LAILA KHUSNAH, M.Pd.

IAIN JEMBER

DIKTAT

ANATOMI DAN FISIOLOGI HEWAN I

PROGRAM STUDI TADRIS IPA
FTIK IAIN JEMBER
2021

LEMBAR PENGESAHAN

DIKTAT ANATOMI DAN FISIOLOGI HEWAN I

Diajukan Kepada Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Jember
untuk memenuhi salah satu persyaratan Jabatan Fungsional
Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan (FTIK)
Program Studi Tadris IPA

Disusun Oleh:

LAILA KHUSNAH, M.Pd
NIP. 198401072019032003

Telah disetujui dan disahkan pada Tanggal 08 september 2021
Oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik I Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan	Ketua Program Studi Tadris IPA
Dr. Mashudi, M.Pd. **NIP. 197209182005011003**	**Dr. A. Suhardi, S.T., M.Pd.** **NIP. 197309152009121002**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamiin…puji syukur kehadirat Alloh SWT yang telah melimpahkan rahmad-Nya sehingga Diktat Mata Kuliah Anatomi dan Fisiologi I ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam tidak lupa selalu dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW dan semoga kelak mendapatkan syafa'at beliau, aamiin.

Diktat Mata Kuliah Anatomi dan Fisiologi I ditulis bertujuan untuk menunjang perkuliahan anatomi dan fisiologi hewan. Berisi materi kuliah selama tri semester pertama antara lain materi sel, jaringandasar hewan, system pernafasan dan system pencernaan serta uji kompetensi sebagai alat evaluasi belajar mahasiswa. Materi tersebut disesuaikan dengan Rencana Perkuliahan semester (RPS) yang telah disusun sebelumnya.

Terimakasih kami sampaikan atas arahan dan motivasi berbagai pihak. Semoga diktat ini secara umum dapat bermanfaat bagi pembaca dan secara khusus dapat bermanfaat bagi mahasiswa dalam memahami materi perkuliahan pada tri semester pertama. Aamiin.

September 2021
Penulis

Laila Khusnah

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan ..... **i**

Kata Pengantar ..... **ii**

Daftar Isi ..... **iii**

Materi 1 Struktur dan Fungsi Sel **1**

A. Pengertian Sel 2

B. Struktur dan Fungsi Sel 3

C. Uji Kompetensi 18

Materi 2 Histologi Dasar Hewan **19**

A. Jaringan Epitel 19

B. Jaringan Ikat/ Penyambung/Penyokong 24

C. Jaringan Otot 36

D. Jaringan Saraf 38

E. Uji Kompetensi 39

Materi 3 Sistem Respirasi **40**

A. Kulit (Integument) 41

B. Insang (Gill) 42

C. Trakea (Trakhea)..... 43

D. Paru-Paru (Pulmo) 45

E. Uji Kompetensi 50

Materi 4 Sistem Pencernaan **51**

A. Struktur dan Fungsi Sistem Pencernaan 51

B. Fisiologi Pencernaan 58

C. Uji Kompetensi 71

Daftar Pustaka **72**

MATERI 1
STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

Indikator Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan pengertian sel hewan
2. Mampu menjelaskan struktur sel
3. Mampu menjelaksan fungsi masing-masing organel penyusun sel
4. Mampu menjelaskan metabolisme dan fisiologi sel

Perkembangan anatomi mikroskopik atau histology diawali oleh Robert Hooks (1667) yang mengamati jaringan gabus dengan mempergunakan lensa pembesar. Dilaporkannya bahwa gabus merupakan bangunan yang berlubang-lubang kecil seperti susunan sarang lebah yang di sebut *sel* yang masing-masing dipisahkan oleh "diafragma". Nama sel diambil dari bahasa Yunani "Kytos" yang berarti ruang kosong, sedang bahasa latin dari ruang kosong adalah "*cella*". Kemudian dalam abad yang sama Grew dan Malphigi mengulangi pengamatan tadi pada tanaman lain dan mereka menemukan struktur yang sama pula, yaitu jaringan yang terdiri atas "ruangan kecil" di tengah-tengah masa homogeny dan olah mereka dinamakan "utricles" (Subowo, 1995).

Kurang lebih 200 tahunkemudian, Ditrochet, Von Schleiden, dan Schwann menegaskan penemuan Hook. Djurjadin (1835) menyatakan bahwa didalam cella terdapat suatu zat yang kental. Zat inilah yang sekarang kita kenal dengan nama protoplasma. Dipertengahan abag 19 itu, tercetuslah teori yang menyatakan bahwa **semua sel berasal dari sel yang telah ada.** Virochow menyatakannya *omnis cellula e cellula.* Menjelang abad ke-20, banyak pakar menemukan berbagai jenis struktur, atau bentukan di dalam sel, misalnya: Benda menemukan mitokondria, Golgi menemukan diktiosoma, Bouin mendapatkan ergastoplasma, dan de Duve membuktikan adanya lisosoma. Dengan kemajuan teknologi dan ditemukannya alat-alat yang canggih, saat ini diketahui bahwa struktur dan kegiatan sel tidak sederhana seperti yang diduga sebelumnya (Dikti, 1998).

A. PENGERTIAN SEL

Sebelum melangkah lebih jauh membahas tentang struktur dan fungsi sel, terlebih dahulu kita mengetahui dan memahami pengertian dari sel. Sel merupakan kesatuan structural, fungsional, dan herediter yang terkecil penyusun organisme (makhluk hidup).

Bahan penyusun sel antara lain protoplasma, air, protein, lipid, karbohidrat, serta nukleotida dan asam nukleat, Protoplasma merupakan segumpal massa yang memiliki tanda-tanda hidup. Protoplasma memiliki sifat-sifat dan tanda-tanda structural, kimiawi, maupun fisiko kimiawi, serupa untuk semua sel.

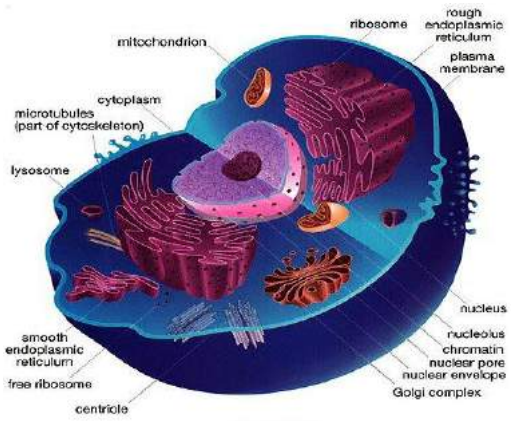
Air, sebagai bahan penyusun sel dikelompokkan menjadi 3 kelompok: **air intramolekuler,** yaitu air yang merupakan bagian dari molekul-molekul protein, sekitar 4% dari air seluler. **Air terikat,** merupakan molekul-molekul air yang terikat pada protoplasma dan memerlukan tenaga cukup besar untuk memisahkannya. **Air bebas,** merupakan air yang terdapat di dalam vakuola. Air intramolekular tidak dapat dihilangkan tanpa merusak protoplasma. Air berperan penting pada kehidupan sel, maupun kehidupan semua organism. Air merupakan pelarut dan pengangkut senyawa-senyawa yang diperlukan sel, maupun limbah yang harus dibuang. Air juga merupakan agensia reaksi-reaksi enzimatis.

Protein merupakan komponen protoplasma yang penting, selain air. Senyawa ini terdiri dari unsur-unsur karbon, hydrogen, oksigen, dan nitrogen. Molekul-molekul protein merupakan molekul pekerja, yang berperan sebagai katalisator berbagai reaksi kimia, mmeberi kekakuan structural, membantu permiabilitas selaput, mengatur kadar metabolit, menyebabkan gerakan dan memantau kegiatan gen.

Lipid, mencakup asam lemak, lemak netral, fosfolipid, glikolipid, terpen, dan steroid. Asam lemak memiliki dua daerah, pertama rantai hidrokarbonyang bersifat hidrofobik, tidak terlarut dalam air, dan kurang reaktif. Kedua, gugus asam karboksilat, yang mengion di dalam larutan, terlarut didalam air dan mudah bereaksi membentruk ester. Asam lemak merupakan sumber makanan, dan yang terpenting adalah berperanan penting dalam menyusun selaput plasma.

Karbohidrat, sering disebut sakharida, karena terdiri dari molekul-molekul gula yang disebut monosakarida. Sakarida yang terdapat di dalam sel hewan disebut glikogen yang merupakan salah satu substansi pada jaringan ikat.

Komponen-komponen sel diatas, menyusun struktur sel yang kompleks dan dapat menunjang adanya kehidupan bagi makhluk hidup. Sel hewan memiliki struktur yang terdiri dari: membrane sel, mitokondria, lisosom, rertikulum endoplasma, lisosom, badan golgi,/diktiosom, nucleus, nucleolus, mikrotubulus dan mikrofilamen. Secara keseluruhan, sel hewan dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut:



Gambar 1.1 Sel Hewan

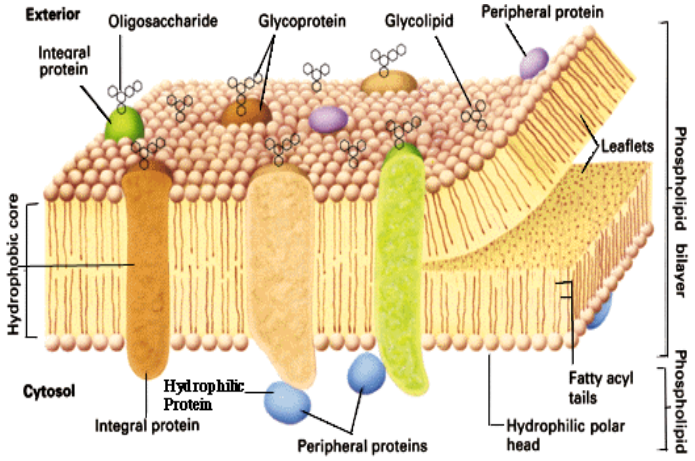
B. STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

1. Membran sel

Semua sel eukaiotik dibungkus oleh suatu membrane pembatas yang disebut membrane sel. Penyusun membran sel terdiri dari lipid dan protein yang dapat dilihat pada Gambar 1.2.

