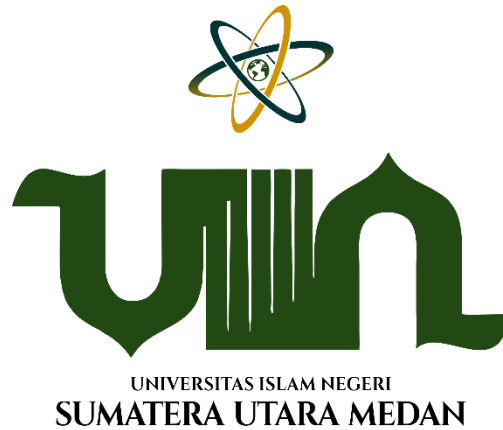


DIKTAT FISIOLOGI HEWAN



Disusun oleh

**Nurlian Augustin Ningrum, M.Sc
NIP. 199508052022032001**

Program Studi Biologi

Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Medan

2023

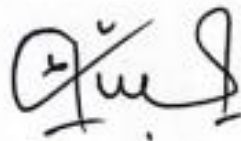
**LEMBAR PENGESAHAN
DIKTAT**

MATA KULIAH : FISILOGI HEWAN
SEMESTER : VI (ENAM)
PROGRAM STUDI : BIOLOGI
FAKULTAS : SAINS DAN TEKNOLOGI UIN SUMATERA UTARA

DISAHKAN OLEH
TANGGAL : 29 MEI 2023
DI : MEDAN

MEDAN, 29 MEI 2023

Mengetahui
Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kelembagaan
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sumatera Utara



Dr. Abdul Halim Daulay, S.T., M.Si
NIP. 19811106 2005 01 1003

Alhamdulillah, puji syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT kepada penulis sehingga Diktat Fisiologi Hewan ini dapat diselesaikan. Diktat ini dimaksudkan untuk melengkapi kebutuhan rujukan pustaka terutama untuk mata kuliah Fisiologi Tumbuhan pada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara Medan.

Diktat Fisiologi Hewan ini mencakup pembahasan mengenai beberapa proses fisiologi yang terjadi pada hewan, Melalui materi yang terpapar pada Diktat ini diharapkan mahasiswa lebih dapat mengembangkan pemikiran dan ilmu pengetahuannya.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kelembagaan, Ibu Kaprodi dan Sekprodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara Medan yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam penyusunan modul ini.

Tentunya modul ini masih memerlukan masukan dan saran untuk memperdalam materi ajar yang disajikan. Semoga modul ini dapat dipergunakan sebagai bahan rujukan dan pegangan bagi mahasiswa serta dapat membantu mahasiswa agar lebih memahami Fisiologi Tumbuhan.

Medan, April 2023

Penulis

Daftar isi

BAB I Ruang Lingkup Fisiologi Hewan	1
BAB II Transpor Membran	2
BAB III Osmoregulasi dan Thermoregulasi	9
BAB IV Sistem Pencernaan Hewan	18
BAB V Sistem Respirasi Hewan	25
BAB VI Sistem Sirkulasi Hewan	40
BAB VII Sistem Ekstresi Hewan	49
BAB VIII Sistem Reproduksi Hewan	58
Daftar Pustaka	70

BAB I

RUANG LINGKUP FISILOGI HEWAN

Fisiologi hewan merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari mengenai fungsi serta fenomena yang terjadi pada hewan pada kondisi normal serta menekankan pada bagaimana hewan dapat beraktivitas. Cabang ilmu biologi ini mengkaji hewan mulai dari tingkat seluler, organ dan sistem organ hingga mencakup satu organisme. Setiap tingkatan memberikan penjelasan seperti bagaimana pertukaran gas yang terjadi didalam sel serta peranan dari berbagai organel sel sehingga metabolisme dan respirasi sel dapat terjadi. Pada tingkatan organ dan sistem organ menjabarkan terkait sistem yang ada pada organisme seperti sistem pencernaan, sistem saraf, sistem ekresi, sistem peredaran darah dan sistem saraf.

Fisiologi hewan sangat berkaitan dengan anatomi organ serta hubungannya dengan hukum fisikokimia yang membatasi antara sistem hidup dan sistem tak hidup sehingga terdapat berbagai jenis mekanisme dan proses yang berbeda pada setiap jenis hewan. Mekanisme ini merupakan usaha hewan untuk dapat menjalankan fungsi kehidupan seperti bernafas, bergerak, bereproduksi serta lainnya. Untuk dapat menjalankan fungsi kehidupan hewan membutuhkan kondisi lingkungan tertentu. Setiap faktor lingkungan merupakan rangsangan bagi hewan yang akan ditanggapi dengan cara tertentu. Mekanisme kerja fungsi kehidupan yang dilakukan hewan untuk tetap hidup merupakan kajian dari Fisiologi Hewan.

