubungkan tubulus seminiferus testis dengan epididimis. Duktus wolf bagian posterior menjadi duktus deferens. Pada kebanyakan reptil, duktus deferens bersatu dengan ureter dan memasuki kloaka melalui satu lubang, yaitu sinus urogenital yang pendek.

b. Sistem genitalia betina

Ovarium berjumlah sepasang, berbentuk oval dengan bagian permukaannya benjol-benjol. Letaknya tepat di bagian ventralkolumna vertebralis. Saluran reproduksi, oviduk panjang dan bergelung. Bagian anterior terbuka ke rongga selom sebagai ostium, sedangkan bagian posterior bermuara di kloaka. Dinding bersifat glanduler, bagian anterior menghasilkan albumin yang berfungsi untuk membungkus sel telur, kecuali pada ular dan kadal. Bagian posterior sebagai shell gland akan menghasilkan cangkang kapur.

4. Sistem Reproduksi pada Pisces

a. Sistem genitalia jantan

Testis ikan berbentuk seperti kantong dengan lipatan-lipatan, serta dilapisi dengan suatu lapisan sel spermatogenik. Sepasang sperma jantan bergerak melalui

vas deferens menuju celah urogenital. Testis berjumlah sepasang berbentuk oval dengan permukaan yang kasar. Saluran reproduksi pada elasmoranchi beberapa tubulus mesonefrus bagian anterior akan menjadi duktus aferen. Bahkan posterior duktus aferen berdilatasi membentuk vesikula seminalis, lalu dari sisni akan terbentuk kantung sperma. Duktus deferen akan bermuara di kloaka secara terpisah. Proses fertilisasi pada ikan ada dua cara, yaitu pembuahan di dalam (internal fertilization) dan pembuahan di luar (eksternal fertilization).

Ikan yang melakukan pembuahan di luar disebut jenis ikan ovipar. Ikan jenis ini mengeluarkan telur ari dalam tubuhnya untuk dibuahi oleh si jantan. Proses pembuahan sel telur (oosit) oleh sel sperma berlangsung di luar tubuh ikan di mana sperma memasuki sel telur melalui sebuah lubang yang disebut dengan mikrofil. Ikan yang melakukan pembuahan di dalam disebut ovovivipar. Ikan jenis ini berkembang biak dengan cara melahirkan. Embrio berkembang biak di dalam tubuh induk betina.

a. Sistem Genetalia Betina

Ovarium pada elasmoranchi padat, terletak pada anterior rongga abdomen. Pada saat dewasa yang berkembang hanya ovarium kanan, saluran reproduksi elasmoranchi berjumlah sepasang, bagian anteriornya memiliki satu ostium yang dikelilingi oleh fimbri-fimbri. Oviduk sempit pada bagian anterior dan posteriornya.

D. Sistem Reproduksi pada Mamalia

1. Sistem Genetalia pada Laik-Laki

a. Organ Reproduksi Dalam

Testis, Organ berbentuk oval, terletak di dalam skrotum. Pada umumnya, setiap pria masing-masing memiliki dua testis. Testis berfungsi untuk menghasilkan testosteron, yang merupakan hormon seks pada pria. Selain itu, organ ini juga berfungsi untuk memproduksi sperma.

b. Saluran Pengeluaran

Epididimis, merupakan saluran panjang, yang terletak di belakang testis. Organ ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan sperma sementara sampai menjadi matang dan bergerak menuju vas deferens. Vas deferens, organ ini merupakan saluran panjang lurus yang mengarah ke atas merupakan lanjutan dari epididimis. Organ ini terletak di belakang kantung kemih. Vas deferens berfungsi sebagai saluran tempat jalannya sperma dari epididimis ke kantung semen.

Saluran ejakulasi, Saluran ini terbentuk dari gabungan vas deferens dan vesikula seminalis. Berfungsi untuk mengeluarkan sperma agar masuk ke dalam uretra. Uretra, merupakan saluran akhir reproduksi yang terdapat di dalam penis. Berfungsi sebagai saluran kelamin yang berasal dari kantung semen dan saluran untuk membuang urin dari kantung kemih. Kelenjar aksesoris, selama sperma melalui saluran pengeluaran terjadi penambahan berbagai getah kelamin yang dihasilkan oleh kelenjar aksesoris. Vesikula seminalis, merupakan kelenjar berlekuk-lekuk yang terletak di bagian kantung kemih. Dinding vesikula seminalis menghasilkan zat makanan yang berguna bagi sperma. Kelenjar prostat, melingkari bagian atas uretra dan terletak di bagian bawah kantung kemih. Kelenjar prostat menghasilkan getah yang mengandung kolesterol, gramdan fosfolipid yang berperan untuk kelangsungan hidup sperma. Kelenjar cowper, merupakan kelenjar yang salurannya langsung menuju uretra. Kelenjar ini menghasilkan getah yang bersifat alkali.

c. Organ Reproduksi Luar

Penis, terdiri dari tiga rongga yang berisi jaringan spons. Dua rongga yang terletak di bagian atas berupa jaringan spons korpus kavernosa. Satu rongga lagi berada di bagian bawah yang berupa jaringan spons korpus spongiosum yang membungkus uretra. Uretra pada penis dikelilingi oleh jaringan erektil yang rongga-rongganya banyak mengandung pembuluh darah dan ujung-ujung sarafperasa. Bila ada suatu rangsangan, rongga tersebut akan terisi penuh oleh darahsehingga penis menjadi tegang dan mengembang (ereksi). Skrotum, merupakan kantung yang di dalamnya berisi testis. Skrotumberjumlah sepasang,

yaitu skrotum kanan dan skrotum kiri. Di antara skrotum kanan dan skrotum kiri dibatasi oleh sekat yang berupa jaringan ikat dan otot polos (otot dartos). Otot dartos berfungsi untuk menggerakkan skrotum sehingga dapat mengerut dan mengendur. Di dalam skrotum juga terdapat serat-serat otot yang berasal dari penerusan otot lurik dinding perut yang disebut otot kremaster. Otot ini bertindak sebagai pengatur suhu lingkungan testis agar kondisinya stabil.

d. Spermatogenesis

Spermatogenesis terjadi di dalam testis, tepatnya pada tubulus seminiferus. Spermatogenesis mencakup pematangan sel epitel germinal dengan melalui proses pembelahan dan diferensiasi sel, yang mana bertujuan untuk membentuk sperma fungsional. Pematangan sel terjadi di tubulus seminiferus yang kemudian disimpan di epididimis.