- Lipid

Lipid merupakan bagian yang terdiri dari dua rantai panjang hidrokarbon nonpoler (hidrofobik) yang berikatan dengan suatu kepala peptide bulat yang bermuatan (hidrofilik). Didalam membrane tersebut, lipid termasuk paling stabil karena terdiri dari lapisan rangkap dengan rantai hidrofobik (non poler) yang mengarah ke pusat membrane dan bagian hidrofilik yang bermuatan diarahkan keluar. Penampilan tiga lapis ini disebabkan oleh pengendapan osmium yang direduksi pada bagian hidrofilik tiap-tiap kedua sisi lapisan tersebut.



Gambar 1.2 Struktur Membran sel

- Protein

Merupakan unsur molekul utama membrane (50%), yang terbagi menjadi dua golongan. Antara lain protein integral, yang langsung tergabung dengan lapisan ganda lipid. Sedangkan protein perifer, memiliki hubungan yang lebih longgar dengan permukaan membran.

Memban sel memiliki fungsi antara lain:

- Sebagai penghambat yang selektif bagi keluar masuknya bahan-bahan tertentu ke dalam sel (bersifat semipermiabel)
- Melindungi bagian dalam sel
- Menghubungkan antara sel dengan lingkungan
- Mengenal senyawa kimia (pengenalan)
- Pengangkutan sel
- Komunikasi antar sel

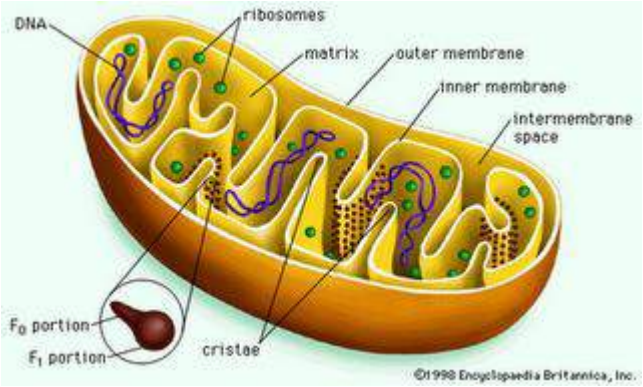
2. Mitokondria

Mitokondriaterdapat dalam semua sel eukariotik. Mereka merupakan organel yang mengubah dengan efisiensi tinggi energy kimia dari metabolit yang ada di dalam sitoplasma menjadi energy yang mudah dipergunakan oleh sel. Mitokondria merupakan partikel sferis atau filamentosa dengan lebar 0,1-0,5µm yang dapat mencapai panjang sampai 10 µm. Distribusinya dalam sel bervariasi.

Mitokondria cenderung berkumpul didalam sitoplasma yang mempunyai kegiatan metabolic yan lebih besar, seperti pada ujung-ujung apical sel-sel bersilia.

Sel-sel mengandung mitokondria dalam jumlah besar-diperkirakan 2500 dalam satu sel hati-tetapi selalu dalam suatu jumlah yang khas untuk sel itu. Mitokondria terutama terdiri dari protein, lipid dalam jumlah yang lebih sedikit, bersama-sama dengan jumlah RNA dan DNA dalam jumlah kecil. Mitokondria mempunyai jangka hidup pendek, proteinnya selalu diperbarui. Struktur mitokondria dapat dilihat pada Gambar 1.3.

Mitokondria mempunyai struktur yang khas, tersusun dari membrane luar dan membrane dalam yang berlipat-lipat sehingga membentuk Krista. Kedua membrane ini mengelilingi dua ruangan, satu ruangan luar diantara kedua membrane tersebut, disebut interkrista. Dan satu didalam membrane dalam yang ditembus oleh Krista tersebut. Yang mengisi ruan diantra Krista adalah matriks berbutir haslus dengan kepadatan electron yang berubah-ubah. Jumlah mitokondria dan jumlah Krista sesuai dengan kecepatan metabolism sel tersebut. Sel-sel yang mempunyai kecepatan metabolism tinggi, seperti sel-sel otot jantung, mempunyai mitokondria dalam jumlah yang besar. Sedangkan sel-sel yang memiliki kecepatan metabolisme rendah memiliki sedikit mitokondria.



Gambar 1.3 Struktur Mitokondria

Permukaan krista mitokondria, mengandung enzim oksidatif dan system transport electron. Enzim-enzim yang berikatan dengan membrane tersebut berperan di dalam siklus krebs dan siklus asam lemak yang terdapat di dalam

ruang matriks. Sehingga dapat dikataka bahwa fungsi mitokondria yang utama adalah sebagai tempat respirasi sel, yang mempu menghasilkan energi.

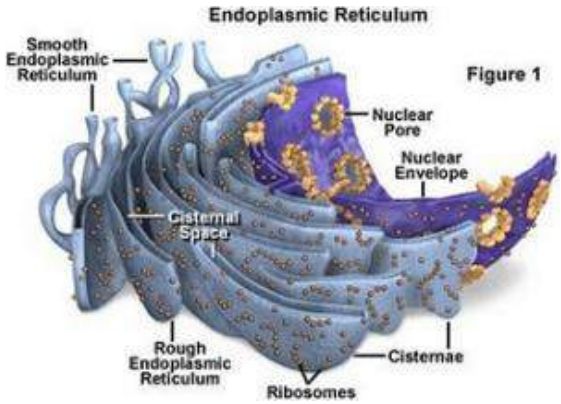
3. Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma tampak sebagai vesikel pipih , bundar atau tubuler yang sering beranatomose satu dengan yang lain dalam suatu bentuk jaringan. Pengaturan jaringan ini sangat bervariasi antara satu sel dengan sel lain. Membran reticulum endoplasmic saling berhubungan langsung dengan membrane yang membungkus inti sel. Membran ini tersusun dalam bentuk tumpukan sisterna pipih sejajar (terutama dalam sel yang mensintesa dan memisahkan protein) (gambar 1.4). Pada reticulum endoplasma terdapat vesikel "pemindah" kecil dan bermembran, kompponen kedua organel ini, merupakan sarana untuk pemindahan zat-zat dari sisterna reticulum endoplasmic ke apparatus golgi.

Ada dua jenis reticulum Endoplasma:

a. Retikulum Endoplasma Granular (kasar)

Membran reticulum endoplasmic kasar (ganular) mempunyai ribososm yang melekat pada permukaan luar. Ribosom tersebut, merupakan partikel kecil, padat-elektron, berdiameter 15-20 nm, yang melekat pada permukaan luar membrane tersebut.



Gambar 1.4 Sruktur Retikulum Endoplasma

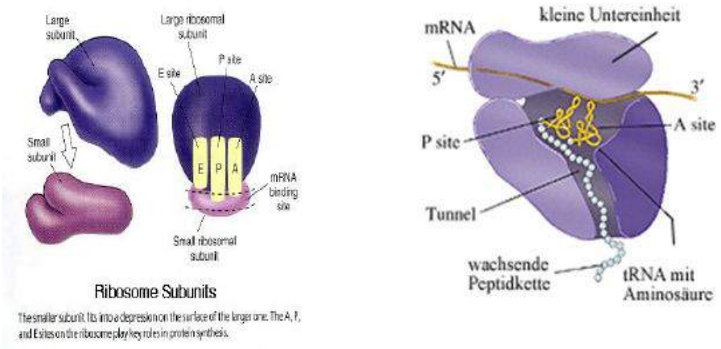
b. Retikulum Endoplasma Agranular (halus)

Membran reticulum endoplasmic halus (aganular) mempunyai struktur yang berbeda dengan membrane reticulum endoplasmic granular/kasar. Pada

Membran reticulum endoplasmic halus (aganular), tidak mempunyai ribosom di permukaannya.

4. Ribosom

Ribosom merupakan struktur atau kelompok multimolekular yang berperan sebagai pabrik untuk mensintesis protein. Ribosom dibangun dari molekul-molekul protein dan rRNA. Jumlah ribosom dalam suatu sel sangat banyak dan berbeda-beda sesuai dengan jenis organismenya. Selama proses penerjemahan, ribosom menempel dan bergeser sepanjang molekul mRNA dari ujung 5'-3'. Ribosom ditunjukan pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5. Struktur Ribosom

Ribosom pada sel prokaryota, terdapat bebas di sitosol, sedangkan pada sel eukaryote terdapat bebas di sitosol, matriks mitokondria, stroma kloroplas, atau menempel pada permukaan sitosolik selaput RE. Hubungan structural antara ribosom dengan RE membentuk REG yang juga sering disebut ergastoplasma. Ribosom seringkali terlihat sebagai lingkaran-lingkaran kecil yang terdiri dari beberapa buah ribosom, yang disebut polisoma.