Hal ini membuat fisiologi hewan menjadi cabang ilmu biologi yang menarik, berbagai disiplin fisiologi hewan didukung oleh konsep homeostatis intra-ekstra seluler, sistem saraf dan endokrin untuk regulasi homeostatis, dan berbagai sistem fisiologis termasuk keseimbangan ion dan tekanan osmotik, ekskresi, respirasi, sirkulasi, metabolisme, pencernaan dan temperature.

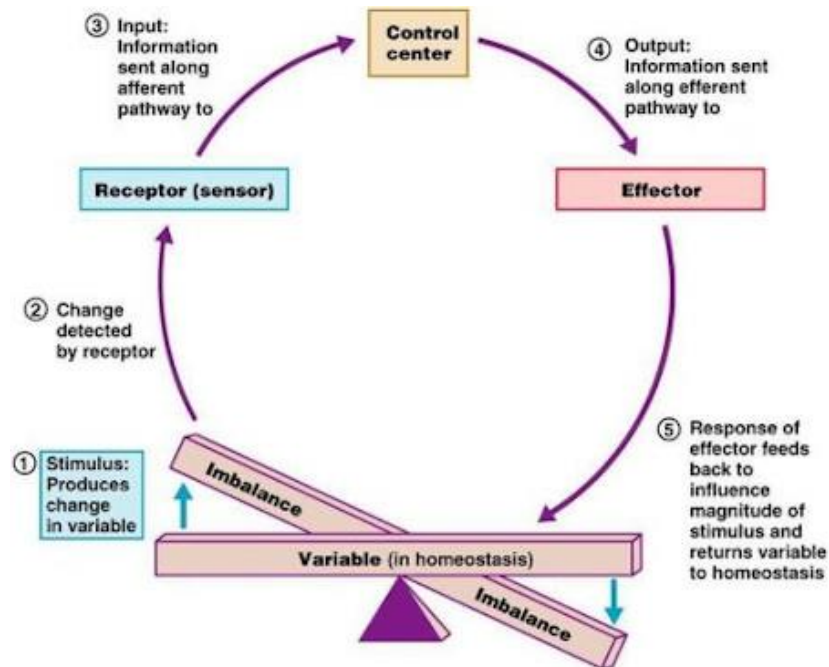
Sebagai salah satu cabang zoologi, fisiologi hewan sangat terkait erat dengan ilmu biologi itu sendiri maupun di luar ilmu biologi. Fisiologi hewan memerlukan dasar pemahaman yang baik di bidang anatomi hewan, histologi, perkembangan hewan, biologi sel, biologi molekuler, genetika, ekologi, dan kajian biologi secara umum. Selain itu dituntut pemahaman yang baik di bidang biokimia, kimia murni, dan fisika khususnya tentang elektrofisika dan dinamika gerak dan fluida.

Homeostatis dan Regulasi

Hewan selalu menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan sekitarnya sebagai bentuk upaya agar tetap dapat menjalankan fungsi kehidupan. Hewan menyesuaikan diri terhadap lingkungan eksternal yang selalu berubah-ubah, seperti bagaimana invertebrata laut menyesuaikan diri dengan air laut yang memiliki salinitas tinggi, bagaimana hewan urun menyesuaikan diri dari perubahan suhu yang drastis antara siang hari yang panas dan malam hari yang sangat dingin.

Lingkungan eksternal tidak dapat diatur sebagaimana mestinya namun tubuh hewan memiliki mekanisme yang bisa tetap bertahan hidup dengan lingkungan yang selalu berubah-ubah. Lingkungan eksternal menjadi tantangan terbesar bagi hewan karena lingkungan eksternal ini sangat jarang sekali memiliki kondisi yang konstan. Seperti halnya perubahan suhu, pH, konsentrasi air, gas dan lainnya sebagainya. Apabila terjadi perubahan pada lingkungan eksternal hewan maka lingkungan internal hewan akan terpengaruh. Apabila lingkungan internal tubuh hewan seperti plasma darah, hemolimfa dan cairan ekstraseluler

yang mengelilingi sel-sel hewan ini mengalami perubahan besar maka akan berdampak pada keseluruhan sistem fisiologis hewan sehingga sangat beresiko bagi kelangsungan hidupnya. Oleh karena itu hewan akan berupaya semaksimal mungkin untuk mempertahankan kondisi internal ini agar tetap konstan walaupun lingkungan eksternal mengalami perubahan yang drastis. Kondisi mempertahankan kondisi internal ini lah yang disebut dengan **homeostatis**.