2. Sistem Genetali Pada Wanita

Alat reproduksi pada wanita juga terdiri alat / organ eksternal dan internal, sebagian besar terletak dalam rongga panggul. Eksternal (sampai vagina) : fungsi kopulasi Internal: fungsi ovulasi, fertilisasi ovum, transportasi blastocyst, implantasi, pertumbuhan fetus, kelahiran. Fungsi sistem reproduksi wanita dikendalikan/ dipengaruhi oleh hormon-hormon gonadotropin / steroid dari poros hormonal thalamus - hipotalamus - hipofisis - adrenal – ovarium. Selain itu terdapat organ/sistem ekstragonad/ekstragenital yang juga dipengaruhi oleh siklus reproduksi : payudara, kulit daerah tertentu, pigmen dan sebagainya.

Genitalia eksternal, terdiri dari vulva, mons pubis/mons veneris, labia mayora, labia minora, clitoris, vestibulum, introitus/orificum vagina, vagina dan perineum, genitalia interna, terdiri atas uterus, serviks uteri, corpus uteri dan ovarium.

TUGAS

1. Jelaskan pengertian reproduksi secara seksual dan aseksual!
2. Jelaskan sistem reproduksi pada pisces!
3. Jelaskan sistem genetalia pada laki-laki!

BAB X

TERMOREGULASI

A. Pengertian Termoregulasi

Termoregulasi ialah proses yang terjadi pada hewan untuk mengatur suhu tubuhnya supaya tetap konstan, paling tidak supaya suhu tubuhnya tidak mengalami perubahan yang terlalu besar. Persoalannya, tidak semua hewan mampu mempertahankan suhu tubuhnya dinamakan homeoterm, sedangkan yang tidak mampu mempertahankan suhu tubuhnya disebut poikiloterm. Mekanisme termoregulasi yang dilakukan hewan ialah dengan mengatur keseimbangan antara perolehan dan kehilangan/pelepasan panas.

B. Pentingnya Suhu Tubuh yang Stabil bagi Hewan

Suhu tubuh pada kebanyakan hewan dipengaruhi oleh suhu lingkungannya. Ada hewan yang dapat bertahan hidup pada suhu -2°C , sementara hewan lainnya dapat hidup pada suhu 50°C , misalnya hewan yang hidup di gurun. Bahkan ada hewan yang dapat bertahan hidup pada suhu yang lebih ekstrim lagi, contohnya beberapa cacing polikhaeta yang hidup di palung laut dalam, pada suhu lebih dari 80°C . Meskipun demikian untuk hidup secara normal, sebagian besar hewan memilih kisaran suhu yang lebih sempit dari kisaran suhu tersebut. Sekalipun suhu tubuh kebanyakan hewan dipengaruhi oleh lingkungan luarnya, kenyataan menunjukkan bahwa burung dan mamalia dapat mengatur suhu tubuh mereka.

Mengapa suhu tubuh hewan harus dipertahankan agar tetap konstan? Suhu tubuh yang konstan (tidak banyak berubah) sangat dibutuhkan hewan karena beberapa alasan. Pertama, perubahan suhu dapat mempengaruhi komformasi protein dan aktivitas enzim. Apabila aktivitas sel terganggu. Dengan demikian perubahan suhu dalam tubuh hewan akan memengaruhi kecepatan reaksi metabolisme dalam sel.

Kedua, perubahan suhu tubuh berpengaruh terhadap energi kinetik yang dimiliki oleh setiap molekul zat sehingga peningkatan suhu tubuh akan memberi peluang yang lebih besar kepada beberapa partikel zat untuk saling bertumbukan. Hal ini mendorong terjadinya berbagai reaksi penting dan mungkin meningkatkan kecepataannya. Jadi peningkatan suhu tubuh hewan dapat meningkatkan laju reaksi dalam sel. Meskipun begitu, jika peningkatan laju reaksi terjadi secara tidak terkendali maka hal itu akan merugikan.

C. Poikiloterm dan Homeoterm

Hewan poikiloterm yaitu hewan yang suhu tubuhnya selalu berubah seiring dengan berubahnya suhu lingkungan. Sementara hewan homeoterm yaitu hewan yang suhu tubuhnya selalu konstan/tidak berubah sekalipun suhu lingkungannya sangat berubah. Hewan poikiloterm juga dapat disebut, sebagai ektoterm karena suhu tubuhnya ditentukan dan dipengaruhi oleh suhu lingkungan eksternalnya. Sementara homeoterm dapat disebut endoterm karena suhu tubuhnya diatur oleh produksi panas yang terjadi dalam tubuh. Sebenarnya insekta dikelompokkan hewan ektoterm, tetapi ada beberapa insekta, misalnya lalat, yang dapat menghasilkan tambahan panas tubuh dengan melakukan kontraksi otot. Dengan alasan itu, lalat dikatakan bersifat endotermik sebagian.

D. Interaksi Panas antar Hewan dan Lingkungannya

Hewan ternyata dapat memperoleh manfaat yang besar dari pertukaran panas ini. Interaksi panas tersebut ternyata dimanfaatkan oleh hewan sebagai cara untuk mengatur suhu tubuh mereka, yaitu untuk meningkatkan dan menurunkan pelepasan panas dari tubuh, atau sebaliknya, untuk memperoleh panas. Interaksi/pertukaran panas antara hewan dan lingkungannya dapat terjadi melalui empat cara, yaitu konduksi, konveksi, radiasi, dan evaporasi.

1. Konduksi

Konduksi panas adalah perpindahan atau pergerakan panas antara dua benda yang saling bersentuhan. Dalam hal ini, panas akan berpindah dari benda yang

suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah. Setiap benda memiliki konduktivitas yang berbeda. Logam mempunyai konduktivitas yang tinggi, sedangkan hewan memiliki konduktivitas panas yang rendah.

2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas antara dua benda, yang terjadi pada zat alir (fluida) yang bergerak. Dalam hal ini, panas dari tubuh hewan dipindah ke zat alir yang bergerak di dekatnya. Sebagai contoh, orang yang menggunakan kipas angin atau berkipas-kipas karena kepanasan. Pada awalnya, udara di sekitar tubuh orang tersebut tidak panas, namun sesaat kemudian menjadi panas akibat adanya konduksi panas dari tubuh orang tersebut. Setelah itu, udara panas itu mengalir/berpindah tempat, dan tempatnya digantikan oleh udara yang lebih dingin.

3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas anatara dua benda yang tidak saling bersentuhan. Contohnya untuk hal ini misalnya perpindahan panas dari matahari ke tubuh hewan, dan panas api dari perapian ke tubuh manusia ke lingkungannya, atau dari panas lampu OHP ke tubuh penerima OHP. Semakin tinggi suhu benda yang mengeluarkan radiasi, semakin tinghi pula intensitas radiasinya.