Pengamatan terhadap ribosom yang diisolasi dan diwarnai dengan teknik pewarnaan negative, menunjukkan bahwa ribosom terdiri dari dua bagian yang tidak sama besar, satu kecil yang lain besar (dapat diamati pada Gambar 1.5). Dalam sebuah polisom, ribosom tersebut teruntai oleh suatu filament yang bergaris tengah sekitar 15A. Dengan pengamatan ini pula diketahui bahwa ribosom prokaryota lebih kecil daripada ribosom eukaryote.

Analisis kimia dari subunit-subunit ribosom memberikan hasil bahwa subunit besar dari ribosom sel-sel prokaryota mengandung dua buah molekul rRNA, masing-masing 23S dan 5S. Disampin rRNA tersebut, didalam subunit besar ini juga terdapat 31-34 jenis protein. Ribosom sel eukaryote juga tetrdiri dari subunit-subunit yang berjumlah dua buah, masing-masing memilki koefisien sedimentasi 60S dan 40S. Sub unit besar terdiri dari 3 buah rRNA masing-masing dengan koefisien sedimentasi 28S, 5,8S, dan 5S serta 45-49 jenis protein, sedangkan subunit kecil hanya memiliki sebuah rRNA dengan koefisien sedimentasi 18S dan 33 buah protein.

Ribosom yang terdiri dari molekul-molekul protein dan rRNA berperan sangat penting dalam proses sintesis protein. Subunit kecil ribosom dalam sintesis protein, mengikat mRNA dan tRNA, sedangkan subunit besar berperan dalam proses pembentukan ikatan polipeptida. Lebih dari setengah berat ribosom terdiri dari rRNA yang berperan utama dalam kegiatan sebagai katalisator. Ribosom memiliki tiga tempat pengikat molekul-molekul RNA: sebuah molekul mengikat mRNA dan dua buah untuk tRNA. Tempat-tempat tersebut diberi nama P, yang berarti tempat pengikat tRNA peptidil dan tempat A yang berarti tempat pengikat amino-tRNA-asil. Tempat P mengikat molekul tRNA yang berikatan dengan pangkal rantai polipeptida yang sedang tumbuh, sedangkan tempat A mengikat molekul tRNA yang masuk, dimuati asam amino.

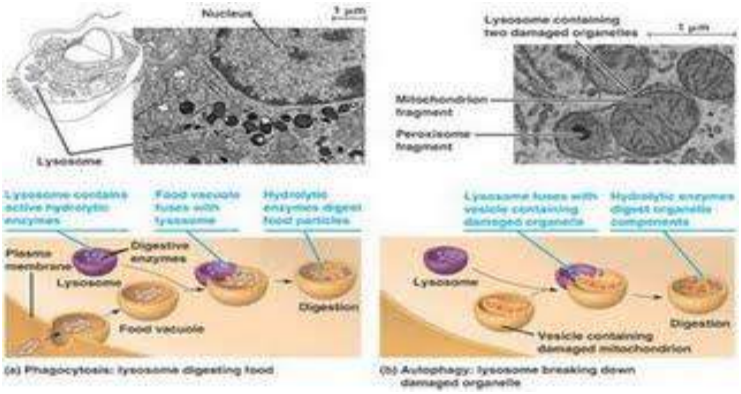
Proses pemanjangan rantai polipeptida ribosom, merupakan suatu daur yang terdiri dari tiga langkah:

a. Sebuah molekul tRN aminoasil terikat ke tempat A yang kosong, berdampingan dengan tempat P, membentuk pasangan basa dengan 3 nukleotida mRNA yang terpapar di tempat A.
b. Pengikatan gugus karboksil bebas dari rantai polipeptida pada tRNA ditempat P dengan asam amino yang terikat pada tRNA tempat A. Pengikatan ini menggunakan katalisator transferase peptidil, yang terdapat dir RNA pada ribosom subunit besar.

c. Perpindahan tRNA-peptidil baru dari tempat A ke tempat P, bersamaan dengan bergesernya ribosom pada mRNA.Akibatnya, tRNA yang sedmula berada di tempat P bergeser dari ribosom, dan kembali ke sitosol.

5. Lisosom

Lisosom merupakan vesikel berbungkus membrane yang mengandung enzim litik yang fungsi utama berhubungan dengan pencernaan intrasitoplasmik. Lisosom terdapat pada hampir semua sel-sel, tetapi akan terdapat dalam jumlah banyak (misalnya makrofage, sel darah putih). Lisosom dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6. Lisosom

Enzim lisosom disintesisi didalam retikuum endoplasma kasar kemudian, dipindahkan ke aparatgus golgi. Disini, enzim tersebut diubah dan dibungkus menjadi vesikel lisosom. Vesikel kecil ini mengandung enzim tak aktif yang disebut dengan lisosom primer.

Membran lisosom primer yang bergabung dengan membrane fagosom, yang menyebabkan pelepasan enzim-enzim litik dan kemudian mereka bercampur dengan bahan yang difagositose. Lisosom sekunder biasanyaa bulat dan dapar dikenali dalam mikroskop electron berdaasrkan matriks padat –elektron yang heterogen.

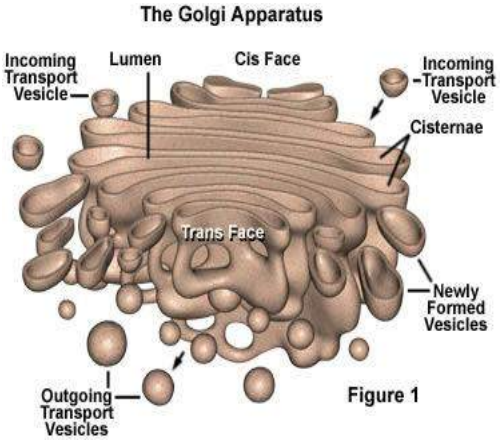
Setelah pencernaan isi lisosom sekunder, katabolit tersebut berdifusi melalui membrane pembatas dan memasuki senyawa sitoplasma. Senyawa sisa yang tidak dapat dicerna, ditahan didalam vesikel dan disebut benda-benda residu.

Lisosom dalam sel memiliki beberapa fungsi, antara lain:

- Pencernaan intra sel (fagosit)
- Eksositosis (pembebasan secret keluar sel)
- Autofagi (penghancuran organel sel yang rusak)
- Autolisis (penghancuran diri sel dengan cara melepaskan enzim pencernaan dari lisosom)

6. Badan Golgi/Diktiosom/kompleks golgi

Badan solsi/kompleks golgi terdiri dari beberapa buah bentukan. Organel ini pada umunya terletak berdekatan dengan inti (nukleus), dan pada sel hewan seringkali berdekatan dengan sentrosom. Badan golgi terlihat sebagai sekelompok vesikel pipih yang bertumpuk-tumpuk (sisterna) dengan dilatasi perifer. Setumpuk kantong pipih (sisterna) berselaput agranular disebut dengan diktiosom, setiap kantong pipih disebut juga sakulus. Sebuah diktiosom memiliki permukaan cis atau pembentukan, yang erat hubungannya dengan daerah peralihan REG, dan permukaan trans atau pemasakan. Pada sel-sel sekretoris permukaan trans erat hubungannya dengan selaput sel. (Gambar 1.7).



Gambar 1.7. Struktur Badan Golgi

Disekitar diktiosom terdapat dua kelompok vesikuli (bola-bola kecil). Kelompok pertama terdiri dari vesikuli kecil yang berdiameter 200A^0. Vesikuli ini terdapat diantara permukaan cis dan RE. Vesikuli ini terdapat diantara permukaan kedua terdiri dari vesikuli disebut vesikuli peralihan. Kelompok kedua terdiri dari vesikuli berukuran antara 400-800A^o yang terletak ditepi permukaan trans.

Vesikuli ini disebut vesikuli sekretoris. Selain itu, terdapat tubuli penghubung antara sakulus. Selaput sakulus antara permukaan cis dan vesikuli peralihan pada umumnya lebih tipis daripada sakulus permukaan trans dan vesikuli sekretoris. Susunan sakuli badan golgi sangat bervariasi sesuai dengan jenis organism, sel, maupun keadaan fisiologis sel-sel tersebut.

Analisis kimia badan gogi menunjukkan bahwa senyawa yang terdapat pada badan golgi serupa dengan senyawa yang berada di selaput sel maupun RE. Senyawa tersebut yaitu lipid yang terdiri dari fosfolipid dan lemak netral, protein yang terdiri dari glikoprotein, mukoprotein, dan enzim. Glikolisis transferase merupakan enzim yang paling banyak terdapat di kompleks golgi sehingga dapat digunakan sebagai penanda kompleks golgi, terutama sakuli golgi.

Dengan teknik sitokimia *in situ*, terlihat bahwa di dalam lumen sakuli diktiosom terdapat polisakarida, dan bahwa kadar polisakarida, semakin kea rah permukaan trans semakin tinggi. Demikian pula, tempat kegiatan enzim fosfat, berbeda untuk setiap sakulus pada diktiosom. Makin kea rah trans makin giat.