Gambar 1. Respon homeostatis tubuh

Homeostatis merupakan prinsip dasar fisiologi hewan, dan sistem fisiologis diartikan sebagai bagaimana homeostatis tersebut dipertahankan. Proses homeostatis menjaga lingkungan internal tetap stabil walaupun tidak semua hewan meregulasi semua variabel fisiologis dengan cara yang sama. Hewan yang tidak mampu mempertahankan kondisi lingkungan internalnya akibat perubahan lingkungan eksternalnya disebut **konformer**. Kelompok hewan konformer ini merupakan hewan yang kondisi internal tubuhnya mengikuti lingkungan, namun tubuh hewan memiliki batas terhadap perubahan kondisi eksternal yang dapat ditolerir. Jika melewati batas toleransi tersebut maka hewan mengalami kerusakan fungsi tubuh bahkan kematian. Kelompok hewan yang mampu mempertahankan kondisi internalnya disebut dengan kelompok hewan **regulator**. Kelompok hewan ini mempertahankan kondisi internalnya dengan berbagai mekanisme regulasi melalui mekanisme-mekanisme yang kompleks. Hewan mempertahankan kondisi tubuhnya agar tetap dapat menjalankan fungsi fisiologis tubuh dengan mekanisme homeostatis. Mekanisme homeostatis dapat terjadi dengan beberapa tipe yaitu **sistem umpan balik** (*feedback*), **sistem umpan kedepan** (*feedforward*) dan **homeostatis non-fisiologis**.

BAB II

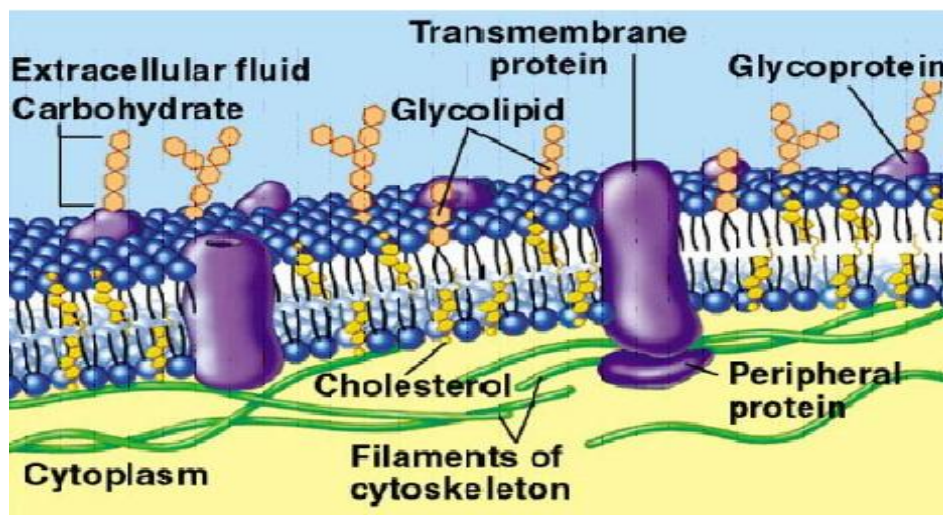
TRANSPOR MEMBRAN

Dalam mempelajari fisiologi hewan diperlukan pemahaman yang baik terhadap struktur penyusunnya yaitu sel, jaringan, organ dan tubuh hewan hal ini berkaitan dengan fungsi tubuh hewan itu sendiri. Pada bab ini akan membahas mengenai struktur serta fungsi dari membran sel yang sangat berperan aktif dalam proses metabolisme sel yang berlangsung, keluar masuknya zat pada sel.

Membran Plasma

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

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



Gambar 1.1. Struktur Membran

Fungsi Membran Dalam Transportasi

Membran plasma berfungsi sebagai barrier antara sel dan lingkungan ekstraselulernya sekaligus menjadi tempat transportasi molekul-molekul essential seperti glukosa, asam amino, lipid, ion, dan lain-lain ke dalam sel dan memungkinkan keluarnya sisa produk metabolisme sel yang tidak berguna lagi. Membran memiliki karakter selektif permeable yang memungkinkan untuk menjaga kekonstanan lingkungan interior sel. Membran-membran organel yang berada dengan sitosol di dalam sel yang biasanya memberikan kondisi lingkungan yang berbeda dengan sitosol di dalam sitoplasma.

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

Mekanisme Transpor Membran

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

1. Transpor pasif

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

Ada beberapa jenis transpor pasif antara lain:

a. Difusi

Difusi merupakan salah satu proses pergerakan molekul atau ion melalui membran sel, di mana molekul atau ion tersebut bergerak dari daerah yang mempunyai konsentrasi tinggi ke daerah yang mempunyai konsentrasi rendah dan tidak memerlukan energi. Pertukaran gas O₂ dengan CO₂ melalui membran sel yang merupakan dasar fisiologi pernapasan terjadi melalui proses difusi. Karbon dioksida diproduksi di dalam sel melalui proses respirasi sel sehingga konsentrasinya di dalam sel jauh lebih tinggi dibandingkan dengan di luar sel. Dengan demikian CO₂ akan bergerak ke luar melalui membran sel secara difusi. Keadaan yang sebaliknya terjadi pada pergerakan molekul O₂, di mana O₂ dibutuhkan dalam proses pernapasan sel, dengan demikian konsentrasi O₂ di dalam sel jauh lebih rendah dibandingkan di lingkungannya sehingga O₂ akan bergerak masuk melalui membran sel juga secara difusi.

