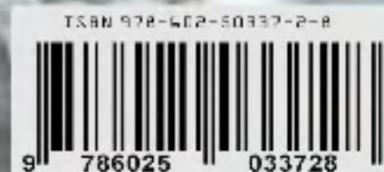


FISIOLOGI HEWAN



Penerbit
Program Studi Arsitektur
Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya



Risa Purnamasari
Dwi Rukma Santi
2017

FISIOLOGI HEWAN

FISIOLOGI HEWAN

RISA PURNAMASARI, S.Si., M.Si
DWI RUKMA SANTI, S.ST., M.Kes

PENERBIT
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
UIN SUNAN AMPEL

Fisiologi Hewan

Penulis :

Risa purnamasari
Dwi rukma santi

ISBN : 978-602-50337-2-8

Editor :

Eko Teguh Pribadi

Desain Sampul :

Saiku Rokhim

Penerbit :

Program Studi Arsitektur UIN Sunan Ampel
JL. A. Yani 117 Surabaya, Jawa Timur
Indonesia 60237
Email : arsitektur@uinsby.ac.id

Cetakan pertama, Desember 2017

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun
tanpa ijin tertulis dari penerbit

*Untuk
Mereka Yang Terkasih*

KATA PENGANTAR

Buku Fisiologi Hewan ini ditulis dengan tujuan memberikan kerangka dasar bagi mereka yang ingin mempelajari fungsi dan mekanisme kerja organ-organ tubuh hewan baik invertebrata maupun vertebrata, termasuk juga manusia didalamnya. Kesederhanaan desain materi yang disusun secara sistematis dengan dilengkapi gambar-gambar contoh bertujuan untuk memudahkan pembaca dalam memahami substansi keilmuannya. Karena kelengkapan isi serta karakteristik pembahasan tema fisiologis yang komprehensif, menjadikan buku ini bisa menjadi pilihan yang ideal bagi pelajar, mahasiswa, akademisi, dan mereka yang memiliki ketertarikan kuat terhadap ilmu fisiologi hewan.

Walaupun demikian kami sadar bahwa tidak ada sesuatu yang sempurna. Untuk itu kritik dan saran akan sangat membantu penulis dalam melakukan perbaikan dan penyempurnaan isi buku kedepan nantinya. Terlebih bahwa ilmu dan substansi pembelajaran fisiologi hewan tidak berhenti ditempat, namun selalu berkembang seiring berjalannya waktu. Oleh karenanya bila diijinkan, penulis juga berharap dapat menyusun dan menyelesaikan jilid berikutnya dari buku Fisiologi Hewan ini.

Dengan segala kerendahan hati dan ucapan syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT, penulis berharap karya ini dapat memberikan manfaat bagi mereka yang memiliki ketertarikan dalam mempelajari ilmu fisiologi hewan.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
I. SISTEM SIKULASI	1
Pendahuluan	1
Sistem Sirkulasi Invertebrata	1
Sistem Sirkulasi Vertebrata	8
II. SISTEM SARAF	14
Pendahuluan	14
Sistem Saraf Pusat	15
Makroanatomi Sistem Saraf Pusat	16
Mikroanatomi Sistem Saraf Pusat	19
Fungsi Bagian-Bagian Sistem Saraf Pusat	20
Sistem Saraf Tepi	22
Sistem Saraf Pada Vertebrata	27
III. SISTEM PENCERNAAN	29
Pendahuluan	29
Pencernaan Makanan	32
Sistem Pencernaan Pada Invertebrata	34
Sistem Pencernaan Vertebrata	38
IV. SISTEM PERNAPASAN	47
Pendahuluan	47
Alat Respirasi Pada Hewan	47
Tahap Pernapasan Pada Hewan	54
Mekanisme Transport Gas	55
Fisiologi Sistem Pernapasan Pada Manusia	56
V. SISTEM REPRODUKSI	60
Pendahuluan	60
Sistem Reproduksi Pada Amphibi	60
Sistem Reproduksi Pada Aves	62
Sistem Reproduksi Pada Reptil	63
Sistem Reproduksi Pada Pisces	65
Sistem Reproduksi Pada Mammalia (Manusia)	67
VI. SISTEM ENDOKRIN/HORMON	75
Pendahuluan	75
Sel Penyusun Organ Endokrin	75
Klasifikasi dan Sifat Hormon	76
Jenis Kelenjar Endokrin	78
Sistem Endokrin Pada Invertebrata	79
Sistem Endokrin Pada Vertebrata	80

VII. SISTEM EKSRESI DAN OSMOREGULASI	90
Pendahuluan	90
Ekskresi Hewan Darat dan Aquatik	90
Organ Ekskresi Pada Hewan	91
Sistem Ekskresi Pada Hewan Invertebrata	94
Sistem Ekskresi Pada Hewan Vertebrata	97
Sistem Ekskresi Pada Manusia	100
Sistem Osmoregulasi Pada Hewan	109
Pengaruh Lingkungan Terhadap Osmoregulasi	111
DAFTAR PUSTAKA	113



I. SISTEM SIRKULASI

Pendahuluan

Setiap organisme melakukan metabolisme, baik organisme uniseluler maupun multiseluler. Metabolisme berlangsung di dalam setiap sel makhluk hidup dan untuk itu diperlukan bahan-bahan untuk berlangsungnya proses metabolisme dengan lancar. Sel-sel mendapat suplai makanan atau bahan-bahan dari luar tubuh dan dihantarkan ke setiap sel melalui system sirkulasi. Sistem sirkulasi melakukan fungsi peredaran materi (bahan-bahan yang diperlukan oleh tubuh), hormone, oksigen, dan sisa-sisa metabolisme. Sistem sirkulasi atau sistem peredaran darah pada umumnya untuk organisasi tingkat rendah belum memiliki sistem sirkulasi secara khusus. Misalnya pada Amoeba dan paramecium, sirkulasi bahan-bahan metabolisme berikut sisa-sisa metabolisme dilakukan dengan aliran sitoplasma. Akan tetapi, proses difusi berlangsung sangat lambat sehingga cara tersebut tidak mungkin dapat memenuhi semua kebutuhan hewan berukuran besar (dengan ketebalan tubuh lebih dari beberapa milimeter) dan atau hewan yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi. Oleh karena itu, pada hewan tingkat tinggi diperlukan sistem sirkulasi khusus yang menjamin adanya pergerakan cairan ke seluruh tubuh secara cepat. Adapun sistem sirkulasi tersebut dilakukan oleh seperangkat organ-organ sirkulasi darah terbuka dan system peredaran tertutup.

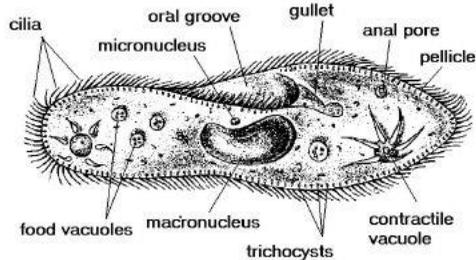
Sistem sirkulasi pada hewan merupakan suatu sistem organ yang memiliki fungsi untuk memindahkan zat dari dan ke sel. Sistem ini berfungsi untuk mempertahankan kestabilan suhu, pH, cairan dan homeostasis. Ada tiga macam sistem peredaran darah, yaitu **1)Sistem difusi** : terjadi pada invertebrata rendah seperti paramecium, amoeba maupun hydra belum mempunyai sistem sirkulasi berupa jantung dengan salurannya yang merupakan jalan untuk peredaran makanan. Makanan umumnya beredar keseluruhan tubuh karena adanya aliran protoplasma. **2)Sistem peredaran darah terbuka** : jika dalam peredaran-nya darah tidak selalu berada di dalam pembuluh. Misal : Arthropoda. **3)Sistem peredaran darah tertutup** : jika dalam peredaran-nya darah selalu berada di dalam pembuluh. Misal: Annelida, Mollusca, Vertebrata.

Sistem Sirkulasi Invertebrata

Protozoa

Hewan bersel satu atau protozoa tidak memiliki sistem sirkulasi darah karena tubuhnya hanya terdiri atas satu sel. Sari-sari makanan yang telah dicerna di dalam vakuola diserap oleh protoplasma di sekelilingnya. Oksigen diserap secara difusi, dan CO₂ dikeluarkan juga secara difusi. Contoh dari protozoa adalah amoeba dan paramaecium. System sirkulasi pada paramaecium lebih sempurna daripada amoeba. Pada paramaecium, makanan yang berupa materi halus diserap melalui permukaan

tubuhnya. Namun materi makanan yang besar akan masuk sitostoma (mulut sel). Makanan yang berbentuk cair akan diedarkan oleh vakuola kontraktil, sedangkan zat makanan yang berbentuk padat akan dicerna dan diedarkan oleh vacuola makanan. Penyebarannya ke dalam endoplasma terjadi secara osmosis.

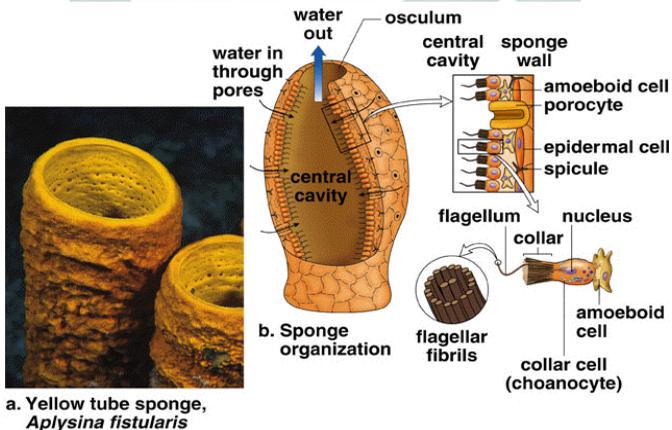


Gambar 1.1. Organisme *Paramecium sp.* yang digambarkan secara sistematis

Porifera

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

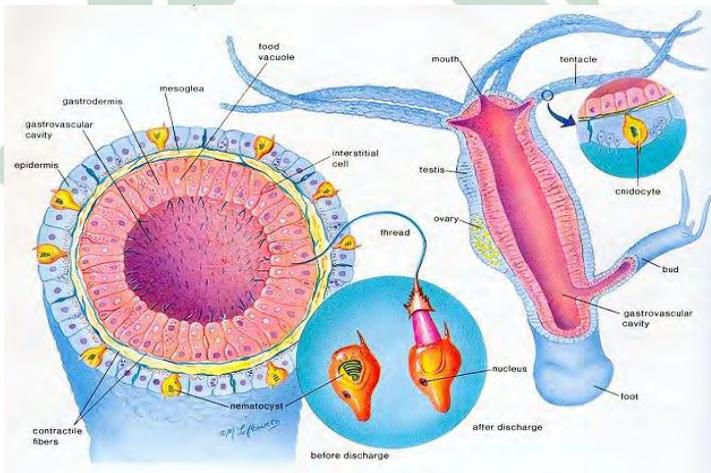
Sel-sel ameboid yang berfungsi mengedarkan makanan. Makanan pada porifera diperoleh melalui aliran air yang melintasi *ostia* atau pori dan keluar melalui *oskulum*. Makanan ditangkap dan dicerna oleh sel-sel leher (koanosit), kemudian diberikan ke sel-sel ameboid. Kemudian, sel-sel ameboid mengembara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



Gambar 1.2.a) Gambar porifera tabung kuning (*Aplysina fistularis*), b) penampang membujur organisme porifera

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 ke semua bagian tubuh. Percabangan ini menyebabkan permukaan dalam saluran pencernaan semakin luas, sehingga saluran ini akan lebih efisien dalam melakukan penyerapan zat sekaligus mengantarkan zat yang diserapnya ke seluruh jaringan tubuh. Dengan demikian, walaupun pada hewan ini tidak terdapat sistem peredaran khusus, zat yang diserap oleh saluran pencernaan akan dapat mencapai seluruh jaringan tubuh misalnya hydra, makanan yang telah dicerna didalam rongga gastrovaskuler langsung diserap oleh sel-sel endoderma penyusun dinding rongga gastrovaskuler. Selanjutnya, sel-sel endoderma memberikan makanan ke sel-sel ektoderma secara difusi dan osmosis. Sisa-sisa makanan dikeluarkan melalui mulutnya.



Gambar 1.3. Penampang melintang dan membujur *Hydra sp.* secara sistematis

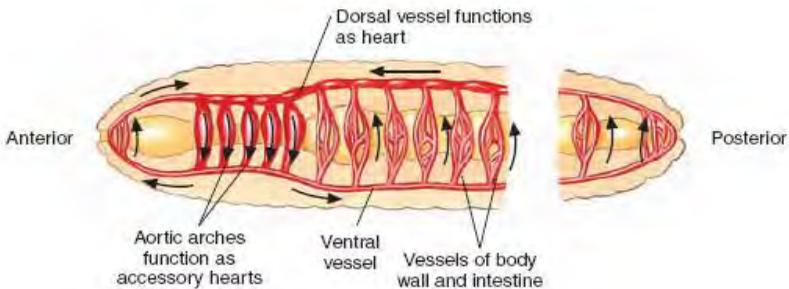
Platyhelminthes

Pada Platyhelminthes contohnya planaria juga belum mempunyai sistem peredaran darah khusus, namun menggunakan sistem gastrovaskuler. Awal mulanya makanan masuk kedalam usus. Selanjutnya, dari usus bercabang-cabang ke seluruh tubuh untuk mengedarkan makanan. Percabangan tersebut menyebabkan usus lebih besar sehingga lebih efisien dalam menyerap makanan. Usus tersebut disebut gastrovaskuler, yang berfungsi sebagai pencerna makanan dan mengedarkannya ke seluruh tubuh.

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.

Pembuluh tersebut banyak terdapat pada kulit. Darah yang telah mengikat oksigen ini akan mengalir ke pembuluh punggung kemudian bergerak menuju lengkung aorta. Jantung aorta pada cacing tanah, terbagi menjadi pembuluh darah dorsal dan ventral. Bila pembuluh punggung dan jantung berdenyut, darah mengalir menuju ke pembuluh darah perut, lalu mengalir menuju ke bagian belakang (posterior) tubuh dan selanjutnya kembali ke jantung aorta melalui pembuluh darah punggung. Darah yang beredar mengangkut nutrisi dan oksigen, serta mengambil sisa metabolisme untuk dikeluarkan dari dalam tubuh.



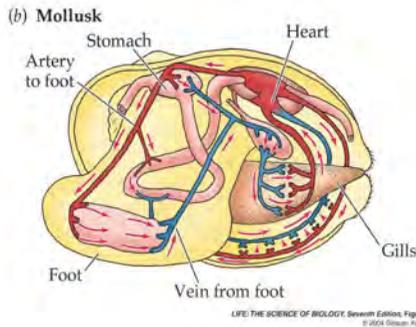
Gambar 1.4. Sistem peredaran darah tertutup pada cacing tanah

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 didalam 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 hemoglobinya terikat dalam sel darah merah, hemoglobin darah cacing larut dalam plasma darah.

Mollusca

Pada mollusca sistem peredaran darahnya terbuka, jantung terdiri atas ventrikel dan atrium, aorta anterior, dan aorta posterior. Tidak memiliki arteri dan vena. Ventrikel memompa darah ke dalam aorta anterior, kemudian darah dialirkan tanpa pembuluh ke bagian kaki serta alat2 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 ke jantung



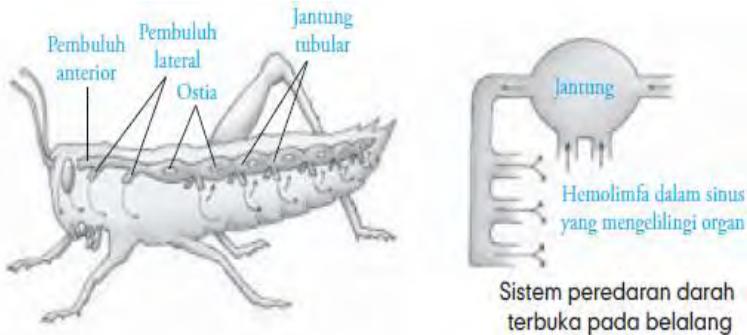
Gambar 1.5. Peredaran darah terbuka pada *Amphidromus perversus*

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.

Peredaran darah pada belalang berlangsung sebagai berikut: Darah dipompa oleh jantung pembuluh ke bagian depan tubuh melalui aorta dorsal. Selanjutnya darah beredar ke seluruh tubuh ke ruang antar organ tanpa melalui pembuluh darah, kemudian darah kembali ke jantung pembuluh melalui ostium. Darah serangga tidak mengandung hemoglobin sehingga tidak berwarna merah. Darah serangga disebut hemolimfa. Darah ini mengandung sel darah yang tidak berwarna yang berfungsi untuk melenyapkan organisme asing. Karena tidak mengandung Hb, darah serangga berfungsi untuk mengangkut zat makanan, tidak untuk mengangkut oksigen ataupun gas CO_2 . Gas-gas tersebut disalurkan melalui system trakea.

Hewan invertebrate seperti echinodermata, memiliki system sirkulasi radial yang bentuknya mengecil. Pengangkutan zat dibantu dengan system sirkulasi air yang disebut system air ambulakral System sirkulasi pada mollusca terdiri atas jantung dengan satu atau dua ruang jantung, aorta dan pembuluh lainnya.

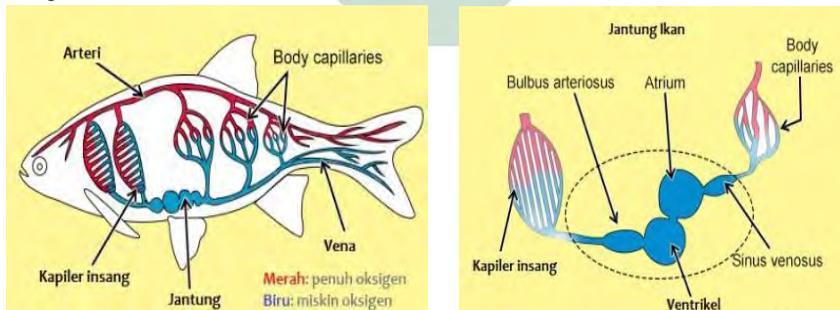


Gambar 1.6. Sistem peredaran darah terbuka pada belalang

Pisces

Ikan adalah vertebrata air yang termasuk hewan berdarah dingin yang dapat ditemukan baik pada air garam dan air tawar. Seperti manusia, mereka memiliki sistem peredaran darah tertutup, di mana darah selalu terkandung dalam rangkaian pembuluh darah. Dengan kata lain, darah tidak pernah meninggalkan pembuluh darah dan tidak mengisi rongga tubuh. Sistem peredaran darah tertutup dapat memiliki pola sirkulasi tunggal atau ganda.

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 1.7. Sistem peredaran darah tertutup pada ikan (kiri), bagian-bagian jantung dan pembuluh kapiler pada ikan (kanan).

Sistem peredaran darah ikan cukup sederhana, terdiri dari pembuluh jantung, darah, dan pembuluh darah. Jantung ikan adalah struktur otot sederhana yang terletak di belakang (dan di bawah) insang. Jantung tertutup oleh membran perikardial atau perikardium. Jantung terdiri dari atrium, ventrikel, struktur berdinding tipis yang dikenal sebagai sinus venosus, dan tabung yang disebut bulbus arteriosus. Meskipun memiliki empat bagian, jantung ikan dianggap dua bilik. Tidak seperti manusia, empat bagian dari jantung ikan tidak membentuk organ tunggal. Biasanya, mereka menemukan satu di belakang yang lain.

Pembuluh darah pada ikan membawa darah ke seluruh tubuh. Sementara arteri membawa darah beroksigen dari insang ke seluruh tubuh, pembuluh darah terdeoksigenasi kembali dari berbagai bagian tubuh ke jantung. Arteriol adalah arteri kecil, berdinding tipis yang berakhir di kapiler, sementara venula adalah vena kecil yang berlanjut dengan kapiler. Kapiler adalah pembuluh mikroskopis yang membentuk jaringan disebut kapiler bed, dimana darah arteri dan vena saling terkait. Kapiler memiliki dinding tipis yang memfasilitasi difusi, suatu proses dimana oksigen dan nutrisi lain dari darah arteri yang ditransfer ke dalam sel. Pada saat yang sama, karbon dioksida dan limbah bahan pindah ke kapiler.

Kapiler mengandung darah terdeoksigenasi (mengandung karbon dioksida) yang mengalir ke vena kecil yang disebut venula, yang pada gilirannya mengalir ke vena yang lebih besar. Vena membawa darah terdeoksigenasi ke sinus venosus, yang seperti ruang koleksi kecil. Sinus venosus memiliki sel-sel alat pacu jantung yang bertanggung jawab untuk memulai kontraksi, sehingga darah tersebut akan dipindahkan ke dalam atrium berdinding tipis, yang memiliki sangat sedikit otot. Atrium menghasilkan kontraksi lemah sehingga mendorong darah ke ventrikel. Ventrikel adalah struktur berdinding tebal dengan banyak otot jantung. Ini menghasilkan tekanan yang cukup untuk memompa darah ke seluruh tubuh. Ventrikel memompa darah di dalamnya menjadi bulbus arteriosus, ruang kecil dengan komponen elastis. Sementara bulbus arteriosus adalah nama ruang pada teleost (rayfined, ikan bertulang), struktur ini dikenal sebagai konus arteriosus pada elasmobranch (ikan dengan kerangka tulang rawan dan sisik placoid). Konus arteriosus memiliki banyak katup dan otot, sedangkan bulbus arteriosus tidak memiliki katup. Fungsi utama dari struktur ini adalah untuk mengurangi tekanan nadi yang dihasilkan oleh ventrikel, untuk menghindari kerusakan pada insang yang berdinding tipis.

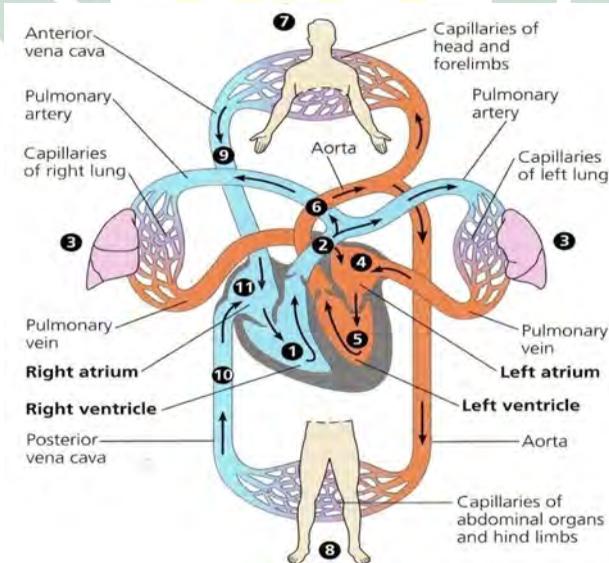
Insang adalah organ pernapasan utama ikan. Mereka memfasilitasi pertukaran gas, yaitu penyerapan oksigen dari air dan penghapusan karbon dioksida. Arteri membawa darah beroksigen (dari insang) ke seluruh tubuh. Arteri bercabang ke arteriol, yang mengalir ke kapiler, di mana darah arteri menjadi darah vena, karena pasokan oksigen dan nutrisi lainnya ke sel dan menyerap karbon dioksida dan bahan limbah. Darah dari vena diteruskan ke jantung, yang memompa ke insang, di mana karbon dioksida akan diganti dengan oksigen. Darah beroksigen dipasok ke sel-sel dalam tubuh, dan siklus terus berulang.

Sistem Sirkulasi Vertebrata

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. Untuk pemahaman yang lebih baik, mari kita diskusi tentang jantung.

Jantung: 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 terdeoksigenasi 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.



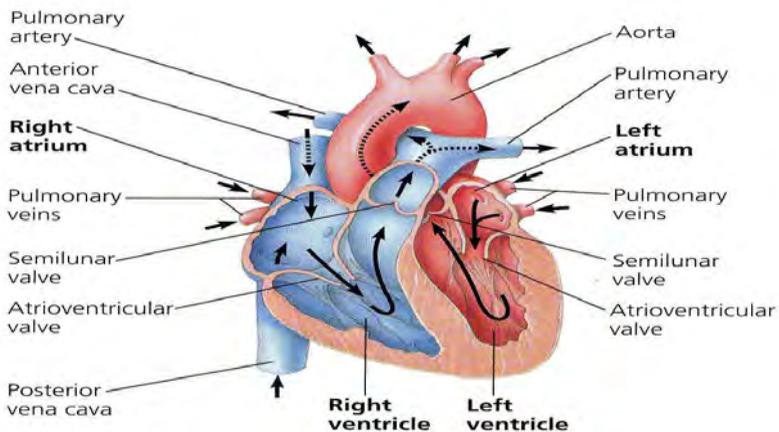
Gambar 1.8. Sirkulasi pada manusia

Seperti kita semua sadar, 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 – 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 dibagian dalam, yang ia disebut arteri, dan darah dikembalikan ke jantung oleh pembuluh superfisial disebut vena, yang masih berlaku sampai sekarang.

Sistem ini sekarang disebut sistem kardiovaskular. Namun, ada sistem lain yang bekerja di dekat koordinasi dengan sistem kardiovaskular, yang merupakan sistem limfatik. Keduanya bersama-sama membentuk Sistem Peredaran Darah.



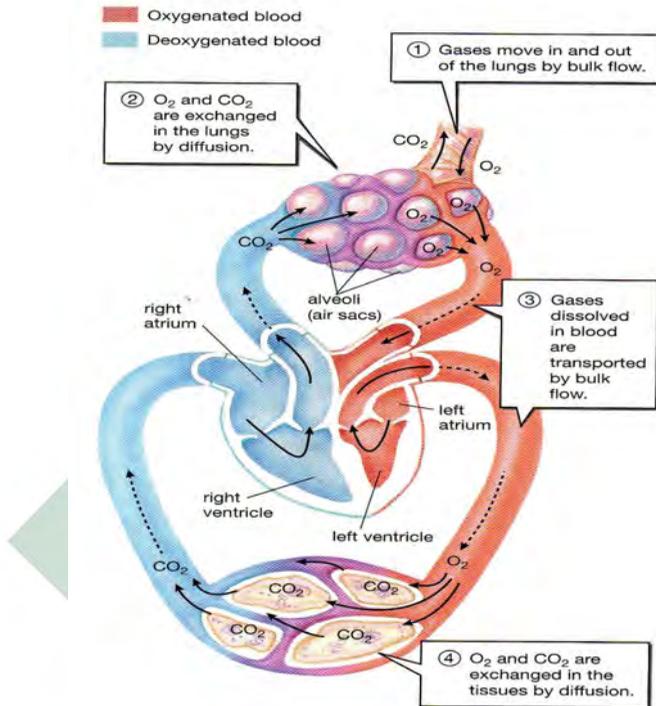
Gambar 1.9. Jantung mamalia

Secara detail terlihat struktur jantung, dengan adanya beberapa katup, yang berfungsi untuk mengatur aliran darah kedalam jantung dan relatif lebih tipis dibanding dengan dinding sekat jantung. Atrium, berfungsi untuk memompa darah ke dalam ventrikel, yang memiliki dinding lebih tipis dibanding ventrikel yang memompa darah dari paru-paru ke seluruh tubuh.

Sirkulasi Sistemik (Peredaran darah besar)

Sirkulasi sistemik sebenarnya loop mulai dari jantung dan mendistribusikan ke berbagai bagian tubuh, yang bekerja berbeda dengan sirkulasi paru-paru. Dalam sirkulasi sistemik, arteri mengumpulkan darah yang kaya oksigen dari jantung dan diangkut ke jaringan tubuh. Dalam proses ini, oksigen dari darah (atau tepatnya, sel-sel darah merah, eritrosit) yang disebarkan ke dalam sel-sel tubuh, sedangkan karbon dioksida dari sel

menyebarkan dalam darah. Ini pertukaran gas berlangsung dengan bantuan kapiler kecil yang mengelilingi sel-sel tubuh.



Gambar 1.10. Aliran darah dan oksigen dari jantung, paru-paru, dan seluruh tubuh

Secara lengkap sistem peredaran darah besar dapat dijelaskan sebagai berikut. 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 ke 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 besar 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 inidisaring oleh venula yang menuju ke vena koroner (vena dari jantung dan ke jantung) yang bermuara ke atrium kanan.

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. Ini 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 karbon dioksida 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 ini kaya oksigen ke bagian-bagian tubuh.

Secara lengkap sistem peredaran darah kecil dapat dijelaskan sebagai berikut. Darah dari seluruh tubuh yang kaya akan karbondioksida masuk ke atrium kanan melalui pembuluh vena. Dari atrium kanan darah akan mengalir ke ventrikel kanan melalui katup trikuspidalis. Kemudian ventrikel berkontraksi sehingga katup trikuspidalis tertutup, tetapi memaksa katup pulmonalis yang terletak pada lubang arteri pulmonalis terbuka. Darah masuk ke arteri pulmonalis yang bercabang ke kiri dan ke kanan yang masing-masing menuju paru-paru kiri dan kanan. Arteri pulmonalis ini bercabang menjadi arteriol. Arteriol mengalirkan darah menuju kapiler di paru-paru. Di kapiler paru-paru inilah darah melepaskan karbondioksida dan mengambil oksigen. Kemudian darah masuk ke venula, kemudian ke vena pulmonalis yang membawa darah yang kaya akan oksigen menuju ke atrium kiri.

Kerja sistem peredaran darah tidak akan lengkap, kecuali kita berbicara tentang siklus jantung. Sebuah siklus jantung didefinisikan sebagai satu detak jantung yang lengkap, yang terdiri dari dua fase – sistol dan diastol. Dalam kasus yang pertama, kontraksi ventrikel berlangsung untuk memompa darah untuk sirkulasi paru dan sistemik, padahal ventrikel rileks dan darah mengisi atrium pada fase diastole. Dengan cara ini, pompa darah di jerat tertutup dari sistem peredaran darah. Setiap gangguan di jantung dan pembuluh darah dapat menyebabkan penyakit jantung, seperti aterosklerosis, hipertensi, penyakit arteri koroner, serangan jantung, dan stroke.

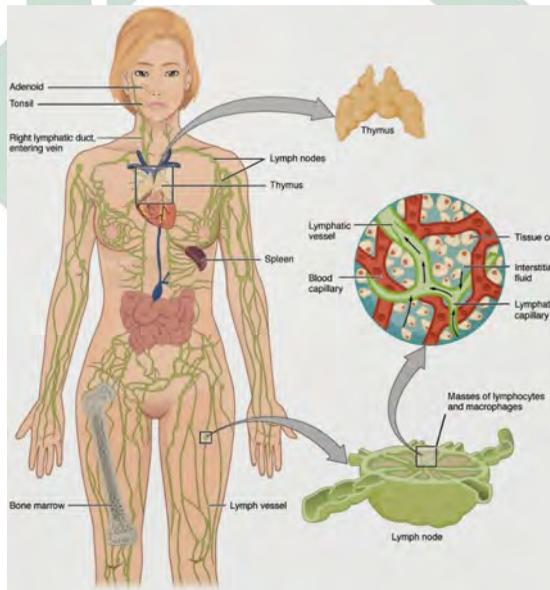
Sistem peredaran darah bekerja dalam hubungannya dengan sistem organ tubuh yang lain. Misalnya, fungsi dalam koordinasi dengan sistem pernapasan dan sistem pencernaan untuk memasok oksigen dan nutrisi ke tubuh. Juga, darah membawa bahan kimia pembawa pesan – hormon, disekresikan oleh organ-organ dari sistem endokrin. Dengan demikian, sistem peredaran darah bertanggung jawab untuk sirkulasi hormon untuk komunikasi yang baik antara organ-organ tubuh.

Sistem limfatik

Sistem limfatik adalah jaringan pembuluh seperti sistem kardiovaskular 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.

Namun, tanpa ada sel darah merah dan protein darah. Limfe terakumulasi dalam ruang interstitial sebagai cairan interstitial. Hal ini diderakan oleh kontraksi otot yang berdekatan dengan kelenjar. Saluran membawa cairan ke seluruh tubuh untuk mengalirkan getah bening kembali ke sistem peredaran 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 memainkan peran penting dalam pertahanan terhadap agen-agen asing atau mikroba.



Gambar 1.11. sistem limfatik pada manusia

Perbedaan Sistem Peredaran Darah dan Sistem limfatik

Sistem peredaran darah

Sistem peredaran darah adalah kombinasi dari sistem limfatik dan sistem kardiovaskular. Ini terdiri dari jantung, pembuluh darah dan darah serta getah bening, kelenjar getah bening, dan pembuluh limfatik. Dia mengontrol aktivitas seluruh

transportasi di dalam tubuh. Hal ini bertanggung jawab untuk pertukaran dan transportasi gas, transportasi makanan diserap, transportasi hormon dan enzim, membawa produk-produk limbah dari berbagai jaringan, dan menciptakan kekebalan dan perlindungan dari benda asing. Ada dua jenis utama dari sistem peredaran darah disebut terbuka dan tertutup. Sistem peredaran darah terbuka adalah sistem di mana darah bebas di ruang tubuh dalam sebagian besar dari sirkulasi. Namun dalam sistem peredaran tertutup darah tidak pernah meninggalkan pembuluh darah seperti dalam sistem peredaran darah mamalia.