Badan golgi berperan dalam sejumlah besar kegiatan sel antara lain:

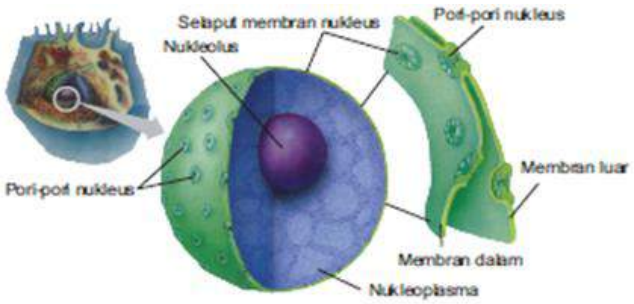
a. Perakitan protein dan lipid berkarbohidrat tinggi
b. Berperan pada proses glikolisasi yang diawali di RE
c. Proses sekresi lendir, karbohidrat, lemak, dan enzim yang terdapat pada organ ekskresi.
d. Membentuk lisosom, memperbaiki dan membuat membrane sel.
e. Merakit senyawa bersama-sama dengan RE.

7. Nukleus

Nukleus terlihat sebagai struktur bulat atau panjang yang biasanya terletak di bagian tengah sel. Dalam jaringan mamalia, diameternya antar 5 dan 10 µm. Nukleus tidak dapat bergerak bebas karena terperangkap di dalam jaringan-jaringa yang tebuat dari filament intermedia dan mikrofilamen.Jaring-jaring ini terletak disebelah menyebelah selubung nuclear. Bagian jaring-jaring yang berada dipermukaan nukleoplasmik selaput dalam disebut lamina nuclear dan berperan sebagai selaput penyangga selaput dalam. Permukaan sitoplasmik selaput luar

berkaitan dengan anyaman filament intermedia yang berhubungan dengan selaput sel.

Nukleus terdiri dari selaput inti, kromatin, nucleolus, dan nukleoplasma. Selaput inti terdiri dari selaput rangkap. Dua lembar selaput tersebut hampir berhimpitan hanya dipisahkan oleh ruangan sempit yang disebut ruang perinuklear. Lembaran yang terletak disebelah dalam disebut selaput dalam atau selaput nukleoplasmik, sedangkan lembaran luar disebut selaput luar atau selaput sitosilik. Selaput-selaput tersebut memiliki lubang-lubang yang disebut porinuklear. Porinuklear ini terbentuk akibat menyatunya dwilapis lipid dari selaput dalam dan selaput luar. Adanya porinuklear ini memudahkan pengangkutan bahan-bahan atau senyawa makro dari atau ke sitoplasma (Gambar 1.8 - nukleus).



Gambar 1.8 – nukleus

Selaput luar selubung nuclear berhubungan langsung dengan reticulum endoplasma. Seperti halnya selaput reticulum endoplasma, permukaan sitosolik selaput luar ditempeli penuh ribosom yang terlibat dalam sintesis protein. Protein yang disintesis dalam ribosom ini dicurahkan ke dalam ruang perinuklear yang berhubungan dengan sisterna (lumen) reticulum endoplasma. Dari permukaan sitosolik selaput luar, tampak terpencar filament-filamen yang bermatra lebih kurang 10 nanometer. Filamen-filamen tersebut berikatan dengan protein perifer permukaan sitosolik selaput luar. Ujung yang lain filament-filamen ini, sebagian menempel atau berikatan dengan selaput organela-organela, sebagian lagi berikatan dengan selaput sel. Dengan demikian nucleus seakan-akan terletak di

dalam suatu jala atau keranjang, dan akibatnya nucleus tidak dapat bergerak dengan bebas.

Permukaan nukleoplasmik selaput dalam selubung nuclear berlapiskan suatu anyaman setebal 10 sampai 20 nanometer. Anyaman ini trerbuat dari filament intermedia yang pada mamalia terdiri dari 3 jenis protein yaitu lamina A, B, dan C. Anyaman filament intermedia ini disebut lamina nuclear. Lamina ini dapat dipisahkan dari selaput dalam. Protein-protein penyusun lamina nuclear berikatan dengan protein integral maupun perifer dari selaput dalam. Selain itu, juga berikatan dengan benang-benang halus yang terdapat di dalam nucleus. Benang-benang halus ini tidak lain adalah pembawa materi genetic. Lamina nuclear bersifat sangat dinamis.Pada sel-sel yang sedang membelah, tepatnya pada profase akhir, fosforilasi sementara terhadap beberapa residu serin pada lamin menyebabkan lamina nuclear terurai menjadi lamina A-fosfat, lamin C-fosfat, dan lamin-B yang tetap terikat pada selaput dalam. Bila pembelahan berakhir, terjadi defosforilasi dan lamina nuclear terakit kembali.

Porinuklear merupakan lubang-lubang yang rterdapat pada selubung nuclear. Setiap porus berada di dalam suatu susunan berbentuk pinggan yang disebut kompleks pori nuclear. Pada semua sel eukaryota, selubung nuclear memiliki kompleks pori nuclear. Jumlah pori nuclear pada setiap kesatuan luas bervariasi sesuai dengan jenis sel dan keadaan fisiologis sel. Pada nucleus pasca mitosis, saat pengangkutan RNA banyak dan sintesis protein cepat, pori nuclear sangat rapat. Selubung nuclear setiap jenis sel memiliki pola penyebaran pori nuclear berbeda-beda. Ada yang bergerombol, ada pula yang membentuk lajur-lajur.

Penyusun nucleus selanjutnya adalah kromatin, yaitu genom-genom sel eukaryote dalam nucleus yang merupakan sebagian dari kompleks nucleoprotein. Kromatin-kromatin ini akan bersatu dan memadat membentuk kromosom. Berdasarkan daya serapnya, kromatin ada dua macam, yaitu heterokromatin dan eukromatin. Heterokromatin merupakan kromatin yang menyerap warna dengan kuat, sedangkan eukromatyin merupakan kromatin yang kurang kuat dalam menyerap warna. Perbandingan diantara jumlah heterokromatin dan eukromatin

menimbulkan penampakan inti dari terang sampai gelap di dalam potongan jaringan yang dilihat dengan mikroskop cahaya dan electron.

Kromatin terutama terdiri dari gelungan benang-benag DNA yang berikatan dengan protein basa (histon). DNA kromatin merupaakn bentuk utama DNA di dalam sel dan sebagai akibatnya membawa sebagian besar informasi genetic. Di dalam kromatin, disintesa asam ribonukleat masenger, ribosomal dan transfer (mRNA, rRNA, dan tRNA), serta precursor mereka (Gambar 1.9-kromatin).

Nukleoprotein dari kromatin bergelung, dan derajat gelungan tersebut bervariasi selama aktivitas sel./ Pola kromatin suatu nucleus dianggap merupakan suatu petunjuk terhadap afinitas sel tersebut. D dalam nucleus yang berwarna muda (dengan beberapa heterokromatin), tersedia lebih banyak permukaan DNA untuk transkripsi informasi genetic. Pada umunya, sel dengan nucleus berwarna muda lebih aktif daripada sel dengan nucleus hitam padat.

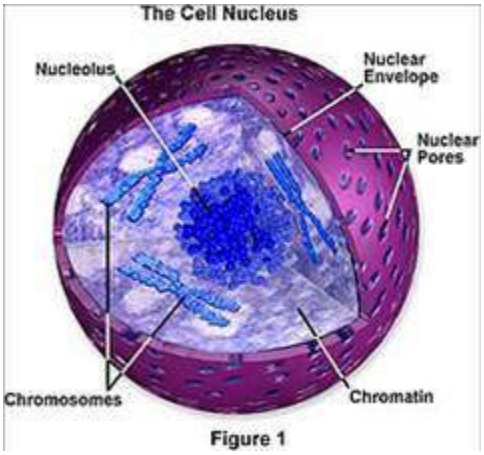
Pada sel mamalia, massa heterokromatin pada sel betina lebih sering terlihat daripada masa heterokromatin pada sel jantan. Gumpalan kromatin ini adalah kromatin seks. Massa heterokromatin ini merupakan satu dari pasangan kromosom X yang terdapat didalam sel betina. Bukti ini memberikan kesan bahwa kromosom X yang bergelung tersebut merupakan kromatin seks yang tidak aktif secara genetic. Jantan memiliki satu kromosom X dan satu kromosom Y sebagai factor penentu jenis kelamin, kromosom X tersebut tersebar, dan oleh karena itu, tidak dapat dilihat kromatin seks.

Penyusun nucleus ketiga adalah nukleoplasma, yaitu suatu zat amorf yang mengisi ruang diantara kromatin dan nucleolus di dalam nucleus. Nukleoplasma erdiri dari protein (beberapa diantaranya)mempunyai afinitas enzimatik), metabolic dan ion.

8. Nukleolus

Nukleolos merupakan suatu struktur bulat, umumnya besifat asidofilik, dan kaya akan RNA dan protein basa (gambar 1.10). Nukleolus terdapat didalam nucleus dengan ukuran yang berbeda-beda. Bila kromatin inti sangat padat, seperti didalam limfosit, sulit untuk melihat nucleolus di dalam nucleus.

Nukleolus terserak selama pembelahan sel tetapi muncul kembali dalam stadium telofase dari mitosis.