4. Evaporasi

Evaporasi atau penguapan ialah proses perubahan benda dari fase cair ke fase gas. Perubahan benda (misalnya air) dari fase cair ke fase gas memerlukan sejumlah besar energi dalam bentuk panas. Oleh karena itu, apabila air direbus dengan menggunakan panas api atau listrik, lama-kelamaan air tersebut akan berubah menjadi uap. Evaporasi merupakan cara yang penting bagi hewan untuk melepaskan panas dari tubuh. Pada manusia untuk menanggapi kenaikan suhu tubuh dengan cara mengeluarkan keringat. Untuk hewan yang tidak bsia berkeringat seperti burung dan anjing, jika tubuhnya panas, akan meningkatkan penguapan melalui saluran pernapasan mereka, dengan cara terengah-engah.

Terengah-engah pada anjing, diikuti dengan menjulurkan lidahnya, dianggap sebagai sumber pelepasan panas bermakana.

E. Termoregulasi pada Ektoterm

Ektoterm merupakan hewan yang suhu tubuhnya dipengaruhi oleh suhu lingkungan sekitarnya. Perolehan panas tubuh pada hewan ektoterm tergantung pada berbagai sumber panas di lingkungan luar. Masalah yang dihadapi oleh hewan ektoterm tidak sama, tergantung pada jenis habitatnya.

1. Termoregulasi pada Ektoterm Akuatik

Suhu pada lingkungan akuatik relatif stabil sehingga hewan yang hidup di dalamnya tidak mengalami permasalahan suhu lingkungan yang rumit. Dalam lingkungan akuatik, hewan tidak mungkin melepaskan panas tubuh dengan cara evaporasi. Pelepasan panas dari tubuh hewan (ikan) terutama terjadi melalui insang.

Beberapa jenis ikan seperti ikan hiu dan tuna telah memiliki kemampuan untuk mempertahankan adanya perbedaan suhu antara suatu bagian tubuh yang lain. Ikan tuna juga mampu meningkatkan laju reaksi metabolik di dalam tubuhnya, terutama pada otot yang digunakan untuk berenang dan pada saluran pencernaannya sehingga bagian tersebut selalu lebih panas dari pada bagian lainnya. Kemampuan tersebut dimiliki karena adanya *heat exchanger* (penukar panas) pada tubuhnya. Heat exchanger bekerja pada prinsip *counter current* (arus bolak-balik). Selama heat exchanger bekerja, darah pada pembuluh arteri yang lebih dingin mengalir dari insang berdampingan dengan pembuluh vena yang suhunya lebih tinggi, yang mengalir ke insang. Dengan cara itu, panas dapat dipindahkan dari darah vena ke darah arteri, dan masuk kembali ke dalam organ tubuh sehingga suhu pada otot renang tetap berkisar antara 12-15^o C, lebih tinggi dari suhu air.

2. Termoregulasi pada Ektoterm Terrestrial

Berbeda dengan lingkungan akuatik, suhu di lingkungan terrestrial selalu berubah dengan variasi yang cukup besar. Perubahan suhu ini sangat mudah kita rasakan, misalnya dengan membandingkan suhu udara pada siang dan malam hari. Cara terpenting yang dilakukan oleh hewan ektotermik terrestrial untuk memperoleh panas ialah dengan menyerap panas/radiasi matahari. Hewan dapat meningkatkan penyerapan panasmatahari dengan cara mengubah warna permukaan tubuhnya dan menghadapkan tubuhnya ke arah matahari, contohnya antara lain adalah belalang rumput (belalang hijau) dan kumbang.

Vertebrata ektoterm, contohnya kadal, juga melakukan hal yang serupa dengan belalang dan kumbang, yaitu berjemur untuk menyerap radiasi matahari. Untuk memaksimalkan penyerapan radiasi, kadal akan mengubah penyebaran melanin di kulitnya sehingga warnanya menjadi lebih gelap, dan hal ini sangat penting untuk penyerapan panas secara efektif.

3. Adaptasi Ektoterm terhadap Suhu Ekstrim

Tabel 2. Cara Adaptasi Hewan Ektoterm terhadap Suhu Sangat panas dan Sangat Dingin

Adaptasi terhadap Suhu Sangat Panas	Adaptasi terhadap Suhu Sangat dingin
<p>Cara pertama</p> <p>Meningkatkan laju pendinginan dengan penguapan:</p> <p>a. Melalui kulit, bagi hewan yang berkulit lembab; (cacing, katak); atau dengan cara berkeringat (untuk hewan yang mempunyai kelenjar keringat).</p> <p>b. Melalui saluran napas, bagi hewan yang kulitnya tebal dan kedap air</p>	<p>Cara pertama</p> <p>Menambah zat terlarut ke dalam cairan tubuhnya untuk meningkatkan konsentrasi osmotik. Dengan demikian, titik beku cairan tubuhnya dapat diturunkan hingga suhu dibawah 0° C. Zat-zat terlarut yang ditambahkan biasanya berupa gula, seperti fruktosa atau derivatnya dan gliserol. Contoh: lalat dari Alaska,</p>

<p>(reptil dan insekta).</p> <p>Cara kedua</p> <p>Mengubah mesin metaboliknya agar bisa bekerja pada suhu tinggi. Hewan yang dapat melakukan hal ini anatar lain golongan kadal/reptil gurun.</p> <p>Contoh organisme lain (bukan hewan) yang dapat melakukan hal itu ialah bakteri, yang masih dapat hidup pada suhu mendekati 100° C.</p> <p>Contoh hewan yang dapat hidup mendekati titik didih tampaknya tidak ada.</p>	<p><i>Rhabdophaga strobiloides</i>, yang dapat bertahan hingga suhu -60° C. Gliserol bermanfaat untuk melindungi membran dan enzim dari denaturasi akibat suhu tubuh yang sangat dingin.</p> <p>Cara kedua</p> <p>Menambahkan protein (glikoprotein) anti beku ke dalam cairan tubuh (misalnya pada ikan es dari Antartika, <i>Trematomus borchgrvinkii</i>). Glikoprotein yang dimaksud ialah molekul polimer dari sejumlah monomer yang tersusun atas tripeptida, yang terikat pada derivat galaktosamin (alanin-alanin-treonin-galaktosa-derivat).</p> <p>Senyawa ini sangat penting untuk menghambat pembentukan kristal-kristal es di dalam sel dan mencegah kerusakan membran.</p> <p>Cara ketiga</p> <p><i>Supercooling</i>, yaitu aktivitas menurunkan titik beku air sampai serendah -30° – -20° C (mekanismenya belum jelas)</p>
---	--

F. Termoregulasi pada Endoterm

Endoterm merupakan hewan yang panas tubuhnya berasal dari dalam tubuh, sebagai hasil dari proses metabolisme sel tubuh. Suhu tubuh hewan endoterm dipertahankan agar tetap konstan, walaupun suhu lingkungannya selau berubah, hewan endoterm meliputi burung dan mamalia.