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.

II. SISTEM SARAF

Pendahuluan

Berbeda dengan tumbuhan, hewan mempunyai daya gerak, responsif terhadap rangsang eksternal, tumbuh mencapai besar tertentu, dan memerlukan makanan dalam bentuk kompleks. Baik pada hewan yang uniseluler maupun pada hewan yang multiseluler, individu merupakan suatu unit. Keseluruhan mekanisme tubuh hewan saling terorganisasi, berarti setiap bagian dari tubuhnya merupakan subordinate dari individu sebagai keseluruhan, baik sebagai bagian satu sel maupun seluruh sel.

Suatu organisme hidup baik yang uniseluler maupun yang multiseluler, dapat berada sebagai individu terpisah maupun sebagai suatu agregat/kumpulan yang bebas satu sama lain (koloni). Sebuah koloni hewan mungkin terdiri dari hewan uniseluler atau hewan multiseluler, namun hewan multiseluler bukan sebuah koloni hewan uniseluler. Walaupun demikian, ada juga sebuah koloni hewan multiseluler yang karena aktivitas hidupnya bermanifestasikan suatu kesatuan, maka koloni itu dianggap sebagai suatu organisme.

Sistem koordinasi merupakan suatu sistem yang mengatur kerja semua sistem organ agar dapat bekerja secara serasi. Sistem koordinasi itu bekerja untuk menerima rangsangan, mengolahnya dan kemudian meneruskannya untuk menanggapi rangsangan. Setiap rangsangan yang kita terima melalui indera kita, akan diolah di otak. Kemudian otak akan meneruskan rangsangan tersebut ke organ yang bersangkutan. Setiap aktivitas yang terjadi di dalam tubuh, baik yang sederhana maupun yang kompleks merupakan hasil koordinasi yang rumit dan sistematis dari beberapa sistem dalam tubuh.

Sistem koordinasi pada hewan meliputi sistem saraf beserta indera dan sistem endokrin (hormon). Sistem saraf merupakan sistem yang khas bagi hewan, karena sistem saraf ini tidak dimiliki oleh tumbuhan. Sistem saraf yang dimiliki oleh hewan berbeda-beda, semakin tinggi tingkatan hewan semakin kompleks sistem sarafnya.

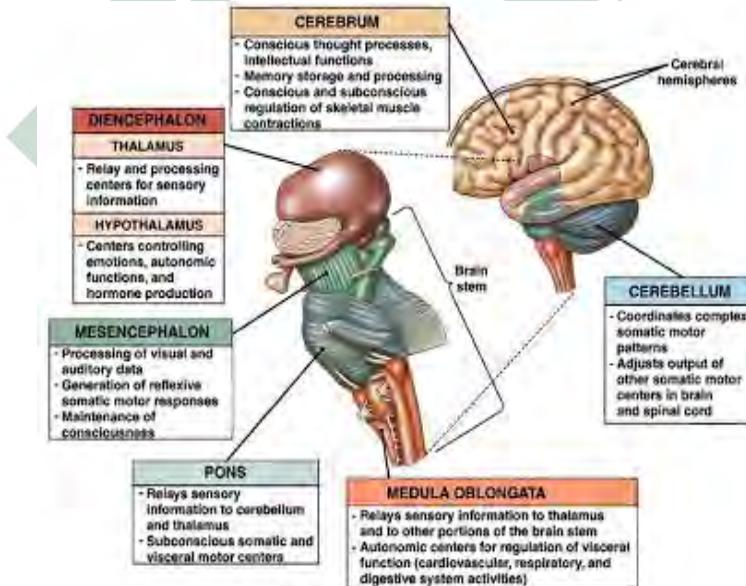
Sistem saraf merupakan mekanisme penghantaran impuls saraf ke susunan saraf pusat, pemrosesan impuls saraf dan perintah untuk memberi tanggapan rangsangan atau sistem yang mengatur kerja semua sistem organ agar dapat bekerja secara serasi. Sistem saraf merupakan sistem yang khas bagi hewan, karena sistem saraf ini tidak dimiliki oleh tumbuhan. Sistem saraf yang dimiliki oleh hewan berbeda-beda, semakin tinggi tingkatan hewan semakin kompleks sistem sarafnya.

Sistem saraf tersusun oleh berjuta-juta sel saraf yang mempunyai bentuk bervariasi. Sistem ini meliputi sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Dalam kegiatannya, saraf mempunyai hubungan kerja seperti mata rantai (berurutan) antara reseptor dan efektor. Reseptor adalah satu atau sekelompok sel saraf dan sel lainnya yang berfungsi mengenali rangsangan tertentu yang berasal dari luar atau dari dalam

tubuh. Efektor adalah sel atau organ yang menghasilkan tanggapan terhadap rangsangan. Contohnya otot dan kelenjar. Sistem saraf terdiri dari jutaan sel saraf (neuron). Fungsi sel saraf adalah mengirimkan pesan (impuls) yang berupa rangsang atau tanggapan.

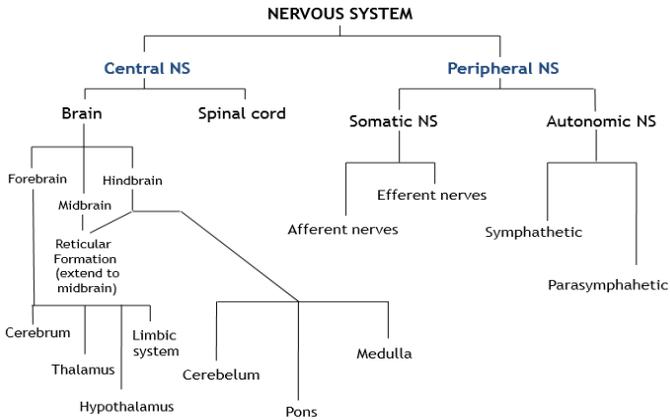
Sistem Saraf Pusat

sistem saraf pusat (SSP) 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 dengan cara listrik atau kimiawi. Akan tetapi, neuron-neuron yang bekerja sama untuk melaksanakan fungsi tertentu cenderung tersusun dalam lokasi yang terpisah. Karena itu, meskipun merupakan suatu keseluruhan yang fungsional, otak tersusun menjadi bagian-bagian yang berbeda. Bagian-bagian otak dapat dikelompokkan dalam berbagai cara bergantung pada perbedaan anatomik, spesialisasi fungsi, dan perkembangan evolusi.



Gambar 2.1. sistem saraf pusat dan fungsinya

Medula spinalis memiliki lokasi strategis antara 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.

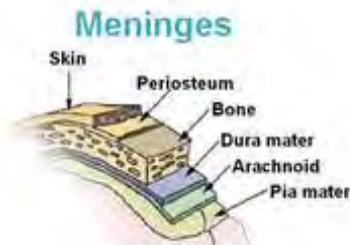


Gambar 2.2.skematis pembagian system saraf pusat dan system saraf tepi

Makroanatomi Sistem Saraf Pusat

Meninges

Sistem saraf pusat dikelilingi oleh lapisan pembungkus yaitu meninges, berfungsi sebagai pelindung otak dan corda medulla dari kerusakan mekanis serta memberi suplai nutrisi pada sel-sel saraf. Meninges dari luar ke dalam terdapat 3 lapisan yaitu duramater, arachnoidea, dan piamater.



Gambar 2.3.skematis lapisan pelindung system saraf pusat

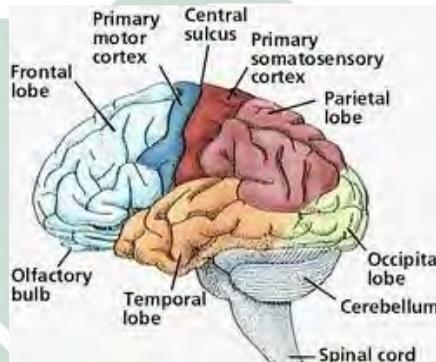
Duramater melekat pada dinding tengkorak, membentuk periosteum. Pada duramater dijumpai dua lipatan besar yang terdapat pada muka interna yaitu *falx cerebri* dan *tentorium cerebelli*. Pertemuan dua lipatan tersebut membentuk protuberantia occipitalis interna fibrossa.

Arachnoidea merupakan membran lunak hampir transparan, terdapat diantara duramater dan piamater, mempunyai trabekula sampai ke piamater. Piamater merupakan membran tipis yang terdiri dari jaringan ikat dan pembuluh darah, berguna untuk menyuplai nutrisi. Arachnoid dan piamater saling melekat dan seringkali dipandang sebagai satu membrane yang disebut pia-arachnoid.

Encephalon

a. Cerebrum

Cerebrum terdiri dari dua hemispherium cerebri, merupakan bagian terbesar dari encephalon. Kedua hemispherium cerebri dipisahkan oleh celah yang dalam yang disebut *fisura longitudinalis*. Cerebrum terdiri dari beberapa lobus sesuai letak tulang yang berada di atasnya, yaitu lobus frontalis, lobus parietalis, lobus temporalis, dan lobus occipitalis serta lobus pyriformis yang terletak di ventral. Hemispherium cerebri dipisahkan dari cerebellum dengan adanya *fissura transversa*. Pada permukaan dorsal terdapat banyak lipatan konveks yang disebut gyri. Gyri merupakan tonjolan-tonjolan yang dipisahkan oleh parit-parit yang dinamakan fisura atau sulkus.



Gambar 2.4.Bagian-bagian cerebrum

Otak besar merupakan sumber dari semua kegiatan/gerakan sadar atau sesuai dengan kehendak, walaupun ada juga beberapa gerakan refleks otak. Pada bagian korteks serebrum yang berwarna kelabu terdapat bagian penerima rangsang (area sensor) yang terletak di sebelah belakang area motor yang berfungsi mengatur gerakan sadar atau merespon rangsangan. Selain itu terdapat area asosiasi yang menghubungkan area motor dan sensorik

b. Cerebellum

Terdapat di atas medula oblongata, berbentuk oval. Terdiri atas vermis (di tengah), dua hemispherium di lateralis dipisahkan oleh *fissura sagitalis*. Cerebellum mempunyai fungsi utama dalam koordinasi gerakan otot yang terjadi secara sadar, keseimbangan, dan posisi tubuh. Bila ada rangsangan yang merugikan atau berbahaya maka gerakan sadar yang normal tidak mungkin dilaksanakan.

c. Brainstem

Terdiri dari :

- 1) Medulla Oblongata : Pars posterior dari brainstem, bentuk kerucut
Sumsum sambung berfungsi menghantar impuls yang datang dari medula spinalis menuju ke otak. Sumsum sambung juga mempengaruhi jembatan, refleks fisiologi seperti detak jantung, tekanan darah, volume dan kecepatan

respirasi, gerak alat pencernaan, dan sekresi kelenjar pencernaan. Selain itu, sumsum sambung juga mengatur gerak refleks yang lain.

- 2) Pons: Korpus ujung anterior dari medulla oblongata.
Jembatan varol berisi serabut saraf yang menghubungkan otak kecil bagian kiri dan kanan, juga menghubungkan otak besar dan sumsum tulang belakang.
- 3) Pedunculi cerebri, permukaannya
 - Corpora quadrigemina : Corpus yang bulat berjumlah empat
 - Thalamus : Corpus yang berbentuk oval
 - Posterior hemispherium cerebrum

d. Hipotalamus

Diantara thalamus dan pedunculi cerebri. Berdekatan dengan :

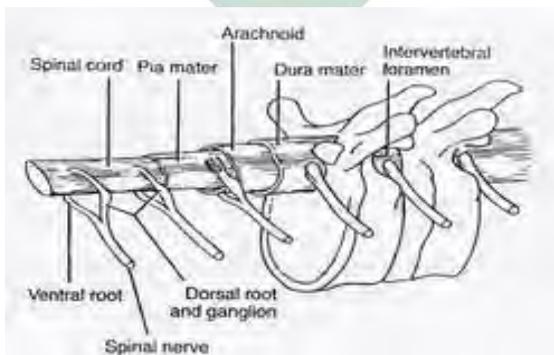
Corpus mammilaris

Tubercinerium : bentuk oval di ujung anterior brainstem

Chiasma nervi optici : berbentuk X yang disusun oleh n. opticus dan tractus opticus

Ventrikel dalam Encephalon

- a. Ventrikel lateral
Terdiri atas ventrikel I dan II, terdapat di hemispherium cerebri. Berisi corpus callosum, hippocampus, plexus choroideus, dan nucleus caudatus. Ventrikel lateral dengan ventrikel III dihubungkan oleh foramen interventricularis atau nama lainnya *foramen Monro*
- b. Ventrikel III
Mengelilingi thalamus kanan dan kiri. Berhubungan dengan ventrikel IV melalui *aqueductus cerebri*.
- c. Ventrikel IV
Diantara brainstem dan cerebellum. Di dorsal medulla oblongata membentang ke anterior dan posterior.



Gambar 2.5. Bagian-Bagian sumsum tulang belakang

3. Medulla Spinalis

- Medulla spinalis merupakan lanjutan dari batang otak (medulla oblongata). Medulla spinalis juga diselubungi meninges.
- Mengisi canalis vertebralis dr cervicalis I sampai lumbar V-VII (pada anjing) atau sacralis III (pada kucing)
- Tersusun dari substansia grisea pada bagian tengah dan substansia alba pada bagian perifer dan terdapat canalis centralis

Mikroanatomi Sistem Saraf Pusat

Encephalon (cerebrum, cerebellum, dan brainstem) dan medulla spinalis secara histologi terbagi menjadi dua komponen utama yaitu substansi grisea dan substansi alba.

Substansi grisea : Jaringan saraf berisi banyak perikarya atau soma dari neuron, dendrit, glia, pembuluh darah, dan sedikit serabut saraf yang bermyelin. Karakter utama dari substansi grisea ini berwarna kelabu karena adanya badan sel saraf yang relatif besar, nukleus bulat dikelilingi *badan Nissl*. Substansi grisea pada otak berada di perifer, membentuk cortex cerebrum dan cerebellum. Tetapi pada medulla spinalis berada di sentral berbentuk H.

Substansi alba: Kontras dengan substansi grisea. Substansi alba berwarna putih, tidak mempunyai perikarya, axon bermyelin secara merata. Terletak pada lapisan dalam otak. Tidak termasuk nuclei dan ganglia. Di otak dalam juga terdapat substansi grisea yang dikelilingi sedikit atau banyak substansi alba, inilah yang disebut nuclei.

Cerebral Cortex Di cerebral cortex terdapat enam lapisan yang dapat dibedakan, membentuk bagian perifer dari hemispherium cerebri.

- a. Lapisan molecular : berisi serabut saraf yang berasal dari otak bagian lain, paralel dengan permukaan.
- b. Lapisan granular externa : berisi sel granular (stellate interneuron) kecil dan neuroglia.
- c. Lapisan piramidal externa : juga berisi neuroglia dan piramidal yang semakin ke dalam semakin besar.
- d. Lapisan granular interna : relatif tipis, berisi neuron yang menerima input sensoris. Pada area visual, lapisan ini sangat menonjol
- e. Lapisan piramidal interna : tersusun atas sel piramidal besar yang mempunyai jarak antar sel satu dengan yang lain. Sel besar terutama pada area motorik cortex cerebri.
- f. Lapisan multiformis (fusiformis) : memiliki neuroglia dan neuron yang berbentuk gelendong, tetapi bisa juga memiliki bentuk dan orientasi yang bermacam-macam.

Cerebellar Cortex

Dibagi menjadi 3 lapisan yang sedikit bervariasi tergantung areanya.

- a. Lapisan pertama (molecular) : berisi neuropil yang berasal dari dendrit neuron yang berada di dalam lapisan tengah, dan axon neuron yang berada di dalam lapisan terdalam.
- b. Lapisan tengah : tipis, terbentuk oleh selapis neuron besar yaitu sel piriformis atau sel Purkinje. Bentuknya seperti botol dan mempunyai cabang dendrit yang sangat besar, memanjang sampai lapisan pertama.
- c. Lapisan ketiga (granular) : berisi banyak neuron kecil (sel granular), axon menuju arah yang berlawanan dari sel piriformis.

Medulla Spinalis

Posisi substansia alba dan grisea terbalik dibandingkan dengan otak. Lapisan eksternal berisi substansia alba yang menyusun berkas serabut saraf yang naik dan turun. Serabut saraf yang memasuki medulla spinalis (afere) terletak di dorsal, sedangkan yang keluar dari medulla spinalis (efer) terletak di ventral. Substansia grisea dalam potongan melintang tampak berbentuk H atau kupu-kupu, dengan kanalis sentralis berada di tengah yang disebut *gray commissure*.

Fungsi Bagian-Bagian Sistem Saraf Pusat

Otak depan

Menerima dan memproses informasi sensorik, berpikir, memahami, produksi dan pemahaman bahasa, dan pengendalian fungsi motorik. There are two major divisions of forebrain: the diencephalon and the telencephalon .

Ada dua divisi utama dari otak depan :

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

Otak tengah

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

Otak belakang

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

- Metencephalon: struktur seperti pons dan serebelum. Daerah ini membantu dalam menjaga keseimbangan dan koordinasi gerakan, dan informasi konduksi sensorik.

- Myelencephalon : dari medula oblongata yang bertanggung jawab untuk mengontrol fungsi otonomik seperti pernapasan, denyut jantung, dan pencernaan.

Area Lain Pada Otak

- Basal ganglia : Terlibat dalam pengaturan gerakan sadar
- Brainstem : Menyampaikan informasi antara saraf tepi dan sumsum tulang belakang ke bagian atas otak.
- Sulcus Tengah (fisura Rolando) : Alur yang dalam yang memisahkan parietalis dan frontalis lobus.
- Otak kecil : Kontrol gerakan koordinasi dan keseimbangan
- Cerebral Cortex : Menerima dan memproses informasi sensorik. Dibagi menjadi lobus korteks cerebral.
- Lobus Cortex Cerebral :
 - Lobus frontal : keputusan, pemecahan masalah, dan perencanaan
 - Lobus oksipital : terlibat dalam penglihatan dan pengenalan warna
 - Lobus parietal : menerima dan memproses informasi sensorik
 - Lobus temporal : tanggapan emosional, memori, dan bersuara
- Amygdala : terlibat dalam respons emosional, sekresi hormon, dan memori.
- Cingulate Gyrus : sensor tentang emosi dan pengaturan perilaku agresif.
- Fornix : pita melengkung dari serabut saraf yang menghubungkan hippocampus dengan hipotalamus.
- Hippocampus : mengirim memori ke bagian yang tepat dari belahan otak untuk penyimpanan jangka panjang dan memanggil kembali ketika diperlukan.
- Hypotalamus : mempunyai banyak fungsi penting seperti pengaturan suhu tubuh, rasa lapar, dan homeostasis.
- Olfactory Cortex : menerima informasi sensorik dari bulbus olfaktorius dan terlibat dalam identifikasi bau.
- Thalamus – substansi sel kelabu yang menyampaikan sinyal sensoris ke dan dari sumsum tulang belakang dan otak besar.
- Medulla oblongata : Membantu untuk mengontrol fungsi otonom.
- Bulbus olfaktorius : Terlibat dalam indera penciuman
- Kelenjar pineal : Kelenjar endokrin yang berguna dalam keseimbangan biologis. Mengeluarkan hormon melatonin
- Kelenjar pituitari : Kelenjar endokrin yang terlibat dalam homeostasis. Mengatur kelenjar endokrin lainnya
- Pons : Menyampaikan informasi sensorik antara otak besar dan otak kecil
- Formasi retikular : Serabut saraf yang terletak di dalam brainstem. Mengatur kesadaran dan tidur
- Substantia Nigra : Membantu untuk mengontrol gerakan sadar dan pengaturan suasana hati

- Sistem ventrikel : Menghubungkan sistem internal rongga otak, berisi cairan cerebrospinal:
 - Aqueductus Sylvius - kanal antara ventrikel III dan ventrikel IV
 - Plexus choroideus - menghasilkan cairan cerebrospinal
 - Ventrikel IV - kanal yang melalui pons, medula oblongata, dan cerebellum
 - Ventrikel lateral – ventrikel terbesar dan berlokasi di kedua hemispher cerebri
 - Ventrikel III - menyediakan jalur untuk aliran cairan cerebrospinal

Sistem Saraf Tepi

Pada penampang melintang sumsum tulang belakang ada bagian seperti sayap yang terbagi atas sayap atas disebut tanduk dorsal dan sayap bawah disebut tanduk ventral. Impuls sensori dari reseptor dihantar masuk ke sumsum tulang belakang melalui tanduk dorsal dan impuls motor keluar dari sumsum tulang belakang melalui tanduk ventral menuju efektor. Pada tanduk dorsal terdapat badan sel saraf penghubung (asosiasi konektor) yang akan menerima impuls dari sel saraf sensori dan akan menghantarkannya ke saraf motor. Pada bagian putih terdapat serabut saraf asosiasi. Kumpulan serabut saraf membentuk saraf (urat saraf). Urat saraf yang membawa impuls ke otak merupakan saluran asenden dan yang membawa impuls yang berupa perintah dari otak merupakan saluran desenden.

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, yaitu saraf-saraf yang keluar dari sumsum tulang belakang. Saraf otak ada 12 pasang yang terdiri dari:

1. Tiga pasang saraf sensori
2. Lima pasang saraf motor
3. Empat 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. Oleh 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 satu 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 sinapsis 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 saraf simpatik dan parasimpatik terletak pada posisi ganglion. Saraf simpatik mempunyai ganglion yang terletak di sepanjang tulang belakang menempel pada sumsum tulang belakang sehingga mempunyai urat pra ganglion pendek, sedangkan saraf parasimpatik mempunyai urat pra ganglion yang panjang karena 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 otak lain dan saraf sumsum sambung.

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

MACAM-MACAM RESEPTOR

1. Eksteroseptor

Eksteroseptor memberi informasi kejadian-kejadian pada permukaan tubuh hewan. Eksteroseptor adalah suatu alat penerima rangsang dari luar, misalnya bila kita digigit nyamuk atau dihindangi serangga. Kita dapat mengetahui langsung tempat nyamuk itu menggigit dan serangga hinggap. Dengan secara refleks kita akan melakukan respon terhadap bekas gigitan tadi misalnya menggaruk bekasnya.

Indra peraba dan tekanan diketahui sebagai indera dirasakan oleh ujung-ujung saraf pada folikel-folikel rambut yaitu ujung-ujung saraf Merkel's dan Paccini. Ujung saraf Paccini yang berbentuk ovale adalah reseptor tekanan.

Ujung saraf Merkel, Paccini dan Meisner disebut juga mekanoreseptor karena bisa menyampaikan rangsang yang disebabkan oleh rangsangan mekanis. Ujung-ujung saraf Ruffini berguna sebagai reseptor panas. Dengan ujung saraf ini kita bisa

mengetahui perubahan temperatur pada permukaan kulit terutama panas. Reseptor yang demikian disebut juga termoseptor. Reseptor untuk merasakan sakit ini merupakan ujung-ujung saraf yang tersebar di seluruh tubuh.

1) Pit organ

Indera perasa panas pada beberapa hewan digunakan sebagai alat untuk menangkap mangsanya. Alat untuk penerima panas tersebut dinamakan pit organ. Pit organ ini mempunyai terutama oleh ular. Pit organ letaknya diantara mata dengan lubang hidung dan pada bagian muka pada hewan lainnya. Bentuknya berupa saluran yang berisi darah dan ujung-ujung saraf yang amat peka terhadap panas. Pit organ ini tidak bisa digolongkan ke dalam eksteroseptor karena sumber rangsang tidak berasal dari permukaan tubuh tetapi dari jarak tertentu.

2) Gurat sisi

Sistem saraf yang ditemukan pada golongan hewan Vertebrata rendah seperti pada ikan dan amfibi. Gurat sisi ini pada ikan dan amfibi tertentu merupakan suatu saluran dibawah kulit yang mempunyai saluran keluar tubuhnya. Dipermukaan tubuhnya saluran-saluran itu merupakan lubang-lubang membentuk barisan dalam satu garis. Pada saluran gurat sisi terdapat rambut-rambut sensoris yang letaknya teratur disebut neuromast. Neuromast ini mempunyai kepekaan terhadap tekanan dan arus air. Selain itu juga untuk mengetahui obyek yang bergerak berupa mangsa atau yang memangsanya.

3) Rheotaksis

Rheotaksis adalah suatu kecenderungan dari makhluk hidup untuk menerima rangsangan mekanis dari arus air karena gerakan. Misalnya pada planaria, cacing ini akan mengadakan reaksi terhadap arus air dengan reseptor yang ada pada seluruh permukaan tubuhnya.

4) Anemotaksis

Anemotaksis adalah suatu kemampuan hewan untuk mengetahui aliran udara disekitarnya. Anemotaksis ini terdapat pada hewan terbang seperti lalat. Mereka berorientasi di udara dengan menggunakan reseptor untuk mengetahui tekanan udara, arus udara. Reseptor terdapat pada bagian dasar sayap dan pada bagian kepala.

5) Indera pengecap

Pengecap dirasakan oleh adanya reseptor pengecap yang disebut sel-sel pengecap. Reseptor ini secara konstan memberi informasi mengenai sifat-sifat zat yang masuk melalui mulut pada waktu makan, selain itu terdapat papilla pada lidah. Ada empat macam rasa kecap utama yaitu: pahit, manis, asam dan asin. Indera pengecap sangat penting untuk kelangsungan hidup hewan. Hewan yang mempunyai alat penciuman kurang tajam, maka kurang berkembang pula alat pengecapnya. Reseptor pengecap adalah suatu kemoreseptor karena dapat dirangsang oleh berbagai zat kimia.

2. Kemoreseptor

Indera penciuman dan pengecap termasuk suatu kemoreseptor, sebab indera pengecap merupakan alat yang bisa merasakan zat-zat kimia dan indera penciuman bisa mencium berbagai sifat zat kimia terutama baunya. Hewan-hewan rendah juga memiliki beberapa kemoreseptor yang berkembang baik dan berperan penting pada kelangsungan hidupnya. Contohnya bila asam lemah ditetaskan pada tubuhnya maka protozoa (*Amoeba*, sp) akan menggerakkan pseudopodianya, Hydra dapat membedakan makanan yang hidup dan yang mati. Kemoreseptor berfungsi juga sebagai alat simbiosis komensalisme dan parasitisme.

3. Proprioseptor

Informasi mengenai kedudukan tubuh dan lender dirasakan oleh proprioseptor. Proprioseptor terdapat pada empat otot (otot lurik), pada tendon otot, pada selaput pembungkus otot berupa ujung saraf Paccini dan pada sendi. Proprioseptor merupakan suatu mekanoseptor. Proprioseptor penting untuk mengatur koordinasi aktifitas otot.

4. Interoseptor

Interoseptor menyampaikan informasi mengenai kejadian-kejadian di dalam tubuh. Di dalam tubuh hewan banyak reseptor yang secara konstan menyampaikan informasi tentang keadaan alat-alat dalam seperti jantung, paru-paru, pembuluh darah dan informasi tentang lingkungan dalam seperti kadar glukosa darah, konsentrasi ion, dan PH kepada saraf pusat. Semua reseptor diatas termasuk kedalam interoreseptor.

Selain interoreseptor juga terdapat interoreseptor khusus yang berfungsi sebagai alat keseimbangan. Letaknya pada telinga dalam yang disebut Labirin. Labirin terdiri atas alat keseimbangan untuk merasakan gerakan kepala yaitu saluran-saluran semisirkuler dan alat untuk mengetahui kedudukan kepala yaitu utrikulus dan sakulus.

5. Fotoreseptor

Hampir semua hewan mempunyai kapasitas untuk merespon terhadap cahaya. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik dan organ visual dari hewan memperlihatkan perbedaan sensitifitas terhadap gelombang cahaya yang berbeda. Disamping memperlihatkan sensitifitas terhadap cahaya, kebanyakan hewan telah mempunyai organ penglihatan yang baik yaitu mata. Mata atau titik mata ditemukan pada Platyhelminthes, Nematelminthes, Annelida, Molluska, Arthropoda dan semua Vertebrata. Mata dibangun oleh sel-sel fotoreseptor yang menerima kualitas cahaya tertentu seperti intensitas dan warna.

MEKANISME PENGHANTARAN IMPULS

Penghantaran 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.

Penghantaran Impuls Melalui Sinapsis

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.

Sistem Saraf Pada Vertebrata

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 olfaktorius 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. Garis lateral tubuh mempunyai perluasan di daerah kepala dan berguna untuk mendeteksi perubahan tekanan arus air (seperti menghindari dari batu-batuan). Garis lateral itu diinervasi oleh saraf kranial ke X (N. vagus), oleh sebab itu beberapa ahli berpendapat bahwa telinga tengah pada vertebrata air berasal sama seperti garis lateral.

Sistem saraf Amphi

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 saluran 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).

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 rongga hidung. Mata dengan kelenjar air mata. Telinganya seperti telinga vertebrata rendah. Saluran auditori eksternal tertutup kulit, dengan membran tympani. Telinga

dalam dengan tiga saluran semi sirkular untuk mendengar. Dari ruang tympani ada saluran eustachius dan bermuara dalam faring di belakang hidung dalam.

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 sirkular terus ke koklea. Pendengaran burung 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. Syaraf 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.

Sistem saraf Mammalia

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 auditoris eksternal ke membran tympani. Telinga tengah mengandung 3 buah osikel auditoris. Koklea agak berkelok. Mata tidak mengandung pekten (seperti yang terdapat pada burung). Di banding dengan vertebrata yang lebih rendah, maka pada kelinci membran olfaktorius lebih luas, organ pembau lebih efektif, karena membran olfaktorius itu lebih luas. Hal itu disebabkan karena papan-papan tulang dalam rongga hidung bergulung-gulung membentuk kurva

III. SISTEM PENCERNAAN

Pendahuluan

Sebagian besar hewan memakan organisme lain, mati atau hidup, utuh atau secara sepotong-sepotong. Yang merupakan pengecualian adalah hewan parasitik tertentu, seperti cacing pita, yang menyerap molekul organik melalui permukaan tubuhnya. Secara umum, hewan digolongkan ke dalam salah satu dari tiga kategori berdasarkan makanannya. Herbivora, termasuk gorila, sapi, kelinci, dan banyak keong memakan organisme autotrof (tumbuhan, alga atau ganggang). Karnivora, seperti hiu, burung elang, laba-laba, dan ular memakan hewan lain. Omnivora secara reguler mengonsumsi hewan dan juga tumbuhan atau alga. Hewan omnivora meliputi kecoak, burung gagak, rakun, dan manusia yang berkembang sebagai pemburu, pemakan bangkai dan pengumpul makanan.

Istilah herbivora, karnivora dan omnivora menggambarkan jenis makanan yang umum dimakan oleh seekor hewan dan adaptasi yang memungkinkan mereka untuk mendapatkan dan mengolah makanan tersebut. Akan tetapi, sebagian besar hewan adalah oportunistik, yang memakan makanan yang berada di luar kategori makanan utamanya ketika makanan ini tersedia. Sebagai contoh, sapi dan rusa yang termasuk ke dalam kelompok herbivora kadang-kadang bisa memakan hewan kecil atau telur burung bersama-sama dengan rumput dan tumbuhan lain. Sebagian besar karnivora mendapatkan beberapa nutrisi dari bahan tumbuhan yang masih berada dalam saluran pencernaan mangsa yang mereka makan. Semua hewan juga mengonsumsi beberapa bakteri bersama-sama dengan jenis makanan lain (Campbell dkk, 2004).

Hewan memerlukan senyawa organik seperti karbohidrat, lipid, dan protein sebagai sumber energi untuk menyelenggarakan berbagai aktivitasnya. Namun, kemampuannya untuk menyintesis senyawa organik sangat terbatas. Oleh karena itu, hewan berusaha memenuhi semua kebutuhannya dari tumbuhan dan hewan lain. Organisme yang demikian dinamakan organisme heterotrof. Ada juga hewan yang dapat menyintesis sendiri berbagai senyawa organik esensial, contohnya Euglena. Meskipun demikian, Euglena juga memerlukan vitamin (faktor pertumbuhan) yang tidak dapat disintesis sendiri sehingga organisme tersebut tetap memerlukan senyawa organik dari sumber lain. Berdasarkan alasan tersebut, Euglena disebut organisme mesotrof.