Arti difusi secara umum, tidak terbatas pada pergerakan molekul atau ion melalui membran yang permeabel, melainkan setiap pergerakan molekul atau ion dari daerah yang mempunyai konsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah.

BAB III

OSMOREGULASI DAN THERMOREGULASI

Hewan memiliki kemampuan penyesuaian diri yang baik untuk menghadapi lingkungan sekitar yang selalu berubah-ubah. Bentuk penyesuaian diri hewan salahsatunya dengan osmoregulasi dan thermoregulasi. **Osmoregulasi** merupakan proses pengaturan cairan didalam tubuh makhluk hidup dengan cara menyeimbangkan cairan yang masuk dengan cairan yang keluar dalam tubuh oleh sel atau organisme hidup. 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. Proses osmoregulasi ini mengacu pada prinsip osmosis yang mana pergerakan cairan yang mempunyai kandungan air lebih tinggi menuju cairan yang mempunyai kandungan air lebih rendah.

Thermoregulasi merupakan proses dimana hewan mengatur suhu tubuhnya agar tetap konstan, namun tidak semua hewan mampu mempertahankan suhu tubuh agar tetap konstan. Proses thermoregulasi terjadi dengan mengatur keseimbangan antara perolehan panas dengan pelepasan panas. Mekanisme ini merupakan penggabungan fungsi dari organ-organ tubuh yang saling berhubungan, di dalam pengaturan suhu tubuh mamalia terdapat dua jenis sensor pengatur suhu, yaitu sensor panas dan sensor dingin yang berbeda tempat pada jaringan sekeliling (penerima di luar) dan jaringan inti (penerima di dalam) dari tubuh.

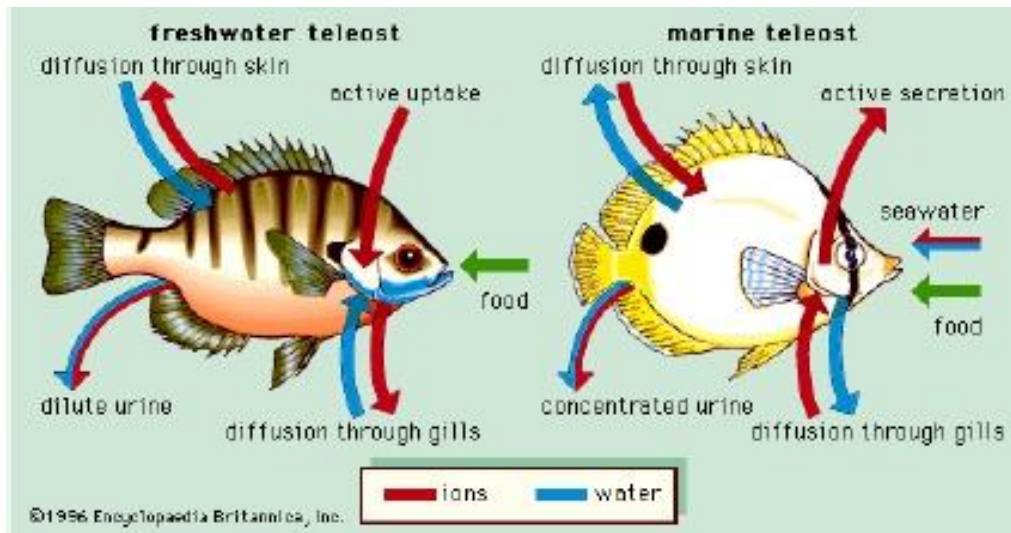
Osmoregulasi pada Hewan Aquatik

Osmoregulasi adalah proses pengaturan konsentrasicairan dengan menyeimbangkan pemasukkan serta pengeluaran cairan tubuh oleh sel atau organisme hidup, atau pengaturan tekanan osmotik cairan tubuh yang layak bagi kehidupan sehingga proses-proses fisiologis dalam tubuh berjalan normal. Osmoregulasi adalah pengaturan tekanan osmotik cairan tubuh yang layak bagi kehidupan ikan sehingga proses-proses fisiologis tubuhnya berjalan normal. Salinitas berhubungan erat dengan proses osmoregulasi dalam tubuh ikan yang merupakan fungsi fisiologis yang membutuhkan energi. Organ yang berperan dalam proses tersebut antara lain ginjal, insang, kulit, dan membran mulut dengan berbagai cara. 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.