Gambar 1.10. Nukleolus

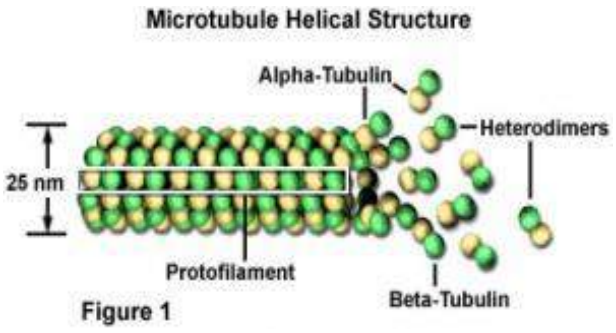
Didalam mikroskop electron, nucleolus biasanya terdiri dari tiga daerah yaitu: Pars granulosadan Pars fibrosa, keduanya terutama mengandung ribonukleoprotein dalam bentuk granul atau filament sangat halus dan dianggap menjadi precursor ribosom yang akan datang. Daerah ketiga yaitu Pars kromosomal, terdiri darfi hamburan filament DNA yang menembus kedua daerah lainnya.

RNA Ribosomal disintesa di dalam bagian ketiga nucleolus ini. Kemudian diubah dan diendapkan dalam pars fibrosa dan kemudian didalam pars granulose, sebelum kemudian dipindah ke sitoplasma. Nukleolus yang lebih besar dijumpai di dalam sel muda selama afinitas proliferasi yang giat, di dalam sel-sel yang aktif mensintesa protein, dan didalam kebanyakan sel tumor ganas yang tumbuh dengan cepat.

9. Mikrotubulus

Di dalam matriks sitoplasmik sebagian besar sel eukaryotiyk terdapat organel serupa batang pipa yang dikenal sebagai mikrotubulus. Pada umumnya memiliki diameter 24 nm yang terdiri dari suatu dinding sel padat setebal 5nm dan inti yang kurang padat.

Mikrotubulus terdiri atas subunit protein yang dikenal sebagai tubulin (Gambar 1.11). Tubulin suatu herodimer merupakan suatu molekul yang terdiri dari 2 monomer non identik yang disebut tubulun α dan β.



Gambar 1.11. Mikrotubulus

Mikrotubulus memegang peranan penting dalam perkembangan dan pemeliharaan bentuk sel . karena mikrotubulus mempunyai orientasi yang tepat baik untuk menyebabkan perkembangan atau untuk mempertahankan suatu asimetri sel tertentu. Selain itu, juga berperan penting dalam transport intrasel organel lain dan memberikan dasar untuk beberapa organel sitoplasmik yang kompleks, meliputi sentriol, sisila dan flagel.

Sentriol adalah struktur silindris dengan diameter 0,15 µm dan panjang 0,3 – 0,5 µm, terutama terdiri dari mikrotubulus yang sangat teratur. Tiap sentriol terdiri dari 9 sel triplet mikrotubulus yang berdampingan mempunyai satu dinding bersama. Sebelum pembelahan sel, tiap senrtiol membentuk suatu sentriol baru, dan dua pasang sentriol yang dihasilkannya bergerak ke sisi-sisi yang berlawanan dari sel tersebut dan menjadi pusat pengatur untuk perkembangan kumparan mitosis.

Silia dan flagel adalah penonjolan dapat bergerak yang mempunyai suatu inti mikrotubulus yang sangat tertaur dan dijulurkan pada permukaan bermacam-macam jenis sel. Sel bersilia bias any memiliki sejumlah besar silia dengan panjang berkisar diantara 2 sampai 10 µm. Sel berflagel biasanya hanya mempunyai satu atau dua flagel, dengan panjang yang berkisar antara 100 sampai

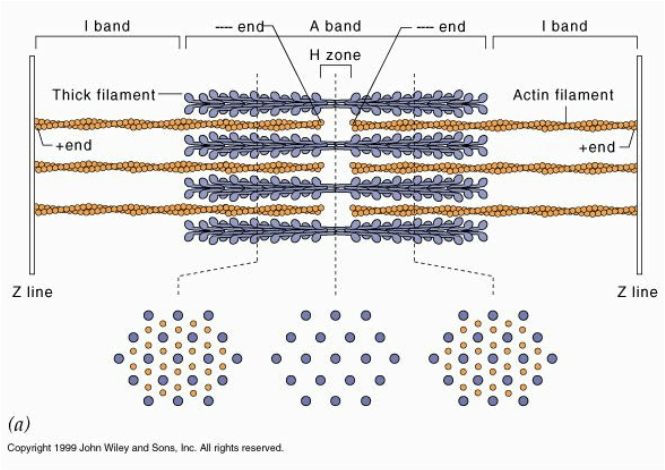
200 µm. Silia dan flagel mempunyai diameter 0,3-0,5 µm dan sama-sama mmepunyai inti mikrotubulus yang tersusun dengan kompleks.

10. Mikrofilamen

Mikrofilamen adalah semua elemen fibrosa yang memiliki garis tengah 60 amstrong dan terdiri dari molekul protein aktin dan myosin. Didalam sel otot, aktin terdapat sebagai suatu filament tipis dengan diameter 5-7 nm, yang terdiri dari subunit bulat yang tersusun menjadi satu spiral berbenang ganda (Gambar 1.12).

Sebagian besar aktivitas yang berhubungan dengan mikrofilamen tergantung kepada adanya myosin pada saat yang bersamaan, yaitu suatu protein yang mengikat aktin. Miosin dapat berfungsi dengan membentuk mikrofilamen, sehingga menghasilakn "aktomiosin" kontraktil.

Aktin dapat berfungsi meskipun tanpa myosin, karena mikrofili yang mengandung aktin dapat berkontraksi tanpa adanya myosin, beberapa akrosom yang terdiri dari suatu inti aktin yang menjamin pertumbuhan dan merupakan kerangka structural dari akrosom tanpa adanya myosin, dan larutan aktin murni dapat mengalami perubahan menjadi gel, yang di dalam sitoplasma akan menjadi suatu matriks kerangka structural sel.



Gambar 1.2. Mikrofilamen

Mikrofilamen yang terdiri dari aktin dan myosin memiliki peranan diantaranya:

a. Pergerakan sel

Adanya pergerakan otot seran lintang yang dapat mengkerut (kontraksi), mengendor (relaksasi), dan meregang (stretch). Keadaan ini terjadi akibat pergeseran antara myosin dan aktin. Pada saat terjadi pengerutan atau pengendoran, lebar pita I, bagian kompleks aktin tidak tertutup oleh myosin.

b. Endositosis

Merupakan transport makromolekul dan materi yang sangat kecil ke dalam sel dengan cara membentuk vesikula baru dari membrane. Pada amoeba, membrane sel akan melipat kedalam (invaginasi) dan memakan benda yang akan dipindahkan ke dalam sel.

c. Eksositosis

Mekanisme transpor molekul besar seperti protein dan polisakarida melintasi membrane plasma dari dalam menuju ke luar sel dengan cara menggabungkan vesikula berisi molekul tersebut dengan membrane plasma. Salah satu contohnya adalah proses amoeba mengeluarkan sisa-sisa makanan melalui vakuola makanan.

C. UJI KOMPETENSI

1. Jelaskan yang dimaksud dengan sel menggunakan bahasa kalian sendiri!
2. Mengapa struktur sel terdiri dari berbagai organel? Kaitkan jawaban kalian dengan struktur dan fungsi dari organel sel tersebut!
3. Mikrotubulus memegang peranan penting dalam perkembangan dan pemeliharaan bentuk sel, mengapa demikian?
4. Jelaksan metabolirme sel dalam memperoleh energy!
5. Secara fisiologis, sel mengalami pembelahan secara mitosis maupun miosis. Jelaskan organel apa saja yang terlibat dalam proses tersebut!

MATERI 2
HISTOLOGI DASAR HEWAN

Indikator Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan pengertian jaringan dasar pada hewan
2. Mampu membedakan jaringan epitel, ikat, otot dan saraf
3. Mampu mengkaitkan hubungan antar jaringan dasar pada hewan

Jaringan adalah struktur yang dibentuk oleh sekumpulan sel-sel yang memiliki sifat morfologik dan fungsi yang sama. Tubuh hewan tersusundari empat macam jaringan, antara lain:

a. Jaringan epitel
b. Jaringan ikat/penyambung
c. Jaringan otot
d. Jaringan saraf

Keempat jaringan tersebut saling berhubungan satu dengan yang lainnya membentuk organ, lalu organ-organ bergabung membentuk sisitem organ yang pada akhirnya terbentuklah individu.

A. JARINGAN EPITEL

Jaringan epitel memiliki fungsi utama antara lain:

1) Menutupi dan melapisi permukaan (misal kulit).
2) Absobsi /penyerapan (misal usus)
3) Sekresi/ pengeluaran zat sisa metabolism yang masih berguna untuk tubuh (misal epitel kelenjar)
4) Sensoris (misal neuroepitel)
5) Kontraktil (misal mioepitel)

Menurut embriologinya, jaringan epitel berasal dari ketiga lapisan benih embrio yaitu ada yang berasal dari ektodermal, misal epitel mulut, kulit, dan hidung. Kedua, jaringan epitel berasal dari mesodermal, misal epitel tubuli ginjal. Dan ketiga ada yang berasal dari lapisan endodermal, misalnya epitel yang

melapisi permukaan dalam saluran pernafasan, pencernaan dan kelenjar-kelenjar pencernaan.