Cara makan dan jenis makanan hewan sangat bervariasi, tergantung pada susunan alat yang dimiliki serta kemampuannya untuk mempersiapkan makanan agar dapat diserap. Hewan primitif yang belum memiliki alat 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 Coelenterata mendapatkan makanan dengan menjerat (*trapping method*). Alat yang penting untuk mendukung metode tersebut adalah knidoblas atau nematosit yang biasanya dilengkapi dengan racun untuk menjerat mangsanya. Beberapa hewan yang aktif seperti burung petrel, burung flamingo, ikan hering, kepododa, dan ikan hiu balen mencari makanan dengan cara menyaring (*filter feeding*). Menyaring untuk memperoleh makanan juga dilakukan oleh hewan yang menetap seperti Bivalvia. *Filter feeding* merupakan variasi dari cara menyaring dan menjerat (*trapping*).

Filter feeder tidak memilih makanannya sehingga disebut *non selective feeder*. Hewan seperti ini tanggap terhadap senyawa kimia atau rangsang tertentu. Mekanisme menyaring dapat diaktifkan atau dihentikan, tergantung pada kondisi yang ada, mereka anggap berbahaya atau tidak. Hewan yang lain mungkin mampu memilih makanan yang diperlukan sehingga mereka disebut *selective feeder*. Pada umumnya, hewan semacam ini mendapatkan makanan dengan cara menangkap atau memangsa. Hewan-hewan yang demikian memiliki berbagai cara untuk menangkap mangsa dan dapat menggunakan bahan makanan secara efektif atau mengambil sari makanan dari hewan/tumbuhan.

Annelida, echinodermata, dan hemikordata akan menyerap bahan yang diperlukannya dan membuang bahan yang tidak diperlukannya. Selanjutnya, bahan makanan yang terkumpul akan dihancurkan secara mekanik, apabila hewan memiliki organ pencernanya. Apabila organ pencernaan tidak dimiliki, bahan makanan tersebut langsung dicerna secara kimia. metode yang digunakan oleh berbagai hewan untuk memperoleh makanan makanan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Metode untuk memperoleh makanan yang digunakan oleh berbagai macam hewan, dikelompokkan berdasarkan sifat makanannya

Tipe Makanan	Metode Makan	Hewan yang Menggunakan Metode tersebut
Partikel kecil	<ul style="list-style-type: none"> • Pembentukan vakuola makanan • Menggunakan silia • Membentuk lendir penjerat • Menggunakan tentakel • Menggunakan seta, menyaring 	<ul style="list-style-type: none"> • Amoeba dan Radiolaria • Spons, Bivalvia, Kecebong • Ciliata, Gastropoda, Tunikata • Mentimun Laut • Crustacea kecil (misal Daphnia), ikan hering, ikan paus balen, burung flamingo, dan burung petrel
Partikel/Massa makanan besar	<ul style="list-style-type: none"> • Menelan massa inaktif • Mengerat, mengunyah, 	<ul style="list-style-type: none"> • Cacing tanah (detritus feeder)

	<ul style="list-style-type: none"> • melubangi • Menangkap dan menelan mangsa 	<ul style="list-style-type: none"> • Landak laut, siput, insekta, invertebrata
Cairan atau jaringan lunak	<ul style="list-style-type: none"> • Menghisap getah tumbuhan, nektar 	<ul style="list-style-type: none"> • Coelenterata, ikan, burung, kelelawar
	<ul style="list-style-type: none"> • Menghisap darah • Menghisap susu atau sekret mirip susu • Pencernaan eksternal • Penyerapan melalui permukaan tubuh 	<ul style="list-style-type: none"> • Aphidae, lebah, dan burung penghisap nektar • Lintah, insekta, kelelawar "vampire" • Mamalia muda, burung muda • Laba-laba • Parasit, cacing pita
Bahan organik terlarut	Mengambil makanan dari cairan	Invertebrata akuatik
Nutrien hasil simbiosis	Kerja dari alga simbiotik intraseluler	Paramaecium, spons, binatang karang, hidra, cacing pipih dan remis

Menurut Campbell dkk (2004) adaptasi pengambilan makanan beranekaragam telah dievolusikan oleh hewan. Mekanisme hewan menelan makanan sangat beragam, tetapi semuanya digolongkan ke dalam empat kelompok utama. Banyak diantara hewan akuatik adalah pemakan suspensi (*suspension feeder*) yang menyaring partikel makanan kecil dari air. Remis dan tiram, misalnya, menggunakan insangnya untuk menjerat potongan-potongan kecil yang kemudian disapu bersama-sama dengan suatu lapisan tipis mukus ke mulut oleh silia yang berdenyut atau bergerak. Paus baleen, hewan terbesar diantara semua hewan yang pernah hidup, adalah juga pemakan suspensi. Mereka berenang dengan mulut ternganga, yang menapis jutaan hewan kecil dari volume air yang begitu besar yang dipaksa masuk melalui lempengan serupa saringan yang bertaut dengan rahangnya.

Pemakan substrat (*substrate-feeder*) hidup dalam atau pada makanannya. Hewan jenis ini makan sambil menggali saluran membuat jalan di dalam makanannya. Contohnya adalah penggali daun, yang merupakan larva berbagai serangga yang membuat terowongan melalui bagian dalam daun. Cacing tanah, adalah juga pemakan substrat, atau lebih spesifik pemakan deposit (*deposite-feeder*). Memakan sambil membuat jalannya melalui kotoran, cacing tanah menyelamatkan bahan organik yang telah busuk sebagian, yang dikonsumsi bersama-sama dengan tanah.

Pemakan cairan (*fluid-feeder*) memperoleh makanannya dengan cara menyedot cairan yang kaya nutrisi dari inang hidup. Nyamuk dan lintah menyedot darah dari hewan. Aphid menampung getah floem tumbuhan. Karena hewan pemakan cairan ini

membahayakan inangnya maka mereka dianggap sebagai parasit. Sebaliknya, burung kolibri dan lebah menguntungkan tumbuhan inangnya dengan memindahkan serbuk sari ketika mereka berpindah dari satu bunga ke bunga lain untuk mencari nektar.

Sebagian besar hewan adalah pemakan potongan besar (*bulk-feeder*) yang memakan potongan makanan dalam ukuran yang relatif besar. Adaptasinya berupa anggota tubuh seperti tentakel, sepit, kuku, gigi taring beracun, dan rahang dan geligi yang membunuh mangsanya atau memotong-motong daging atau vegetasi.

Bagaimana pun cara yang dilakukan hewan untuk memperoleh makanan, hal tersebut harus didukung oleh alat yang memadai, yaitu alat/organ pencernaan makanan khusus. Organ/sistem pencernaan hewan melaksanakan empat macam fungsi, yaitu memasukkan makanan ke dalam tubuh (ingesti), mengubah bahan makanan yang kompleks menjadi sederhana (pencernaan), menyerap hasil pencernaan serta membawanya 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.

Pencernaan Makanan

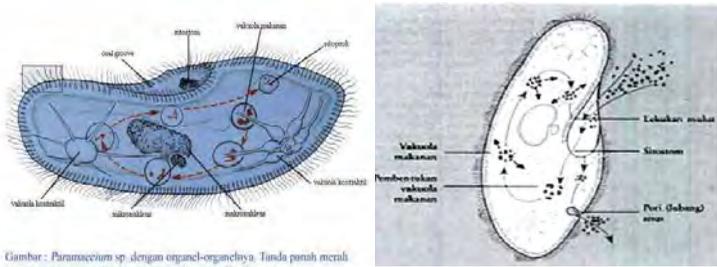
1. Pencernaan Terjadi Dalam Kompartemen Khusus

a. Pencernaan Intraseluler

Setelah mendapatkan makanan, hewan harus mencernanya dengan baik agar sari-sarinya dapat diserap oleh sel-sel tubuh. Pada protozoa, proses pencernaannya terjadi dalam vakuola. Mula-mula, lisosom menyekresikan enzim pencernaan ke dalam vakuola makanan. Enzim tersebut menyebabkan suasana vakuola berubah menjadi asam sehingga bahan makanan tercerna. Selanjutnya, terjadi pemisahan berbagai garam kalsium. Hal ini akan menciptakan suasana lingkungan dengan pH yang tepat bagi berbagai enzim untuk berfungsi secara optimal. Dalam keadaan seperti itu, bahan makanan akan disederhanakan sehingga dapat diserap oleh sitoplasma. Berakhirnya proses pencernaan ditandai dengan adanya perubahan keadaan lingkungan dalam vakuola menjadi netral. Bahan makanan yang tidak tercerna dikeluarkan melalui proses eksositosis (Isnaeni, 2006).

Menurut Campbell dkk (2004) vakuola makanan, organel seluler di mana enzim hidrolitik merombak makanan tanpa mencerna sitoplasma sel sendiri, adalah kompartemen yang paling sederhana. Protista heterotrofik mencerna makanannya dalam vakuola makanan, umumnya setelah menelan makanan melalui fagositosis atau pinositosis. Vakuola makanan menyatu dengan lisosom yang merupakan organel yang mengandung enzim hidrolitik. Keadaa ini akan memungkinkan makanan bercampur dengan enzim sehingga pencernaan terjadi secara aman di dalam suatu kompartemen yang

terbungkus oleh membran. Mekanisme pencernaan ini disebut pencernaan intraseluler (lihat Gambar 3.1).



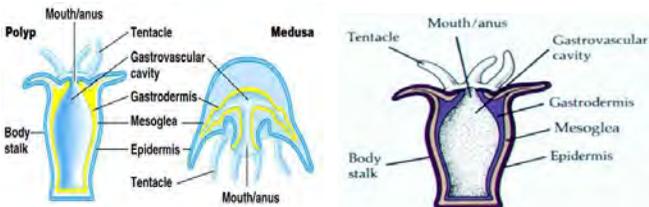
Gambar : *Paramecium* sp. dengan organ-organahnya. Tanda panah merah menunjukkan arah vakuola makanan. (Sumber : Harris 1996)

Gambar 3.1 Pencernaan Intraseluler Paramecium

Spons berbeda dari hewan-hewan lain karena pencernaan makanannya secara keseluruhan berlangsung melalui mekanisme intraseluler. Menurut Isnaeni (2006) 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 koanosit.

b. Pencernaan Ekstraseluler

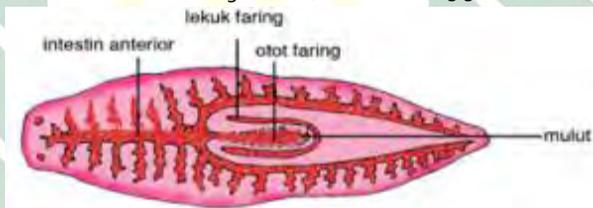
Pada sebagian besar hewan, paling tidak beberapa hidrolisis terjadi melalui pencernaan ekstraseluler, yaitu perombakan makanan di luar sel. Pencernaan ekstraseluler terjadi di dalam kompartemen yang bersambungan melalui saluran-saluran, dengan bagian luar tubuh hewan. Banyak hewan dengan bangun tubuh yang relatif sederhana memiliki kantung pencernaan dengan pembukaan tunggal. Kantung ini disebut sebagai rongga gastrovaskuler, berfungsi dalam pencernaan dan distribusi nutrisi ke seluruh tubuh. Hidra yang termasuk hewan Cnidaria merupakan contoh yang baik mengenai bagaimana suatu rongga gastrovaskuler bekerja. Hidra adalah karnivora yang menyengat mangsa dengan organ khusus yang disebut nematosit dan kemudian menggunakan tentakel untuk memasukkan makanan dari mulut ke dalam rongga gastrovaskuler (Lihat Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Pencernaan Ekstraseluler dalam suatu rongga gastrovaskuler Hydra

Dengan adanya makanan di dalam rongga itu, sel-sel khusus gastrodermis, lapisan jaringan yang melapisi rongga itu, mensekresikan enzim pencernaan yang merusak atau merombak jaringan lunak pada mangsanya menjadi potongan-potongan kecil. Sel-sel gastrodermal kemudian akan menelan partikel makanan, dan sebagian besar hidrolisis makromolekul yang sesungguhnya terjadi secara intraseluler seperti pada *Paramecium* dan spons. Setelah hidra selesai mencerna makanannya, bahan-bahan yang tidak tercerna yang masih tetap berada di dalam rongga gastrovaskuler, seperti eksoskeleton Crustacea kecil, dikeluarkan melalui sebuah pembukaan tunggal, yang berfungsi ganda sebagai mulut dan anus.

Sistem pencernaan pada planaria juga berupa gastrovaskuler, yaitu: mangsa ditangkap oleh farink dengan cara ditonjolkan keluar dan setelah mangsanya ditangkap segera ditarik masuk ke dalam rongga mulut bersamasama mangsanya. Sel-sel tertentu pada ephitelium usus dapat membentuk pseudopodia dan mencerna mangsanya kemudian membentuk vakuola makanan dan terjadi pencernaan. Sari-sari makanan diabsorpsi dan secara difusi masuk ke dalam jaringan-jaringan tubuh. Sisa-sisa yang tidak dapat dicerna dikeluarkan melalui lubang mulut. (Lihat Gambar 3.3)



Gambar 3.3 Sistem Pencernaan pada Planaria

Sistem Pencernaan Pada Invertebrata

1. Sistem Pencernaan Pada Coelenterata

Alat pencernaan pada Coelenterata berupa gastrovaskuler, yaitu ruang yang berfungsi untuk proses pencernaan sekaligus untuk sirkulasi. Sel yang membatasi rongga gastrovaskuler disebut gastrodermis. Sel ini mampu menyekresikan enzim ke ruang gastrovaskuler. Oleh karena itu, pemecahan bahan makanan secara kasar dapat berlangsung dalam saluran tersebut. Namun, pencernaan makanan secara lengkap tetap berlangsung secara intraseluler.

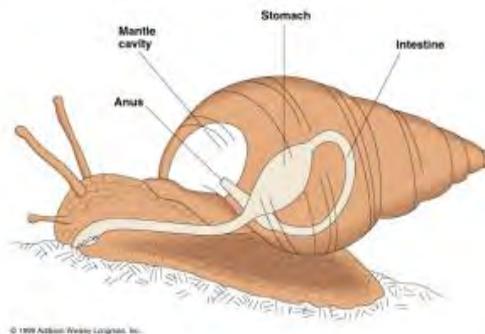
Beberapa spesies cacing pipih yang hidup bebas (non parasit) sudah mempunyai mulut, tetapi tidak mempunyai rongga pencernaan. Pada hewan tersebut, makanan dicerna oleh sel jaringan di dekat mulut, yang belum terorganisasi secara baik. Ada juga jenis cacing pipih yang mempunyai saluran

pencernaan makanan sederhana yang mirip dengan ruang gastrovaskuler pada Coelenterata, tetapi biasanya bercabang-cabang. Permukaan tubuh cacing pipih sering digunakan untuk menyerap makanan. Untuk keperluan tersebut cacing pipih mempunyai mikrofili pada usus halus manusia.

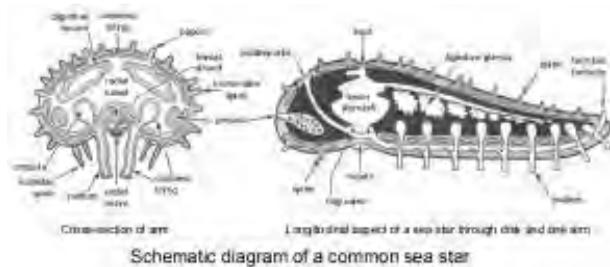
Berlawanan dengan hewan Cnidaria dan cacing pipih sebagian besar hewan-termasuk nematoda, anellida, moluska, artropoda, echinodermata, dan cordata-memiliki pipa atau tabung pencernaan yang memanjang antara dua pembukaan, mulut dan anus. Pipa atau tabung ini disebut saluran pencernaan lengkap (*complete digestive tract*) atau saluran pencernaan (*alimentary canal*). Karena makanan bergerak sepanjang saluran itu dalam satu arah, pipa itu dapat diorganisasikan menjadi daerah terspesialisasi yang melaksanakan pencernaan dan penyerapan nutrisi secara bertahap.



Gambar 3.4 Sistem Pencernaan Pada Annelida



Gambar 3.5 Sistem Pencernaan Pada Mollusca



Gambar 3.6 Sistem Pencernaan Pada Echinodermata

Makanan yang ditelan melalui mulut dan faring akan lewat melalui esofagus yang menuju ke tembolok, rempela, atau lambung, bergantung pada spesies. Tembolok dan lambung adalah organ dan umumnya berfungsi untuk penyimpanan dan penumpukan makanan, sementara rempela akan menggerusnya. Makanan kemudian akan memasuki usus halus, di mana enzim-enzim pencernaan menghidrolisis molekul makanan, dan nutrisi diserap melewati lapisan pipa pencernaan tersebut ke dalam darah. Bahan buangan yang tidak tercerna akan dikeluarkan melalui anus.

2. Sistem Pencernaan Pada Pisces

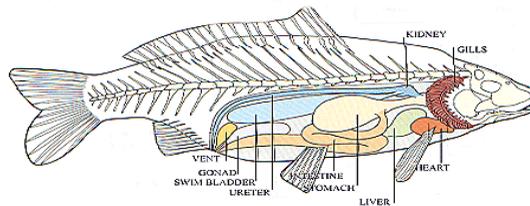
Saluran pencernaan ikan dimulai dari rongga mulut (*cavum oris*) yang di dalamnya terdapat gigi-gigi kecil yang berbentuk kerucut pada geraham bawah dan lidah pada dasar mulut yang tidak dapat digerakan dan banyak menghasilkan lendir tetapi tidak menghasilkan ludah. Dari rongga mulut makanan masuk ke dalam esofagus melalui faring yang terdapat di daerah sekitar insang.

Esofagus berbentuk kerucut, pendek terdapat di belakang insang dan bila tidak dilalui makanan lumen akan menyempit. Dari kerongkongan, makanan di dorong masuk ke lambung sehingga lambung menjadi besar. Antara lambung dan usus tidak jelas batasnya. Pada beberapa jenis ikan terdapat tonjolan buntu yang berfungsi untuk memperluas bidang penyerapan makanan, dari lambung makanan masuk ke dalam usus yang berbentuk pipa panjang berkelok-kelok dan sama besarnya bermuara pada anus.

Kelenjar pencernaannya berupa hati dan pankreas. Hati merupakan kelenjar yang berukuran cukup besar, berwarna merah kecoklatan, terletak di bagian depan rongga badan dan mengelilingi usus, bentuknya tidak tetap dan terbagi atas lobus kanan dan lobus kiri serta bagian yang menuju ke arah punggung.

Fungsi hati adalah menghasilkan empedu yang disimpan dalam kantong empedu untuk membantu proses pencernaan lemak. Kantong empedu berbentuk bulat berwarna kehijauan terletak di sebelah kanan hati dan salurannya bermuara pada lambung. Kantong empedu berfungsi untuk menyimpan empedu dan menyalurkan cairan empedu ke usus bila diperlukan. Pankreas berukuran

mikroskopik sehingga sukar dikenali. Pankreas berfungsi untuk menghasilkan enzim-enzim pencernaan dan hormon insulin.



Gambar 3.7 Sistem Pencernaan Pada Pisces

3. Sistem Pencernaan Pada Aves

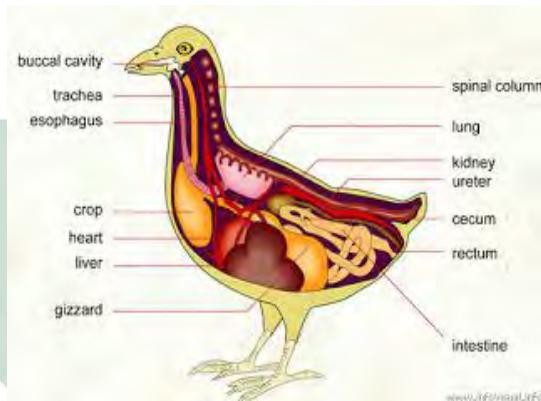
Pencernaan burung dimulai dengan mulut. Paruh burung mengganti bibir dan gigi mamalia dan bervariasi dalam bentuk, ukuran, panjang dan fungsi sesuai dengan jenis makanan yang dikonsumsi. Benih-kerupuk seperti pipit memiliki paruh kerucut pendek, sedangkan burung pemangsa seperti elang memiliki paruh bengkok yang kuat untuk merobek daging. Lidah burung, seperti paruh, disesuaikan dengan jenis makanan burung mengkonsumsi. Pelatuk memiliki lidah panjang sempit yang berfungsi sebagai tombak, yang memungkinkan mereka untuk mengekstrak serangga dari lubang mereka mengebor di kayu mati. Burung pemangsa dan finch memiliki paruh pendek, tebal, lidah berdaging yang memungkinkan mereka untuk memanipulasi makanan mereka.

Unggas dan pelikan memiliki lidah yang memungkinkan makanan menjadi mudah didorong ke bagian belakang mulut untuk menelan. Mulut burung relatif tidak penting dalam makan dan mencerna makanan dibandingkan dengan, misalnya, mulut mamalia. Namun, sebagian besar burung yang memiliki kelenjar ludah dan paruh dan lidah yang membantu burung memanipulasi makanan untuk menelan.

Setelah meninggalkan mulut, makanan melewati **kerongkongan** dalam perjalanan ke perut (pada burung yang disebut **proventrikulus**). Burung memiliki dua bagian perut, bagian kelenjar yang dikenal sebagai **proventrikulus** dan sebagian otot yang dikenal sebagai **lambung otot**. Asam klorida, lendir dan enzim pencernaan, pepsin, disekresikan oleh sel-sel khusus dalam proventrikulus dan memulai proses mogok struktur bahan makanan. Makanan kemudian melewati ke bagian kedua dari perut, lambung otot. Rempela tersebut melakukan fungsi yang sama seperti gigi mamalia, grinding dan pembongkaran makanan, sehingga memudahkan enzim pencernaan untuk memecah makanan. Dalam kebanyakan burung rempela mengandung butiran pasir atau batu-batu kecil untuk membantu proses penggilingan.

Usus kecil adalah di mana makanan dicerna dan diserap. Usus kecil bervariasi panjang dan struktur tergantung pada diet spesies. Burung karnivora

cenderung memiliki lebih pendek, usus kecil kurang kompleks. Burung herbivora memiliki panjang, lebih berkembang usus kecil. Enzim, diproduksi di pankreas, memecah protein dan lemak di usus kecil. Nutrisi tersebut kemudian diserap melalui membran usus dan ke dalam aliran darah. Pada burung **Arge usus** direduksi menjadi pendek, koneksi tanpa sifat antara usus halus dan kloaka. **Kloaka** adalah daerah memegang final untuk produk limbah pencernaan sampai mereka voided melalui ventilasi.



Gambar 3.8 Sistem Pencernaan Pada Aves

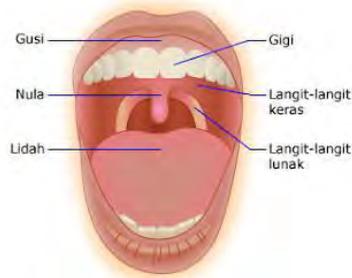
Sistem Pencernaan Vertebrata

Pencernaan Manusia

a. Rongga Mulut

Di dalam rongga mulut, terdapat gigi, lidah, dan kelenjar air liur (saliva). Gigi terbentuk dari tulang gigi yang disebut dentin. Struktur gigi terdiri atas mahkota gigi yang terletak diatas gusi, leher yang dikelilingi oleh gusi, dan akar gigi yang tertanam dalam kekuatan-kekuatan rahang. Mahkota gigi dilapisi email yang berwarna putih. Kalsium, fluoride, dan fosfat merupakan bagian penyusun email.

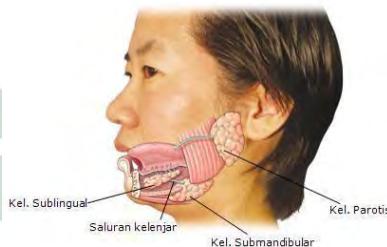
Untuk perkembangan dan pemeliharaan gigi yang baik, zat-zat tersebut harus ada di dalam makanan dalam jumlah yang cukup. Akar dilapisi semen yang melekatkan akar pada Ada tiga macam gigi manusia, yaitu gigi seri (insisor) yang berguna untuk memotong makanan, gigi taring (caninus) untuk mengoyak makanan, dan gigi geraham (molar) yang berguna untuk mengunyah makanan.



Pustekkom Depdiknas © 2008

Gambar 3.9 Rongga Mulut

Terdapat pula tiga buah kelenjar saliva pada mulut, yaitu kelenjar parotis, sublingualis, dan submandibularis (Lihat Gambar 3.10). Kelenjar saliva mengeluarkan air liur yang mengandung enzim ptialin atau amilase, berguna untuk mengubah amilum menjadi maltosa. Pencernaan yang dibantu oleh enzim disebut pencernaan kimiawi. Di dalam rongga mulut, lidah menempatkan makanan di antara gigi sehingga mudah dikunyah dan bercampur dengan air liur. Makanan ini kemudian dibentuk menjadi lembek dan bulat yang disebut bolus. Kemudian bolus dengan bantuan lidah, didorong menuju faring.



Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

Gambar 3.10 Kelenjar Pada Mulut

b. Faring dan Esophagus

Setelah melalui rongga mulut, makanan yang berbentuk bolus akan masuk ke dalam tekak (faring). Faring adalah saluran yang memanjang dari bagian belakang rongga mulut sampai ke permukaan kerongkongan (esophagus). Pada pangkal faring terdapat katup pernapasan yang disebut epiglottis. Epiglottis berfungsi untuk menutup ujung saluran pernapasan (laring) agar makanan tidak masuk ke saluran pernapasan. Setelah melaluifaring, bolus menuju ke esophagus; suatu organ berbentuk tabung lurus, berotot lurik, dan berdinding tebal (Lihat Gambar 10). Otot kerongkongan berkontraksi sehingga menimbulkan gerakan meremas yang mendorong bolus ke dalam lambung. Gerakan otot kerongkongan ini disebut gerakan peristaltik.



Sumber: *Ensiklopedia Iptek, 2007*

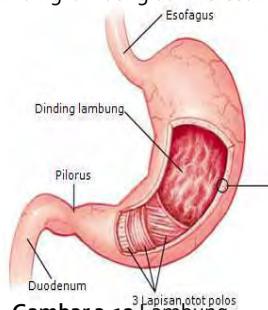
Gambar 3.11 Esophagus

c. Lambung

Lambung adalah kelanjutan dari esophagus, berbentuk seperti kantung. Lambung dapat menampung makanan 1 liter hingga mencapai 2 liter. Dinding lambung disusun oleh otot-otot polos yang berfungsi menggerus makanan secara mekanik melalui kontraksi otot-otot tersebut (Lihat Gambar 11). Ada 3 jenis otot polos yang menyusun lambung, yaitu otot memanjang, otot melingkar, dan otot menyerong.

Selain pencernaan mekanik, pada lambung terjadi pencernaan kimiawi dengan bantuan senyawa kimia yang dihasilkan lambung. Senyawa kimiawi yang dihasilkan lambung adalah :

- Asam HCl, mengaktifkan pepsinogen menjadi pepsin. Sebagai disinfektan, serta merangsang pengeluaran hormon sekretin dan kolesistokinin pada usus halus
- Lipase, memecah lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Namun lipase yang dihasilkan sangat sedikit
- Renin, mengendapkan protein pada susu (kasein) dari air susu (ASI). Hanya dimiliki oleh bayi.
- Mukus, melindungi dinding lambung dari kerusakan akibat asam HCl.

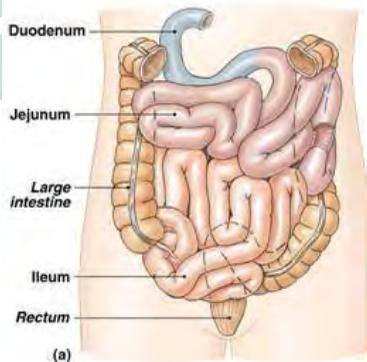


Gambar 3.12 Lambung

Otot lambung berkontraksi mengaduk-aduk bolus, memecahnya secara mekanis, dan mencampurnya dengan getah lambung. Getah lambung mengandung HCl, enzim pepsin, dan renin. HCl berfungsi untuk membunuh kuman-kuman yang masuk berasama bolus akan mengaktifkan enzim pepsin. Pepsin berfungsi untuk mengubah protein menjadi peptone. Renin berfungsi untuk menggumpalkan protein susu. Setelah melaluipencernaan kimiawi di dalam lambung, bolus menjadi bahan kekuningan yang disebut kim atau kimus (bubur usus). Kimus akan masuk sedikit demi sedikit ke dalam usus halus.

d. Usus Halus

Usus halus merupakan kelanjutan dari lambung (Gambar 12). Usus halus memiliki panjang sekitar 6-8 meter. Usus halus terbagi menjadi 3 bagian yaitu duodenum (± 25 cm), jejunum ($\pm 2,5$ m), serta ileum ($\pm 3,6$ m). Pada usus halus hanya terjadi pencernaan secara kimiawi saja, dengan bantuan senyawa kimia yang dihasilkan oleh usus halus serta senyawa kimia dari kelenjar pankreas yang dilepaskan ke usus halus. Suatu lubang pada dinding duodenum menghubungkan usus 12 jari dengan saluran getah pancreas dan saluran empedu. Pankreas menghasilkan enzim tripsin, amilase, dan lipase yang disalurkan menuju duodenum. Tripsin berfungsi merombak protein menjadi asam amino. Amilase mengubah amilum menjadi maltosa. Lipase mengubah lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Getah empedu dihasilkan oleh hati dan ditampung dalam kantung empedu. Getah empedu disalurkan ke duodenum. Getah empedu berfungsi untuk menguraikan lemak menjadi asam lemak dan gliserol.



Gambar 3.13 Usus Halus

Selanjutnya pencernaan makanan dilanjutkan di jejunum. Pada bagian ini terjadi pencernaan terakhir sebelum zat-zat makanan diserap. Zat-zat makanan setelah melalui jejunum menjadi bentuk yang siap diserap. Penyerapan zat-zat makanan terjadi di ileum. Glukosa, vitamin yang larut

dalam air, asam amino, dan mineral setelah diserap oleh vili usus halus; akan dibawa oleh pembuluh darah dan diedarkan ke seluruh tubuh. Asam lemak, gliserol, dan vitamin yang larut dalam lemak setelah diserap oleh vili usus halus; akan dibawa oleh pembuluh getah bening dan akhirnya masuk ke dalam pembuluh darah.

Senyawa yang dihasilkan oleh usus halus adalah :

- Disakaridase Menguraikan disakarida menjadi monosakarida
- Erepsinogen Erepsin yang belum aktif yang akan diubah menjadi erepsin. Erepsin mengubah pepton menjadi asam amino.
- Hormon Sekretin Merangsang kelenjar pancreas mengeluarkan senyawa kimia yang dihasilkan ke usus halus
- Hormon CCK (Kolesistokinin) Merangsang hati untuk mengeluarkan cairan empedu ke dalam usus halus.

Selain itu, senyawa kimia yang dihasilkan kelenjar pankreas adalah :

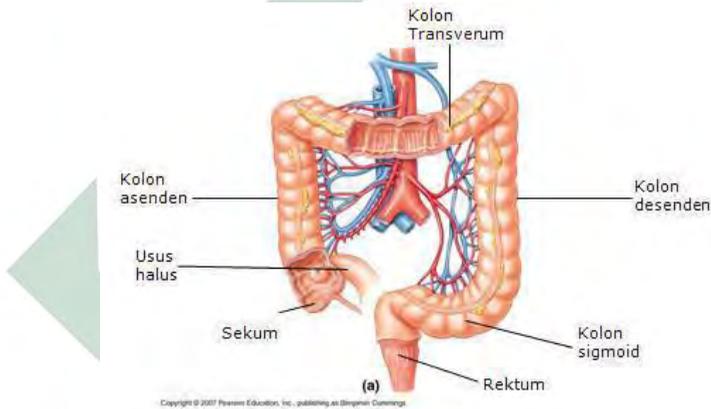
- Bikarbonat Menetralkan suasana asam dari makanan yang berasal dari lambung
 - Enterokinase Mengaktifkan erepsinogen menjadi erepsin serta mengaktifkan tripsinogen menjadi tripsin. Tripsin mengubah pepton menjadi asam amino.
 - Amilase Mengubah amilum menjadi disakarida
 - Lipase Mencerna lemak menjadi asam lemak dan gliserol
 - Tripsinogen Tripsin yang belum aktif.
 - Kimotripsin Mengubah peptone menjadi asam amino
 - Nuklease Menguraikan nukleotida menjadi nukleosida dan gugus pospat
 - Hormon Insulin Menurunkan kadar gula dalam darah sampai menjadi kadar normal
 - Hormon Glukagon Menaikkan kadar gula darah sampai menjadi kadar normal
- Pencernaan makanan secara kimiawi pada usus halus terjadi pada suasana basa. Prosesnya sebagai berikut:

- 1) Makanan yang berasal dari lambung dan bersuasana asam akan dinetralkan oleh bikarbonat dari pancreas.
- 2) Makanan yang kini berada di usus halus kemudian dicerna sesuai kandungan zatnya. Makanan dari kelompok karbohidrat akan dicerna oleh amylase pancreas menjadi disakarida. Disakarida kemudian diuraikan oleh disakaridase menjadi monosakarida, yaitu glukosa. Glukosa hasil pencernaan kemudian diserap usus halus, dan diedarkan ke seluruh tubuh oleh peredaran darah.
- 3) Makanan dari kelompok protein setelah dilambung dicerna menjadi pepton, maka pepton akan diuraikan oleh enzim tripsin, kimotripsin, dan erepsin menjadi asam amino. Asam amino kemudian diserap usus dan diedarkan ke seluruh tubuh oleh peredaran darah.