Pada hewan endoterm dapat kita temukan adanya variasi suhu tubuh yang cukup besar. Sebagai contoh, platipus (mamalia monotermata, *Ornithorhynchus*) memiliki suhu tubuh sekitar 30° C, sedangkan suhu tubuh hewan pelatuk dapat mencapai 42° C.

Tabel 4. Cara Hewan Endoterm Mempertahankan Suhu Tubuh

Cara yang dilakukan Hewan Endoterm Untuk		
Meningkatkan pelepasan panas karena suhu tubuh terlalu tinggi	Termoregulasi	Mempertahankan/meningkatkan produksi panas karena suhu tubuh terlalu rendah
<ol style="list-style-type: none"> 1. Vasodilatasi daerah perifer tubuh. 2. Berkeringat, terengah-engah. 3. Menurunkan laju metabolisme (misalnya dengan menekan sekresi tiroksin). 4. Respon perilaku (misalnya bertelanjang dada, berendam) 	Mempertahankan suhu tubuh agar tidak berubah	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vasokonstriksi. 2. Menegakkan rambut (merinding). 3. Menggigil (<i>shivering</i>). 4. Meningkatkan laju metabolisme dengan sekresi tiroksin. 5. Respon perilaku (misalnya berjaket, menggosok-gosok telapak tangan, membuat perapian)

di air, dan berkipas-kipas)		
--------------------------------	--	--

Produksi panas pada hewan endoterm terjadi melalui mekanisme sebagai berikut.

1. Meningkatkan produksi panas metabolik dalam otot rangka (harus ada kontraksi otot, antara lain dengan cara menggigil). Menggigil (*shivering*) merupakan gerakan yang tidak teratur dan tidak mempunyai tujuan pergerakan tertentu. Kontraksi otot dapat terjadi secara sadar (misalnya dengan menggerakkan kaki/tangan) atau tanpa sadar (dengan menggigil, misalnya saat dingin).
2. Mekanisme pembentukan panas yang bukan berasal dari proses menggigil, meliputi berbagai proses sebagai berikut.
 - a. Metabolisme jaringan lemak cokelat, seperti yang dilakukan oleh golongan mamalia eutherina (mamalia berplasenta). Jaringan lemak cokelat dibungkus oleh selaput yang dipersarafi dengan baik oleh sistem saraf simpatis. Jika jaringan lemak coklat dirangsang, lemak akan dimetabolisme dalam mitokondria sel lemak, dan panas akan dihasilkan. Kelemahan cara tersebut adalah membutuhkan banyak oksigen sehingga hewan harus meningkatkan pasokan oksigen.
 - b. Meningkatkan sekresi hormon tiroid (T_3 dan T_4), yang dapat meningkatkan metabolisme dalam sel.
 - c. Menyerap radiasi panas matahari.
 - d. Menegakkan rambut/bulu sehingga pelepasan panas secara konveksi dapat diperkecil.
 - e. Mengurangi aliran darah ke organ perifer dengan vasokonstriksi (menyempitkan pembuluh darah).
 - f. Memberikan berbagai tanggapan perilaku, antara lain berselimut, berjaket, berjemur, dan menggosok-gosokkan kedua telapak tangan.

Pelepasan panas dari tubuh hewan endoterm terjadi dengan beberapa cara, antara lain sebagai berikut.

1. Melepaskan panas ke lingkungan melalui vasodilatasi pembuluh darah perifer.
2. Meningkatkan penguapan air melalui kulit (misalnya dengan berkeringat) atau melalui saluran pernapasan (dengan engah-engah, misalnya pada anjing dan burung yang tidak mempunyai kelenjar keringat). Kanguru melakukannya dengan membasahi rambutnya dengan air ludah. Penguapan air ludah tersebut menimbulkan efek pendingin.

1. Adaptasi Endoterm Terhadap Suhu Ekstrem

- a. Masuk ke dalam kondisi *heterotermi*, yaitu mempertahankan adanya perbedaan suhu di antara berbagai bagian tubuh. Contoh yang baik untuk ini adalah burung dan mamalia kutub. Burung dan mamalia kutub mempunyai suhu pada pusat tubuh sebesar 38° C. Namun suhu pada kakinya hanya sekitar 3° C. Secara fisiologis, kaki tetap berfungsi normal. Jadi, sistem saraf di kaki tetap berfungsi dengan baik pada suhu 3°C. Berarti, hewan tersebut telah beradaptasi pada tingkat sel dan tingkat molekul.
- b. *Hibernasi* atau *torpor*, yaitu penurunan suhu tubuh yang berkaitan dengan adanya penurunan laju metabolisme, laju denyut jantung, laju respirasi, dan sebagainya. Periode hibernasi bervariasi mulai dari beberapa jam hingga beberapa minggu, bahkan beberapa bulan. Berakhirnya hibernasi dicapai dengan kebangkitan spontan melalui peningkatan laju metabolisme dan suhu tubuh secara cepat, yang akan segera mengembalikannya ke keadaan normal.

Cara hewan endoterm untuk melawan suhu yang sangat panas ialah sebagai berikut.

- a. Meningkatkan pelepasan panas tubuh dengan meningkatkan penguapan, baik melalui proses berkeringat ataupun terengah-engah.
- b. Melakukan *gular fluttering*, yaitu menggerakkan daerah kerongkongan secara cepat dan terus-menerus sehingga penguapan melalui saluran pernapasan (dan mulut) dapat meningkat, dan akibatnya pelepasan panas tubuh juga meningkat. Misal, pada ayam yang sedang mengerami telurnya.
- c. Menggunakan strategi *hipotermik*, yaitu mempertahankan atau menyimpan kelebihan panas metabolik di dalam tubuh sehingga suhu tubuh meningkat secara tinggi. Cara ini dapat ditemukan pada unta dan rusa guru. Namun hipotermik juga menimbulkan masalah pada hewan karena organ tertentu dalam tubuh (misalnya otak) kurang mampu menoleransi kenaikan suhu yang terlalu besar. Oleh karena itu harus ada teknik untuk mendinginkan otak. Pendinginan otak pada unta dapat dilakukn dengan menggunakan suatu cara yang prinsip kerjanya mirip dengan *heat exchanger* pada ikan tuna, namun lokasinya terletak pada rongga hidung.