Osmoregulasi sangat penting pada hewan air karena tubuh ikan bersifat permeabel terhadap lingkungan maupun larutan garam. Sifat fisik lingkungan yang berbeda menyebabkan terjadinya perbedaan proses osmoregulasi antara ikan air tawar dengan ikan air laut. Pada ikan air tawar, air secara terus-menerus masuk ke dalam tubuh ikan melalui insang. Ini secara pasif berlangsung melalui suatu proses osmosis yaitu, terjadi sebagai akibat dari kadar garam dalam tubuh ikan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungannya. Dalam keadaan normal proses ini berlangsung seimbang. Ikan air tawar harus selalu menjaga dirinya agar garam tidak melarut dan lolos ke dalam air. Garam-garam dari lingkungan akan diserap oleh ikan menggunakan energi metaboliknya. Ikan mempertahankan keseimbangannya dengan tidak banyak minum air, kulitnya diliputi mucus, melakukan osmosis lewat insang, produksi urinnya

encer, dan memompa garam melalui sel-sel khusus pada insang. Secara umum kulit ikan merupakan lapisan kedap, sehingga garam di dalam tubuhnya tidak mudah bocor ke dalam air. Satu-satunya bagian ikan yang berinteraksi dengan air adalah insang.

Cairan tubuh ikan air tawar mempunyai tekanan yang lebih besar dari lingkungan sehingga garam-garam cenderung keluar dari tubuh. Sedangkan ikan yang hidup di air laut memiliki tekanan osmotik lebih kecil dari lingkungan sehingga garam-garam cenderung masuk ke dalam tubuh dan air akan keluar. Agar proses fisiologis didalam tubuh berjalan normal, maka diperlukan suatu tekanan osmotik yang konstan.



Gambar.

Pada ikan air laut terjadi kehilangan air dari dalam tubuh melalui kulit dan kemudian ikan akan mendapatkan garam-garam dari air laut yang masuk lewat mulutnya. Organ dalam tubuh ikan menyerap ion-ion garam seperti Na^+ , K^+ , dan Cl^- , serta air masuk ke dalam darah dan selanjutnya disirkulasi. Selanjutnya, insang ikan akan mengeluarkan kembali ion-ion tersebut dari darah ke lingkungan luar. Sifat osmotik air berasal dari seluruh elektrolit yang larut dalam air tersebut di mana semakin tinggi salinitas maka konsentrasi elektrolit makin besar sehingga tekanan osmotiknya makin tinggi.

Pada saat ikan sakit, luka atau stres, proses osmosis akan terganggu sehingga air akan lebih banyak masuk ke dalam tubuh ikan dan garam lebih banyak keluar dari tubuh. Akibatnya beban kerja ginjal ikan untuk memompa air keluar dari dalam tubuhnya meningkat. Apabila hal tersebut terus berlangsung dapat menyebabkan ginjal menjadi rusak sehingga ikan mati. Pada keadaan normal ikan mampu memompa air kurang lebih $\frac{1}{3}$ dari bobot total tubuhnya setiap hari. Penambahan garam ke dalam.

BAB IV

SISTEM PENCERNAAN

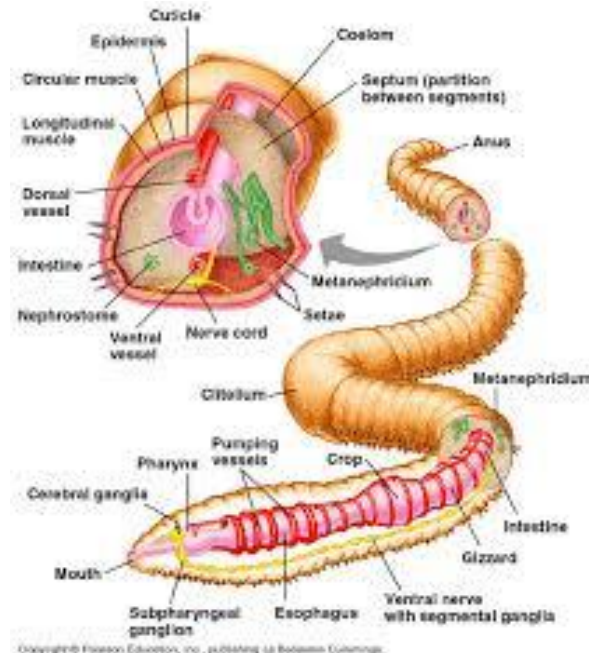
Sistem Pencernaan Pada Hewan Invertebrata

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

- Sistem Pencernaan Makanan Pada Cacing Tanah

Makanan cacing tanah berupa daun-daunan serta sampah organik yang sudah lapuk. Cacing tanah dapat mencerna senyawa organik tersebut menjadi molekul yang sederhana yang dapat diserap oleh tubuhnya. Sisa pencernaan makanan dikeluarkan melalui anus. Mulut cacing bekerja seperti tabung penghisap untuk menarik kotoran dan partikel makanan. Setelah melewati faring, bahan-bahan tersebut dipindahkan ke esofagus dan disini ditambahkan cairan sekresi yang bersifat alkalin. Tanah dan makanan disimpan dalam ruang berdinding tebal yang disebut crop, selanjutnya masuk ke gizzard, sebuah ruang yang berotot dan berfungsi menggilas dan menumbuk mengurai makanan menjadi bagian yang lebih kecil.