- 4) Makanan dari kelompok lemak, pertama-tama akan dilarutkan (diemulsifikasi) oleh cairan empedu yang dihasilkan hati menjadi butiran-butiran lemak (droplet lemak). Droplet lemak kemudian diuraikan oleh enzim lipase menjadi asam lemak dan gliserol. Asam lemak dan gliserol kemudian diserap usus dan diedarkan menuju jantung oleh pembuluh limfe.

e. Usus Besar (Colon)

Bahan makanan yang sudah melalui usus halus akhirnya masuk ke dalam usus besar (Gambar 13). Usus besar terdiri atas usus buntu (appendiks), bagian yang menaik (ascending colon), bagian yang mendatar (transverse colon), bagian yang menurun (descending colon), dan berakhir pada anus.



Gambar 3.14 Usus Besar dan bagiannya

Bahan makanan yang sampai pada usus besar dapat dikatakan sebagai bahan sisa. Sisa tersebut terdiri atas sejumlah besar air dan bahan makanan yang tidak dapat tercerna, misalnya selulosa. Usus besar berfungsi mengatur kadar air pada sisa makanan. Bil kadar iar pada sisa makanan terlalu banyak, maka dinding usus besar akan menyerap kelebihan air tersebut. Sebaliknya bila sisa makanan kekurangan air, maka dinding usus besar akan mengeluarkan air dan mengirimnya ke sisa makanan.

Di dalam usus besar terdapat banyak sekali mikroorganisme yang membantu membusukkan sisa-sisa makanan tersebut. Sisa makanan yang tidak terpakai oleh tubuh beserta gas-gas yang berbau disebut tinja(feses) dan dikeluarkan melalui anus.

f. Rektum dan Anus

Merupakan lubang tempat pembuangan feces dari tubuh. Sebelum dibuang lewat anus, feces ditampung terlebih dahulu pada bagian rectum. Apabila feces sudah siap dibuang maka otot spinkter rectum mengatur pembukaan dan penutupan anus. (Gambar 3.15).



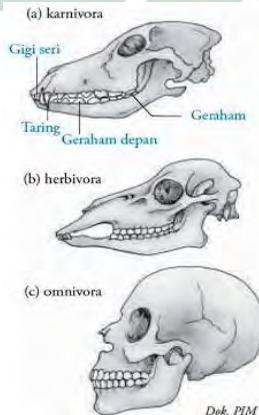
Gambar 3.15 Rektum dan Anus

Sistem Pencernaan Mamalia Secara Umum

Pada hewan tingkat tinggi, makanan dicerna dalam saluran khusus yang pada umumnya sudah berkembang dengan baik. Jadi, pencernaan makanan pada hewan ini berlangsung 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.

a) 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.



Gambar 3.16 Struktur Gigi Pada Jenis Hewan

b) Daerah Penyimpanan

Daerah penyimpanan makanan terdiri atas empedal (*gizzard*) dan lambung. Organ tersebut merupakan pelebaran saluran gastrointestinal pada bagian depan, yang memiliki fungsi utama sebagai penyimpan 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, tidak akan diangkat ke organ berikutnya. Empedal akan terus mencernanya secara mekanik dan mengubahnya menjadi partikel-partikel kecil yang mudah disaring. Pada burung, pencernaan makanan secara mekanik yang terjadi di empedal dilakukan oleh kontraksi otot empedal, dibantu oleh kerikil yang ditelannya.

Lambung berfungsi sebagai tempat menyimpan *khim*, yaitu makanan yang telah dicerna sebagian. Lambung akan meloloskan *khim* ke usus (duodenum) dengan jeda waktu tertentu. Lambung juga berfungsi untuk mencerna protein dengan menyekresikan enzim protease (zimogen) dan asam lambung. Asam lambung menyebabkan kondisi lambung vertebrata menjadi asam, dengan pH sekitar 1-2. Kondisi ini sangat penting untuk mengaktifkan enzim protease yang disimpan dan dikeluarkan oleh sel lambung dalam bentuk belum aktif.

Pada sejumlah herbivora, misalnya lembu dan domba, lambung telah dikhususkan untuk mencerna selulosa. Pada hewan ini, lambung memiliki beberapa ruang. Hewan seperti itu dikenal dengan nama ruminansia. Dalam mencerna selulosa, ruminansia bersimbiosis dengan bakteri dan protozoa yang hidup pada rumen dan retikulum di lambungnya.

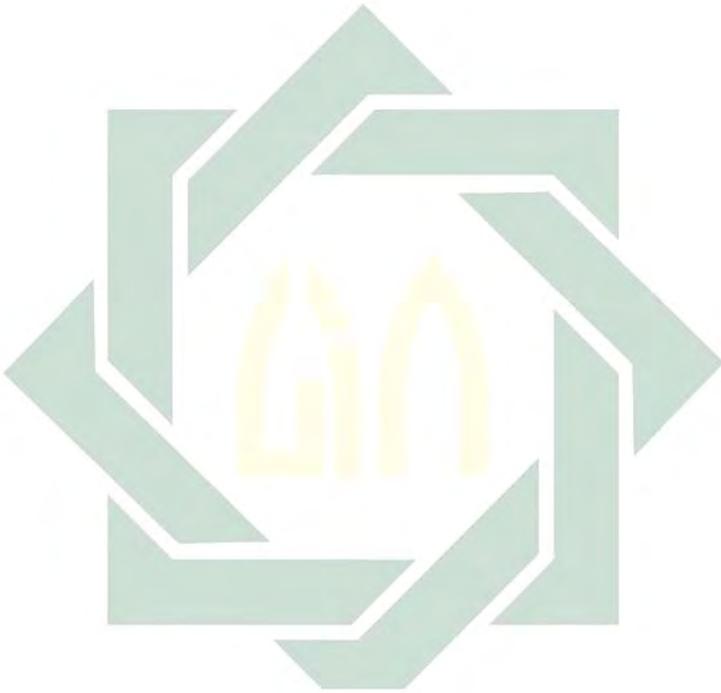
Selama makan, ruminansia mengunyah rerumputan dan biji-bijian secara singkat, lalu menelannya hingga makanan masuk ke rumen. Dalam rumen terjadi pencernaan makanan secara biologis oleh adanya aksi bakteri. Selanjutnya, makanan diteruskan ke retikulum yang akan mengubah bahan makanan tersebut menjadi gumpalan/bongkahan (*cud*) yang siap dimuntahkan lagi untuk dikunyah kedua kalinya. Setelah dikunyah untuk kedua kalinya, makanan ditelan lagi. Pada tahapan ini, makanan langsung masuk ke dalam omasum tanpa melalui rumen dan retikulum.

c) Daerah Pencernaan dan Penyerapan

Proses pencernaan secara lebih sempurna dan penyerapan 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.

Apabila proses pencernaan telah mencapai maksimal, bahan makanan berubah untuk menjadi bahan sederhana yang siap diserap. Perlu diingat bahwa di usus juga terdapat berbagai nutrisi lain yang diperlukan hewan, seperti vitamin dan mineral.



IV. SISTEM PERNAPASAN

Pendahuluan

1. Pengangkutan O₂

Pertukaran gas antara O₂ dengan CO₂ terjadi di dalam alveolus dan jaringan tubuh, melalui proses difusi. Oksigen yang sampai di alveolus akan berdifusi menembus selaput alveolus dan berikatan dengan haemoglobin (Hb) dalam darah yang disebut deoksigenasi dan menghasilkan senyawa oksihemoglobin (HbO).

2. Pengangkutan CO₂

Karbon-dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari proses respirasi sel akan berdifusi ke dalam darah yang selanjutnya akan diangkut ke paru-paru untuk dikeluarkan sebagai udara pernapasan.

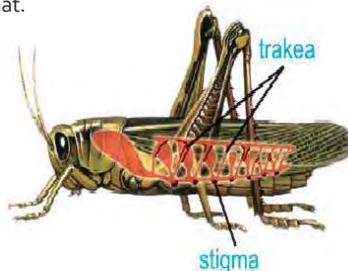
Alat Respirasi Pada Hewan

Alat respirasi pada hewan bervariasi antara hewan yang satu dengan hewan yang lain, ada yang berupa paru-paru, insang, kulit, trakea, bahkan ada beberapa organisme yang belum mempunyai alat khusus sehingga oksigen berdifusi langsung dari lingkungan ke dalam tubuh, contohnya pada hewan bersel satu, porifera, coelenterate, protozoa, dan cacing pada keempat hewan ini oksigen berdifusi dari lingkungan melalui rongga tubuh.

1. Alat Respirasi Pada Hewan Invertebrate

a. Alat respirasi pada serangga

Corong hawa (trakea) adalah alat pernapasan yang dimiliki oleh serangga dan arthropoda lainnya. Pembuluh trakea bermuara pada lubang kecil yang ada di kerangka luar (eksoskeleton) yang disebut *spirakel* (*stigma*). Spirakel berbentuk pembuluh silindris yang berlapis zat kitin, dan terletak berpasangan pada setiap segmen tubuh. Spirakel mempunyai katup yang dikontrol oleh otot sehingga membuka dan menutupnya spirakel terjadi secara teratur. Pada umumnya spirakel terbuka selama serangga terbang, dan tertutup saat serangga beristirahat.



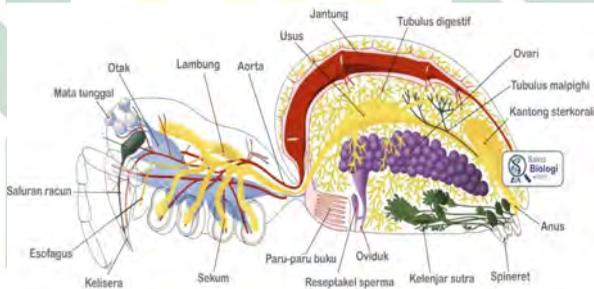
Gambar 4.1 Sistem Respirasi Belalang

Oksigen dari luar masuk lewat spirakel. Kemudian udara dari spirakel 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.

Trakeolus tidak berlapis kitin, berisi cairan, dan dibentuk oleh sel yang disebut *trakeoblas*. Pertukaran gas terjadi antara trakeolus dengan sel-sel tubuh. Trakeolus ini mempunyai fungsi yang sama dengan kapiler pada sistem pengangkutan (transportasi) pada vertebrata.

b. Alat respirasi pada kalajengking dan laba-laba

Kalajengking dan laba-laba besar (arachnida) yang hidup di darat memiliki alat pernapasan berupa paru-paru buku, sedangkan jika hidup di air bernapas dengan insang buku. Paru-paru buku memiliki gulungan yang berasal dari invaginasi perut. Masing-masing paru-paru buku ini memiliki lembaran-lembaran tipis (lamela) yang tersusun berjajar. Paruparu buku ini juga memiliki spirakel tempat masuknya oksigen dari luar. Keluar masuknya udara disebabkan oleh gerakan otot yang terjadi secara teratur. Baik insang buku maupun paru-paru buku keduanya mempunyai fungsi yang sama seperti fungsi paru-paru pada vertebrata.



Gambar 4.2 Sistem Respirasi Laba-laba

c. Alat respirasi pada protozoa

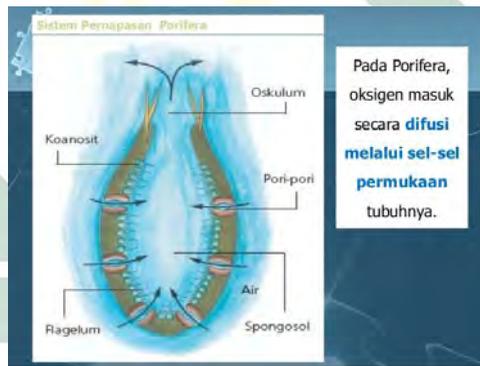
Hewan dalam golongan ini melakukan pernapasan melalui seluruh permukaan selnya. Oksigen dan karbon dioksida masuk dan keluar melalui membran sel secara difusi. Oksigen dan karbon dioksida tersebut merupakan gas-gas yang terlarut di dalam air. Contoh: *amoeba* sp.



Gambar 4.3 Sistem Respirasi Protozoa

d. Alat respirasi pada porifera

Hewan filum ini tubuhnya tersusun atas banyak sel dan memiliki jaringan yang sangat sederhana. Porifera tidak memiliki alat pernapasan khusus. Udara pernapasan dipertukarkan langsung oleh sel-sel di permukaan tubuh atau oleh sel-sel leher yang bersentuhan dengan air. Contoh: sponsia sp.



Gambar 4.4 Sistem Respirasi Porifera

e. Alat respirasi pada coelenterata

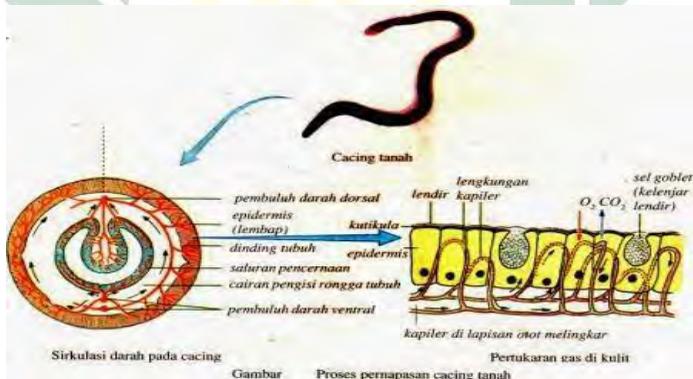
Hewan phylum coelenterata tubuhnya tersusun atas banyak sel dan memiliki jaringan. Hewan ini tidak memiliki alat pernapasan yang lengkap. Alat bantu pernapasan berupa lekukan-lekukan lapisan gastrodermal yang berada sedikit di bawah mulut, yang disebut sifonoglifa. Namun sel-sel di permukaan tubuh yang lain juga dapat melakukan pertukaran gas dengan lingkungannya. Contoh: aurelia aurita, hydra sp., dan metrium sp. (ubur-ubur).



Gambar 4.5 Sistem Respirasi Coelenterata

f. Alat respirasi pada cacing

Golongan cacing (vermes) terbagi dalam tiga phylum. Pada cacing pipih (platyhelminthes) pernapasan terjadi di seluruh permukaan tubuh melalui difusi. Contoh: planaria sp. Pada cacing gilik tidak bersegmen (nematelminthes) pernapasannya juga melalui difusi lewat permukaan tubuhnya. Contoh: ascaris lumbricoides. Pada cacing gilik bersegmen (annelida) pernapasannya melalui permukaan kulit yang selalu basah oleh cairan mukus. Contoh: lumbricus sp.



Gambar 4.6 Sistem Respirasi Cacing Tanah

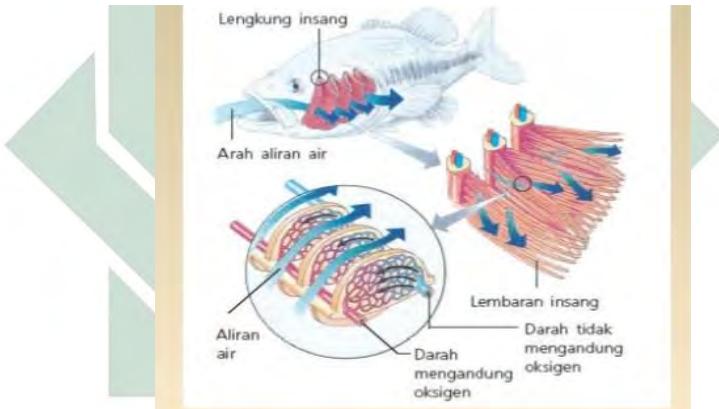
2. Alat Respirasi Pada Hewan Vertebrate

a. Alat respirasi pada ikan

Insang dimiliki oleh jenis ikan (pisces). Insang berbentuk lembaran-lembaran tipis berwarna merah muda dan selalu lembap. Bagian terluar dari insang berhubungan dengan air, sedangkan bagian dalam berhubungan erat dengan kapiler-kapiler darah. 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 O_2 berdifusi masuk dan CO_2 berdifusi keluar.

Insang pada ikan bertulang sejati ditutupi oleh tutup insang yang disebut *operculum* (tutup insang), sedangkan insang pada ikan bertulang rawan tidak ditutupi oleh operculum. Insang tidak saja berfungsi sebagai alat pernapasan tetapi dapat pula berfungsi sebagai alat ekskresi garam-garam, penyaring makanan, alat pertukaran ion, dan osmoregulator. Beberapa jenis ikan mempunyai *labirin* yang merupakan perluasan ke atas dari insang dan membentuk lipatan-lipatan sehingga merupakan rongga-rongga tidak teratur. Labirin ini berfungsi menyimpan cadangan O_2 sehingga ikan tahan pada kondisi yang kekurangan O_2 . Contoh ikan yang mempunyai labirin adalah: ikan gabus dan ikan lele. Untuk menyimpan cadangan O_2 , selain dengan labirin, ikan mempunyai gelembung renang yang terletak di dekat punggung.



Gambar 4.7 Sistem Respirasi Ikan

Ikan bernapas dengan insang yang terdapat pada sisi kiri dan kanan kepala. Masing-masing mempunyai empat buah insang yang ditutup oleh tutup insang (*operculum*).

Proses pernapasan pada ikan adalah dengan cara membuka dan menutup mulut secara bergantian dengan membuka dan menutup tutup insang. Pada waktu mulut membuka, air masuk ke dalam rongga mulut sedangkan tutup insang menutup. Oksigen yang terlarut dalam air masuk berdifusi ke dalam pembuluh kapiler darah yang terdapat dalam insang. Dan pada waktu menutup, tutup insang membuka dan air dari rongga mulut keluar melalui insang. Bersamaan dengan keluarnya air melalui insang, karbondioksida dikeluarkan.

b. Alat respirasi pada katak

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

Pada saat terjadi gerakan rongga mulut dan faring, lubang hidung tertutup sehingga udara berada di rongga mulut dan berdifusi masuk melalui selaput rongga mulut yang tipis. Selain bernapas dengan selaput rongga mulut, katak bernapas pula dengan kulit, ini dimungkinkan karena kulitnya selalu dalam keadaan basah dan mengandung banyak kapiler sehingga gas pernapasan mudah berdifusi. Oksigen yang masuk lewat kulit akan melewati vena kulit (*vena kutanea*) kemudian dibawa ke jantung untuk diedarkan ke seluruh tubuh. Sebaliknya karbon dioksida dari jaringan akan di bawa ke jantung, dari jantung dipompa ke kulit dan paru-paru lewat arteri kulit pare-paru (*arteri pulmo kutanea*). Dengan demikian pertukaran oksigen dan karbon dioksida dapat terjadi di kulit.

Selain bernapas dengan selaput rongga mulut dan kulit, katak bernapas juga dengan paru-paru walaupun paru-parunya belum sebaik paru-paru mamalia. Katak mempunyai sepasang paru-paru yang berbentuk gelembung tempat bermuaranya kapiler darah. Permukaan paru-paru diperbesar oleh adanya bentuk-bentuk seperti kantung sehingga gas pernapasan dapat berdifusi. Paru-paru dengan rongga mulut dihubungkan oleh bronkus yang pendek.



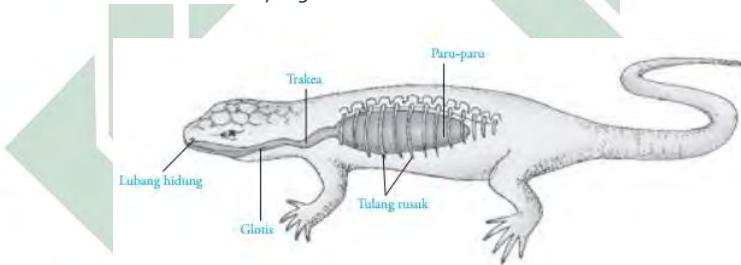
Gambar 4.8 Sistem Respirasi Katak

Katak dalam daur hidupnya mengalami metamorfosis atau perubahan bentuk. Pada waktu muda berupa berudu dan setelah dewasa hidup di darat. Mula-mula berudu bernapas dengan insang luar yang terdapat di bagian belakang kepala. Insang tersebut selalu bergetar yang mengakibatkan air di sekitar insang selalu berganti. Oksigen yang terlarut dalam air berdifusi di dalam pembuluh kapiler darah yang terdapat dalam insang.

Setelah beberapa waktu insang luar ini akan berubah menjadi insang dalam dengan cara terbentuknya lipatan kulit dari arah depan ke belakang sehingga menutupi insang luar. Katak dewasa hidup di darat, pernapasannya dengan paru-paru. Selain dengan paru-paru, oksigen dapat berdifusi dalam rongga mulut yaitu melalui selaput rongga mulut dan juga melalui kulit.

c. Alat respirasi pada reptilia

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



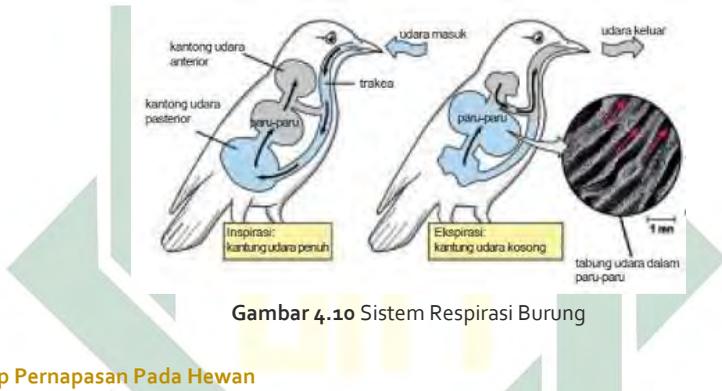
Gambar 4.9 Sistem Respirasi Reptilia

d. Alat respirasi pada burung

Pada burung, tempat 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. Trakeanya panjang berupa pipa bertulang rawan yang berbentuk cincin, dan bagian akhir trakea bercabang menjadi dua bagian, yaitu bronkus kanan dan bronkus kiri. Dalam bronkus pada pangkal trakea 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 dorsobronkus (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 sampai ke perut, leher, dan sayap. Pundi-pundi hawa berhubungan dengan paru-paru dan berselaput tipis. Di pundi-pundi hawa tidak terjadi difusi gas pernapasan; pundi-pundi hawa hanya berfungsi sebagai penyimpan cadangan oksigen dan meringankan tubuh. Karena adanya pundi-pundi hawa maka pernapasan pada burung menjadi efisien. Pundi-pundi hawa terdapat di pangkal leher (*servikal*), ruang dada bagian depan (*toraks anterior*), antara tulang selangka (*korakoid*), ruang dada bagian belakang (*toraks posterior*), dan di rongga perut (*kantong udara abdominal*).



Gambar 4.10 Sistem Respirasi Burung

Tahap Pernapasan Pada Hewan

Ikan hidup di air rawa, sungai, laut, kolam, danau. Ikan bernafas dengan insang. Pernafasan ikan berlangsung 2 tahap :

1. *Tahap I (Tahap Pemasukan)* : pada tahap ini mulut ikan membuka dan tutup insang menutup sehingga air masuk rongga mulut, kemudian menuju lembaran insang, disinilah oksigen yang larut dalam air diambil oleh darah, selain itu darah juga melepaskan karbondioksida dan uap air.
2. *Tahap II (Tahap Pengeluaran)* : mulut menutup dan tutup insang membuka sehingga air dari rongga mulut mengalir keluar melalui insang. Air yang dikeluarkan ini telah bercampur dengan CO₂ dan uap air yang dilepaskan darah

Untuk ikan yang hidup di lumpur seperti ikan lele, gabus, betok, pada insangnya terdapat banyak lipatan yang disebut *Labirin*

Ikan juga mempunyai gelembung renang yang berfungsi untuk :

1. menyimpan oksigen'
2. membantu gerakan ikan naik turun

Mekanisme Transport Gas

1. Mekanisme Transport Gas Serangga

Mekanisme pernapasan pada serangga, misalnya belalang, adalah sebagai berikut : jika otot perut belalang berkontraksi maka trakea membesar sehingga udara kaya CO_2 keluar. Sebaliknya, jika otot perut belalang berelaksasi maka trakea kembali pada volume semula sehingga tekanan udara menjadi lebih kecil dibandingkan tekanan di luar sebagai akibatnya udara di luar yang kaya O_2 masuk ke trakea.

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 tracheolus terdapat cairan sehingga udara mudah berdifusi ke jaringan. Pada serangga air seperti nyamuk udara diperoleh dengan menjulurkan tabung pernapasan ke permukaan air untuk mengambil udara. Serangga air tertentu mempunyai gelembung udara sehingga dapat menyelam di air dalam waktu lama. Misalnya, kepik *Notonecta sp.* Mempunyai gelembung udara di organ 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 2 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, CO_2 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 2 tahap yaitu, inspirasi dan ekspirasi yang keduanya terjadi 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 geniokioideus berkontraksi sehingga rongga mulut mengecil. Mengecilnya rongga mulut mendorong oksigen masuk ke paru-paru lewat celah-celah. Dalam paru-paru terjadi pertukaran gas, oksigen diikat oleh darah yang berada dalam kapiler dinding paru-paru dan sebaliknya, karbon dioksida 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. Bersama dengan itu, otot rahang bawah berkontraksi yang juga diikuti dengan berkontraksinya geniiohioideus sehingga rongga mulut mengecil. Dengan mengecilnya rongga mulut maka udara yang kaya karbon dioksida keluar.

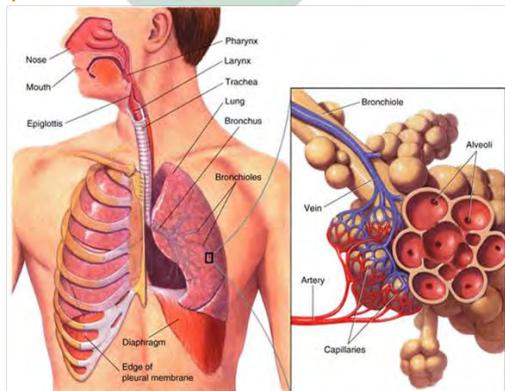
4. Mekanisme Transport Gas burung

Mekanisme pernapasan pada burung melalui 2 tahap yaitu (inspirasi) disebabkan adanya kontraksi otot antartulang rusuk (interkostal) sehingga tulang rusuk bergerak keluar dan tulang dada bergerak ke bawah. Atau dengan kata lain, burung mengisap udara dengan cara memperbesar rongga dadanya sehingga tekanan udara di dalam rongga dada menjadi kecil yang mengakibatkan masuknya udara luar. Udara luar yang masuk sebagian kecil tinggal di paru-paru dan sebagian besar akan diteruskan ke pundi- pundi hawa sebagai cadangan udara.

Udara pada pundi-pundi hawa dimanfaatkan hanya pada saat udara (O_2) di paru-paru berkurang, yakni saat burung sedang mengepakkan sayapnya. Saat sayap mengepak atau diangkat ke atas maka kantung hawa di tulang korakoid terjepit sehingga oksigen pada tempat itu masuk ke paru-paru.

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 besar dari tekanan di udara luar akibatnya udara dari paru-paru yang kaya karbon dioksida keluar. Bersamaan dengan mengecilnya rongga dada, udara dari kantung 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.

Fisiologi Sistem Pernapasan Pada Manusia



Gambar 4.11 Sistem Respirasi Manusia

Oksigen dalam tubuh dapat diatur menurut keperluan. Manusia sangat membutuhkan oksigen dalam hidupnya, kalau tidak mendapatkan oksigen selama 4 menit akan mengakibatkan kerusakan pada otak yang tidak dapat diperbaiki lagi dan bisa menimbulkan kematian. Kalau penyediaan oksigen berkurang akan menimbulkan kacau pikiran dan anoksia serebralis (Syaifuddin, 2006).

1. Pernapasan paru

Pernapasan paru adalah pertukaran oksigen dan karbondioksida yang terjadi pada paru-paru. Pernapasan melalui paru-paru atau pernapasan eksternal, oksigen diambil melalui mulut dan hidung pada waktu bernapas yang oksigen masuk melalui trakea sampai ke alveoli berhubungan dengan darah dalam kapiler pulmonar. Alveoli memisahkan oksigen dari darah, oksigen menembus membran, diambil oleh sel darah merah dibawa ke jantung dan dari jantung dipompakan ke seluruh tubuh. Di dalam paru-paru karbondioksida merupakan hasil buangan yang menembus membran alveoli. Dari kapiler darah dikeluarkan melalui pipa bronkus berakhir sampai pada mulut dan hidung (Syaifuddin, 2006). Empat proses yang berhubungan dengan pernapasan pulmoner :

- 1) Ventilasi pulmoner, gerakan pernapasan yang menukar udara dalam alveoli dengan udara luar.
- 2) Arus darah melalui paru-paru, darah mengandung oksigen masuk ke seluruh tubuh, karbondioksida dari seluruh tubuh masuk ke paru-paru.
- 3) Distribusi arus udara dan arus darah sedemikian rupa dengan jumlah yang tepat, yang bisa dicapai untuk semua bagian.
- 4) Difusi gas yang menembus membran alveoli dan kapiler karbondioksida lebih mudah berdifusi dari pada oksigen.

Proses pertukaran oksigen dan karbondioksida terjadi ketika konsentrasi dalam darah mempengaruhi dan merangsang pusat pernapasan terdapat dalam otak untuk memperbesar kecepatan dalam pernapasan, sehingga terjadi pengambilan O_2 dan pengeluaran CO_2 lebih banyak. Darah merah (hemoglobin) yang banyak mengandung oksigen dari seluruh tubuh masuk ke dalam jaringan, mengambil karbondioksida untuk dibawa ke paru-paru dan di paru-paru terjadi pernapasan eksternal (Syaifuddin, 2006).

2. Pernapasan sel

- 1) Transpor gas paru-paru dan jaringan

Selisih tekanan parsial antara O_2 dan CO_2 menekankan bahwa kunci dari pergerakan O_2 mengalir dari alveoli masuk ke dalam jaringan melalui darah, sedangkan CO_2 mengalir dari jaringan ke alveoli melalui pembuluh darah. Akan tetapi jumlah kedua gas yang ditranspor ke jaringan dan dari jaringan secara keseluruhan tidak cukup bila O_2 tidak larut dalam darah dan bergabung dengan protein membawa O_2 (hemoglobin). Demikian juga CO_2 yang larut masuk ke dalam serangkaian reaksi kimia reversibel (rangkain

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 (Syaifuddin, 2006).

2) 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 (Syaifuddin, 2006).

Transpor oksigen melalui beberapa tahap (Pearce, 2007) yaitu :

- a. Tahap I : oksigen atmosfer masuk ke dalam paru-paru. Pada waktu kita menarik napas tekanan parsial oksigen dalam atmosfer 159 mmHg. Dalam alveoli komposisi udara berbeda dengan komposisi udara atmosfer tekanan parsial O_2 dalam alveoli 105 mmHg.
- b. Tahap II : darah mengalir dari jantung, menuju ke paru-paru untuk mengambil oksigen yang berada dalam alveoli. Dalam darah ini terdapat oksigen dengan tekanan parsial 40 mmHg. Karena adanya perbedaan tekanan parsial itu apabila tiba pada pembuluh kapiler yang berhubungan dengan membran alveoli maka oksigen yang berada dalam alveoli dapat berdifusi masuk ke dalam pembuluh kapiler. Setelah terjadi proses difusi tekanan parsial oksigen dalam pembuluh menjadi 100 mmHg.
- c. Tahap III : oksigen yang telah berada dalam pembuluh darah diedarkan keseluruh tubuh. Ada dua mekanisme peredaran oksigen dalam darah yaitu oksigen yang larut dalam plasma darah yang merupakan bagian terbesar dan sebagian kecil oksigen yang terikat pada hemoglobin dalam darah. Derajat kejenuhan hemoglobin dengan O_2 bergantung pada tekanan parsial CO_2 atau pH. Jumlah O_2 yang diangkut ke jaringan bergantung pada jumlah hemoglobin dalam darah.
- d. Tahap IV : sebelum sampai pada sel yang membutuhkan, oksigen dibawa melalui cairan interstitial lebih dahulu. Tekanan parsial oksigen dalam cairan interstitial 20 mmHg. Perbedaan tekanan oksigen dalam pembuluh darah arteri (100 mmHg) dengan tekanan parsial oksigen dalam cairan interstitial (20 mmHg) menyebabkan terjadinya difusi oksigen yang cepat dari pembuluh kapiler ke dalam cairan interstitial.
- e. Tahap V : tekanan parsial oksigen dalam sel kira-kira antara 0-20 mmHg. Oksigen dari cairan interstitial berdifusi masuk ke dalam sel. Dalam sel oksigen ini digunakan untuk reaksi metabolisme yaitu reaksi oksidasi senyawa yang berasal dari makanan (karbohidrat, lemak, dan protein) menghasilkan H_2O , CO_2 dan energi.