2. Pengendalian Suhu Tubuh Endoterm

Komponen yang diperlukan untuk menyelenggarakan pengendalian suhu tubuh ialah reseptor (termoreseptor), komperator (koordinator), dan efektor. Ada dua macam reseptor yang terlibat, yaitu reseptor panas dan dingin. Pada saat ada rangsangan berupa peningkatan suhu tubuh, reseptor panas akan terdepolarisasi. Sementara itu, reseptor dingin akan menghasilkan potensial aksi hanya jika ada rangsangan berupa penurunan suhu. Reseptor tersebut terdapat di dua tempat, yaitu hipotalamus dan kulit. Keberadaan reseptor di hipotalamus dan kulit ini penting agar dapat memantau perubahan suhu di pusat maupun di perifer tubuh.

TUGAS

1. Mengapa hewan perlu menjaga suhu tubuh agar tetap stabil? Jelaskan!
2. Jelaskan maksud dari poikiloterm dan homeoterm! Berikan contoh hewan dari masing-masing golongan tersebut
3. Jelaskan cara hewan poikiloterm beradaptasi terhadap suhu ekstrim panas dan ekstrim dingin!

BAB XI

SISTEM EKSKRESI

A. Ekskresi Hewan Darat dan Aquatik

1. Ekskresi Hewan Darat

Salah satu contoh ekskresi pada hewan darat yaitu pada mamalia. Pada mamalia paru-paru merupakan satu-satunya organ ekresi bagi CO₂. Air yang dibuang melalui paru-paru berasal dari aktifitas metabolisme yaitu merupakan zat buangan dari respirasi. Hati merupakan alat tubuh yang memiliki peranan sangat banyak dan penting. Ada 2 peranan penting yang dilakukan oleh hati yaitu tempat penyimpanan zat makanan dan penguraian serta pembuangan zat-zat sisa yang tidak diperlukan oleh tubuh. Peran hati yang paling penting sebagai organ ekresi adalah pembentukan zat buangan bernitrogen dengan jalan deaminasi asam amino.

Pada mamalia ginjal juga merupakan organ utama yang melakukan proses ekresi dimana mengekresikan zat-zat sisa metabolisme yang mengandung nitrogen misalnya amonia. Amonia adalah hasil pemecahan protein dan bermacam-macam garam, melalui proses deaminasi atau proses pembusukan mikroba dalam usus. Selain itu, ginjal juga berfungsi mengekresikan zat yang jumlahnya berlebihan, misalnya vitamin yang larut dalam air, mempertahankan cairan ekstraselular dengan jalan mengeluarkan air bila berlebihan, serta mempertahankan keseimbangan asam dan basa. Sekresi dari ginjal berupa urin.

2. Ekskresi Hewan Aquatik

Ikan mempunyai sistem ekskresi berupa ginjal dan suatu lubang pengeluaran yang disebut urogenital. Lubang urogenital ialah lubang tempat bermuaranya saluran ginjal dan saluran kelamin yang berada tepat dibelakang anus. Ginjal pada ikan yang hidup di air tawar dilengkapi sejumlah glomerulus yang jumlahnya lebih banyak. Sedangkan ikan yang hidup di air laut memiliki sedikit glomerulus sehingga penyaringan sisa hasil metabolisme berjalan lambat.

B. Organ Ekskresi Pada Hewan

1. Protozoa

Protozoa terus menerus mengeluarkan kelebihan air dari dalam tubuhnya untuk mempertahankan cairan tubuh yang hiperosmotis, maka protozoa tidak harus mengeluarkan hanya air saja tetapi juga mengganti zat-zat terlarut yang ikut hilang.

2. Coelenterata

Coelenterate mensekresikan sisa metabolismenya melalui proses difusi, dan ia memiliki astrosit-astrosit yaitu sel-sel fagosit yang dapat menelan dan memindahkan zat-zat asing.

C. Hewan yang Memiliki Organ-Organ Nefridial

Organ ekskretori terdapat pada hewan memiliki tubuh bilateral simetris, salah satu tipenya yaitu nefridial. Terdapat dua organ utama nefridial yaitu:

1. Protonefridium, suatu pembuluh yang ujung internalnya tertutup dan pada bagian dalam ujungnya ini memiliki sel api atau sel rambut (seperti pada Platyhelminthes)
2. Metanefridium, suatu pembuluh yang ujungnya berhubungan dengan rongga tubuh contohnya Annelida

a. Kelenjar Antenal (pada Crustacea)

Organ ekresi pada crustacean adalah kelenjar tunal atau kelenjar hijau, sepasang kelenjar ini terletak pada kepala, yang masing-masing terdiri dari suatu kantung awal yaitu suatu saluran ekresitori bergulung yang panjang dan bladder yang bermuara pada lubang dekat dasar antenna. Oleh karena itu namanya kelenjar antenal. Urin pada kelenjar antenal di bentuk melalui filtrasi dan reabsorpsi.

b. Pembuluh Malpighi

Alat ekskresi pada belalang (Insecta) adalah pembuluh Malpighi, yaitu alat pengeluaran yang berfungsi seperti ginjal pada vertebrata. Pembuluh Malpighi berupa kumpulan benang halus yang berwarna putih kekuningan dan pangkalnya melekat pada pangkal dinding usus. Di samping pembuluh Malpighi, serangga juga memiliki sistem trakea untuk mengeluarkan zat sisa hasil oksidasi yang berupa CO₂. Sistem trakea ini berfungsi seperti paru-paru pada vertebrata.

D. Sistem Ekskresi Pada Hewan Invertebrata

Sistem ekskresi pada hewan invertebrata lebih sederhana dibandingkan hewan vertebrata. Berikut ini beberapa penjelasan mengenai sistem ekskresi beberapa hewan invertebrata.

1. Organ Sistem Ekskresi Makhluk Hidup Satu Sel (Protozoa)

Makhluk hidup satu sel mengeluarkan sisa-sisa metabolismenya dengan cara difusi. Karbondioksida hasil respirasi seluler dikeluarkan dengan cara difusi. Selain itu, ada cara lain, yaitu dengan membentuk vakuola yang berisi sisa metabolisme.

2. Organ Sistem Ekskresi Planaria

Organ ekskresi yang paling sederhana dapat ditemukan pada cacing pipih atau planaria. Organ ekskresi pada planaria berupa jaringan menyerupai pipa yang bercabang-cabang, organ tersebut bernama protonefridia. Jaringan pipa tersebut dinamakan nefridiofor. Ujung dari cabang nefridiofor disebut sel api (*flame cell*). Disebut demikian karena ujung sel tersebut terus bergerak menyerap dan menyaring sisa metabolisme pada sel-sel di sekitarnya. Kemudian, mengalirkannya melalui nefridiofor menuju pembuluh ekskretori.

3. Organ Sistem Ekskresi Cacing Tanah

Cacing tanah, moluska, dan beberapa hewan invertebrata lainnya memiliki struktur ginjal sederhana yang disebut nefridia. Struktur tersebut terdapat di setiap

segmen tubuhnya. Dalam cairan tubuh cacing tanah yang memenuhi rongga tubuhnya, terkandung sisa metabolisme maupun nutrisi.