Gambar 2.1 Sistem Pencernaan Pada Cacing Tanah



Melalui peningkatan tumbukan dan total daerah permukaan dengan panjang lipatan-tunggal, menyebabkan enzim ekstraseluler lebih efektif mengurai makanan menjadi gula, lemak, asam amino dan nutrien lainnya. Makanan diurai secara enzimatik dan absorpsi terjadi pada intestin cacing tanah. Intestin meluas ke sekum, tempat menyimpan makanan beberapa saat, menyebabkan enzim berperan dan mengabsorpsi lebih sempurna. Sebagian besar air

direabsorpsi melalui bagian ujung intestin, dan akhirnya limbah kering dikeluarkan melalui anus. Proses dan struktur pencernaan dasar pada cacing tanah, juga merupakan karakteristik dari siput, lobster, mentimun laut, laba-laba dan hewan yang setingkat.

- **Sistem Pencernaan Makanan Pada Insecta**

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

Sistem Pencernaan Pada Hewan vertebrata

- **Sistem Pencernaan Pada Ikan**

Organ pencernaan pada hewan vertebrata meliputi saluran pencernaan (*tractus digestivus*) dan kelenjar pencernaan (*glandula digestoria*). Saluran pencernaan pada ikan dimulai dari rongga mulut (*cavum oris*). Di dalam rongga mulut terdapat gigi-gigi kecil yang berbentuk kerucut pada geraham bawah dan lidah pada dasar mulut yang tidak dapat digerakan serta banyak menghasilkan lendir, tetapi tidak menghasilkan ludah (enzim). Dari rongga mulut makanan masuk ke esophagus melalui faring yang terdapat di daerah sekitar insang. Esofagus berbentuk kerucut, pendek, terdapat di belakang insang, dan bila tidak dilalui makanan lumennya menyempit. Dari kerongkongan makanan di dorong masuk ke lambung, lambung pada umum-nya membesar, tidak jelas batasnya dengan usus. Pada beberapa jenis ikan, terdapat tonjolan buntu untuk memperluas bidang penyerapan makanan. Dari lambung, makanan masuk ke usus yang berupa pipa panjang berkelok-kelok dan sama besarnya. Usus bermuara pada anus. Kelenjar pencernaan pada ikan, meliputi hati dan pankreas.

Hati merupakan kelenjar yang berukuran besar, berwarna merah kecoklatan, terletak di bagian depan rongga badan dan mengelilingi usus, bentuknya tidak tegas, terbagi atas lobus kanan dan lobus kiri, serta bagian yang menuju ke arah punggung. Fungsi hati menghasilkan empedu yang disimpan dalam kantung empedu untuk membanfu proses pencernaan lemak. Kantung empedu berbentuk bulat, berwarna kehijauan terletak di sebelah kanan.

BAB V

SISTEM RESPIRASI

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 protozoa

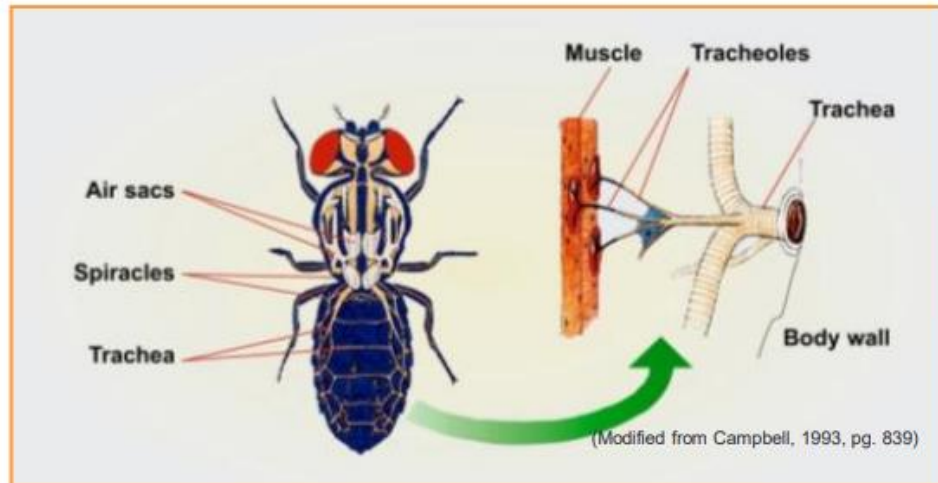
Hewan dalam golongan ini melakukan pernapasan melalui seluruh permukaan selnya. Oksigen dan karbon dioksida masuk dan keluar melalui membran sel secara difusi. Oksigen dan karbon dioksida tersebut merupakan gas-gas yang terlarut di dalam air. Contoh: *amoeba sp.*