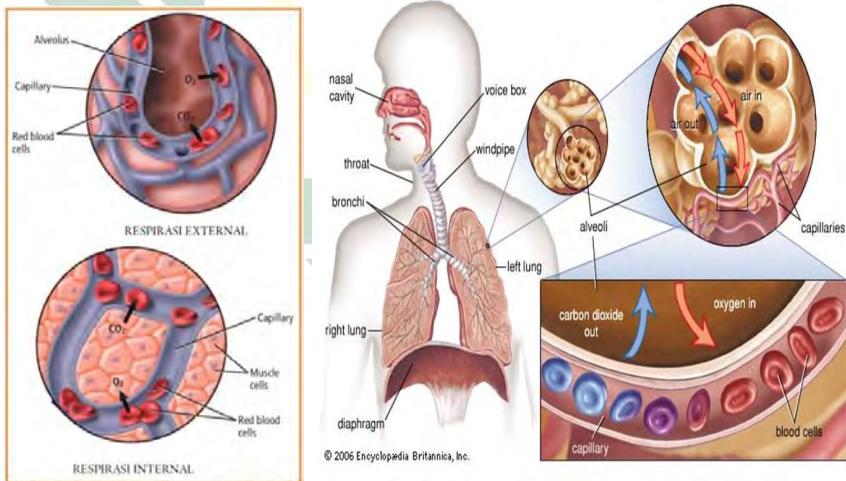


3) Reaksi hemoglobin dan oksigen

Dinamika 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 atom besi dapat mengikat secara reversible (perubahan arah) dengan satu molekul O_2 . Besi berada dalam bentuk ferro sehingga reaksinya adalah oksigenasi bukan oksidasi (Syaifuddin, 2006).

4) 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 anhydrase (berkurangnya sekresi kerigat) 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 CO_2 dalam darah arterial 2,6 ml dalam senyawa karbamino dan 43,8 ml dalam HCO_2 (Syaifuddin, 2006).



Gambar 3.12 Mekanisme Pertukaran O_2 dan CO_2

V. SISTEM REPRODUKSI

Pendahuluan

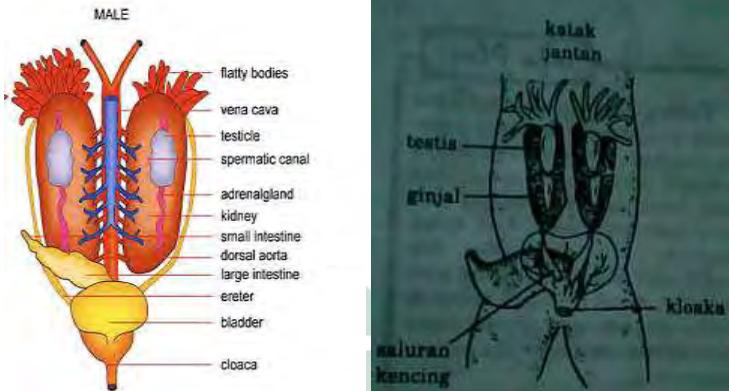
Reproduksi adalah kemampuan makhluk hidup untuk menghasilkan keturunan yang baru. Tujuannya adalah untuk mempertahankan jenisnya dan melestarikan jenis agar tidak punah. Bayangkan apabila ada suatu organisme yang tidak melakukan reproduksi, tentu saja akan mengganggu keseimbangan alam. Pada rantai makanan, bayangkan jika salah satu mata rantai tersebut hilang. Tentu akan tidak seimbang proses alam ini. Yang akan menghancurkan sebuah ekosistem, atau bahkan peradaban. Sistem reproduksi vertebrata jantan terdiri atas sepasang testis, saluran reproduksi jantan, kelenjar seks aksesoris (pada mamalia) dan organ kopulatoris (pada hewan-hewan dengan fertilisasi internal). Sistem reproduksi betina terdiri atas sepasang ovarium pada beberapa hanya satu) dan saluran reproduksi betina. Pada mamalia yang dilengkapi organ kelamin luar (vulva) dan kelenjar susu. (Tenzer, 2003:19)

Reproduksi vertebrata pada umumnya sama, tetapi karena tempat hidup, perkembangan anatomi, dan cara hidup yang berbeda menyebabkan adanya perbedaan pada proses fertilisasi. Misalnya hewan akuatik pada umumnya melakukan fertilisasi di luar tubuh (fertilisasi eksternal), sedangkan hewan darat melakukan fertilisasi di dalam tubuh (fertilisasi internal). (Pratiwi, 1996:101). Bagi hewan yang melakukan fertilisasi internal dilengkapi dengan adanya organ kopulatori, yaitu suatu organ yang berfungsi menyalurkan sperma dari organisme jantan ke betina. Untuk lebih jelasnya bagaimana perbandingan anatomi sistem reproduksi hewan vertebrata yang meliputi amfibi, aves, reptil, mamalia, dan pisces.

Sistem Reproduksi Pada Amphibi

Sistem Genitalia Jantan

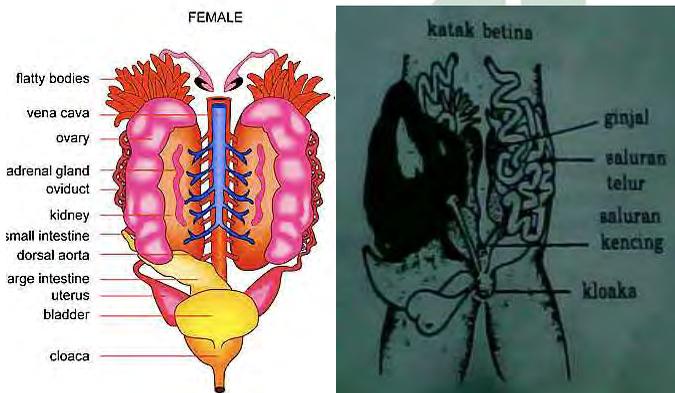
- Testis berjumlah sepasang, berwarna putih kekuningan yang digantungkan oleh mesosium. Sebelah kaudal dijumpai korpus adiposum, terletak di bagian posterior rongga abdomen.
- Saluran reproduksi. Tubulus ginjal akan menjadi duktus aferen dan membawa spermatozoa dari testis menuju duktus mesonefrus. Di dekat kloaka, duktus mesonefrus pada beberapa spesies akan membesar membentuk vesikula seminalis (penyimpan sperma sementara). Vesikula seminalis akan membesar hanya saat musim kawin saja. Vasa aferen 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.



Gambar 5.1 Sistem Reproduksi Amphibi Jantan

Sistem Genetalia 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 progonalis. Ovarium digantungkan oleh mesovarium.
- Saluran reproduksi, oviducts merupakan saluran yang berkelok-kelok. Oviduk dimulai dengan bangunan yang mirip corong (infundibulum) dengan lubangnya yang disebut oskum abdominal. Oviduk di sebelah kaudal mengadakan pelebaran yang disebut ductus mesonefrus. Dan akhirnya bermuara di kloaka.



Gambar 5.2 Sistem Reproduksi Amphibi Betina

Pembuahan Eksternal

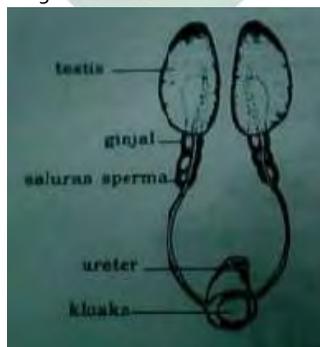
Sistem reproduksi pada amfibi, pembuahannya terjadi secara eksternal artinya penyatuan gamet jantan dan gamet betina terjadi di luar tubuh. Pada pembuahan eksternal biasanya dibentuk ovum dalam jumlah besar, karena kemungkinan terjadinya fertilisasi lebih kecil dari pada pembuahan secara internal. Pada katak betina menghasilkan ovum yang banyak, kalau kita membedah katak betina yang sedang bertelur, kita akan menjumpai bentukan berwarna hitam yang hampir memenuhi rongga perutnya, itu merupakan ovarium yang penuh berisi sel telur, jumlahnya mencapai ribuan. Pada katak betina juga ditemukan semacam lekukan pada bagian leher, yang berfungsi sebagai tempat "pegangan" bagi katak jantan ketika mengadakan fertilisasi. Hal ini diimbangi oleh katak jantan dengan adanya struktur khusus pada kaki depannya, yaitu berupa telapak yang lebih kasar. Fungsinya untuk erat katak betina ketika terjadi fertilisasi.

Sistem Reproduksi Pada Aves

Kelompok burung merupakan hewan ovipar. Walaupun kelompok burung tidak memiliki alat kelamin luar, fertilisasi tetap terjadi di dalam tubuh. Hal ini dilakukan dengan cara saling menempelkan kloaka.

Sistem Genitalia Jantan

- Testis berjumlah sepasang, berbentuk oval atau bulat, bagian permukannya licin, terletak di sebelah ventral lobus penis bagian paling kranial. Pada musim kawin ukurannya membesar. Di sinilah dibuat dan disimpan spermatozoa.
- Saluran reproduksi. Tubulus mesonefrus membentuk duktus aferen dan epididimis. Duktus wolf bergelung dan membentuk duktus deferen. Pada burung-burung kecil, duktus eferen bagian distal yang sangat panjang membentuk duktus aferen yang berdilatasi membentuk duktus ampula yang bermuara dikloaka sebagai duktus ejakulatori. Duktus eferen berhubungan dengan epididimis yang kecil dengan ureter ketika masuk kloaka.



Gambar 5.3 Sistem Reproduksi Pada Burung Jantan

Sistem Genitalia Betina

- Ovarium. Selain pada burung elang, ovarium aves yang berkembang hanya yang kiri, dan terletak di bagian dorsal rongga abdomen.
- Saluran reproduksi, oviduk yang berkembang hanya yang sebelah kiri, dan dibagi menjadi beberapa bagian- bagian anterior adalah infundibulum yang punya bagian terbuka yang mengarah ke rongga selom sebagai ostium yang dikelilingi oleh fimbria- fimbria. Di posteriornya adalah magnum yang akan mensekresikan albumin, selanjutnya istimus yang mensekresikan fimbria. Di Posteriornya adalah magnum yang akan mensekresikan albumin, selanjutnya Istimus akan mensekresikan membran sel telur dalam dan luar.



Gambar 5.4 Sistem Reproduksi Pada Burung Betina

Proses Fertilisasi

Pada burung betina hanya ada satu ovarium, yaitu ovarium kiri. Ovarium kanan tidak tumbuh sempurna dan tetap kecil yang disebut rudimenter. Ovarium dilekati oleh suatu corong penerima ovum yang dilanjutkan oleh oviduk. Ujung oviduk membesar menjadi uterus yang bermuara pada kloaka.

Pada burung jantan terdapat sepasang testis yang berhimpit dengan ureter dan bermuara di kloaka. Fertilisasi akan berlangsung di daerah ujung oviduk pada saat sperma masuk ke dalam oviduk. Ovum yang telah dibuahi akan bergerak mendekati kloaka. Saat perjalanan menuju kloaka di daerah oviduk, ovum yang telah dibuahi sperma akan dikelilingi oleh materi cangkang berupa zat kapur. Telur dapat menetas apabila dierami oleh induknya. Suhu tubuh induk akan membantu pertumbuhan embrio menjadi anak burung. Anak burung menetas dengan memecah kulit telur dengan menggunakan paruhnya. Anak burung yang baru menetas masih tertutup matanya dan belum dapat mencari makan sendiri, serta perlu dibesarkan dalam sarang.

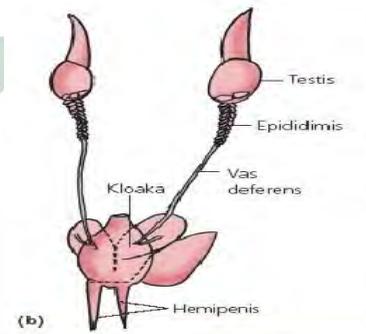
Sistem Reproduksi Pada Reptil

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 ke depan dari padayang lain. Testis akan membesar saat musim kawin.

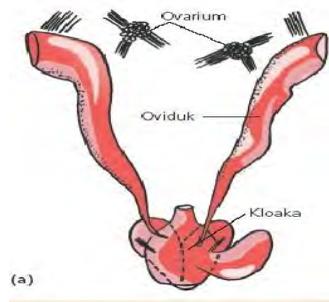
- Saluran reproduksi, duktus mesonefrus berfungsi sebagai saluranreproduksi, dan saluran ini akan menuju kloaka. Sebagian duktus wolfdekat testis bergelung membentuk epididimis. Tubulus mesonefrusmembentuk duktus aferen yang menghubungkan tubulus seminiferustestis dengan epididimis. Duktus wolf bagian posterior menjadi duktusdeferens. Pada kebanyakan reptil, duktus deferen bersatu dengan ureterdan memasuki kloaka melalui satu lubang, yaitu sinus urogenital yang pendek.



Gambar 5.5 Sistem Reproduksi Pada Reptil Jantan

Sistem Genitalia Betina

- Ovaum berjumlah sepasang, berbentuk oval dengan bagianpermukaannya benjol-benjol. Letaknya tepat di bagian ventralkolumna vertebralis.
- Saluran reproduksi, oviduk panjang dan bergelung. Bagian anteriorterbuka ke rongga selam sebagai ostium, sedang bagian posteriorbemuara di kloaka. Dinding bersifat glanduler, bagian anteriormenghasilkan albumin yang berfungsi untuk membungkus sel telur,kecuali pada ular dan kadal. Bagian posterior sebagai shell gland akan menghasilkan cangkang kapur.



Gambar 5.6 Sistem Reproduksi Pada Reptil Jantan

Sistem Reproduksi Pada Pisces

Sistem Genitalia Jantan

Ikan jantan alat reproduksinya terdiri atas :

- sepasang testis, yang menghasilkan sel kelamin jantan (sperma) berbentuk telur. Testis sebelah kanan lebih tinggi bila dibandingkan dengan testis sebelah kiri.
- epididimis,
- vas deferens, saluran sperma yang keluar dari testis'
- ginjal,
- saluran kencing
- kloaka

Testis

Testis adalah organ reproduksi jantan yang terdapat berpasangan dan terletak dibawah tulang belakang. Testis ikan berbentuk seperti kantong dengan lipatan-lipatan, serta dilapisi dengan suatu lapisan sel spermatogenik (**spermatosit**). Sepasang testis pada jantan tersebut akan mulai membesar pada saat terjadi perkawinan, dan spermajantan bergerak melalui **vas deferens** menuju celah/ lubang urogenital. Testis berjumlah sepasang, digantungkan pada dinding tengah rongga abdomen oleh mesosium. Bentuknya oval dengan permukaan yang kasar. Kebanyakan testis nyapanjang dan seringkali berlobus. Saluran reproduksi, pada **Elasmobranchi** beberapa **tubulus mesonefrus** bagian anterior akan menjadi **duktus aferen** dan menghubungkan testis dengan **mesonefrus**, yang disebut **duktus deferen**. Bahkan posterior **duktus aferen** berdilatasi membentuk **vesikula seminalis**, lalu dari sini akan terbentuk kantung sperma. **Dutus deferen** akan bermuara di kloaka. Pada **Teleostei** saluran dari sistem ekskresi dan sistem reproduksi menuju kloaka secara terpisah.

Proses fertilisasi/pembuahan pada ikan ada 2 cara, yakni pembuahan di dalam (**internal fertilization**) dan pembuahan di luar (**external fertilization**). Namundemikian kebanyakan jenis ikan melakukan pembuahan diluar (external fertilization). Ikan yang melakukan pembuahan diluar disebut ikan jenis ovipar. Ikan jenis ovipar mengeluarkan telur dari tubuhnya untuk dibuahi oleh "si jantan". Proses pembuahan sel telur (**oosit**) oleh sel sperma berlangsung diluar tubuh ikan dimana sperma memasuki sel telur melalui sebuah lubang yang disebut dengan mikrofili. Umumnya hanya satu sperma yang dapat masuk ke dalam sebuah sel telur. Oosit yang telah dibuahi oleh sel sperma disebut zigot. Sebaliknya ikan yang melakukan pembuahan di dalam disebut ikan jenis ovovivipar. Ikan jenis ini berkembang biak dengan cara melahirkan. Pembuahan terjadi di dalam tubuh ikan betina (internal fertilization).

Embrio berkembang di dalam tubuh induk betina, kemudian melahirkan anak yang sudah berwujud mirip dengan induknya. Ikan yang berkembang biak secara ovovivipar adalah ikan dari famili Poeciliidae, seperti platy, guppy, dan molly.

Kelangsungan hidup anakan memang baik, tetapi jumlah anakan yang dihasilkan setiap kelahiran tidak dapat banyak karena daya dukung induk terbatas (seperti padahalnya manusia). Proses kawinnya ikan didahului dengan pematangan sel-sel telur pada betina dan sel-sel sperma dalam testis pada ikan jantan. Selanjutnya proses kawin (spawning) pada ikan ini berlangsung secara alamiah/insting.

Sistem Genetalia Betina

- Ovarium pada Elasmoranchi padat, tapi kurang kompak, terletak pada anterior rongga abdomen. Pada saat dewasa yang berkembang hanya ovarium kanan. Pada Teleostei tipe ovariumnya sirkular dan berjumlah sepasang.
- Saluran reproduksi Elasmoranchi berjumlah sepasang, bagian anteriornya berfusi yang memiliki satu ostium yang dikelilingi oleh fimbria-fimbria. Oviduk sempit pada bagian anterior dan posteriornya. Pelebaran selanjutnya pada uterus yang bermuara di kloaka. Pada Teleostei punya oviduk pendek dan berhubungan langsung dengan ovarium. Pada bagian posterior bersatu dan bermuara pada satulubang. Teleostei tidak memiliki kloaka.
- Ovary
Ovary pada ikan terdiri dari banyak telur. Setiap jenis ikan memiliki ukuran telur sendiri, ada yang besar dan ada yang kecil. Ukuran telur akan menentukan jumlah telur yang dimiliki oleh seekor induk. Ikan yang memiliki ukuran telur besar contohnya ikan Nila dan Arwana, akan memiliki jumlah telur yang lebih sedikit dibanding dengan ikan yang ukuran telurnya kecil seperti ikan Cupang dan Mas. Hal ini disebabkan oleh kapasitas yang dimiliki si induk untuk menampung telur. Ukuran telur ikan banyak ditentukan oleh ukuran kuning telurnya. Makin besar kuning telur makin besar pula peluang embrio untuk bertahan hidup.
- Ovarium pada Elasmoranchi padat, tapi kurang kompak, terletak pada anterior rongga abdomen. Pada saat dewasa yang berkembang hanya ovarium kanan. Pada Teleostei tipe ovariumnya sirkular dan berjumlah sepasang.
- Saluran reproduksi Elasmoranchi berjumlah sepasang, bagian anteriornya berfusi yang memiliki satu ostium yang dikelilingi oleh fimbria-fimbria. **Oviduk** sempit pada bagian anterior dan posteriornya. Pelebaran selanjutnya pada uterus yang bermuara di kloaka. Pada Teleostei punya oviduk pendek dan berhubungan langsung dengan ovarium. Pada bagian posterior bersatu dan bermuara pada satulubang. **Teleostei** tidak memiliki kloaka.



Gambar 5.7 Sistem Reproduksi Pada Pisces

Sistem Reproduksi Pada Mammalia (Manusia)

Sistem Genetalia Pada Laki-laki

Organ reproduksi pria terdiri atas *organ reproduksi dalam* dan *organ reproduksiluar*.

Organ Reproduksi Dalam

Organ reproduksi dalam pria terdiri atas testis, saluran pengeluaran dan kelenjar asesoris.

1. Testis

Testis (gonad jantan) berbentuk oval dan terletak didalam kantung pelir (skrotum). Testis berjumlah sepasang (testes = jamak). Testis terdapat di bagian tubuh sebelah kiri dan kanan. Testis kiri dan kanan dibatasi oleh suatu sekat yang terdiri dari serat jaringan ikat dan otot polos. Fungsi testis secara umum merupakan alat untuk memproduksi spermadan hormon kelamin jantan yang disebut testoteron .

2. Saluran Pengeluaran

Saluran pengeluaran pada organ reproduksi dalam pria terdiri dari epididimis, vasdeferens ,saluran ejakulasi dan uretra.

- a. Epididimis

Epididimis merupakan saluran berkelok-kelok di dalam skrotum yang keluar dari testis. Epididimis berjumlah sepasang di sebelah kanan dan kiri. Epididimis berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara sperma sampai sperma menjadimatang dan bergerak menuju vas deferens.

- b. Vas deferens

Vas deferens atau saluran sperma (duktus deferens) merupakan saluran lurus yang mengarah ke atas dan merupakan lanjutan dari epididimis. Vas deferens tidak menempel pada testis dan ujung salurannya terdapat di dalam kelenjar prostat. Vasdeferens berfungsi sebagai saluran tempat jalannya sperma dari epididimis menuju kantung semen atau kantung mani (vesikula seminalis).

Organ Reproduksi Luar

Organ reproduksi luar pria terdiri dari penis dan skrotum.

1. Penis

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 saraf perasa. Bila ada suatu rangsangan, rongga tersebut akan terisi penuh oleh darah sehingga penis menjadi tegang dan mengembang (ereksi).

2. Skrotum

Skrotum (kantong pelir) merupakan kantong yang di dalamnya berisi testis. Skrotum berjumlah 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. Proses pembentukan sperma (spermatogenesis) membutuhkan suhu yang stabil, yaitu beberapa derajat lebih rendah daripada suhu tubuh.

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.

Dinding tubulus seminiferus tersusun dari jaringan ikat dan jaringan epitelium germinal (jaringan epitelium benih) yang berfungsi pada saat spermatogenesis. Pintalan-pintalan tubulus seminiferus terdapat di dalam ruang-ruang testis (lobulus testis). Satu testis umumnya mengandung sekitar 250 lobulus testis. Tubulus seminiferus terdiri dari sejumlah besar sel epitel germinal (sel epitel benih) yang disebut spermatogonia (spermatogonium = tunggal). Spermatogonia terletak di dua sampai tiga lapisan luar sel epitel tubulus seminiferus. Spermatogonia terus-menerus membelah untuk memperbanyak diri, sebagian dari spermatogonia berdiferensiasi melalui tahap perkembangan tertentu untuk membentuk sperma. Pada tahap pertama spermatogenesis, spermatogonia yang bersifat diploid ($2n$ atau mengandung 23 kromosom berpasangan), berkumpul di tepi membran epitelium germinal yang disebut spermatogonia tipe A. Spermatogonia tipe A membelah secara mitosis menjadi

spermatogonia tipe B. Kemudian, setelah beberapa kali membelah, sel-sel akhirnya menjadi spermatosit primer yang masih bersifat diploid. Setelah melewati beberapa minggu, setiap spermatosit primer membelah secara meiosis membentuk dua buah spermatosit sekunder yang bersifat haploid. Spermatosit sekunder kemudian membelah lagi secara meiosis membentuk empat buah spermatid. Spermatid merupakan calon sperma yang belum memiliki ekor dan bersifat haploid (n atau mengandung 23 kromosom yang tidak berpasangan). Setiap spermatid akan berdiferensiasi menjadi spermatozoa (sperma).

Proses perubahan spermatid menjadi sperma disebut *spermiasi*. Ketika spermatid dibentuk pertama kali, spermatid memiliki bentuk seperti sel-sel epitel. Namun, setelah spermatid mulai memanjang menjadi sperma, akan terlihat bentuk yang terdiri dari kepala dan ekor. Kepala sperma terdiri dari sel berinti tebal dengan hanya sedikit sitoplasma. Pada bagian membran permukaan di ujung kepala sperma terdapat selubung tebal yang disebut akrosom. Akrosom mengandung enzim hialuronidase dan proteinase yang berfungsi untuk menembus lapisan pelindung ovum.

Pada ekor sperma terdapat badan sperma yang terletak di bagian tengah sperma. Badan sperma banyak mengandung mitokondria yang berfungsi sebagai penghasil energi untuk pergerakan sperma. Semua tahap spermatogenesis terjadi karena adanya pengaruh sel-sel sertoli yang memiliki fungsi khusus untuk menyediakan makanan dan mengatur proses spermatogenesis.

Sistem Genitalia 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 Eksterna

1. Vulva
Tampak dari luar (mulai dari mons pubis sampai tepi perineum), terdiri dari mons pubis, labia mayora, labia minora, clitoris, hymen, vestibulum, orificium urethrae externum, kelenjar-kelenjar pada dinding vagina.
2. Mons pubis/mons veneris
Lapisan lemak di bagian anterior symphysis os pubis. Pada masa pubertas daerah ini mulai ditumbuhi rambut pubis.
3. Labia mayora

Lapisan lemak lanjutan mons pubis ke arah bawah dan belakang, banyak mengandung pleksus vena. Homolog embriologik dengan skrotum pada pria. Ligamentum rotundum uteri berakhir pada batas atas labia mayora. Di bagian bawah perineum, labia mayora menyatu (pada commisura posterior).

4. Labia minora

Lipatan jaringan tipis di balik labia mayora, tidak mempunyai folikel rambut. Banyak terdapat pembuluh darah, otot polos dan ujung serabut saraf.

5. Clitoris

Terdiri dari caput/glans clitoridis yang terletak di bagian superior vulva, dan corpus clitoridis yang tertanam di dalam dinding anterior vagina. Homolog embriologik dengan penis pada pria. Terdapat juga reseptor androgen pada clitoris. Banyak pembuluh darah dan ujung serabut saraf, sangat sensitif.

6. Vestibulum

Daerah dengan batas atas clitoris, batas bawah fourchet, batas lateral labia minora. Berasal dari sinus urogenital. Terdapat 6 lubang/orificium, yaitu orificium urethrae externum, introitus vaginae, ductus glandulae Bartholinii kanan-kiri dan ductus Skene kanan-kiri. Antara fourchet dan vagina terdapat fossa navicularis.

7. Introitus/orificium vagina

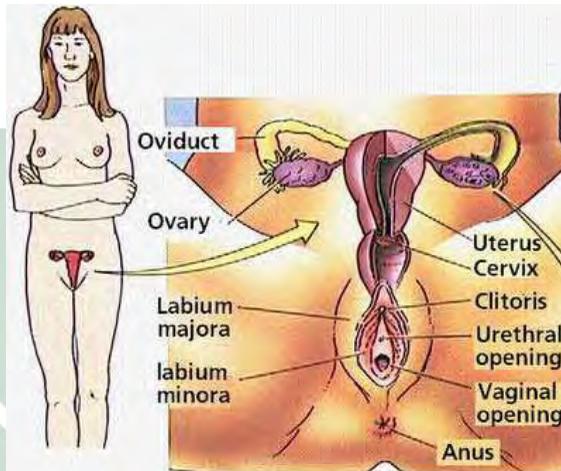
Terdapat di bagian bawah vestibulum. Pada gadis (virgo) tertutup lapisan tipis bermukosa yaitu selaput dara / hymen, utuh tanpa robekan. Hymen normal terdapat lubang kecil untuk aliran darah menstruasi, dapat berbentuk bulan sabit, bulat, oval, cribiformis, septum atau fimbriae. Akibat coitus atau trauma lain, hymen dapat robek dan bentuk lubang menjadi tidak beraturan dengan robekan (misalnya berbentuk fimbriae). Bentuk hymen postpartum disebut parous. Corrugatae myrtiformis adalah sisir selaput dara yang robek yang tampak pada wanita pernah melahirkan / para. Hymen yang abnormal, misalnya primer tidak berlubang (hymen imperforata) menutup total lubang vagina, dapat menyebabkan darah menstruasi terkumpul dirongga genitalia interna.

8. Vagina

Rongga muskulomembranosa berbentuk tabung mulai dari tepi cervix uteri dibagian kranial dorsal sampai ke vulva di bagian kaudal ventral. Daerah di sekitar cervix disebut fornix, dibagi dalam 4 kuadran : fornix anterior, fornix posterior, dan fornix lateral kanan dan kiri. Vagina memiliki dinding ventral dan dinding dorsal yang elastis. Dilapisi epitel skuamosa berlapis, berubah mengikuti siklus haid. Fungsi vagina : untuk mengeluarkan ekskresi uterus pada haid, untuk jalan lahir dan untuk kopulasi (persetubuhan). Bagian atas vagina terbentuk dari duktus Mulleri, bawah dari sinus urogenitalis. Batas dalam secara klinis yaitu fornix anterior, posterior dan lateralis di sekitar cervix uteri. Titik Grayenbergh (G-spot), merupakan titik daerah sensorik di sekitar 1/3 anterior dinding vagina, sangat sensitif terhadap stimulasi orgasmus vaginal.

9. Perineum

Daerah antara tepi bawah vulva dengan tepi depan anus. Batas otot-otot diafragma pelvis (m.levator ani, m.coccygeus) dan diafragma urogenitalis(m.perinealis transversus profunda, m.constrictor urethra).Perineal body adalah raphe median m.levator ani, antara anus dan vagina.Perineum meregang pada persalinan, kadang perlu dipotong (episiotomi) untuk memperbesar jalan lahir dan mencegah ruptur.



Gambar 5.10 Genitalia Eksterna Wanita

Genitalia Interna

1. Uterus

Suatu organ muskular berbentuk seperti buah pir, dilapisi peritoneum (serosa).Selama kehamilan berfungsi sebagai tempat implanasi, retensi dan nutrisikonseptus. Pada saat persalinan dengan adanya kontraksi dinding uterus dan pembukaan serviks uterus, isi konsepsi dikeluarkan.Terdiri dari corpus, fundus, cornu, isthmus dan serviks uteri.

2. Serviks uteri

Bagian terbawah uterus, terdiri dari pars vaginalis (berbatasan / menembus dinding dalam vagina) dan pars supravaginalis. Terdiri dari 3 komponen utama: otot polos, jalinan jaringan ikat (kolagen dan glikosamin) dan elastin. Bagian luar di dalam rongga vaginayaitu portio cervicis uteri (dinding) dengan lubang ostium uteri externum (luar, arah vagina) dilapisi epitel skuamokolumnar mukosa serviks, dan ostium uteri internum(dalam, arah cavum). Sebelum melahirkan (nullipara/primigravida) lubang ostiumexternum bulat kecil, setelah pernah/riwayat melahirkan (primipara/ multigravida)berbentuk garis melintang. Posisi serviks mengarah ke kaudal-posterior, setinggi spinaischia.

Kelenjar mukosa serviks menghasilkan lendir getah serviks yang mengandung glikoprotein kaya karbohidrat (musin) dan larutan berbagai garam, peptida dan air. Ketebalan mukosa dan viskositas lendir serviks dipengaruhi siklus haid.