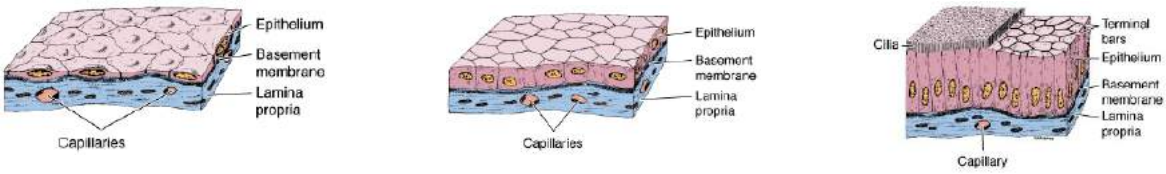
Berdasarkan struktur dan fungsinya, jaringan epitel dibedakan menjadi dua yaitu epitel penutup kelenjar dan epitel kelenjar.

a. Epitel penutup

Epitel penutup adalah jaringan epitel yang sel-selnya tersusun dalam lapisan seperti membrane, yang menutupi permukaan luar atau melapisi rongga-rongga tubuh. Berdasarkan jumlah lapisan serta morfologi sel, epithelium penutup dibedakan atas:

1) Epithelium sederhana/selapis

Merupakan jaringan epitel yang terdiri dari satu lapis sel. Bentuk sel yang menyusun jaringan ini ada 3 macam. Yaitu: berbentuk pipih (squamosa),contohnya lapisan lapisan dalam pembuluh darah (endothelium). Kedua sel epitel berbentuk batang/silindris (columnar), contohnya epithel yang melapisi permukaan intestinum. Ketiga, sel epitel berbentuk kubus (kuboid), misalnya epitel yang melapisi permukaan ovarium (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Bentuk sel epitel (a). squamosa, (b). columnar, (c) Kuboid. (Sumber: Junqueira, L.C., & Jose Carneiro, 1988:83)

2) Epithelium berlapis semu (pseudostratified epithelium)

Merupakan jaringan epitel adalah epithelium sederhana tetapi kelihatannya berlapis karena morfologinya tidak seragam, sehingga inti terletak tidak sama tinggi semua sel mencapai membrane basalis, tetapi tidak semua sel mencapai permukaan. Contohnya, pada trachea, bronchus, dan rongga hidung.

3) Epithelium berlapis (stratified epithelium)

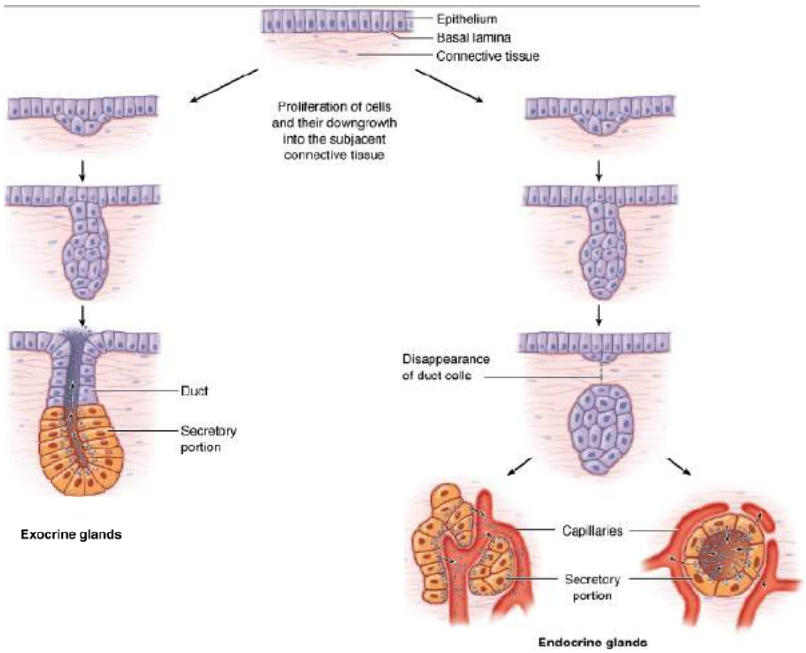
Merupakan jaringan epitel yang tersusun lebih dari satu lapis sel. Epithelium berlapis terdiri dari 4 macam:

a) Epitelium berlapis pipih (stratified squamosa epithelium), misalnya sel epitel yang terdapat pada kulit manusia.
b) Epitelium berlapis kolumnar (stratified columnar epithelium), jarang ditemukan, contohnya pada konjungtiva mata.
c) Epitel berlapis kubus (stratified cuboidal epithelium), contohnya kelenjar keringat dan folikel ovarium.
d) Epitel transisional (transisional epithelium), contohnya pada vesica urinaria dan ureter.

b. Jaringan epithel kelenjar

Jaringan epithel kelenjar adalah jaringan yang dibentuk oleh sel-sel yang terkhususkan dalam menghasilkan suatu sekresi cair yang komposisinya berbeda dengan komposisi darah atau cairan interseluler. Proses ini biasanya disertai dengan sintesa makromolekuk intraseluler. Senyawa – senyawa ini biasanya dsimpan di dalam sel tersebut dalam bentruk butir-butir kecil yang disebut granula sekretoris. Contohnya sel goblet pada lapisan intestinum dan tractus respiratorius.

Jaringan epitel kelenjar, berdasarkan proses terbentuknya terdiri dari dua jenis yaitu kelenjar endokrin dan eksokrin (Gambar 4.2).



Gambar 4.2 Proses terbentuknya epitel kelenjar (Sumber: Junqueira, L.C., & Jose Carneiro, 1988:88)

1. Kelenjar endokrin

Merupakan kelenjar yang tidak mempunyai hubungan dengan permukaan yang membentuknya, secret langsung masuk ke dalam pembuluh darah. Kelenjar endokrin ini menghasilkan hormone insulin.

Berdasarkan pengelompokan selnya, kelenjar endokrin terdiri dari 2 macam yaitu:

1) Sel mengelompok membentuk tali yang beranastomose diantara kepiler darah. Misalnya kelenjar adrenalin dan kelenjar paratiroid
2) Sel-sel melapisi suatu vesikel atau folikel yang berisi bahan bukan sel. Misalnya kelenjar tiroid

Berdasarkan sifat secret yang dihasilkan, kelenjar endokrin ada 4 macam antara lain:

1) Mukosa

   Merupakan kelenjar endokrin yang menghasilkan secret yang bersifat kental, pekat, dan mucus inert. Contohnya kelenjar palatine, kelenjar serviks uteri, dan kelenjar goblet / usus.
2) Serosa

   Merupakan kelenjar endokrin yang menghasilkan secret yang bersifat encer, cair, albuminosa, dan mengandung enzim. Contohnya, kelenjar parotis dan pancreas.
3) Sero-mukosa

   Merupakan kelenjar endokrin yang menghasilkan secret yang memiliki sifat campuran antara sifat mukosa dengan sifat serosa. Contohnya, kelenjar submandibular dan sublingual.
4) Sitogeni

   Merupakan kelenjar endokrin yang menghasilkan secret yang terdiri atas sel-sel hidup. Contohnya, sperma dan ovum.

2. Kelenjar eksokrin

Merupakan kelenjar yang mempunyai hubungan dengan epitel permukaan yang membentuknya melalui saluran pembuangan. Kelenjar ini menghasilkan enzim lipase, amylase, dan tripsinogen

Berdasarkan jumlah sel penyusunnya, kelenjar eksokrin ada 2 jenis, yaitu:

a) Uniseluler

Kelenjar yang terbentuk dari sel tunggal. Contohnya sel goblet yang terdapat dalam epitel usus atau saluran respirasi.

b) Multiseluler

Kelenjar yang terbentuk lebih dari satu macam sel. Pada kelenjar multiseluler terdapat dua macam, yaitu multiseluler sederhana (tidak bercabang/simplek) dan multiseluler majemuk (bercabang/komplek).

Berdasarkan bentuk bagian sekretorisnya, kelenjar eksokrin diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu: tubular (menyerupai pembuluh pipa), acinar (menyerupai kantong), dan tubular acinar (menyerupai keduanya).

Kelenjar eksokrin simpleks (sederhana), berdasarkan bentuknya terbagi atas: tubular (contohnya usus halus), tubular berkelok (contohnya kelenjar eringat), tubular bercabang (contohnya kelenjar fundus pada lambung), asinar (contohnya kelenjar uretra, dan asinar bercabang (contohnya kelenjar minyak).

Kelenjar eksokrin simpleks (sederhana), berdasarkan bentuknya terbagi atas: tubukar komplek (misalnya kelenjar bruner pada duodenum), Asinar komplek (contohnya pada pankreas), dan tubula asinar komplek (contohnya kelenjar parotis/kelenjar ludah).

Kelenjar eksokrin berdasarkan cara mengeluarkan sekretnya ada 3 macam antara lain merokrin, yaitu secret diakumulasi dibagian apeks dan dilepas melalui permukaan bebas sel, misalnya pada kelenjar saliva/air liur. Kedua, apokrin yaitu secret diakumulasikan di bagian apeks sel dan di lepas dengan membawa bagian apeks sehingga sel kelenjar menjadi lebih pendek, misalnya pada kelenjar keringat dan kelenjar mammae. Ketiga, holokrin yaitu hasil sekresi dikeluarkan bersama-sama dengan seluruh sel tersebut. Misalnya kelenjar minyak pada kulit (akar rambut).

Epitel kelenjar berdasarkan sifat dari getah yang dihasilkan antara lain ada kelenjar non seluler, yaitu kelenjar yang dihasilkan dalam bentuk cair, misalnya pada enzim dan hormone. Kedua, kelenjar seluler yaitu kelenjar yang dihasilkan

dalam bentuk non cair/pekat. Misalnya kelenjar lemak menghasilkan lemak dan ovarium yang menghasilkan ovum.