Gambar.

b. 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



Gambar: Proses Pernapasan pada Serangga (Gullan, 2005)

Proses pernapasan pada serangga adalah:

1. Oksigen dari luar masuk lewat spirakel.
2. Kemudian udara dari spirakel menuju pembuluh-pembuluh trakea
3. Selanjutnya pembuluh trakea bercabang lagi menjadi cabang halus yang disebut trakeolus sehingga dapat mencapai seluruh jaringan dan alat tubuh bagian dalam.
4. Trakeolus tidak berlapis kitin, berisi cairan, dan dibentuk oleh sel yang disebut trakeoblas.
5. Pertukaran gas terjadi antara trakeolus dengan sel-sel tubuh. Trakeolus ini mempunyai fungsi yang sama dengan kapiler pada sistem pengangkutan (transportasi) pada vertebrata.

c. 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. Paru-paru 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.

BAB VI

SISTEM SIRKULASI HEWAN

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 dan Fungsinya

Setiap organisme melakukan metabolisme, baik organisme uniseluler maupun multiseluler. Metabolisme berlangsung didalam setiap sel makhluk hidup dan untuk itu diperlukan bahan-bahan untuk berlangsungnya proses metabolisme dengan lancar. Sel-sel mendapat suplai makanan atau bahan-bahan dari luar tubuh dan dihantarkan ke setiap sel melalui system sirkulasi. Secara garis besar, sistem sirkulasi memiliki tiga fungsi sebagai berikut:

1. Menjamin terpenuhinya kebutuhan tubuh akan sari makanan dan oksigen, serta pembuangan zat sisa metabolisme dari tubuh dengan segera.
2. Berperan penting dalam penyebaran panas tubuh
3. Menyebarkan tekanan atau kekuatan Sistem sirkulasi pada hewan bervariasi tergantung pada tingkat perkembangan tubuh hewan.

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

Komponen Sistem Sirkulasi

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

- 1) Jantung: sebagai pompa penggerak cairan tubuh di sepanjang pembuluh.
 - a. Jantung Tubuler: Terdapat pada hewan invertebrata, bentuk sederhana tidak ada klep, dan bekerja secara kontraksi peristaltik.
 - b. Jantung Berongga: Terdapat pada hewan vertebrata, mernya memompa jantung, merupakan organ berotot, gerak, dan kontraksinya secara periodik.
- 2) Pembuluh: saluran yang akan dilewati oleh cairan yang beredar ke seluruh tubuh
 - a. Pembuluh Darah terdiri atas Arteri, Vena dan Kapiler. Arteri dan Vena tersusun atas tiga lapisan jaringan melingkar dan membentuk saluran / lumen di bagian tengahnya. Nama lapisannya yaitu tunika intima (Endotelium), tunika media, dan tunika adventitia , sedangkan kapiler hanya tersusun atas tunika intima saja.
 - b. Pembuluh Limfe
 - Kondisi Pembuluh Limfe Pada Berbagai Hewan. Pada hewan vertebrata tingkat tinggi mempunyai saluran buntu dengan ujung terbuka yang berfungsi mengangkut kelebihan cairan di ekstrasel ke sirkulasi darah;
 - Pada hewan invertebrata tidak ditemukan adanya pembuluh limfe kecuali pada teleoste;
 - Pada hewan tingkat rendah ditemukan berbagai bentuk peralihan yang menunjukkan adanya perkembangan system pembuluh limfe.
- 3) Cairan Tubuh. Pada hewan multiseluler ada dua cairan tubuh yaitu cairan intrasel dan cairan ekstrasel. Kira-kira 70% dari seluruh bagian tubuh hewan berupa air, sekitar 45% diantaranya terdapat didalam sel (intra sel). Pada cairan ekstrasel dapat ditemukan di berbagai tempat dengan sebutan yang berbeda yaitu cairan jaringan, darah, limfe, dan homolimfe. Cairan jaringan mengandung sedikit protein, sejumlah garam dan bahan nutritive serta zat sisa. Cairan jaringan berfungsi sebagai fagostik dan mampu bergerak melalui ruang antar jaringan. Pada hewan yang memiliki system sirkulasi tertutup darah dan jaringan cairan merupakan dua macam cairan yang terpisah dengan jelas. Darah tersusun atas cairan plasma dan sel darah.

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

BAB VII

SISTEM EKSRESI

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

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

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

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

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

Organisme multiselular memiliki proses ekskresi yang lebih kompleks. Alat ekskresi pada manusia dan vertebrata lainnya berupa ginjal, paru-paru, kulit, dan hati, sedangkan alat pengeluaran pada hewan invertebrata berupa nefridium, sel api, atau buluh Malpighi.