3. Corpus uteri

Terdiri dari : paling luar lapisan serosa/peritoneum yang melekat pada ligamentum latum uteri di intraabdomen, tengah lapisan muskular/miometrium berupa otot polos tiga lapis (dari luar ke dalam arah serabut otot longitudinal, anyaman dan sirkular), serta dalam lapisan endometrium yang melapisi dinding cavum uteri, menebal dan runtuh sesuai siklus haid akibat pengaruh hormon-hormon ovarium. Posisi corpus intraabdomen mendatar dengan fleksi ke anterior, fundus uteri berada di atas vesica urinaria. Proporsi ukuran corpus terhadap isthmus dan serviks uterus bervariasi selama pertumbuhan dan perkembangan wanita (gambar). Ligamenta penyangga uterus: Ligamentum latum uteri, ligamentum rotundum uteri, ligamentum cardinale, ligamentum ovarii, ligamentum sacrouterina proprium, ligamentum infundibulopelvicum, ligamentum vesicouterina, ligamentum rectouterina. Vaskularisasi uterus terutama dari arteri uterina cabang arteri hypogastrica/iliacainterna, serta arteri ovarica cabang aorta abdominalis. Salping / Tuba Falopii

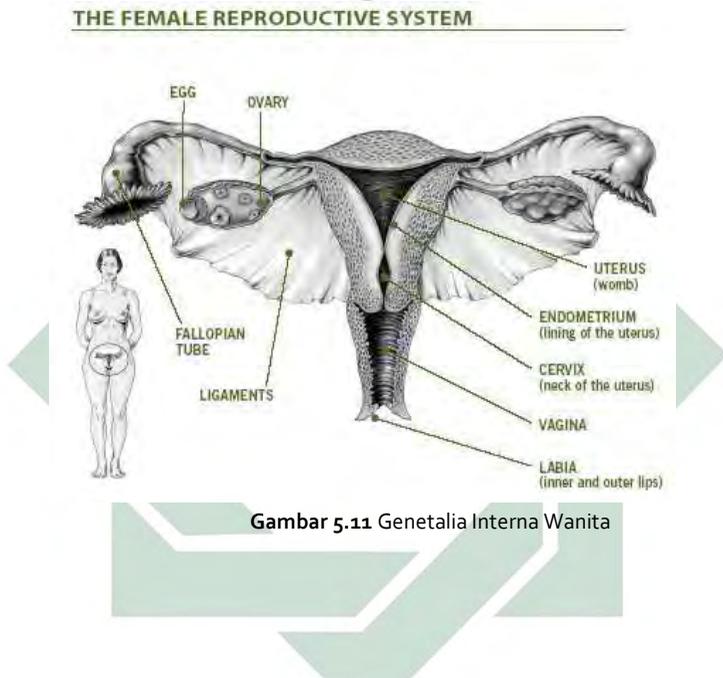
Embriologi uterus dan tuba berasal dari ductus Mulleri. Sepasang tuba kiri-kanan, panjang 8-14 cm, berfungsi sebagai jalan transportasi ovum dari ovarium sampai cavum uteri. Dinding tuba terdiri tiga lapisan : serosa, muskular (longitudinal dan sirkular) serta mukosa dengan epitel bersilia. Terdiri dari pars interstitialis, pars isthmica, pars ampularis, serta pars infundibulum dengan fimbria, dengan karakteristik silia dan ketebalan dinding yang berbeda-beda pada setiap bagiannya. Pars isthmica (proksimal/isthmus) merupakan bagian dengan lumen tersempit, terdapat sfingter utero tuba pengendali transfer gamet. Pars ampularis (medial/ampula) tempat yang sering terjadi fertilisasi adalah daerah ampula / infundibulum, dan pada hamil ektopik (patologik) sering juga terjadi implantasi di dinding tuba bagian ini.

Pars infundibulum (distal) dilengkapi dengan fimbriae serta ostium tubae abdominale pada ujungnya, melekat dengan permukaan ovarium. Fimbriae berfungsi "menangkap" ovum yang keluar saat ovulasi dari permukaan ovarium, dan membawanya ke dalam tuba. Mesosalping Jaringan ikat penyangga tuba (seperti halnya mesenterium pada usus).

4. Ovarium

Organ endokrin berbentuk oval, terletak di dalam rongga peritoneum, sepasang kirikan. Dilapisi mesovarium, sebagai jaringan ikat dan jalan pembuluh darah dan saraf. Terdiri dari korteks dan medula. Ovarium berfungsi dalam pembentukan dan pematangan folikel menjadi ovum (dari sel epitel germinal primordial di lapisan terluar epitel ovarium di korteks), ovulasi

(pengeluaran ovum), sintesis dan sekresi hormon-hormon steroid (estrogen oleh teka interna folikel, progesteron oleh korpus luteum pascaovulasi). Berhubungan dengan pars infundibulum tuba Falopii melalui perlekatan fimbriae. Fimbriae “menangkap” ovum yang dilepaskan pada saat ovulasi. Ovarium terfiksasi oleh ligamentum ovarii proprium, ligamentum infundibulopelvicum dan jaringan ikat mesovarium. Vaskularisasi dari cabang aorta abdominalis inferior terhadap arteri renalis.



VI. SISTEM ENDOKRIN/HORMON

Pendahuluan

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.

Kelenjar tanpa saluran atau kelenjar buntu digolongkan bersama dibawah nama organ endokrin, sebab sekresi yang dibuat tidak meninggalkan kelenjar melalui satu saluran, tetapi langsung masuk ke dalam darah yang beredar di dalam kelenjar. Kata "endokrin" berasal dari bahasa Yunani yang berarti "sekresi ke dalam"; zat aktif utama dari sekresi internal ini disebut **hormon**, dari kata Yunani yang berarti "merangsang". Beberapa dari organ endokrin menghasilkan satu hormon tunggal, sedangkan yang lain lagi dua atau beberapa jenis hormon: misalnya kelenjar hipofisis menghasilkan beberapa jenis hormon yang mengendalikan kegiatan banyak organ lain, karena itulah maka kelenjar hipofisis dilukiskan sebagai "kelenjar pemimpin tubuh".

Sistem endokrin adalah sistem yang berfungsi untuk memproduksi hormon yang mengatur aktivitas tubuh. Terdiri atas kelenjar tiroid, kelenjar hipofise/putuitari, kelenjar pankreas, kelenjar kelamin, kelenjar suprarenal, kelenjar paratiroid dan kelenjar buntu.

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, 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.

Klasifikasi dan Sifat Hormon

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

Tabel 6.1 Klasifikasidan Sifat Hormon

Steroid	Peptida	Protein Besar	Turunan Tirosin
<ul style="list-style-type: none"> • Testosteron • Estrogen • Progesteron • Kortikosteroid • Vitamin D-3 	<ul style="list-style-type: none"> • Hormon Hipotalamus • Angiotensin • Somatostatin • Gastrin • Sekretin • Glukagon • Kalsitonin • Insulin • Parathormon 	<ul style="list-style-type: none"> • Hormon Pertumbuhan • Prolaktin • LH • FSH • TSH 	Katekolamin, meliputi : <ul style="list-style-type: none"> • Noradrenalin • Adrenalin Hormon Tiroid, meliputi : <ul style="list-style-type: none"> • Tiroksin (T_4) • Triiodotironin (T_3)

Selain berbagai hormon yang telah disebutkan di atas, terdapat sejumlah zat kimia yang menyerupai hormon, antara lain :

1. Hormon Thymic : Hormon dari kelenjar timus (thymus), berperan untuk mempengaruhi perkembangan sel limfosit B menjadi sel plasma, yaitu sel penghasil antibodi.
2. Hormon Brakidin : Hormon yang dihasilkan oleh kelenjar yang sedang aktif, bekerja sebagai vasodilator (yang menyebabkan pembuluh darah membesar) sehingga dapat meningkatkan aliran darah dan merangsang pengeluaran keringat dan air ludah dalam jumlah lebih banyak.
3. Hormon Eritropuitin : Merupakan glikoprotein yang proses sintesisnya melibatkan hati dan ginjal, hormon ini dapat merangsang pusat pembentukan sel darah di sumsum tulang sehingga tubuh akan menghasilkan sel darah merah dalam jumlah yang lebih banyak. Hal ini bermanfaat dalam meningkatkan jumlah oksigen yang dapat diangkut oleh darah.
4. Hormon Prostaglandin, Eritropuitin, Histamin, Kinin, dan Renin dapat disintesis secara luas oleh berbagai jaringan atau organ yang sebenarnya tidak berfungsi sebagai organ endokrin.
5. Hormon Feromon : suatu senyawa kimia spesifik yang dilepaskan oleh hewan ke lingkungannya. dan dapat menimbulkan respons perilaku, perkembangan, reproduktif. Dan untuk membereikan daya tarik seksual, menandai daerah kekuasaan, mengenali individu lain dalam spesies yang sama dan berperan penting dalam sinkronisasi siklus seksual.

Sifat Hormon

Semua hormon umumnya memperlihatkan adanya kesamaan sifat. Beberapa sifat yang umum diperlihatkan oleh hormon ialah sebagai berikut:

1. Hormon Polipeptida biasanya disintesis dalam bentuk precursor yang belum aktif (disebut sebagai prohormon), contohnya proinsulin. Prohormon memiliki rantai yang panjang daripada bentuk aktifnya.
2. Sejumlah hormon dapat berfungsi dalam konsentrasi yang sangat rendah dan sebagian hormon berumur pendek.
3. Beberapa jenis hormon (misalnya adrenalin) dapat segera beraksi dengan sel sasaran dalam waktu beberapa detik, sedangkan hormon yang lain (contohnya estrogen dan tiroksin) bereaksi secara lambat dalam waktu beberapa jam sampai beberapa hari.
4. Pada sel sasaran, hormon akan berkaitan dengan reseptornya.
5. Hormon kadang-kadang memerlukan pembawa pesan kedua dalam mekanismenya.

Mekanisme Aksi Hormon

1. Reseptor Hormon Pada Membran

Reseptor untuk hormon pada suatu sel dapat terletak pada membrane atau sitoplasma biasanya merupakan reseptor untuk hormon protein atau peptida. Apabila sudah sampai di dekat sel sasaran, hormon akan segera berikatan dengan reseptornya dan membentuk kompleks hormon-reseptor. Pembentukan hormon-reseptor terjadi melalui mekanisme yang serupa dengan penggabungan antara anak kunci dan gemboknya. Kompleks hormon-reseptor akan memicu serangkaian reaksi biokimia yang menimbulkan tanggapan hayati.

Berikut adalah contoh beberapa peristiwa yang dapat diubah oleh hormon dengan cara kerja seperti di atas :

- Perubahan aktivitas enzim : perubahan aktivitas enzim memungkinkan proses metabolisme tertentu dapat terselenggara atau terhenti.
- Pengaktifan mekanisme transport aktif : proses transport aktif sangat penting bagi sel untuk memasukkan atau mengeluarkan suatu zat.
- Aktivitas pembentukan mikrotubulus : perubahan aktivitas pembentukan mikrotubulus dapat mempengaruhi berbagai peristiwa yang tergantung padanya, antara lain pergerakan ameba dan mitosis sel.
- Perubahan aktivitas metabolisme DNA : perubahan aktivitas metabolisme DNA dapat mempengaruhi proses pertumbuhan atau pembelahan sel.

2. Reseptor Hormon Pada Sitoplasma (Reseptor Sitosolik)

Merupakan hormon yang terdapat dalam sitoplasma sel sasaran. Hormon yang menggunakan reseptor sitosolik adalah hormon steroid dan hormon

turunan asam amino. Hormon tersebut sangat mudah larut dalam lipid sehingga mudah melewati membrane sel sasaran.

Selama dalam peredaran darah ke seluruh tubuh, hormon selalu berkaitan dengan pengembannya. Hormon akan terlepas dari molekul pengemban dan masuk ke sel sasaran. Dalam sitoplasma sel sasaran, hormon berkombinasi dengan reseptor khusus sehingga menghasilkan kompleks hormon-reseptor yang aktif. Kompleks tersebut memiliki daya gabung yang sanagt tinggi terhadap DNA sehingga setelah masuk ke inti, akan segera berkombinasi dengan DNA. Hal ini yang mengawali transkrip DNA. Pengikatan kompleks hormon-reseptor pada daerah promoter akan merangsang gen tertentu untuk aktif atau pasif.

Jenis Kelenjar Endokrin

1. Kelenjar Pituitari

Kelenjar pituitari ini dikenal sebagai master of glands (raja dari semua kelenjar) karena pituitari itu dapat mengontrol kelenjar endokrin lainnya. Sekresi hormon dari kelenjar pituitari ini dipengaruhi oleh faktor emosi dan perubahan iklim. Pituitari dibagi 2 bagian, yaitu anterior dan posterior.

a. Hipofisis anterior:

- Hormon Somatotropin (untuk pembelahan sel, pertumbuhan)
- Hormon tirotropin (sintesis hormon tiroksin dan pengambilan unsur yodium)
- Hormon Adrenokortikotropin (merangsang kelenjar korteks membentuk hormon)
- Hormon Laktogenik (sekresi ASI)
- Hormon Gonadotropin (FSH pada wanita pemasakan folikel, pada pria pembentukan spermatogonium; LH pada wanita pembentukan korpus luteum, pada pria merangsang sel interstitial membentuk hormon testosteron)
- Hipofisis Medula (membentuk hormon pengatur melanosit)

b. Hipofisis posterior

- Hormon oksitosin (merangsang kontraksi kelahiran)
- Hormon Vasopresin (merangsang reabsorpsi air ginjal)

2. Kelenjar Tiroid

Kelenjar tiroid adalah salah satu dari kelenjar endokrin terbesar pada tubuh manusia. Kelenjar ini dapat ditemui di leher. Kelenjar ini berfungsi untuk mengatur kecepatan tubuh membakar energi, membuat protein dan mengatur kesensitifan tubuh terhadap hormon lainnya. Kelenjar tiroid dapat distimulasi dan menjadi lebih besar oleh epoprostenol. Fungsi tiroid diatur oleh hormon perangsang tiroid (TSH) hipofisis, dibawah kendali hormon pelepas tirotropin (TRH) hipotalamus melalui sistem umpan balik hipofisis-hipotalamus. Faktor

utama yang mempengaruhi laju sekresi TRH dan TSH adalah kadar hormon tiroid yang bersirkulasi dan laju metabolik tubuh.

3. Kelenjar Paratiroid

Ada 2 jenis sel dalam keajaiban paratiroid, ada sel utama yang mensekresi hormon paratiroid (PTH) yang berfungsi sebagai pengendali keseimbangan kalsium dan fosfat dalam tubuh melalui peningkatan kadar kalsium darah dan penurunan kadar fosfat darah dan sel oksifilik yang merupakan tahap perkembangan sel *chief*.

4. Adrenalin

5. Pankreas : Kelenjar ini menghasilkan hormon insulin

6. Testis : Menghasilkan hormon testosteron

7. Ovum : Menghasilkan hormon estrogen yang berfungsi untuk menebalkan dinding rahim dan progesteron yang berfungsi untuk menjaga ketebalan dinding rahim.

Sistem Endokrin Pada Invertebrata

Sejumlah invertebrata tidak mempunyai organ khusus untuk sekresi hormon sehingga sekresinya dilaksanakan oleh sel neurosekretori, yang merupakan sumber hormon pada invertebrata. Sel neurosekretori dapat ditemukan antara lain:

- 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 peptide yang disebut activator kepala. Zat tersebut akan menyebabkan sisa tubuh hydra dapat membentuk mulut dan tentakel, dan selanjutnya membenyuk daerah kepala.

- Platyhelminthes

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

- 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.

- Annelida

Cacing poliset 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.

- 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.

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

- Insekta

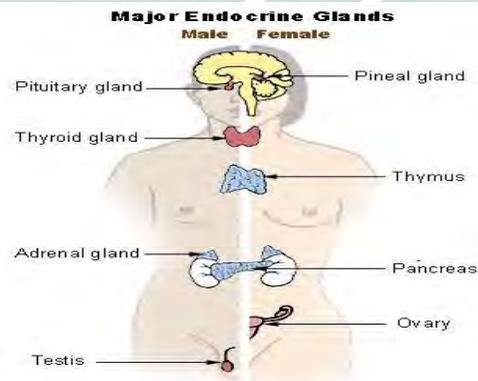
Terdapat 3 kelompok sel neuroendokrin yang utama, sebagai berikut.

- 1) Sel neurosekretori medialis : memiliki akson yang membentang hingga ke korpora kardiaka, yakni sepasang organ yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan pelepasan neurohormon.
- 2) Sel neurosekretori lateralis : memiliki akson yang membentang hingga ke korpora kardiaka.
- 3) 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).

Sistem Endokrin Pada Vertebrata

Sistem Endokrin Pada Manusia



Gambar 6.1 Kelenjar Endokrin Manusia

Dalam tubuh manusia, ada 8 kelenjar endokrin yang terpenting, yaitu :

1. Hipofisis (Bag. Anterior , Medula & Posterior)

Kelenjar pituitari ini dikenal sebagai master of glands (raja dari semua kelenjar) karena pituitari itu dapat mengontrol kelenjar endokrin lainnya. Sekresi hormon dari kelenjar pituitari ini dipengaruhi oleh faktor emosi dan perubahan iklim.

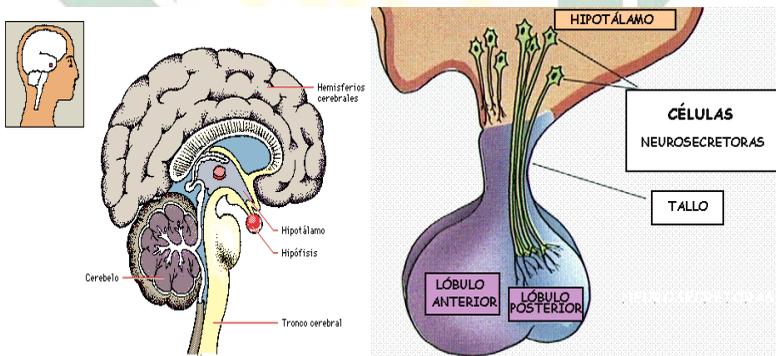
c. Hipofisis anterior:

- Hormon Somatotropin (untuk pembelahan sel, pertumbuhan)
- Hormon tiotropin (sintesis hormon tiroksin dan pengambilan unsur yodium)
- Hormon Adrenokortikotropin (merangsang kelenjar korteks membentuk hormon)
- Hormon Laktogenik (sekresi ASI)
- Hormon Gonadotropin (FSH pada wanita pemasakan folikel, pada pria pembentukan spermatogonium; LH pada wanita pembentukan korpus luteum, pada pria merangsang sel interstitial membentuk hormon testosteron)

d. Hipofisis Medula (membentuk hormon pengatur melanosit)

e. Hipofisis posterior

- Hormon oksitosin (merangsang kontraksi kelahiran)
- Hormon Vasopresin (merangsang reabsorpsi air ginjal).

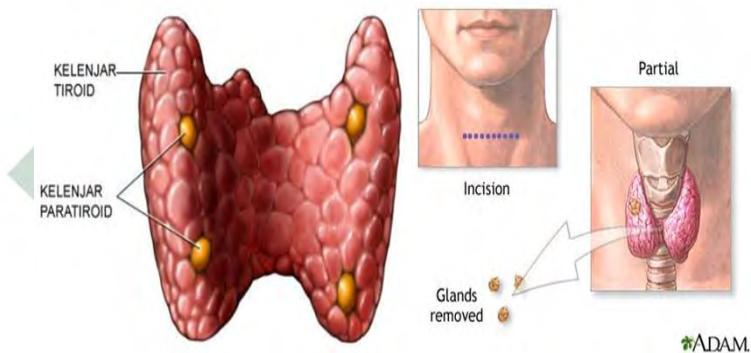


Gambar 6.2 Kelenjar Hipofisis

2. Tiroid

Di berbagai jaringan, hormon tiroid (T_3 , T_4) akan meningkatkan sintesis enzim, aktivitas Na^+/K^+ -ATPase dan penggunaan oksigen sehingga menyebabkan peningkatan metabolisme basal dan peningkatan suhu tubuh. Dengan merangsang glikoneogenesis dan glukoneogenesis, hormon tiroid menyebabkan peningkatan konsentrasi glukosa darah, sedangkan pada sisi lain juga

meningkatkan glikolisis. Hormon ini merangsang lipolisis, pemecahan VLDL dan LDL, serta ekskresi asam empedu di dalam empedu. Hormon tiroid merangsang pelepasan eritropoetin dan eritropoesis, dengan meningkatkan pemakaian oksigen. Hormon tiroid mensensitisasi organ target terhadap katekolamin sehingga meningkatkan kontraktilitas jantung dan frekwensi denyut jantung. Selain itu, hormon ini meningkatkan motilitas usus dan merangsang proses transport di usus dan ginjal. Hormon ini meningkatkan perkembangan fisik (misal pertumbuhan tinggi) dan perkembangan mental (terutama intelektual). T_3 dan T_4 merangsang restrukturisasi tulang dan otot, efek katabolik terutama mendominasi dan meningkatkan eksitabilitas neuromuskular. T_3 dan T_4 terutama bekerja melalui peningkatan ekspresi gen, yang berlangsung selama beberapa hari. Di luar hal ini, kerjanya yang lama disebabkan oleh lamanya waktu paruh di dalam darah (T_3 : 1 hari dan T_4 : 7 hari).



Gambar 6.3 Kelenjar Tiroid

3. Paratiroid

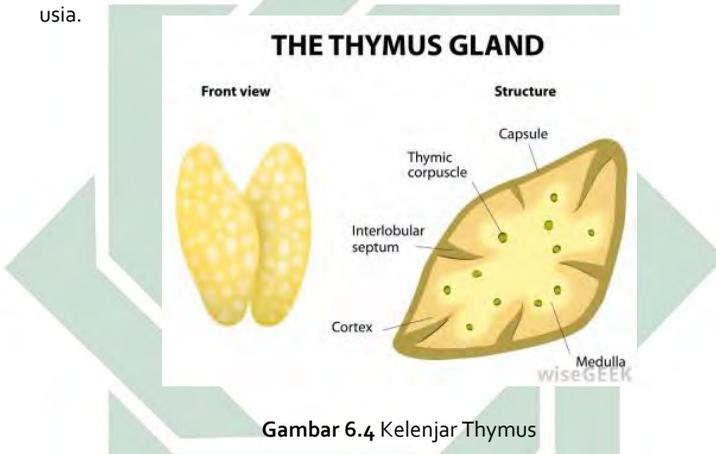
Kelenjar paratiroid menempel pada bagian anterior dan posterior kedua lobus kelenjar tiroid oleh karenanya kelenjar paratiroid berjumlah empat buah. Kelenjar ini terdiri dari dua jenis sel yaitu chief cells dan oxyphil cells. Chief cells merupakan bagian terbesar dari kelenjar paratiroid, mensintesa dan mensekresi hormon paratiroid atau parathormon disingkat PTH.

Parathormon mengatur metabolisme kalsium dan fosfat tubuh. Organ targetnya adalah tulang, ginjal dan usus kecil (duodenum). Terhadap tulang, PTH mempertahankan resorpsi tulang sehingga kalsium serum meningkat. Di tubulus ginjal, PTH mengaktifkan vitamin D. Dengan vitamin D yang aktif akan terjadi peningkatan absorpsi kalsium dan fosfat dari intestin. Selain itu hormon inipun akan meningkatkan reabsorpsi Ca dan Mg di tubulus ginjal, meningkatkan pengeluaran Fosfat, HCO_3 dan Na. karena sebagian besar kalsium disimpan di

tulang maka efek PTH lebih besar terhadap tulang. Faktor yang mengontrol sekresi PTH adalah kadar kalsium serum di samping tentunya PTSH.

4. Timus

Kelenjar timus adalah organ utama dari sistem limfatik. Terletak di daerah dada bagian atas, fungsi utama dari kelenjar ini adalah untuk mempromosikan perkembangan sel-sel tertentu dari sistem kekebalan tubuh yang disebut T-limfosit. T-limfosit atau sel-T adalah sel darah putih yang melindungi terhadap organisme asing (bakteri dan virus) yang telah berhasil menginfeksi sel-sel tubuh. Mereka juga melindungi tubuh dari dirinya sendiri dengan mengendalikan sel kanker. Dari bayi sampai remaja, ukuran timus relatif besar. Setelah pubertas, ukuran timus mulai menurun dan terus menyusut sesuai dengan penambahan usia.



Gambar 6.4 Kelenjar Thymus

Timus adalah dua struktur yang strategis di rongga dada bagian atas. Timus sebagian meluas ke daerah leher. Timus terletak di atas perikardium jantung, di depan aorta, antara paru-paru, di bawah tiroid, dan di belakang tulang dada. Timus mempunyai fungsi:

- 1) mengatur sistem kekebalan tubuh melalui pengembangan sel kekebalan yang berperan untuk imunitas sel.
- 2) menghasilkan hormon yang mendorong pertumbuhan.
- 3) mempengaruhi struktur dari sistem endokrin, termasuk kelenjar hipofisis dan kelenjar adrenal, untuk membantu pertumbuhan dan perkembangan seksual.
- 4) mempengaruhi organ lain dan sistem organ termasuk ginjal, limpa, sistem reproduksi, dan sistem saraf pusat.

Fungsi timus terutama untuk mengembangkan T-limfosit. Setelah matang, sel-sel ini meninggalkan timus dan diangkut melalui pembuluh darah ke kelenjar getah bening dan limpa. T-limfosit berperan untuk imunitas sel, yang merupakan

respon imun yang melibatkan aktivasi sel kekebalan tertentu untuk melawan infeksi. T-sel mengandung protein yang disebut reseptor sel T yang mengisi membran sel T dan mampu mengenali berbagai jenis antigen (zat yang menimbulkan reaksi kebal).

T-limfosit berdiferensiasi menjadi tiga kelompok utama dalam timus. Kelompok ini adalah:

- Sel T sitotoksik – langsung menghentikan antigen.
- Sel T pembantu – memicu produksi antibodi oleh sel-B dan juga memproduksi zat yang mengaktifkan T-sel lain.
- Sel T peraturan – juga disebut sel T penekan, sel-sel ini menekan respon dari sel-B dan sel T lain terhadap antigen.

Timus memproduksi protein hormon yang membantu T-limfosit matang dan membedakan. Beberapa hormon termasuk thymopoietin, thymulin, timosin, dan faktor humoral timus (THF). Thymopoietin dan thymulin menginduksi diferensiasi di T-limfosit dan meningkatkan fungsi sel-T. Timosin meningkatkan respon imun. Hal ini juga merangsang hormon tertentu kelenjar pituitari (hormon pertumbuhan). Faktor humoral timus meningkatkan respon imun terhadap virus pada khususnya.

5. Pankreas

Pankreas terletak di retroperitoneal rongga abdomen bagian atas, dan terbentang horizontal dari cincin duodenal ke lien. Panjang sekitar 10-20 cm dan lebar 2,5-5 cm. Mendapat pasokan darah dari arteri mesenterika superior dan splenikus.

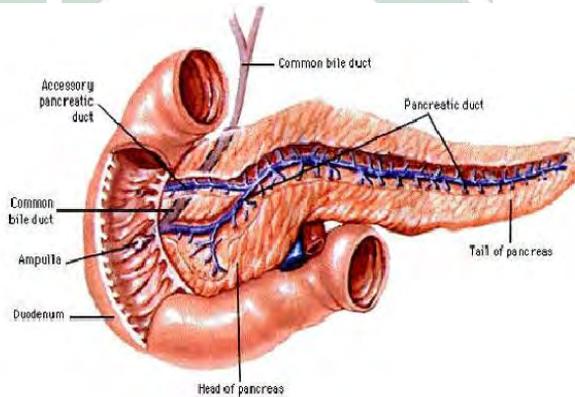
Pankreas berfungsi sebagai organ endokrin dan eksokrin. Fungsinya sebagai organ endokrin didukung oleh pulau-pulau Langerhans. Pulau-pulau Langerhans terdiri tiga jenis sel yaitu; sel alpha yang menghasilkan yang menghasilkan glukagon, sel beta yang menghasilkan insulin, dan sel delta yang menghasilkan somatostatin namun fungsinya belum jelas diketahui.

Organ sasaran kedua hormon ini adalah hepar, otot dan jaringan lemak. Glukagon dan insulin memegang peranan penting dalam metabolisme karbohidrat, protein dan lemak. Bahkan keseimbangan kadar gula darah sangat dipengaruhi oleh kedua hormon ini. Fungsi kedua hormon ini saling bertolak belakang. Kalau secara umum, insulin menurunkan kadar gula darah sebaliknya untuk glukagon meningkatkan kadar gula darah. Perangsangan glukagon bila kadar gula darah rendah, dan asam amino darah meningkat. Efek glukagon ini juga sama dengan efek kortisol, GH dan epinefrin. Dalam meningkatkan kadar gula darah, glukagon merangsang glikogenolisis (pemecahan glikogen menjadi glukosa) dan meningkatkan transportasi asam amino dari otot serta meningkatkan glukoneogenesis (pemecahan glukosa dari yang bukan karbohidrat). Dalam metabolisme lemak, glukagon meningkatkan lipolisis (pemecahan lemak). Dalam menurunkan kadar gula darah, insulin sebagai

hormon anabolik terutama akan meningkatkan difusi glukosa melalui membran sel di jaringan.

Efek anabolik penting lainnya dari hormon insulin adalah sebagai berikut:

- a. Efek pada hepar :
 - 1) Meningkatkan sintesa dan penyimpanan glukosa
 - 2) Menghambat glikogenolisis, glukoneogenesis dan ketogenesis
 - 3) Meningkatkan sintesa trigliserida dari asam lemak bebas di hepar.
- b. Efek pada otot :
 - 1) Meningkatkan sintesis protein
 - 2) Meningkatkan transportasi asam amino
 - 3) Meningkatkan glikogenesis.
- c. Efek pada jaringan lemak
 - 1) Meningkatkan sintesa trigliserida dari asam lemak bebas
 - 2) Meningkatkan penyimpanan trigliserida
 - 3) Menurunkan lipolisis



Gambar 6.5 Kelenjar Pankreas

6. Adrenal (Bag. Korteks & Medula)

Terletak di kutub atas kedua ginjal. Disebut juga sebagai kelenjar suprarenalis karena letaknya di atas ginjal. Dan kadang juga disebut sebagai kelenjar anak ginjal karena menempel pada ginjal.

Kelenjar adrenal terdiri dari dua lapis yaitu bagian korteks dan bagian medulla. Keduanya menunjang dalam ketahanan hidup dan kesejahteraan, namun hanya korteks yang esensial untuk kehidupan.

1) **Korteks adrenal**

Korteks adrenal esensial untuk bertahan hidup. Kehilangan hormon adrenokortikal dapat menyebabkan kematian. Korteks adrenal mensintesa

tiga kelas hormon steroid yaitu mineralokortikoid, glukokortikoid, dan androgen.

2) **Mineralokortikoid**

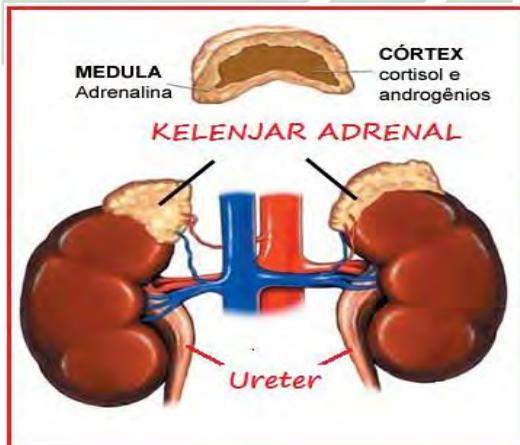
Mineralokortikoid (pada manusia terutama adalah aldosteron) dibentuk pada zona glomerulosa korteks adrenal. Hormon ini mengatur keseimbangan elektrolit dengan meningkatkan retensi natrium dan ekskresi kalium. Aktivitas fisiologik ini selanjutnya membantu dalam mempertahankan tekanan darah normal dan curah jantung. Defisiensi mineralokortikoid (penyakit Addison's) mengarah pada hipotensi, hiperkalemia, penurunan curah jantung, dan dalam kasus akut, syok. Kelebihan mineralokortikoid mengakibatkan hipertensi dan hipokalemia.

3) **Glukokortikoid**

Glukokortikoid dibentuk dalam zona fasikulata. Kortisol merupakan glukokortikoid utama pada manusia. Kortisol mempunyai efek pada tubuh antara lain dalam: metabolisme glukosa (glukosaneogenesis) yang meningkatkan kadar glukosa darah, metabolisme protein, keseimbangan cairan dan elektrolit, inflamasi dan imunitas, dan terhadap stresor.

4) **Hormon seks**

Korteks adrenal mensekresi sejumlah kecil steroid seks dari zona retikularis. Umumnya adrenal mensekresi sedikit androgen dan estrogen dibandingkan dengan sejumlah besar hormon seks yang disekresi oleh gonad. Namun produksi hormon seks oleh kelenjar adrenal dapat menimbulkan gejala klinis. Misalnya, kelebihan pelepasan androgen menyebabkan virilisme. sementara kelebihan pelepasan estrogen (mis., akibat karsinoma adrenal menyebabkan ginekomastia dan retensi natrium dan air.



Gambar 6.6 Kelenjar Adrenal

7. Kelenjar Gonad

Terbentuk pada minggu-minggu pertama gestasi dan tampak jelas pada minggu kelima. Diferensiasi jelas dengan mengukur kadar testosteron fetal terlihat jelas pada minggu ke tujuh dan ke delapan gestasi. Keaktifan kelenjar gonad terjadi pada masa prepubertas dengan meningkatnya sekresi gonadotropin (FSH dan LH) akibat penurunan inhibisi steroid.