Pengaturan aktivitas kelenjar tergantung pada dua hal, yaitu genetic dan lingkungan. Genetik maksudnya selama diferensiasi sebuah sel keelnjar, ada suatu peristiwa perkembangan penting mempengaruhi seleksi dan ekspresi gen-gen yang mengatur seleksi dan ekspresi gen-gen yang mengatur sekresi. Selanjutnya lingkungan juga memiliki pengaruh terhadap aktivitas kelenjar, misalnya pada saat ini usia anak perempuan yang mengalami haid, jauh lebih muda yaitu berkisar usia 9-10 tahun. Sedangkan dulu,usia anak perempuan mengalami haid berkisar 11-13 tahun. Hal ini dikarenakan lingkungan saat ini, yang penuh dengan keleluasaan, kebebasan dan kecanggihan teknologi mempengaruhi terhadap produksi suatu hormone sehingga bisa mmepercepat kerja hormone progesteron pada perempuan.

B. JARINGAN IKAT/ PENYAMBUNG/ PENYOKONG

Jaringan pengikat/penyambung merupakan jaringan yang bertanggungjawab dalam memberikan dan mempertahankan bentuk tubuh, berperan sebagai penyokong, pengikat, dan pengisi. Selain itu, jaringan ikat berfungsi sebagai pembungkus (kapsula), penyimpanan protein plasma tubuh, dan perbaikan sel-sel yang telah rusak. Didalam jaringan ini terdapat 3 komponen pokok yaitu sel-sel, serabut-serabut dan zat dasar. Serabut-serabut dan zat dasar disebut dengan matriks.

Sel penyusun jaringan ikat, terdiri dari fibroblast yang berperan dalam mensintesis serabut kolagen, serabut elastin dan glikosaminoglikans (GAG). Sel fibroblast juga berperan mensekresi molekul prokolagen ke dalam matriks intersel serta mempercepat penyembuhan luka. Sel berikutnya yang menyusun jaringan ikat adalah makrofag (histosit) dengan ciri-ciri mengandung lisosom dalam jumlah besar, bersifat fagositosit dan pinositost, berperan dalam mmepertahankan imunologis, bergerak dengan pseupodia dan bentuknya tidak teratur. Sel ketiga yang membentuk jaringan ikat adalah mest cell. Memiliki sifat metakromatik (bisa berubah warna), berperan untuk pertahanan terhadap alergi dan toksin asing,

menghambat pembekuan darah serta menghasilkan heparin, histamine, dan serotonin. Sel keempat pembentuk jaringan ikat adalah sel plasma, merupakan selyang terdapat pada mukosa usus, sub mukosa, dan tempat peradanagn kronis. Sel ini berperan dalam menghasilkan antibody. Sel kelima penyusun jaringan ikat adalah sel adipose yang berperan dalam penyimpanan lemak.

Penyusun jaringan pengikat yang lain adalah matriks, yang terdiri dari serabut-serabut dan zat dasar. Serabut dalam jaringan pengikat ada 3 jenis, yaitu serabut kolagen, serabut elastic, dan serabut reticulum.

Serabut kolagen merupakan serabut yang komposisinya paling banyak disbanding yang lain. Serabut ini merupakan kumpulan serabut-serabut yang tidak elastic, lentur, dan kuat serta mempunyai daya regang tinggi. Dalam keadaan segar tidak berwarna dan dalam jumlah banyak berwarna putih. Ada 4 jenis serabut kolagen, yaitu kolagen jenis I, terdapat pada tendo, dermis kulit dan tulang. Serabut jenis II terdapat pada rawan hialin. Serabut jenis ke III terdapat pada pembuluh darah dan uterus. Sedangkan jenis ke IV, terdapat pada lamina basalis.

Serabut kolagen berfungsi sebagai bahan pengikat, memberi kekuatan tinggi karena daya regang dan kelenturan yang tinggi. Adapun morfologi serabut kolagen adalah serat lebar dan lurus, agak bergelombang dan tidak bercabang, bergaris memanjang/longitudinal.

Serabut elastic (serabut kuning), memiliki cirri-ciri tipis, bercabang-cabang sehingga membentuk jaringan yang tidak teratur, bila segar dan berjumlah banyak berwarna kuning. Komponen utama serabut ini adalah skleroprotein dan mengandung protein elastin, sehingga bersifat elastic. Terdapat pada pembuluh darah, dan pita suara. Serabut ini berfungsi memberi sifat kenyal pada pembuluh darah dan ligamen.

Serabut reticulum, memiliki ciri-ciri: serabut sangat halus, diameter sama dengan fibril kolagen, bentuk nerupa jarring-jaring. Bersifat argirofilik (bisa diwarnai dengan perak), terdapat pada organ hematopoitik (limfa, sumsum tulang merah), organ epitel (hati, ginjal, kelenjar endokrin) dan memiliki fungsi menyediakan matriks dan tempat melekatnya sel-sel.

Zat dasar merupakan komponen penting penyusun ajringan ikat selain matriks dan serabut. Zat dasar memiliki cirri-ciri mengisi ruangan diantara sel dan serabut jaringan penyambung, tidak berwarna, transparan, homogeny, dan kental. Berfungsi sebagai perintang terhadap penembusan partikel asing. Zat dasar ini tersusun dari GAG (glikosaminoglikans yaitu polisakarida yang mengandung gula amino untuk mengatur jumlah air di dalam jaringan penyambung. Selain itu, terdapat proteoglikans yaitu protein berkonjugasi yang mengandung sedikit protein gula).

Jaringan ikat/penyokong, ada tiga komponen. Yaitu jaringan penyambung biasa, jaringan penyambung dengan sifat khusus, dan jaringan penyambung penyokong. Masing-masing jaringan ikat tersebut memiliki struktur dsan fungsi yang berbeda.

a. Jaringan penyambung biasa

Jaringan penyambung ini terbagi lagi menjadi jaringan ikat longgar dan jaringan ikat padat. Jaringan ikat longgar berfungsi mengikat bagian-bagian tubuh supaya bersatu dan memungkinkan gerakan diantara mereka. Kandungan dari jaringan ini adalah zat dasar, serabut kolagen dan makrofag berjumlah besar, serta fibroblast. Sifat jaringan ikat longgar yaitu lunak, fleksibel, dan tidak resisten stress,dan dapat dijumapi pada pembuluh darah, membrane mukosa, hypodermis serta pleura.

Jaringan ikat padat tersusun atas serabut kolagen dan sel fibroblast dalam jumlah besar, jumlah sel lebih sedikit disbanding jaringan ikat longgar. Memiliki sifat kurang fleksibel dan resisten stress. Ada dua macam jaringan ikat padat, yaitu jaringan ikat padat teratur, dan jaringan ikat padat tidak teratur. Jaingan ikat padat teratur, yaitu jaringan ikat dengan serabut kolagen yang tersusun secara teratur. Misalnya tendo dan ligament. Jaringan padat teratur berfungsi melekatkan otot lurik ke tulang. Sedangkan jaringan ikat padat tidak teratur, adalah jaringan ikat yang serabut kolagennya tersusun dalam berkas-berkas tanpa arah tertentu. Misalnya dermis kulit, saluran pencernaan dan ganglion.

Jaringan penyambung dengan sifat khusus

Jaringan penyambung dengan sifat khusus terdiri atas jaringan adipose, jaringan elastik, jaringan hematopoitik dan jaringan mukosa.

1) Jaringan adipose

Jaringan adipose merupakan jaringan penyambung dimana sel-sel adipose menonjol. Sel-sel ini dapat ditemukan sendiri-sendiri atau berkelompok dalam jaringan penyambung itu sendiri, tetapi sebagian besar ditemukan didalam jaringan adipose yang tersebar diseluruh tubuh. Tubuh pria dengan berat badan normal, jaringan adipose terdiri dari 15-20% berat tubuhnya. Sedangkan pada wanita, 20-25% berat badannya merupakan jaringan adipose.

Jaringan adipose penting sebagai suatu tempat penyimpanan energy untuk mamalia karena mereka terus menerus memerlukan energy. Selain itu, jaringan adipose juga berperan dalam membantu isolasi panas tubuh, membantu membentuk permukaan tubuh, membantu menahan adanyab goncangan terutama pada bagian telapak kaki dan tangan. Jaringan adipose mengisi ruang diantara jaringan lain dan membantu mempertahankan posisi beberapa organ.

Berdasarkan struktur sel, lokalisasi, vaskularisasi, dan fungsi ada dua jenis jaringan adipose, yaitu jaringan adipose unilobuler dan jaringan adipose multilobuler.

a) Jaringan adipose unilobuler

Jaringan ini ditemukan hampir diseluruh tubuh manusia. Warna jaringan ini bervariasi, dari putih sampai kuning tua tergantung adanya karotenoid yang larut dalam btir lemak sel tersebut. Sel-selnya berbentuk bulat dan bila diisolasi menjadi polyhedral. Sitoplasma tipis, berbentuk cincin dan mengelilingi vakuola lemak yang besar. Bagian sitoplasma yang menebal mengandung inti, apparatus golgi, mitokondria dan reticulum endoplasmatik serta ribosom. Diantara sel – sel ini terdapat serabut reticulum yang membentuk jala-jala halus dan mempersatukan sel-sel lemak tersebut. Jaringan adipose unilobular terbagi menjadi lobules-lobulus tak sempurna oleh jaringan pengikat yang mengandung pembuluh darah dan saraf.