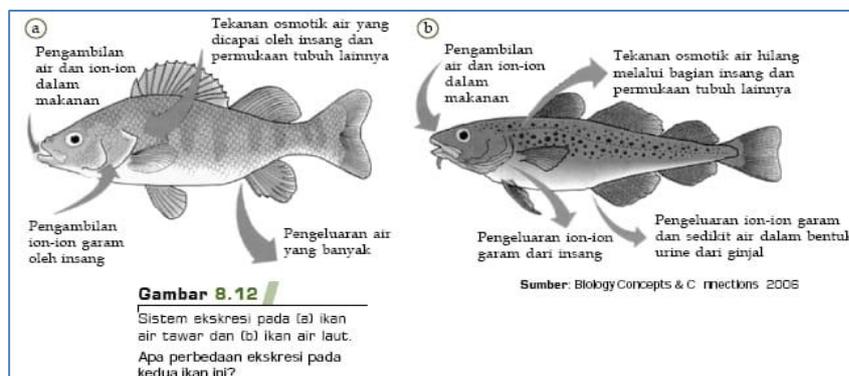
Cairan inilah yang disaring oleh ujung tabung berbentuk corong dengan silia yang disebut nefrostom. Dari nefrostom, hasil yang disaring tersebut kemudian dibawa melewati tubulus sederhana yang juga diselaputi oleh kapiler-kapiler darah. Pada tubulus ini, terjadi proses reabsorpsi bahan-bahan yang penting, seperti garam-garam dan nutrisi terlarut. Air dan zat-zat buangan dikumpulkan dalam tubulus pengumpul, suatu wadah yang merupakan bagian dari nefridia untuk selanjutnya dikeluarkan melalui lubang ekskretori di dinding tubuh, yang biasa disebut nefridiofor.

4. Organ Sistem Ekskresi Serangga

Alat ekskresi pada serangga, contohnya belalang adalah tubulus Malpighi. Badan Malpighi berbentuk buluh-buluh halus yang terikat pada ujung usus posterior belalang dan berwarna kekuningan. Zat-zat buangan diambil dari cairan tubuh (hemolimfa) oleh saluran Malpighi di bagian ujung. Kemudian, cairan masuk ke bagian proksimal lalu masuk ke usus belakang dan dikeluarkan bersama feses dalam bentuk kristal asam urat.

E. Sistem Ekskresi Pada Hewan Vertebrata

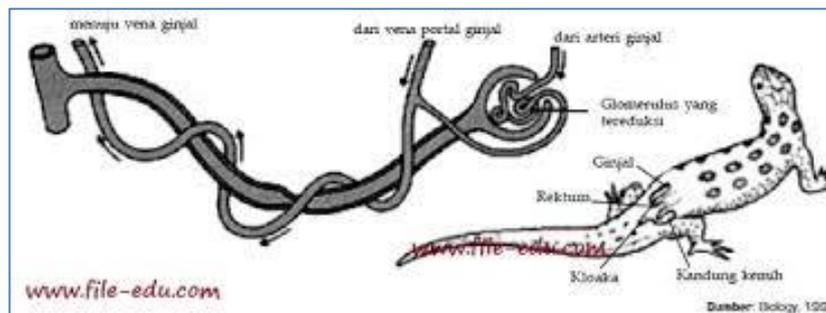
1. Organ Sistem Ekskresi Pisces (Ikan)



Gambar 26. Sistem Ekskresi pada Ikan

Ginjal pada ikan adalah sepasang ginjal sederhana yang disebut mesonefros. Setelah dewasa, mesonefros akan berkembang menjadi ginjal opisthonefros. Tubulus ginjal pada ikan mengalami modifikasi menjadi saluran yang berperan dalam transport spermatozoa (duktus eferen) ke arah kloaka. Ikan memiliki bentuk ginjal yang berbeda, sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan sekitarnya. Pada ikan air tawar, kondisi lingkungan sekitar yang hipotonis membuat jaringan ikan sangat mudah mengalami kelebihan cairan.

2. Organ Sistem Ekskresi Reptilia



Gambar 27. Sistem Ekskresi Reptil

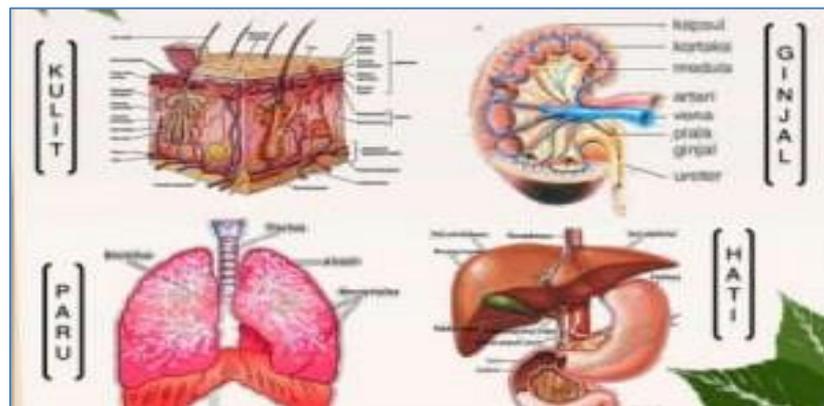
Tipe ginjal pada Reptilia adalah metanefros. Pada saat embrio, Reptilia memiliki ginjal tipe pronefros, kemudian pada saat dewasa berubah menjadi mesonefros hingga metanefros. Hasil ekskresi pada Reptilia adalah asam urat. Asam urat ini tidak terlalu toksik jika dibandingkan dengan amonia yang dihasilkan oleh Mammalia. Asam urat dapat juga diekskresikan tanpa disertai air dalam volume yang besar. Asam urat tersebut dapat diekskresikan dalam bentuk pasta berwarna putih.

3. Organ Sistem Ekskresi Aves

Burung memiliki ginjal dengan tipe metanefros. Burung tidak memiliki kandung kemih sehingga urine dan fesesnya bersatu dan keluar melalui lubang kloaka. Urine pada burung diekskresikan dalam bentuk asam urat. Metabolisme burung sangat cepat. Dengan demikian, sistem ekskresi juga harus memiliki

dinamika yang sangat tinggi. Peningkatan efektivitas ini terlihat pada jumlah nefron yang dimiliki oleh ginjal burung. Setiap 1 mm³ ginjal burung, terdapat 100–500 nefron.