1) Testis

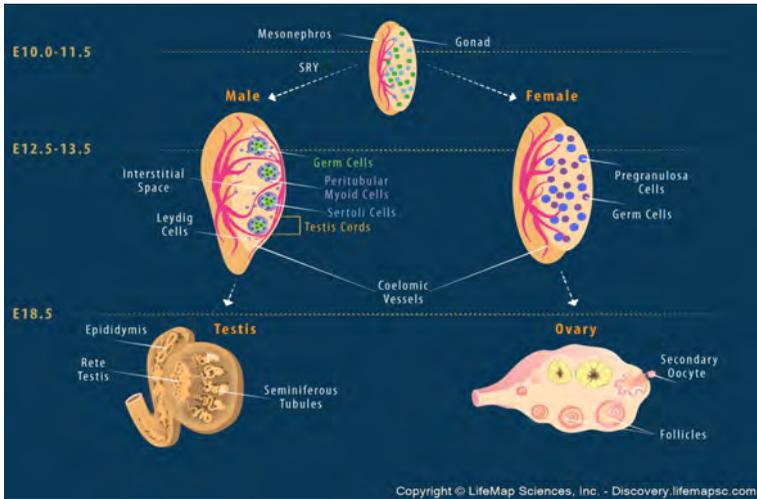
Dua buah testis ada dalam skrotum. Testis mempunyai dua fungsi yaitu sebagai organ endokrin dan organ reproduksi. Menghasilkan hormon testosteron dan estradiol dibawah pengaruh LH. Testosteron diperlukan untuk mempertahankan spermatogenesis sementara FSH diperlukan untuk memulai dan mempertahankan spermatogenesis.

Estrogen mempunyai efek menurunkan konsentrasi testosteron melalui umpan balik negatif terhadap FSH sementara kadar testosteron dan estradiol menjadi umpan balik negatif terhadap LH. Fungsi testis sebagai organ reproduksi berlangsung di tubulus seminiferus. Efek testosteron pada fetus merangsang diferensiasi dan perkembangan genital ke arah pria. Pada masa pubertas hormon ini akan merangsang perkembangan tanda-tanda seks sekunder seperti perkembangan bentuk tubuh, pertumbuhan dan perkembangan alat genital, distribusi rambut tubuh, pembesaran laring dan penebalan pita suara serta perkembangan sifat agresif. Sebagai hormon anabolik, akan merangsang pertumbuhan dan penutupan epifise tulang.

2) Ovarium

Seperti halnya testis, ovarium juga berfungsi sebagai organ endokrin dan organ reproduksi. Sebagai organ endokrin, ovarium menghasilkan hormon estrogen dan progesteron. Sebagai organ reproduksi, ovarium menghasilkan ovum (sel telur) setiap bulannya pada masa ovulasi untuk selanjutnya siap untuk dibuahi sperma.

Estrogen dan progesteron akan mempengaruhi perkembangan seks sekunder, menyiapkan endometrium untuk menerima hasil konsepsi serta mempertahankan proses laktasi. Estrogen dibentuk di sel-sel granulosa folikel dan sel lutein korpus luteum. Progesteron juga dibentuk di sel lutein korpus luteum.



Gambar 6.7 Kelenjar Gonad

Tabel 6.2 Organ, Hormon dan Fungsinya

Organ	Hormon	Fungsi Hormon
Rahim dan kelenjar susu	oksitosin	Memacu kontraksi rahim selama melahirkan dan pengeluaran air susu dari kelenjar susu
Ginjal	Hormon Anti Diuretik (ADH)	Mempertahankan kadar air dalam darah dengan meningkatkan penyerapan air dari ginjal
Kelenjar Tiroid	Hormon Pemacu Tiroid (TSH)	Memacu pembentukan dan pengeluaran hormon tiroid
Kelenjar Adrenal	Adrenokortikotropik hormon (ACTH)	Memacu pembentukan dan pengeluaran hormon steroid di korteks adrenal
Organ Reproduksi	Gonadotropin (LH, FSH)	Merangsang pembentukan ovum dan sperma aerta sejumlah fungsi reproduktif lainnya
Kelenjar susu	prolaktin	Merangsang pembentukan pengeluaran hormon steroid air susu setelah melahirkan
Tulang dan otot	Hormon pertumbuhan (GH)	Merangsang pertumbuhan badan

Paratiroid	Parathormon	Meningkatkan kadar kalsium darah
Tiroid	Kalsitonin Tiroksin	Menurunkan kadar kalsium darah Meningkatkan metabolisme seldan berperan penting dalam pertumbuhan serta pemasakan sel (tubuh) secara normal
Lambung	Gastrin	Mengatur sekresi asam lambung
Medula adrenal	Adrenalin	Respons segera terhadap stress, antara lain meningkatkan kadar gula darah dan curah jantung
Korteks adrenal	Glukokortikoid (kortikosteron) Mineralokortikoid(aldosteron)	Regulasi metabolisme Mengatur kadar elektrolit
Ovarium	Esterogen Progesteron	Menginisiasi proliferasi endometrium Mempertahankan ketebalan endometrium
Testis	Androgen (testosteron)	Mempertahankan pembentukan sperma, dan terlibat dalam perkembangan ciri seks sekunder

Sistem endokrin dan sistem saraf bekerja secara kooperatif untuk mengatur seluruh aktivitas dalam tubuh hewan, dengan cara menghasilkan hormon yang akan mempengaruhi sel sasaran. Hormon dapat dihasilkan oleh organ endokrin sejati ataupun oleh sel neurosekretori. Hormon dapat diklasifikasikan menjadi 3, yaitu hormon steroid, hormon peptida dan hormon turunan tirosin.

Hormon mempengaruhi sel target secara spesifik. Pengaruh tersebut berkaitan erat dengan adanya reseptor hormon pada sel target yang sesuai dengan hormon tertentu. Reseptor hormon ada yang terdapat di membrane sel juga terdapat di sitoplasma sel.

Sistem endokrin pada invertebrata masih sederhana dan organ endokrin yang dimiliki pada umumnya berupa organ neuroendokrin, sedangkan sistem endokrin pada vertebrata sangat kompleks. Organ endokrin yang dimiliki vertebrata umumnya berupa organ endokrin klasik dan organ endokrin tepi.

VII. SISTEM EKSRESI DAN OSMOREGULASI

Pendahuluan

Ekskresi merupakan proses pembebasan sisa-sisa metabolisme dari tubuh. Kelebihan air, gas, garam-garam dan material organik (termasuk sisa metabolisme) di ekskresikan keluar tetapi substansi yang untuk fungsi tubuh disimpan. Material yang dikeluarkan ini biasanya terdapat dalam bentuk terlarut dan ekskresinya melalui suatu proses filterisasi selektif.

Alat-alat tubuh yang berfungsi dalam hal ekskresi secara bersama-sama disebut sistem ekskresi. Sistem ekresi adalah proses pengeluaran zat-zat sisa hasil metabolisme yang sudah tidak digunakan lagi oleh tubuh. seperti CO_2 , H_2O , NH_3 , zat warna empedu dan asam urat. Zat hasil metabolisme yang tidak diperlukan oleh tubuh akan dikeluarkan melalui alat ekskresi. Alat ekskresi yang dimiliki oleh makhluk hidup berbeda-beda. Semakin tinggi tingkatan makhluk hidup, semakin kompleks alat ekskresinya.

Secara umum proses osmoregulasi adalah upaya atau kemampuan untuk mengontrol keseimbangan air dan ion antara di dalam tubuh dan lingkungannya melalui mekanisme pengaturan tekanan osmose. Proses osmoregulasi diperlukan karena adanya perbedaan konsentrasi cairan tubuh dengan lingkungan disekitarnya. Jika sebuah sel menerima terlalu banyak air maka ia akan meletus, begitu pula sebaliknya, jika terlalu sedikit air, maka sel akan mengerut dan mati. Osmoregulasi juga berfungsi ganda sebagai sarana untuk membuang zat-zat yang tidak diperlukan oleh sel atau organisme hidup.

Ekskresi Hewan Darat dan Akuatik

1. Ekskresi Hewan Darat

Salah satu contoh ekresi pada hewan darat yaitu pada mamalia. Pada mamalia paru-paru merupakan satu-satunya organ ekresi bagi CO_2 . 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 Aquatic

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.

Organ Ekskresi Pada Hewan

1. Hewan yang belum memiliki organ ekskresi

a. 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.

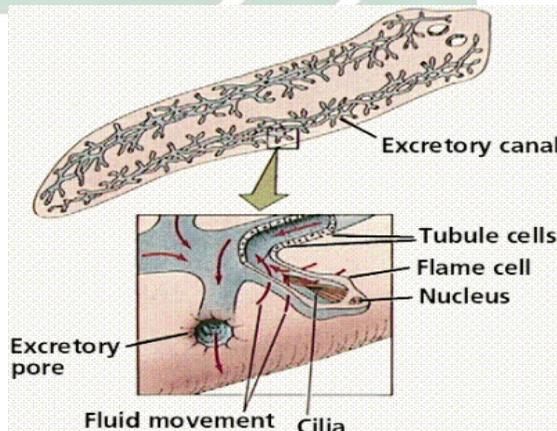
b. Coelenterata

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

2. 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:

- Protonefridium**, suatu pembuluh yang ujung internalnya tertutup dan pada bagian dalam ujungnya ini memiliki sel api atau sel rambut (seperti pada Platyhelminthes)



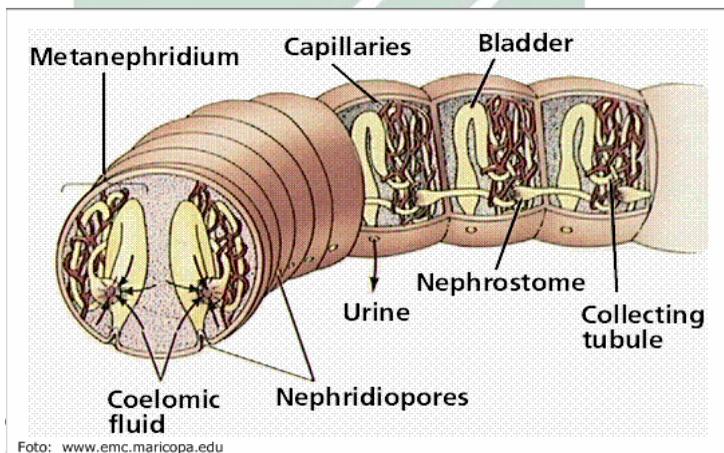
Gambar 7.1 Sistem Ekskresi pada Platyhelminthes

- b. **Metanefridium**, suatu pembuluh yang ujungnya berhubungan dengan rongga tubuh (Ex. Annelida)

Pada cacing tanah yang merupakan anggota annelid, setiap segmen dalam tubuhnya mengandung sepasang metanefridium, kecuali pada tiga segmen pertama dan terakhir. Metanefridium memiliki dua lubang. Lubang yang pertama berupa corong, disebut **nefrostrom** (dibagian anterior) dan terletak pada segmen yang lain. Nefrostom bersilia dan bermuara di rongga tubuh (pseudoselom). Rongga tubuh ini berfungsi sebagai sistem pencernaan. Corong (nefrostrom) akan berlanjut pada saluran yang berliku-liku pada segmen berikutnya.

Bagian akhir dari saluran yang berliku-liku ini akan membesar seperti gelembung. Kemudian gelembung ini akan bermuara ke bagian luar tubuh melalui pori yang merupakan lubang (corong) yang kedua, disebut nefridiofor. Cairan tubuh ditarik ke corong nefrostom masuk ke nefridium oleh gerakan silia dan otot. Saat cairan tubuh mengalir lewat celah panjang nefridium, bahan-bahan yang berguna seperti air, molekul makanan, dan ion akan diambil oleh sel-sel tertentu dari tabung. Bahan-bahan ini lalu menembus sekitar kapiler dan disirkulasikan lagi. Sampah nitrogen dan sedikit air tersisa di nefridium dan kadang diekskresikan keluar.

Metanefridium berlaku seperti penyaring yang menggerakkan sampah dan mengembalikan substansi yang berguna ke sistem sirkulasi. Cairan dalam rongga tubuh cacing tanah mengandung substansi dan zat sisa. Zat sisa ada dua bentuk, yaitu ammonia dan zat lain yang kurang toksik, yaitu ureum. Oleh karena cacing tanah hidup di dalam tanah dalam lingkungan yang lembab, annelid mendifusikan sisa amoniaknya di dalam tanah tetapi ureum di ekskresikan lewat sistem ekskresi.



Gambar 7.2 Sistem Ekskresi pada Annelida

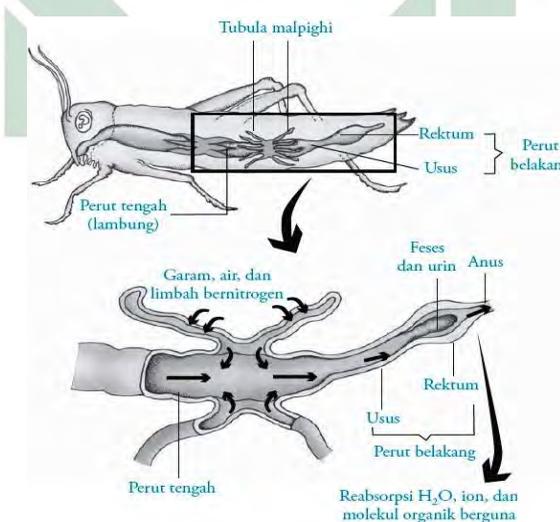
3. Kelenjar Antenal (pada Crustacea)

Organ ekresi pada crustacean adalah kelenjar tunal atau kelenjar hijau, sepasang kelenjar ini terletak pada kepala, yang masing-masing terdiri dari suatu kantong 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.

4. 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 CO_2 . Sistem trakea ini berfungsi seperti paru-paru pada vertebrata.

Belalang tidak dapat mengekskresikan ammonia dan harus memelihara kondisi air di dalam tubuhnya, ammonia yang diproduksinya diubah menjadi bahan yang kurang toksik yang disebut asam urat. Asam urat berbentuk Kristal yang tidak larut. Pembuluh Malpighi terletak diantara usus tengah dan usus belakang. Darah mengalir lewat pembuluh Malpighi. Saat cairan bergerak lewat bagian proksimalpembuluh Malpighi, bahan yang mengandung nitrogen diendapkan sebagai asam urat, sedangkan air dan berbagai garam diserap kembali biasanya secara osmosis dan transport aktif. Asam urat dan sisa air masuk ke usus halus, dan sisa air akan diserap lagi. Kristal asam urat dapat diekskresikan lewat anus bersama dengan feses.



Gambar 7.3 Sistem Ekskresi pada Insecta

5. Ginjal

a. Pisces (Ikan)

Ikan mempunyai sistem ekskresi berupa ginjal dan satu 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 sedikit lebih banyak. Sedangkan ikan yang hidup di air laut memiliki sedikit glomerulus sehingga penyaringan sisa hasil metabolisme berjalan lambat.

b. Mamalia

Pada mamalia ginjal merupakan organ utama yang melakukan proses ekskresi dan osmoregulasi. Peranan fungsi ginjal adalah :

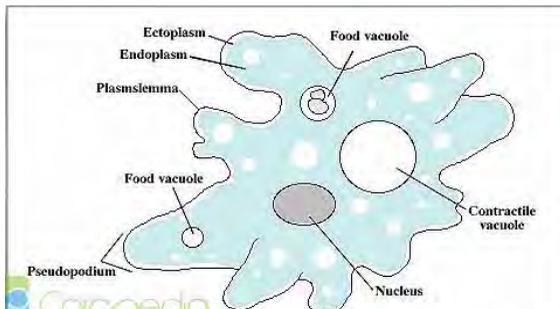
- Mensekresikan zat sisa hasil buangan
- Mengatur volume plasma dan jumlah air di dalam tubuh
- Bila banyak air yang masuk kedalam tubuh ginjal membuang kelebihan sehingga lebih banyak lagi urin yang di sekresikan. Bila tubuh banyak kehilangan air, ginjal akan mengeluarkan sedikit air (urin pekat).
- Menjaga tekanan osmose pada keadaan seharusnya dengan cara mengekskresi garam-garam.
- Menjaga pH plasma dan cairan tubuh
- Menjalankan fungsi sebagai hormon

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 (Gambar 7.4).

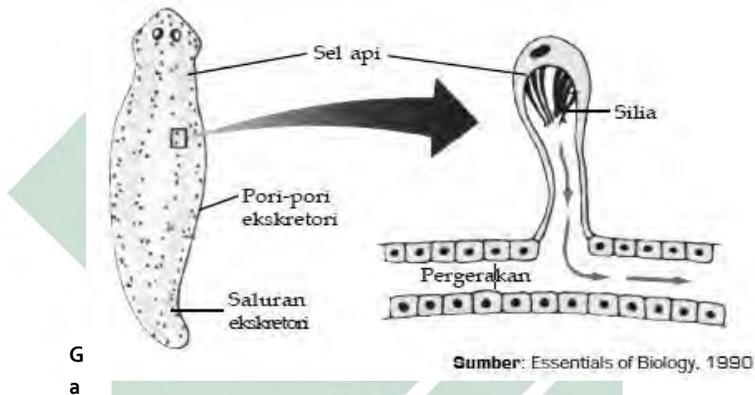


Gambar 7.4 Sistem Ekskresi pada Protozoa

Makhluk hidup satu sel membentuk vakuola yang berisi sisa metabolisme, lalu mengeluarkannya dari dalam sel. Pada hewan Coelenterata dan Porifera yang hidup sebagai koloni sel-sel, mekanisme ekskresinya dengan cara mendifusikan zat-zat yang akan dibuang dari satu sel ke sel yang lain hingga akhirnya dilepaskan ke lingkungan.

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.

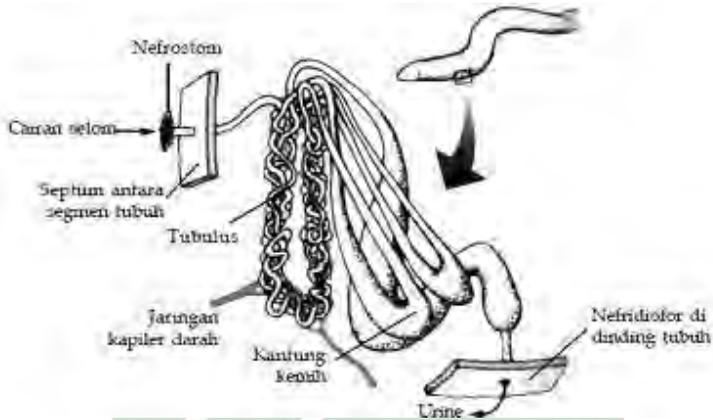


G
a

mbar 7.5 Sistem Ekskresi pada Planaria

3. Organ Sistem Ekskresi Cacing Tanah

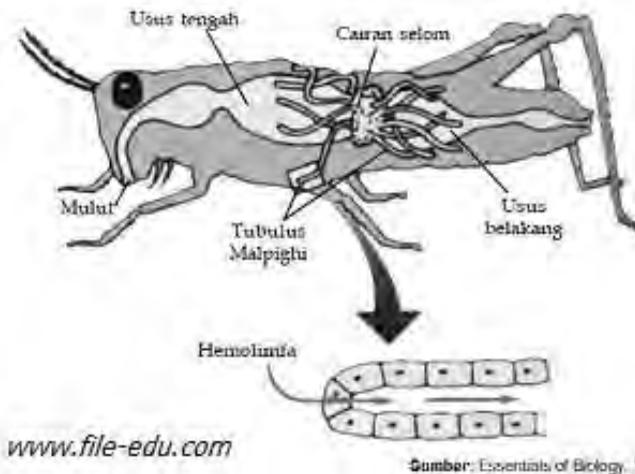
Cacing tanah, moluska, dan beberapa hewan invertebrata lainnya memiliki struktur ginjal sederhana yang disebut **nefridia**. Struktur tersebut terdapat di setiap segmen tubuhnya. Dalam cairan tubuh cacing tanah yang memenuhi rongga tubuhnya, terkandung sisa metabolisme maupun nutrisi. Cairan inilah yang disaring oleh ujung tabung berbentuk corong dengan silia yang disebut **nefrostrom**. Dari nefrostrom, 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**.



Gambar 7.6 Sistem Ekskresi pada cacing tanah

4. Organ Sistem Ekskresi Serangga

Alat ekskresi pada serangga, contohnya belalang adalah **tubulus Malpighi** (Gambar 7.7). 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 kristalkristal asam urat.



Gambar 7.7 Badan Malpighi Pada Belalang

Sistem Ekskresi Pada Hewan Vertebrata

Pada vertebrata terdapat beberapa tipe ginjal. Di antaranya adalah **pronefros**, **mesonefros**, dan **metanefros**. Pronefros adalah tipe ginjal yang berkembang pada fase embrio atau larva. Pada tahap selanjutnya, ginjal pronefros digantikan oleh tipe ginjal mesonefros. Ketika hewan dewasa, ginjal mesonefros digantikan oleh ginjal metanefros. Pada Mammalia, Reptilia, dan Aves tipe ginjal yang dimiliki adalah mesonefros. Namun, setelah dewasa mesonefros akan diganti oleh metanefros.

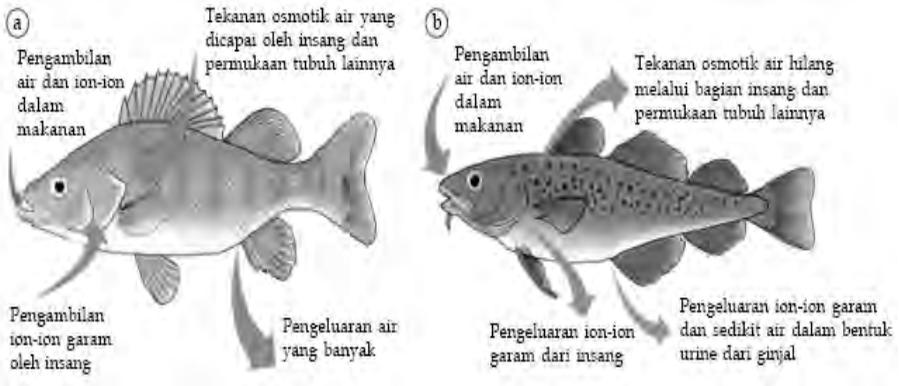
1. Organ Sistem Ekskresi Pisces (Ikan)

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.

Ginjal ikan air tawar memiliki kemiripan dengan ginjal manusia. Mekanisme filtrasi dan reabsorpsi juga terjadi pada ginjal ikan. Mineral dan zat-zat makanan lebih banyak diabsorpsi, sedangkan air hanya sedikit diserap. Dengan sedikit minum dan mengeluarkan urine dalam volume besar, ikan air tawar menjaga jaringan tubuhnya agar tetap dalam keadaan hipertonik.

Ekskresi amonia dilakukan dengan cara difusi melalui insangnya. Ikan yang hidup di air laut, memiliki cara adaptasi yang berbeda. Ikan air laut sangat mudah mengalami dehidrasi karena air dalam tubuhnya akan cenderung mengalir keluar ke lingkungan sekitar melalui insang, mengikuti perbedaan tekanan osmotik. Ikan air laut tidak memiliki glomerulus sehingga mekanisme filtrasi tidak terjadi dan reabsorpsi pada tubulus juga terjadi dalam skala yang kecil.

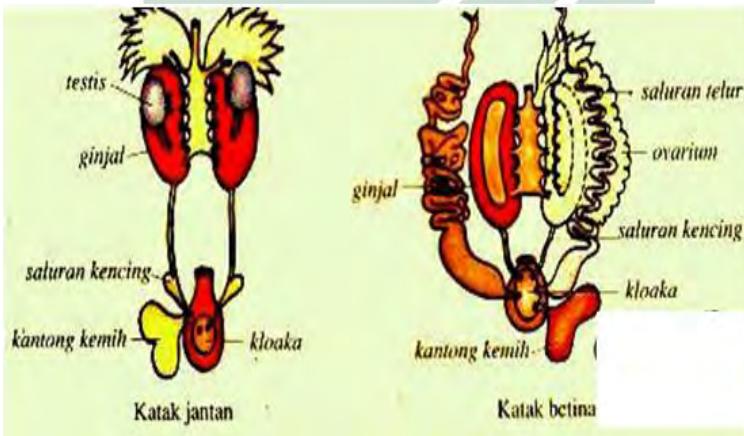
Oleh karena itu, ikan air laut beradaptasi dengan banyak meminum air laut, melakukan **desalinasi** (menghilangkan kadar garam dengan melepaskannya lewat insang), dan menghasilkan sedikit urine. Urine yang dihasilkan akan dikeluarkan melalui lubang di dekat anus. Hal ini berbeda dengan pengeluaran urine dari ikan *Chondrichthyes*, misalnya hiu. Ikan hiu mengeluarkan urine melalui seluruh permukaan kulitnya.



Gambar 7.8 Sistem ekskresi pada (a) ikan air tawar dan (b) ikan air laut.

2. Organ Sistem Ekskresi Amphibi (Katak)

Tipe ginjal pada Amphibia adalah tipe ginjal opistonefros. Katak jantan memiliki saluran ginjal dan saluran kelamin yang bersatu dan berakhir pada kloaka. Namun, hal tersebut tidak terjadi pada katak betina. Ginjal pada katak juga menjadi salah satu organ yang sangat berperan dalam pengaturan kadar air dalam tubuhnya. Kulit Amphibia yang tipis dapat menyebabkan Amphibia kekurangan cairan jika terlalu lama berada di darat. Begitu pula jika katak berada terlalu lama dalam air tawar. Air dengan sangat mudah masuk secara osmosis ke dalam jaringan tubuh melalui kulitnya.



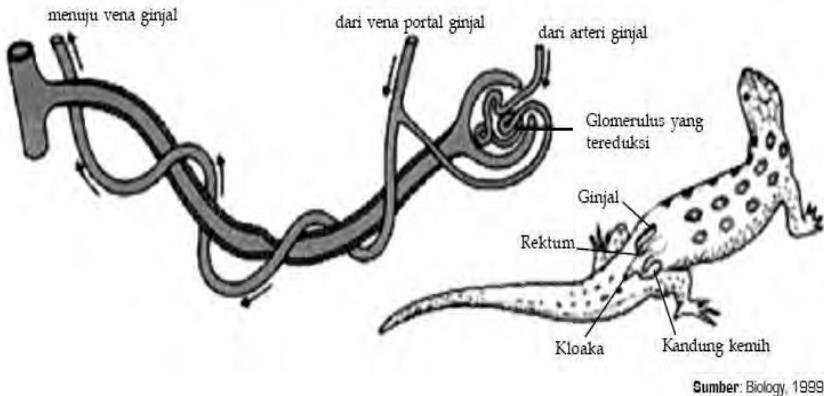
Gambar 7.9 Sistem ekskresi pada katak

Katak dapat mengatur laju filtrasi dengan bantuan hormon, sesuai dengan kondisi air di sekitarnya. Ketika berada dalam air dengan jangka waktu yang lama, katak mengeluarkan urine dalam volume yang besar. Namun, kandung kemih katak dapat dengan mudah terisi air. Air tersebut dapat diserap oleh dinding kandung kemihnya sebagai cadangan air ketika katak berada di darat untuk waktu yang lama.

3. Organ Sistem Ekskresi Reptilia

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.

Beberapa jenis Reptilia juga menghasilkan amonia. Misalnya, pada buaya dan kura-kura. Penyu yang hidup di lautan memiliki kelenjar ekskresi untuk mengeluarkan garam yang dikandung dalam tubuhnya. Muara kelenjar ini adalah di dekat mata. Hasil ekskresi yang dihasilkan berupa air yang mengandung garam. Ketika penyu sedang bertelur, kita seringkali melihatnya mengeluarkan semacam air mata. Namun, yang kita lihat sebenarnya adalah hasil ekskresi garam. Ular, buaya, dan aligator tidak memiliki kandung kemih sehingga asam urat yang dihasilkan ginjalnya keluar bersama feses melalui kloaka.

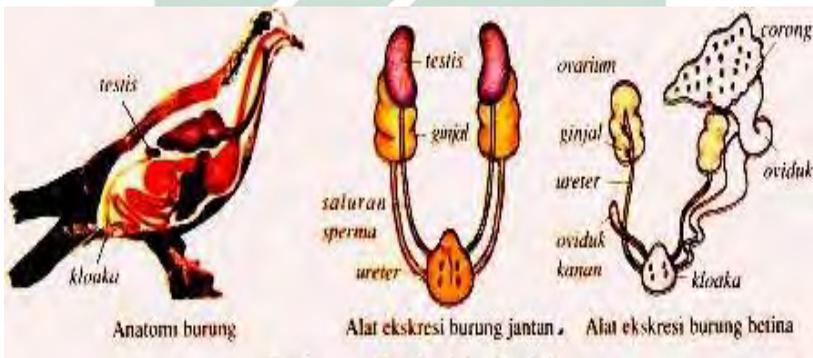


Gambar 7.10 Sistem ekskresi pada reptilia

4. 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.

Jumlah tersebut hampir 100 kali lipat jumlah nefron pada manusia. Jenis burung laut juga memiliki kelenjar ekskresi garam yang bermuara pada ujung matanya. Hal tersebut untuk mengimbangi pola makannya yang memangsa ikan laut dengan kadar garam tinggi.



Gambar 7.11 Sistem ekskresi pada aves

Sistem 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.

Ekskresi merupakan proses pengeluaran zat sisa metabolisme tubuh, seperti CO₂, H₂O, NH₃, zat warna empedu dan asam urat. Zat hasil metabolisme yang tidak diperlukan oleh tubuh akan dikeluarkan melalui alat ekskresi. Alat ekskresi yang dimiliki oleh makhluk hidup berbeda-beda. Semakin tinggi tingkatan makhluk hidup, semakin kompleks alat ekskresinya. Beberapa istilah yang erat kaitannya dengan ekskresi :

- defekasi : yaitu proses pengeluaran sisa pencernaan makana yang disebut feses. Zat yang dikeluarkan belum pernah mengalami metabolisme di dalam jaringan. Zat

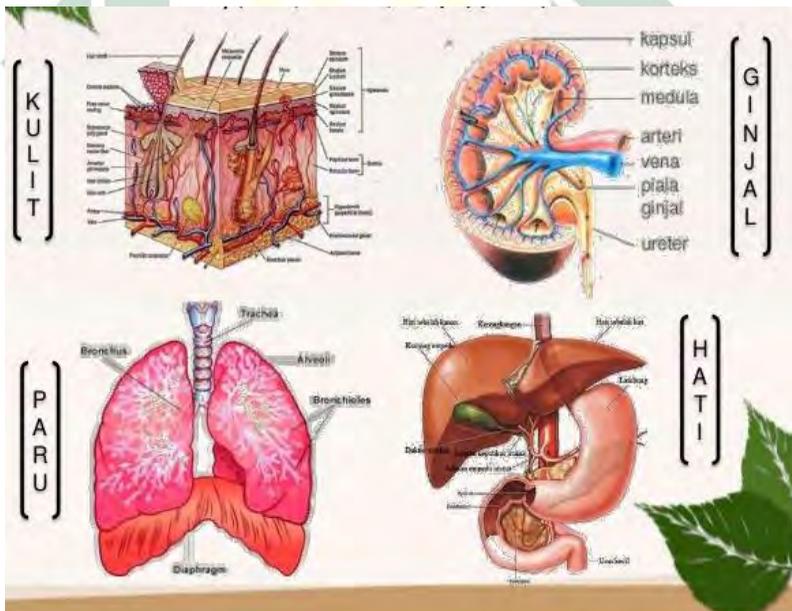
yang dikeluarkan meliputi zat yang tidak diserap usus sel epitel, usus yang rusak dan mikroba usus.

- *ekskresi* : yaitu pengeluaran zat sampah sisa metabolisme yang tidak berguna lagi bagi tubuh.
- *sekresi* : yaitu pengeluaran getah oleh kelenjar pencernaan ke dalam saluran pencernaan. Getah yang dikeluarkan masih berguna bagi tubuh dan umumnya mengandung enzim.
- *eliminasi* : yaitu proses pengeluaran zat dari rongga tubuh, baik dari rongga yang kecil (saluran air mata) maupun dari rongga yang besar (usus).

Fungsi sistem ekskresi pada manusia antara lain:

1. Membuang limbah yang tidak berguna dan beracun dari dalam tubuh
2. Mengatur konsentrasi dan volume cairan tubuh (osmoregulasi)
3. Mempertahankan temperatur tubuh dalam kisaran normal (termoregulasi)
4. Homeostasis

Organ-Organ Dan Fungsinya Pada Sistem Ekskresi Manusia



Gambar 7.12 Alat-alat Ekskresi Pada Manusia

A. Ginjal

1. Struktur Ginjal

Alat pengeluaran (ekskresi) utama pada manusia adalah ginjal. Ginjal atau buah pinggang manusia berbentuk seperti kacang merah, berwarna keunguan, dan berjumlah dua buah. Bobot kedua ginjal orang dewasa antara 120-150 gram. Manusia memiliki sepasang ginjal yang terletak di belakang perut atau abdomen. Di bagian atas (*superior*) ginjal terdapat kelenjar adrenal (juga disebut *kelenjarsuprarenal*). Sebagian dari bagian atas ginjal terlindungi oleh tulang rusuk ke sebelas dan dua belas. Kedua ginjal dibungkus oleh dua lapisan lemak (lemak perirenal dan lemakpararenal) yang membantu meredam guncangan.