6.2 Pengertian Ekskresi

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

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

Saat bernapas, kita mengeluarkan karbon dioksida. Di saat udara panas, tubuh kita mengeluarkan keringat. Sebaliknya saat udara dingin, kita sering mengeluarkan air seni (urin).

Berbagai reaksi kimia terjadi di dalam sel-sel tubuh kita untuk menjaga kita tetap hidup. Reaksi kimia tersebut menghasilkan beberapa zat sisa yang bersifat racun dan harus dikeluarkan dari dalam tubuh. Pengeluaran zat-zat sisa hasil metabolisme dalam tubuh dengan tujuan agar kesetimbangan tubuh terjaga disebut ekskresi. Ekskresi melibatkan alat-alat khusus dan membentuk suatu sistem yang disebut sistem ekskresi.

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

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

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

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

6.3 Sistem Ekskresi Pada Manusia

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

1. Ginjal

Manusia mempunyai sepasang ginjal yang terletak di dalam rongga perut bagian belakang. Ginjal merupakan komponen utama penyusun sistem urine. Ginjal.

BAB VIII

SISTEM REPRODUKSI

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

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

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

Mekanisme Reproduksi

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

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

Dari uraian di atas, dapat dipahami adanya reproduksi pada tingkat individu, yang dapat terjadi melalui proses menetas atau lahir. Proses reproduksi juga dapat terjadi pada tingkat sel, seperti pembelahan biner yang terjadi pada protozoa, yang mengalami pembelahan sel secara mitosis. Namun masih dapat diamati reproduksi pada tingkat yang lebih khusus lagi yaitu di tingkat molekuler.

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

ada jantan pada spesies ini, tetapi kadalu itu meniru perilaku percumbuan dan perkawinan yang khas pada spesies yang bereproduksi secara seksual dengan genus yang sama.

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

Susunan Fungsional Organ Reproduksi Pada Hewan

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

Gametogenesis

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

- *Spermatogenesis*

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

Selama proses spermatogenesis, spermatogonia akan berkembang biak dengan cara membelah, menghasilkan spermatosit primer, spermatosit sekunder, dan akhirnya spermatid. Spermatid akan mengalami proses diferensiasi dan pemasakan (maturasi) sehingga akhirnya terbentuk sperma atau spermatozoon haploid (memiliki jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom spermatogonia). Diferensiasi spermatid menjadi spermatozoon berlangsung di dekat lumen tubulus, yaitu dalam sel sertoli. Jika telah masak, spermatozoon akan dilepaskan ke lumen tubulus seminiferus.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N., A., Reece, J.B., Mitchell, L., G., 1999, *Biologi Ed 5* Addison Wesley, Longmann, 2002, Erlangga, Jakarta
- Campbell, N.A., Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Jackson, R.B., Minorsky, P.V. (2011). *Campbell biology.- 9th ed. Pearson*. United States of America
- Campbell, N., A., dan Reece, B., J., 2012, *Biologi Ed. 3* Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Cooper, C., E., Withers, P.C., *Encyclopedia of Ecology*, 2008.
- Gullan, P.J. and P.S. Cranston, 2005. *The Insects: An Outline of Entomology*, Chapman and Hall, London
- Delfita, Rina., 2014., *Fisiologi hewan Jilid I*, stain batusangkar press, batu sangkar.
- Farabee, M., (2001). *On-line biology textbook*, retrieved from <http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/>
- Handayani, darmayani, S., Nendissa, S., J., Hasibuan, A., K., H., dan dimenta, R., H., 2021, *Fisiologi Hewan*, Widina Bakti Persada, Bandung.
- Isnaeni, W., 2006, *Fisiologi Hewan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. <https://id.wikipedia.org/wiki/Osmoregulasi>
- Pamungkas, W., 2012, aktivitas osmoregulasi, respon pertumbuhan, energetic cost pada ikan yang dipelihara dalam lingkung bersalinitas, media kultur, 7(1), 44-51. <http://dx.doi.org/10.15578/ma.7.1.2012.44-51>
- Pearce, C Evelyn. 2009. *Anatomi dan Fisiologi Untuk Paramedis*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Sidabutar, H, Silitonga, M, dan Yulinda, A. 2013. *Fisiologi Hewan*. Medan: Unimed Press.
- Sumitro, B. Sutiman, Widyarti, dan Permana, S. 2017. *BIOLOGI SEL: Sebuah Perspektif Memahami Sistem Kehidupan*. Malang: UB Press
- Syaifuddin. 2006. *Anatomi Fisiologi untuk Mahasiswa Keperawatan Edisi 3*. Jakarta: EGC.
- The LibreTexts libraries.org. California State University. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_General_Biology_\(Boundless\)/33%3A_The_Animal_Body-Basic_Form_and_Function/33.13%3A_Homeostasis_-_Thermoregulation](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_General_Biology_(Boundless)/33%3A_The_Animal_Body-Basic_Form_and_Function/33.13%3A_Homeostasis_-_Thermoregulation).