4. Sistem Ekskresi Pada Manusia



Gambar 28. Organ Ekskresi pada Manusia

Sistem Ekskresi adalah sistem pengeluaran zat-zat sisa metabolisme yang tidak berguna bagi tubuh dari dalam tubuh, seperti: Menghembuskan gas CO₂ ketika kita bernafas Berkeringat Buang air kecil (urine) . 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. Zat sisa ini sudah tidak berguna lagi bagi tubuh. Sisa metabolisme antara lain, CO₂, H₂O, NHS, zat warna empedu, dan asam urat.

TUGAS

1. Jelaskan sistem ekskresi pada mamalia!
2. Jelaskan sistem ekskresi pada ikan!
3. Jelaskan sistem ekskresi pada cacing tanah!

BAB XII

OSMOREGULASI

A. Pentingnya Osmoregulasi bagi Hewan

Proses inti dalam osmoregulasi yaitu osmosis. Osmosis adalah pergerakan air dari cairan yang mempunyai kandungan air lebih tinggi (yang lebih encer) menuju ke cairan yang mempunyai kandungan air lebih rendah (yang lebih pekat). Contoh osmosis ialah pergerakan air dari larutan gula 5% menuju larutan gula 15%. Dalam contoh tersebut, air akan bergerak terus dari larutan gula 5% menuju larutan gula 15% sampai terciptanya keadaan seimbang anatar keduanya. Dengan kata lain, osmosis akan berhenti apabila kedua larutan mencapai konsentrasi yang sama, yaitu 10%. Apabila keadaan ini telah tercapai, berarti kedua larutan sudah mencapai kondisi isotonis.

Konsep tekanan osmotik dapat menimbulkan kebingungan sehingga sebagian orang lebih suka menggunakan istilah konsentrasi osmotik. Jika suatu larutan memiliki konsentrasi osmotik lebih tinggi, tekanan osmotiknya juga pasti lebih tinggi. Larutan yang mempunyai konsentrasi osmotik lebih tinggi dari pada larutan yang lain disebut larutan hiperosmotik. Sebaliknya, larutan yang memiliki konsentrasi osmotik lebih rendah dari pada larutan lainnya dinamakan larutan hiposmotik.

B. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Air Laut

Kebanyakan hewan invertebrata laut bersifat osmokonformer, ditandai dengan adanya konsentrasi osmotik tekanan tubuhnya yang sama dengan air laut tempat hidup mereka. Hal ini berarti bahwa mereka berada dalam keseimbangan osmotik dengan lingkungannya (tidak ada perolehan ataupun kehilangan air). Akan tetapi, bukan berarti bahwa mereka berada dalam keseimbangan ionik. Jadi, antara

air laut dan cairan di dalam tubuh hewan terdapat perbedaan komposisi ion, yang akan menghasilkan gradien konsentrasi. Dalam keadaan demikian, hewan memiliki peluang untuk memperoleh masukan ion tertentu dari air laut, apabila konsentrasi ion tersebut di laut lebih tinggi dari pada yang terdapat di dalam tubuh hewan. Pemasukan ion tersebut akan membuat cairan tubuh hewan menjadi hiperosmotik dibanding air laut, dan keadaan tersebut akan menyebabkan terjadinya pemasukan air ke dalam tubuh hewan. Dengan cara demikian, hewan osmokonformer dapat memperoleh masukan berbagai macam zat yang dibutuhkan.

Cara osmoregulasi pada vertebrata laut berbeda dengan osmoregulasi pada vertebrata. Vertebrata laut dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu konformer osmotik dan ionik (osmokonformer) serta regulator osmotik dan ionik. Contoh vertebrata laut yang membentuk keseimbangan osmotik dan ionik dengan air laut adalah siklostoma (*hagfish*), yang merupakan vertebrata primitif. Hewan ini melakukan osmoregulasi dengan cara yang sama seperti yang dilakukan invertebrata laut. Aktivitas regulasi osmotik dan ionik pada ikan laut pada umumnya tidak sama dan memperlihatkan adanya tingkatan, konsentrasi osmotik plasma ikan laut pada umumnya mendekati sepertiga dari konsentrasi osmotik air laut. Dengan demikian mereka adalah regulator hipoosmotik. Sejumlah mamalia laut, contohnya lumba-lumba dan ikan paus, menghadapi masalah pemasukan garam yang lebih banyak ke dalam tubuhnya, yang masuk bersama makanan. Masalah tersebut diatasi dengan dimilikinya ginjal yang sangat efisien sehingga dapat menghasilkan urin yang sangat pekat.

C. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Air Tawar

Hewan air tawar memiliki cairan tubuh dengan tekanan osmotik yang lebih tinggi dari lingkungannya (hiperosmotik/hipertonis). Berarti mereka terancam oleh dua hal utama, yaitu kehilangan garam dan pemasukan air yang berlebihan. Vertebrata dan invertebrata air tawar membatasi pemasukan air (dan kehilangan ion) dengan cara membentuk permukaan tubuh yang impermeabel

terhadap air. Meskipun demikian, air dan ion tetap dapat bergerak melewati insang yang relatif terbuka. Air yang masuk ke dalam tubuh invertebrata dikeluarkan dalam bentuk urin. Laju aliran urin pada invertebrata air tawar jauh lebih tinggi dari pada yang dialami oleh hewan laut.

Akan tetapi, pengeluaran urin juga menyebabkan pengeluaran ion. Oleh karena itu, hewan perlu melakukan transpor aktif untuk memasukan ion ke dalam tubuhnya. Pada krustasea air tawar, transpor aktif ion terjadi melalui insang. Vertebrata air tawar melakukan hal yang hampir sama dengan invertebrata air tawar, yaitu memasukan ion dan garam dengan transpor aktif.

D. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Payau

Lingkungan payau ialah lingkungan akuatik di daerah pantai, yang merupakan tempat pertemuan antara air sungai dan air laut. Pada jenis ikan seperti laprey, salmon, dan belut, perpindahan antara air tawar dan air bergaram merupakan bagian dari siklus hidup yang normal. Contoh hewan yang hidup di lingkungan payau ialah larva dari beberapa jenis nyamuk. Larva tersebut pada umumnya dapat tumbuh dengan sama baiknya, baik di air tawar maupun air bergaram yang beberapa kali lebih pekat dari cairan hemolimfanya. Bahkan larva tersebut, juga dapat menoleransi kadar garam yang tiga kali lebih tinggi dari pada kadar garam air laut.

Larva *aedes* menanggapi peningkatan kadar garam di luar tubuhnya dengan cara meningkatkan laju minum beberapa kali lipat. Akan tetapi, minum air juga berarti memasukan berbagai ion terlarut dalam jumlah berlebihan. Kelebihan berbagai ion terlarut ini harus dikeluarkan dari dalam tubuh, dan hal ini dilakukan melalui tubulus malpighi dan rektum. Larva ini juga memiliki struktur khusus yang disebut papila *anal*. Pada medium encer, papila anal berfungsi sebagai tempat/alat untuk mengambil ion secara aktif, tetapi pada medium yang pekat berfungsi sebagai alat untuk mengeluarkan kelebihan garam.