Pada bagian kulit ginjal (korteks) terdapat alat penyaring darah yang disebut nefron. Glomerulus berupa anyaman pembuluh kapiler darah, sedangkan simpai Bowman berupa cawan berdinding tebal yang mengelilingi glomerulus. Saluran panjang yang berlekung (tubulus) dikelilingi oleh pembuluh kapiler darah. Tubulus yang letaknya dekat badan Malpighi disebut tubulus proximal. Tubulus yang letaknya jauh dari badan Malpighi disebut tubulus distal. Tubulus proximal dan tubulus distal dihubungkan oleh lengkung Henle atau angsa Henle. Tempat lengkung Henle bersinggungan dengan arteri aferen disebut apparatus juxta glomerular, mengandung macula densa dan sel juxta glomerular.

Sel juxta glomerular adalah tempat terjadinya sintesis dan sekresi renin. Cairan menjadi makin kental sepanjang tubulus dan saluran untuk membentuk urin, yang kemudian dibawa ke kandung kemih melewati ureter. Lengkung Henle ini berupa pembuluh menyerupai leher angsa yang turun ke arah medula ginjal, kemudian naik lagi menuju korteks ginjal. Bagian akhir dari tubulus ginjal adalah saluran (tubulus) pengumpul yang terletak pada sumsum ginjal.

Bagian paling luar dari ginjal disebut korteks, bagian lebih dalam lagi disebut medulla (sum-sum ginjal). Bagian paling dalam disebut pelvis (rongga ginjal), pada bagian medulla ginjal manusia dapat pula dilihat adanya *piramida* yang merupakan bukan saluran pengumpul. Ginjal dibungkus oleh lapisan jaringan ikat longgar yang disebut kapsula. Sebuah nefron terdiri dari sebuah komponen penyaring yang disebut korpuskula (atau badan Malpighi) yang dilanjutkan oleh saluran-saluran (*tubulus*).

Setiap korpuskula mengandung gulungan kapiler darah yang disebut glomerulus yang berada dalam kapsula Bowman. Setiap glomerulus mendapat aliran darah dari arteri *aferen*. Dinding kapiler dari glomerulus memiliki pori-pori untuk filtrasi atau penyaringan. Darah dapat disaring melalui dinding epitelium tipis yang berpori dari glomerulus dan kapsula Bowman karena adanya tekanan dari darah yang mendorong plasma darah. Filtrat yang dihasilkan akan masuk ke dalam tubulus ginjal. Darah yang telah tersaring akan meninggalkan ginjal lewat

arteri *eferen*. Di antara darah dalam glomerulus dan ruangan berisi cairan dalam kapsul Bowman terdapat tiga lapisan:

- a. kapiler selapis sel endotelium pada glomerulus
- b. lapisan kaya protein sebagai membran dasar
- c. selapis sel epitel melapisi dinding kapsul Bowman (*podosit*).

Darah manusia melewati ginjal sebanyak 350 kali setiap hari dengan laju 1,2 liter per menit, menghasilkan 125 cc filtrat glomerular per menitnya. Laju penyaringan glomerular ini digunakan untuk tes diagnosa fungsi ginjal.

2. Fungsi Ginjal

- a. Menyaring dan membersihkan darah dari zat-zat sisa metabolisme tubuh
- b. Mengeksresikan zat yang jumlahnya berlebihan
- c. Reabsorpsi (penyerapan kembali) elektrolit tertentu yang dilakukan oleh bagian tubulus ginjal
- d. Menjaga keseimbangan asam basa dalam tubuh manusia
- e. Menghasilkan zat hormon yang berperan membentuk dan mematangkan sel-sel darah merah (SDM) di sumsum tulang

3. Kerja Ginjal

a. Proses Pembentukan Urin

Ginjal berperan dalam proses pembentukan urin yang terjadi melalui serangkaian proses, yaitu: penyaringan, penyerapan kembali dan pengumpulan (augmentasi).

1) Penyaringan (filtrasi)

Proses pembentukan urin diawali dengan penyaringan darah yang terjadi di kapiler glomerulus. Sel-sel kapiler glomerulus yang berpori (*podosit*), tekanan dan permeabilitas yang tinggi pada glomerulus mempermudah proses penyaringan. Selain penyaringan, di glomerulus juga terjadi penyerapan kembali sel-sel darah, keping darah, dan sebagian besar protein plasma. Bahan-bahan kecil yang terlarut di dalam plasma darah, seperti glukosa, asam amino, natrium, kalium, klorida, bikarbonat dan urea dapat melewati saringan dan menjadi bagian dari endapan. Hasil penyaringan di glomerulus disebut filtrate glomerulus atau urin primer, mengandung asam amino, glukosa, natrium, kalium, dan garam-garam lainnya.

2) Penyerapan kembali (reabsorpsi)

Bahan-bahan yang masih diperlukan di dalam urin primer akan diserap kembali di tubulus kontortus proksimal, sedangkan di tubulus kontortus distal terjadi penambahan zat-zat sisa dan urea. Meresapnya zat pada tubulus ini melalui dua cara. Gula dan asam amino meresap melalui peristiwa difusi, sedangkan air melalui peristiwa osmosis. Setelah terjadi reabsorpsi maka tubulus akan menghasilkan urin sekunder, zat-zat yang masih diperlukan tidak akan ditemukan lagi. Sebaliknya, konsentrasi zat-zat sisa metabolisme yang bersifat racun bertambah, misalnya urea.

3) Augmentasi

Augmentasi adalah proses penambahan zat sisa dan urea yang mulai terjadi tubulus kontortus distal. Dari tubulus-tubulus ginjal, urin akan menuju rongga ginjal, selanjutnya menuju kantong kemih melalui saluran ginjal. Urin akan keluar melalui uretra.

b. Kandungan Urin

Urin yang normal mengandung bahan-bahan yaitu: air, urea dan amonia yang merupakan sisa-sisa pembongkaran protein garam-garam mineral, terutama garam dapur (NaCl). Zat warna empedu yang memberi warna kuning pada urin. Zat-zat yang berlebihan dalam darah seperti vitamin D, vitamin C, obat-obatan dan hormon.

c. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi urin

Urin yang dikeluarkan oleh ginjal sebenarnya sangat dipengaruhi oleh faktor dalam dan luar dari individu yang bersangkutan. Faktor-faktor tersebut antara lain hormone antidiuretik (ADH), hormon insulin, jumlah air yang diminum, dan faktor cuaca.

B. Kulit

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

1. Bagian-bagian kulit

a. Kulit ari (epidermis)

Terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan tanduk dan lapisan malpighi. Lapisan tanduk merupakan lapisannya yang terletak paling luar dan terdiri dari sel-sel mati. Lapisan ini dapat mengelupas. Lapisan malpighi terletak dibawah lapisan tanduk dan terdiri dari sel-sel yang hidup. Lapisan malpighi mengandung pigmen melamin yang berfungsi memberi warna pada kulit. Lapisan malpighi berfungsi juga melindungi tubuh dari sengatan sinar matahari.

b. Kulit Jangat (Dermis)

Kulit jangat merupakan lapisan kulit yang terletak dibawah lapisan kulit ari. Di dalam kulit jnggat terdapat kelenjar keringat, kelenjar minyak, pembuluh darah, ujung-ujung saraf dan kantong rambut. Ujung saraf terdiri atas ujung saraf peraba untuk mengenali rabaan, ujung saraf peras untuk mengenali tekanan dan ujung saraf suhu untuk mengenali suhu.

1) Kelenjar keringat

Menghasilkan keringat. Kelenjar keringat yang berbentuk tabung berbelit-belit dan banyak jumlahnya, terletak disebelah dalam kulit jangat, bermuara diatas permukaan kulit didalam lekukan halus yang disebut pori. Ada

beberapa kelenjar keringat yang berubah sifatnya yang dapat dijumpai dikulit disebelah dalam telinga, yaitu kelenjar serumen. Kelenjar sebacea ialah kelenjar kantong didalam kulit. Bentuknya seperti botol dan bermuara didalam folikel rambut. Kelenjar ini banyak terdapat diatas kepala dan muka, sekitar hidung, mulut dan telinga, tetapi sama sekali tidak terdapat dalam kulit tapak tangan dan telapak kaki. Kelenjarnya dan salurannya dilapisi epitel. Perubahan ini berakibat sekresi berlemak yang disebut sebum

2) Saraf Indera

Ujung akhir saraf sensoris yaitu puting peraba terletak didalam kulit jangat atau dermis. Ujung-ujung saraf indera perasa dan peraba meliputi ; peraba, perasa panas, perasa dingin, perasa nyeri dan lain sebagainya.

3) Kantung Rambut

Di dalamnya terdapat akar rambut dan batang rambut. Di dekat akar rambut terdapat otot polos yang merupakan otot penegak rambut dan terdapat pula ujung saraf indera perasa nyeri. Bila tubuh kita kedinginan, maka otot penegak rambut akan berkontraksi sehingga rambut akan berduri. Bila rambut dicabut akan tersa nyeri. Untuk menjaga agar rambut tidak kering, disekitar rambut terdapat kelenjar minyak. Akar rambut dapat mendapatkan makanan dari pembuluh-pembuluh darah, sehingga memungkinkan rambut dapat tumbuh terus.

c. Jaringan Ikat Bawah Kulit

Pada jaringan bawah kulit terdapat cadangan lemak. Lemak berfungsi sebagai cadangan makanan dan pengendali suhu tubuh agar tetap hangat.

2. Fungsi Kulit

a. Organ pengantar panas

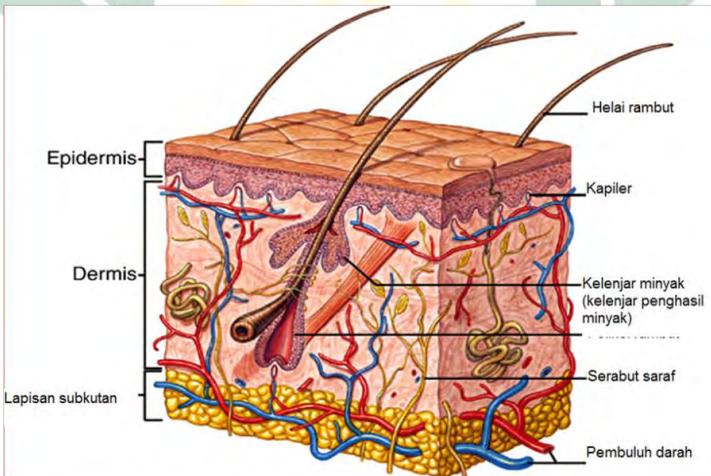
Suhu tubuh seseorang adalah tetap, walaupun terjadi perubahan suhu lingkungan. Hal itu dipertahankan karena penyesuaian antara panas yang hilang dan panas yang dihasilkan, yang diatur oleh pusat pengatur panas. Pusat ini segera menyadari bila ada perubahan pada panas tubuh, karena suhu darah yang mengalir melalui sumsum lanjutan atau medula oblongata. Suhu normal (sebelah dalam) tubuh, yaitu suhu visera dan otak ialah 36° - 37° C. Suhu kulit sedikit lebih rendah.

b. Pelindung jaringan

Melindungi jaringan-jaringan sel yang terletak dibawahnya terdapat pengaruh-pengaruh luar.

- 1) Melindungi jaringan-jaringan sel terhadap pukulan.
- 2) Mencegah penguapan air karena pengaruh suhu luar
- 3) Mencegah masuknya kuman-kuman penyakit.

- c. Tempat penyimpanan
Kulit dan jaringan dibawahnya bekerja sebagai tempat penyimpanan air dan tempat penyimpanan lemak yang utama pada tubuh.
- d. Indera peraba
Rasa sentuhan yang disebabkan oleh rangsangan pada ujung saraf didalam kulit berbeda menurut ujung saraf yang dirangsang. Perasaan panas, dingin, sakit, semua ini perasaan yang berlainan. Didalam kulit terdapat tempat –tempat tertentu, yaitu tempat perabaan; beberapa sensitif (peka) terhadap dingin, terhadap panas, dan lain-lain.
- e. Alat pengeluaran
Kulit mengeluarkan zat-zat sampah yang terdapat dalam keringat. Keringat adalah pengeluaran aktif dan kelenjar keringat dibawah pengendalian saraf simpatis. Keringat terutama berisi larutan garam dengan konsentrasi kira-kira $\frac{1}{3}$ dari yang ada di dalam plasma.
- f. Pembentuk vitamin
Tempat pembentuk vitamin D dengan bantuan sinar matahari. Kulit atau integumen adalah organ utama yang berurusan dengan pelepasan panas dari tubuh. Banyak panas juga hilang melalui paru-paru, dan sebagian kecil melalui tinja (feses) dan air kemih (urine).

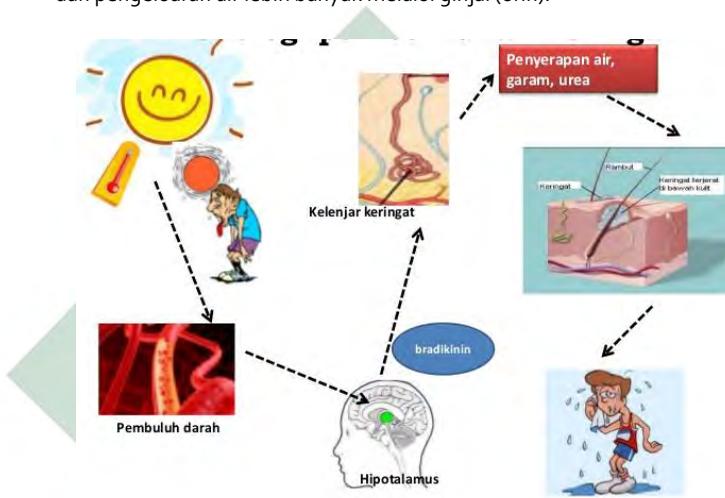


Gambar 7.13 Struktur Kulit Manusia

3. Proses Pembentukan Keringat

Bila suhu tubuh kita meningkat atau suhu udara di lingkungan kita tinggi, pembuluh-pembuluh darah di kulit akan melebar. Hal ini mengakibatkan banyak darah yang mengalir ke daerah tersebut. Pangkal kelenjar keringat berhubungan

dengan pembuluh darah maka terjadilah penyerapan air, garam dan sedikit urea oleh kelenjar keringat. Kemudian air bersama larutannya keluar melalui pori-pori yang merupakan ujung dari kelenjar keringat. Keringat yang keluar membawa panas tubuh, sehingga sangat penting untuk menjaga agar suhu tubuh tetap normal. Ketika suhu di keliling kita panas maka kulit akan mengatur suhu tubuh dengan banyak mengeluarkan keringat dan urin yang dihasilkan lebih sedikit. Sebaliknya ketika suhu dingin maka tubuh hanya sedikit memproduksi keringat dan pengeluaran air lebih banyak melalui ginjal (urin).



Gambar 7.14 Proses Pembentukan Keringat

4. Reseptor

Reseptor yang terdapat dalam dermis yaitu:

- reseptor sentuhan;
- reseptor suhu atau termoreseptor
- reseptor tekanan.

5. Kelenjar yang terdapat dalam dermis

- kelenjar peluh;
- kelenjar sebum

C. Hati

Hati merupakan kelenjar terbesar dalam tubuh manusia, terletak di dalam ronggaperut sebelah kanan, dibawah diafragma. Pada orang dewasa berat hati mencapai 2 kg. Hati merupakan tempat untuk mengubah berbagai zat, termasuk racun. Seperti hati menerima kelebihan asam amino yang akan diubah menjadi urea yang bersifat racun. Hati menjadi tempat perombakan sel darah merah yang rusak menjadi empedu. Empedu yang dihasilkan akan disimpan dalam kantong empedu (bilirubin). Bilirubin adalah produk

utama dari penguraian sel darah merah yang tua. Bilirubindisaring dari darah oleh hati, dan dikeluarkan pada cairan empedu. Sebagaimana hati menjadi semakin rusak, bilirubin total akan meningkat. Sebagian dari bilirubin total termetabolisme, dan bagian ini disebut sebagai bilirubin langsung. Bila bilirubin langsung adalah rendah sementara bilirubin total tinggi, hal ini menunjukkan kerusakan pada hati atau pada saluran cairan empedu dalam hati.

Bilirubin mengandung bahan pewarna, yang memberi warna pada kotoran (feses). Bila tingkatnya sangat tinggi, kulit dan mata dapat menjadi kuning, yang mengakibatkan gejala ikterus. Albumin adalah protein yang mengalir dalam darah. Albumin dibuat oleh hati dan dikeluarkan pada darah.

Hati berwarna merah tua. Pada orang dewasa berat hati kira-kira 2 kg. Hati mempunyai 2 jenis persediaan darah, yaitu yang datang melalui arteri hepatica dan yang melalui vena porta. Terdapat 4 pembuluh darah utama yang menjelajahi seluruh hati, 2 yang masuk, yaitu arteri hepatica dan vena porta, dan 2 yang keluar, yaitu vena hepatica dan saluran empedu. Pembuluh-pembuluh darah pada hati tersebut akan diuraikan sebagai berikut :

- a. Arteri hepatica
Adalah arteri yang keluar dari aorta dan memberikan $\frac{1}{5}$ darahnya kepada hati. Darah ini mempunyai kejenuhan oksigen 95-100 %.
- b. Vena porta
adalah vena yang terbentuk dari lienalis dan vena mesentrica superior, mengantarkan $\frac{4}{5}$ darah ke hati. Darah ini mempunyai kejenuhan oksigen hanya 70% sebab beberapa oksigen telah diambil oleh limfa dan usus. Darah vena porta ini membawa kepada hati zat makanan yang telah diserap oleh mukosa usus halus.
- c. Vena hepatica
mengembalikan darah dari hati ke vena cava inferior. Di dalam vena hepatica tidak terdapat katup.
- d. Saluran empedu
terbentuk dari penyatuan kapiler-kapiler empedu yang mengumpulkan empedu dari sel hati.

Adapun fungsi hati bagi tubuh sebagai berikut:

- 1) Sebagai tempat untuk menyimpan gula dalam bentuk glikogen
- 2) Menetralkan racun yang masuk ke dalam tubuh dan membunuh bibit penyakit
- 3) Mengatur kadar gula dalam darah
- 4) Sebagai tempat perubahan provitamin A menjadi vitamin A
- 5) Menghasilkan empedu yang berguna untuk mengemulsikan lemak
- 6) Menguraikan molekul hemoglobin tua
- 7) Menghilangkan hormon-hormon berlebihan
- 8) Membentuk protein tertentu dan merombaknya
- 9) Pembentukan dan pengeluaran lemak dan kolesterol.

D. Paru-paru

Paru-paru merupakan organ yang sangat vital bagi kehidupan manusia karena tanpa paru-paru manusia tidak dapat hidup. Dalam Sistem Ekskresi, paru-paru berfungsi untuk mengeluarkan Karbondioksida (CO_2) dan Uap air (H_2O). Karbon dioksida dan air yang dihasilkan pada setiap metabolisme karbohidrat dan lemak yang dikeluarkan dari sel-sel jaringan tubuh dan masuk ke dalam aliran darah. Sel darah merah pada alveolus paru-paru mengikat O_2 dan ditransfer ke jaringan. Setelah membebaskan oksigen, sel-sel darah merah menangkap karbon dioksida ini dengan proses berantai yang disebut "pertukaran klorida".

Karbon dioksida larut menjadi asam karbonat. Proses pelarutan ini dipercepat oleh enzim *karbonat anhidrase*. Sam karbonat akan terpisah lagi menjadi ion HCO_3^- dan ion H^+ . ion hidrogen ini bersifat racun karena dapat mengubah pH darah. Oleh karena itu, ion hidrogen segera diikat oleh hemoglobin. Ion bikarbonat keluar dari sel darah dan digantikan kedudukannya oleh ion *kloroid* dalam darah. Dengan demikian CO_2 akan diangkut sebagian besar sebagai HCO_3^- dalam plasma darah, dan sebagian lagi (25%) diikat oleh hemoglobin sebagai senyawa *karbomino hemoglobin* dan sedikit sekali sebagai H_2CO_3 yang larut dalam plasma darah.

Kebalikan proses ini berlangsung di paru-paru. Di paru-paru, karbon dioksida (CO_2) dilepaskan dan oksigen diikat darah; ion klorid yang mula-mula masuk ke dalam sel darah dikeluarkan lagi. Demikian pula air dikeluarkan dari paru-paru dalam bentuk uap air.

Sistem Osmoregulasi Pada Hewan

a. Sistem osmoregulasi pada hewan invertebrata

Secara umum, organ osmoregulasi invertebrata memakai mekanisme filtrasi, reabsorpsi, dan sekresi yang prinsipnya sama dengan kerja ginjal pada vertebrata yang memproduksi urin yang lebih encer dari cairan tubuhnya.

d. Osmoregulasi pada serangga

Kehilangan air pada serangga terutama terjadi melalui proses penguapan. Hal ini dikarenakan serangga memiliki ratio luas permukaan tubuh dengan masa tubuhnya sebesar 50 kali, dibandingkan dengan mamalia yang mempunyai ratio luas permukaan tubuh terhadap masa tubuhnya yang hanya $\frac{1}{2}$ kali. Jalan utama kehilangan air pada serangga adalah melalui spirakulum untuk mengurangi kehilangan air dari tubuhnya maka kebanyakan serangga akan menutup spirakelnya pada saat diantara dua gerakan pernapasannya. Cara mengatasi yang lain adalah dengan meningkatkan impermeabilitas kulitnya, yaitu dengan memiliki kutikula yang berlilin yang sangat impermeable terhadap air, sehingga serangga sedikit sekali kehilangan air melalui kulitnya. Sebagai organ ekskretori serangga memiliki badan Malpighi yang bersama-sama dengan saluran pencernaan bagian belakang membentuk sistem ekskretori osmoregulatori.

e. Osmoregulasi pada Annelida

Cacing tanah seperti *Lumbricus terrestris* merupakan regulator hiperosmotik yang efektif. Hewan ini secara aktif mengabsorpsi ion-ion. Urine yang diproduksinya encer, yang secara esensial bersifat hipoosmotik mendekati isoosmotik terhadap darahnya. Diduga konsentrasi urinya disesuaikan menurut kebutuhan keseimbangan air tubuhnya. Homeostasis regulasi juga dilakukan dengan pendekatan perilaku yaitu aktif di malam hari dan menggali tanah lebih dalam bila permukaan tanah kering.

f. Osmoregulasi pada Molusca

Pada tubuh keong/siput memiliki permukaan tubuh berdaging yang sangat permeable terhadap air. bila dikeluarkan dari cangkangnya, maka air akan hilang secepat penguapan air pada seluas permukaan tubuhnya. Semua keong atau siput bernapas terutama dengan paru-paru yang terbentuk dari mantel tubuhnya dan terbuka keluar melalui lubang kecil. Toleransi terhadap air sangat tinggi. Tekanan osmotik cairan internal bervariasi secara luas tergantung kandungan air lingkungannya. Untuk menghindari kehilangan air yang berlebih, keong atau siput lebih aktif di malam hari dan bila kondisi bertambah kering, keong akan berlindung dengan membenamkan diri kedalam tanah serta menutup cangkangnya dengan semacam operculum yang berasal dari lendir yang dikeluarkannya. Banyak keong darat yang secara rutin mengeluarkan suatu zat yang mengandung nitrogen dalam bentuk asam urat yang sulit larut dalam air, yang terbukti bahwa ternyata zat ini meningkat pada beberapa spesies dalam masa kesulitan mendapatkan air. Selama masa estivasi (tidur musim panas) asam urat ini disimpan dalam ginjal dengan maksud mengurangi kehilangan air untuk men ekskresikan nitrogen tersebut. Banyak spesies keong yang menyimpan air didalam rongga mantelnya yang rupanya digunakan pada lingkungan kering.

b. Sistem osmoregulasi pada hewan Vertebrata**a. Osmoregulasi pada ikan**

Ikan-ikan yang hidup di air tawar mempunyai cairan tubuh yang bersifat hiperosmotik terhadap lingkungan, sehingga air cenderung masuk ketubuhnya secara difusi melalui permukaan tubuh yang semipermeable. Bila hal ini tidak dikendalikan atau diimbangi, maka akan menyebabkan hilangnya garam-garam tubuh dan mengencernya cairan tubuh, sehingga cairan tubuh tidak dapat menyokong fungsi-fungsi fisiologis secara normal. Ginjal akan memompa keluar kelebihan air tersebut sebagai air seni. Ginjal mempunyai glomerulus dalam jumlah banyak dengan diameter besar. Ini dimaksudkan untuk lebih dapat menahan garam-garam tubuh agar tidak keluar dan sekaligus memompa air seni sebanyak-banyaknya.

Ikan laut hidup pada lingkungan yang hipertonik terhadap jaringan dan cairan tubuhnya, sehingga cenderung kehilangan air melalui kulit dan insang, dan memasukkan garam-garam. Untuk mengatasi kehilangan air, ikan 'minum' air laut

sebanyak-banyaknya. Dengan demikian berarti pula kandungan garam akan meningkat dalam cairan tubuh. Padahal dehidrasi dicegah dengan proses ini dan kelebihan garam harus dihilangkan. Karena ikan laut dipaksa oleh kondisi osmotik untuk mempertahankan air, volume air seni lebih sedikit dibandingkan dengan ikan air tawar. Tubulus ginjal mampu berfungsi sebagai penahan air. Jumlah glomerulus ikan laut cenderung lebih sedikit dan bentuknya lebih kecil dari pada ikan air tawar

b. Osmoregulasi pada Reptilia

Hewan dari kelas reptile, meliputi ular, buaya, 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, Kadal dan kura-kura pada saat mengalami dehidrasi mampu memanfaatkan urin encer yang dihasilkan dan disimpan dikandung kemihnya dengan cara mereabsorbsinya.

c. Osmoregulasi pada Aves

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 dari tubuhnya. Burung mengeluarkan kelebihan garam tersebut melalui kelenjar garam, yang terdapat pada cekungan dangkal dikepala bagian atas, disebelah atas setiap matanya, didekat hidung. Apabila burung laut menghadapi kelebihan garam didalam tubuhnya, hewan itu akan menyekresikan cairan pekat yang banyak mengandung NaCl. Kelenjar garam ini hanya aktif pada saat tubuh burung dijenuhkan oleh garam.

d. Osmoregulasi pada Mammalia

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 dipadang pasir memperoleh air dengan cara minum merupakan hal yang mustahil sebagai contoh kangguru. Kangguru tidak minum air, tetapi dapat bertahan dengan menggunakan air metabolic yang dihasilkan dari oksidasi glukosa.

Pengaruh Lingkungan Terhadap Osmoregulasi Lingkungan Hidup Hewan

Pada dasarnya lingkungan hidup hewan dapat dibagi menjadi lingkungan air dan lingkungan darat. Lingkungan air masih dibedakan menjadi lingkungan air laut dan air tawar. Sedikit sekali hewan darat yang benar-benar telah meninggalkan lingkungan air.

Misalnya serangga dan beberapa hewan darat yang lain, meskipun dianggap paling berhasil beradaptasi dengan kehidupan di darat, namun hidupnya sedikit banyak masih berhubungan langsung dengan air tawar. Kebanyakan hewan selain serangga, hidup didalam air atau sangat tergantung pada air.

Komposisi cairan tubuh kebanyakan hewan, khususnya konsentrasi komponen utama, merefleksikan komposisi air lautan permulaan, tempat nenek moyang hewan pertama kali muncul. Air laut mengandung sekitar 3,5% garam. Ion utama adalah natrium, klorida, magnesium, sulfat dan kalsium yang berada dalam jumlah yang besar.

Jumlah konsentrasi garam di lingkungan sangat bervariasi sesuai tempat geografisnya. Di lautan tengah dimana penguapan tinggi tidak diikuti dengan jumlah yang sama masuknya air tawar dari sungai, maka lautan tengah memiliki kandungan garam mendekati 4%. Dilain daerah khususnya di daerah pesisir, kandungan agak rendah dibandingkan dengan lautan terbuka, tetapi jumlah relative ion-ion terlarut agak konstan.

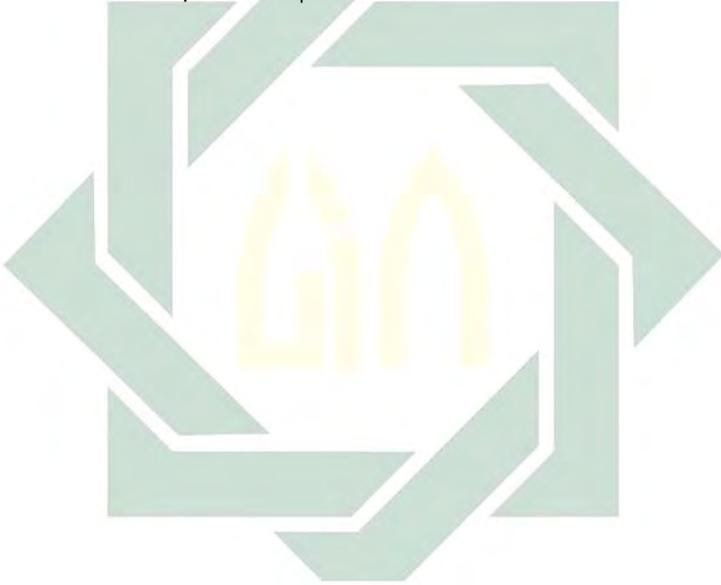
Prinsip-prinsip Dasar Osmoregulasi

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

Sebaliknya ada hewan yang mempertahankan agar tekanan osmotik cairan tubuhnya relative konstan lebih rendah dari mediumnya (*hiposmotik*) atau lebih tinggi dari mediumnya (*hiperosmotik*). Untuk mempertahankan cairan tubuh relatif konstan, maka hewan melakukan *regulasi osmotik* (osmoregulasi), hewannya disebut regulator osmotik atau *osmoregulator*. Ada dua macam regulasi osmotik yaitu *regulasi hiposmotik* dan *regulasi hiperosmotik*. Pada regulator hiposmotik, misalnya ikan air laut, hewan ini selalu mempertahankan konsentrasi cairan tubuhnya lebih tinggi daripada mediumnya (air tawar).

DAFTAR PUSTAKA

1. Arsih, Fitri. 2012. *Fisiologi Hewan*. Padang : UNP Press.
2. Campbell. 2004. *Biologi* Jilid 5. Jakarta : Erlangga.
3. Soewolo. 2000. *Pengantar Fisiologi Hewan*. Malang : IKIP Malang.
4. W.F. Ganong. 1995. *Fisiologi Kedokteran*, ed. Ke-14. Jakarta : EGC Kedokteran
5. Guyton & Hall.1995. *Fisiologi Kedokteran*. Jakarta : EGC Kedokteran
6. Syaifudin. 1997. *Anatomi dan Fisiologi*, ed. Ke-12. Jakarta: EGC Kedokteran
7. Johnson G., Losos J. 2008. *The Living Word.5th edition*. London : Mc.Graw Hill
8. Suntoro, Susilo H., Djalal Tanjung Harminani. 1993. *Anatomi dan Fisiologi Hewan*. Universitas Terbuka, Jakarta: Depdikbud.



Tentang Penulis



Risa Purnamasari, tercatat sebagai Dosen Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) bidang ilmu Biologi dari Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga tahun 2010 serta gelar Magister Sains (M.Si) bidang ilmu Biologi dari Universitas yang sama pada tahun 2012. Dosen sekaligus peneliti aktif ini memiliki ketertarikan kuat terhadap kajian biologi reproduksi. Mulai tahun 2014 hingga saat ini beliau tercatat sebagai Dosen di Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.

Penulis dapat dihubungi di : risap1989@gmail.com



Dwi Rukma Santi, saat ini tercatat sebagai dosen pada Fakultas Psikologi dan Kesehatan Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Selain itu, beliau juga dipercaya sebagai pengajar pada Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi pada Universitas yang sama. Lulusan Sarjana Kebidanan Universitas Padjadjaran Bandung (2005) dan Magister Ilmu Kesehatan Masyarakat Peminatan Manajemen Kesehatan Ibu dan Anak Universitas Diponegoro (2012) ini menaruh minat pada kajian faal dan kesehatan reproduksi. Penulis muda ini selain aktif di Klinik Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya juga tergabung dalam organisasi profesi Ikatan Bidan Indonesia (IBI), Ikatan Ahli Kesehatan Masyarakat (IAKMI) serta Perkumpulan Perinatologi Indonesia (PERINASIA).

Penulis dapat dihubungi di : antycantik@yahoo.co.id