E. Osmoregulasi Hewan pada Lingkungan Darat

Hewan yang sangat berhasil hidup di darat dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu Artropoda dan Vertebrata. Kemampuannya untuk hidup di darat telah membuat dua kelompok hewan tersebut dapat meningkatkan perolehan oksigen, namun mempunyai masalah besar yang berkaitan dengan pengaturan keseimbangan air dan ion. Hewan darat juga mengalami keterbatasan untuk mendapatkan air sehingga mudah terancam dehidrasi. Kehilangan air dari tubuh hewan darat dapat terjadi dengan sangat mudah melalui penguapan. Air yang hilang tersebut harus diganti. Penguapan air dari tubuh hewan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor sebagai berikut.

1. Kandungan uap air di atmosfer: penguapan dapat ditekan apabila kandungan air di atmosfer (kelembaban relatif) meningkat.
2. Suhu: jika suhu atmosfer meningkat, penguapan akan bertambah cepat.
3. Gerakan udara pada permukaan benda yang melakukan evaporasi: laju penguapan meningkat, jika pergerakan udara meningkat (ada angin yang kuat).
4. Tekanan barometrik: jika tekanan barometrik menurun, laju penguapan bertambah.
5. Luas permukaan penguapan: apabila daerah permukaan yang menghadap ke lingkungan lebih luas, pelepasan air akan lebih besar/cepat.

1. Osmoregulasi pada invertebrata Darat

Invertebrata darat pada umumnya merupakan golongan Artropoda, insekta, dan laba-laba (yang paling banyak ialah insekta). Salah satu gambaran khas pada insekta ialah adanya rangka luar yang berlapis lilin, yang disebut lapisan kutikula. Adanya kutikula pada insekta merupakan cara untuk memperkecil kehilangan air melalui permukaan tubuh.

Tempat kedua yang merupakan jalan pelepasan air pada insekta adalah *spirakel*. Walaupun sejumlah trakea memiliki spirakel yang dilindungi khitin,

pelepasan air melalui bagian tersebut tetap menjadidi beban yang berat bagi hewan. Sebagai untuk membatasi pelepasan air, beberapa insekta melakukan respirasi siklik atau respirasi diskontinyu. Dalam proses tersebut, insekta melakukan pengambilan oksigen dengan laju yang kontinyu, tetapi pelepasan karbondioksida dilakukan secara periodik dengan cara disemburkan. Di antara pelepasan yang satu dan pelapasan berikutnya, karbondioksida tetap larut (ditahan) dalam cairan tubuh. Selanjutnya, spirakel bergetar dan menutup sepenuhnya. Selama spirakel bergetar, tekanan dalam sistem trakea menjadi lebih rendah dari pada tekanan atmosfer. Keadaan ini menyebabkan udara atmosfer bergerak masuk ke dalam trakea, sedangkan aliran udara keluar dari tubuh dapat dicegah. Jadi, pada peristiwa tersebut terjadi inspirasi secara teratur, tetapi ekspirasi ditunda. Berarti setiap kali inspirasi tidak selalu diikuti dengan ekspirasi.

2. Osmoregulasi pada Vertebrata Darat

Vertebrata darat pada umumnya memperoleh air dari air minum dan makanan. Untuk menghemat air, vertebrata melakukan berbagai cara yang bervariasi. Hewan darat seperti reptil, meliputi ular, buaya, kadal, dan kura-kura, memiliki kulit yang kering dan bersisik. Keadaan kulit yang kering dan bersisik tersebut diyakini merupakan cara beradaptasi yang baik terhadap kehidupan darat, yakni agar tidak kehilangan banyak air. Untuk lebih menghemat air, hewan tersebut menghasilkan zat sisa bernitrogen dalam bentuk asam urat, yang pengeluarannya hanya membutuhkan sedikit air. Selain itu, reptil juga melakukan penghematan air dengan menghasilkan feses yang kering. Bahkan, kadaal dan kura-kura pada saat mengalami dehidrasi mampu memanfaatkan urin encer yang dihasilkan dan disimpan di kandung kemihnya, dengan cara mereabsorbsinya.

Adaptasi untuk mempertahankan keseimbangan air juga dilakukan oleh burung. Pada burung, pengaturan keseimbangan air ternyata berkaitan erat dengan proses mempertahankan suhu tubuh. Burung yang hidup didaerah pantai dan memperoleh makanan dari laut (burung laut) menghadapi masalah berupa pemasukan garam yang berlebihan. Hal ini berarti bahwa burung tersebut harus

berusaha mengeluarkan kelebihan garam pada tubuhnya. Burung mengeluarkan kelebihan tubuhnya tersebut melalui kelenjar garam, yang terdapat pada cekung dangkal di kepala bagian atas, di sebelah atas tiap matanya, di dekat hidung. Apabila burung laut menghadapi kelebihan garam di dalam tubuhnya, hewan itu akan menyekresikan cairan pekat yang banyak mengandung NaCl. Kelenjar garam ini hanya aktif pada saat tubuh burung dijenuhkan oleh garam. Kelenjar serupa juga ditemukan pada reptil.

Pada mamalia, kehilangan air dan garam dapat terjadi lewat keringat. Sementara, cara mereka memperoleh air sama seperti vertebrata lainnya, yaitu dari air minum dan makanan. Akan tetapi, untuk mamalia yang hidup di padang pasir, memperoleh air dengan cara minum merupakan hal yang mustahil. Sebagai contoh, tikus kanguru (*Dipodomys spectabilis*) tidak minum air, tetapi dapat bertahan dengan menggunakan air metabolik yang dihasilkan dari oksidasi glukosa.

TUGAS

1. Apa yang dimaksud dengan osmoregulasi? Mengapa hewan perlu menjaga kestabilan tekanan osmotik di tubuhnya?
2. Apabila dalam tubuh hewan terjadi perubahan tekanan osmotik yang berlebihan, hal apa saja yang kira-kira akan terjadi pada hewan tersebut?
3. Jelaskan osmoregulasi pada vertebrata darat!

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N.A., J.B Recce and LG.Mitchell. 2000. *Biology*. Jakarta: Erlangga.
- Ferial, Eddyman W. 2013. *Biologi Reproduksi*. Jakarta: Erlangga.
- Isnaeni, W. 2006. *Fisiologi Hewan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Risa Purnamasari dkk. 2017. *Fisiologi Hewan*. <http://osf.io/r6uyb/>. (17 September 2020).
- Subowo. 1995. *Biologi Sel*. Bandung: Angkasa.