Pada bayi yang baru lahir (neonatus), jaringan adipose unilokular mempunyai ketebalan yang sama diseluruh tubuh, dengan bertambahnya usia,

cenderung lenyap dari beberapa bagian tubuh lainnya karena susunannya sebagian diatur oleh hormone seks dan hormone adrenokortikal, yang mengatur penggumpalan lemak dan bertanggungjawab untuk sebagian besar bentuk tubuh pria atau wanita.

b) Jaringan adipose miltilobuler

Jaringan adipose multilobular juga disebut jaringan adipose coklat karena warnanya yang khas, sebagian disebabkan oleh tingginya kandungan sitokrom didalam mitokondria sel-selnya. Jaringan ini memiliki distribusi yang terbatas. Pada mammalian, jaringan ini ditemukan disekitar korset bahu, dan pada umunya dijumpai pada hewan yang berhibernasi. Pada manusia, jaringan adipose multilobular memiliki fungsi yang terbatas pada bulan-bulan pertama dalam kehidupan postnatal, sehingga dapat melindungi neonates tersebut terhadap dingin.

Jaringan adipose tersusun atas sel-sel berbentuk polygonal dan lebih kecil dari pada sel jaringan adipose unilobular. Sitoplasma mengandung sejumlah besar butir lemak, dengan ukuran bervariasi. Sel-sel mengandung mitokondria dan reticulum endoplasma. Jaringan adipose ini membentuk lobulus yang batas-batasnya lebih jelas bila dibandingkan dengan lobulus jaringan adipose unilobular.

2) Jaringan elastik

Jaringan yang terdiri dari berkas-berkas serabut elastic yang tebal dan sejajar, serta diantaranya terdapat sel-sel fibroblast berbentuk pipih. Disekitar berkas terdapat jaringan pengikat longgar. Jaringan ini bersifat elastic dan berwarna kuning, dan jarang ditemukan. Jaringan elastic terdapat didalam ligament kuning kolumna vertebralis dan di dalam ligament suspensorium penis.

3) Jaringan reticulum

Jaringan reticulum tersusun atas sel-sel reticulum dan serabut reticulum. Kebanyakan jaringan ini dijumpai pada organ hematopoitik dan menjadi kerangka penyokong dari sel-sel bebas pada organ ini. Sel-sel reticulum mempunyai prosesus sitoplasmatis yang saling berhubungan dengan processus dari sel didekatnya, nucleus besar, dengan kromatin halus dan satu atau lebih nucleolus yang dapat dilihat.

4) Jaringan mukosa

Jaringan mukosa tersusun dari sel-sel fibroblast, serabut kolagen dan sedikit serabut elastic atau reticulum. Jaringan ini lunak dan mengandung banyak zat dasar amorf. Jaringan ini terdapat pada tali pusat dan pulpa gigi muda.

5) Jaringan hematopiotik

Jaringan yang terdiri dari ntiga unsur pokok, yaitu serabut-serabut, zat dasar (plasma), dan sel-sel. Serabut-serabut ini akan tempak jika darah membeku. Zat dasar berupa cairan/plasma darah yang terdiri dari 7% proyein plasma, 0,9% garam anorganik, dan 10% senyawa organic (asam amino, vitamin,hormone, dan lipid). Protein plasma terdiri dari albumin, yang berfungsi untuk mempertahankan tekanan osmotic darah. Kedua, terdiri dari alfa, beta dan gama globulin yang berperan sebagai antibody (imunoglobulin), serta fibrinogen yang berguna untuk pembekuan darah.

Jaringan hematopoitik berfungsi sebagai alat tarnsportasi O_2 dan CO_2, sebagai alat distribusi hormone, sebagai tempat pertukaran pesan kimia antara organ-organ yang jauh, sebagai tempat pengaturan distribusi panas dan keseimbangan asam basa osmotic serta sebagai pertahanan tubuh.

Sel-sel penyusun jaringan hematopoitik terdiri dari:

a) Eritrosit (sel darah merah)

Eritrosit memiliki cirri-ciri bentuknya berupa cakram, berdiameter ±7,2 µm, jumlahnya pada manusia normal sebesar 4-6 juta eritrosit/mm^2 darah, sel matang tidak berinti, sel muda disebut retikulosit.Memiliki masa hidup 120 hari, dan sitoplasma terdiri dari serabut protein dan hemoglobin.

b) Leukosit (sel darah putih)

Dalam darah normal, berjumlah 5- 10 ribu/mm^3 darah. Berdasarkan granulanya, leukosit ada dua macam yaitu agranulosit dan granulosit. Agranulosit adalah leukosit yang sitoplasmanya tidak bergranula spesifik, bentuk inti teratur, dan terdiri dari limfosit dan monosit. Granulosit merupakan leukosit yang sitoplasmanya bergranula, bentuk inti tidak teratur, dan ada tiga macam yaitu netrofil, eosinofil dan basofil.

Limfosit, memiliki cirri-ciri sitoplasma mengandung sedikit organel, tetapi ribosom bebas dan poliribosom dalam jumlah banyak, jumlah normal dalam darah sebesar 25% dari leukosit darah, berperan dalam kekebalan humoraltubuh, misalnya limfosit B dan berperan dalam reaksi imun seluler organism misalnya pada limfosit T.

Monosit berasal dari sumsum tulang, berinti oval, berbentuk kaki kuda/ginjal, memiliki mitokondria dalam jumlah besar, ditemukan dalam darah, jaringan penyambung dan rongga-rongga tubuh, serta berfungsi dalam system fagositik.

Neutrofil, memiliki cirri-ciri berkembang dalam sumsum tulang, berjumlah 60-70% leukosit yang beredar, dikeluarkan lewat sirkulasi,inti terdiri dari 2-5 lobus, terdapat lisosom, memiliki gerakan pseupodia, memiliki enzim peroksida dan berfungsi dalam pertahanan seluler.

Eosinofil, berjumlah 1-4% leukosit dalam darfah normal, inti berlobus dua, memiliki gferakan amoeboid, berperan dalam fagositik (yang lebih selektif daripada neutrofil) dan mempertahankan darah dari pembekuan, karena mengandung profibrinolisin.

Basofil, berjumlah 0-1% dari leukosit darah, memiliki inti satu besar, terletak ditengah, seringkali granula menutupi inti, bergerak amoeboid dan melakukan fagositosis, mensekresikan histamine dan heparin yang hampir sama dengan mast cel, tetapi meiliki ultrastruktur yang berbeda.

c) Trombosit

Trombosit adalah keeping darah, dengan ciri-ciri tidak memiliki inti sel, berbentuk cakram dengan diameter 2-5 µm, jumlah normal 150-300ribu/ µL darah, masa hidup 8 hari dan memiliki fungsi sebagai pembekuan darah pada luka.

b. Jaringan penyambung penyokong

Jaringan penyambung penyokong, terdiri dari dua bagian yaitu tulang rawan dan tulang keras (tulang).

1) Jaringan Tulang Rawan (Kartilago)

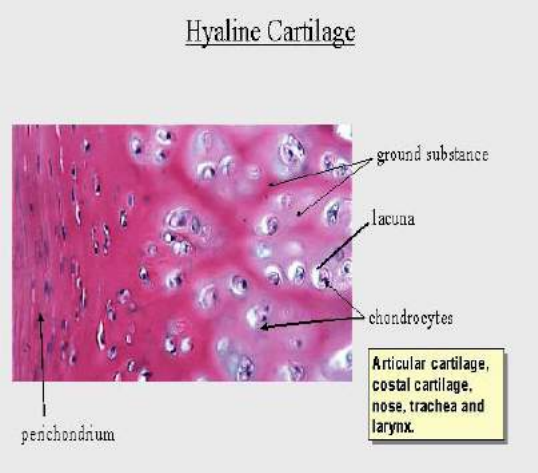
Tulang rawan merupakan sejenis jaringan pengikat yang bahan interselulernya mempunyai konsistensi keras dan membentuk rangka sementara pada embrio. Selain itu mempunyai fungsi utama untuk menyokong jaringan lunak, dan memberikan daerah pergeseran bagi persendian.

Tulang rawan mengandung tiga unsur utama, yaitu sel tulang rawan (kondrosit), serabut-serabut, terdiri dari serabut kolagen dan elastin (chondrothin sulfat), serta glikosaminoglikans. Pada zat dasar tulang rawan terdapat lacuna yang berisi kondrosit (sel tulang rawan). Sel-sel kondrosit ketika muda berbentuk cekungan dan terdapat tonjolan, ketika tua berbentuk bulat dan hipertrofi. Pada jaringan ini tidak terdapat pembuluh darah dan saraf, kecuali bagian luar yang berfungsi sebagai pembungkus yang disebut perikondrium. Selain itu, perikondrium berfungsi sebagai pertumbuhan dan pemeliharaan tulang.

Berdasarkan substansi interselulernya, tulang rawan dibedakan menjadi tiga macam yaitu tulang rawan hialin, tulang rawan elastic, dan dan tulang rawan fibrosa. Tulang rawan hialin paling luas karakteristiknya, sedang yang lain merupakan perubahan bentuk dari tulang rawan hialin. Permukaan bebas tulang rawan, kecuali yang berhubungan dengan rongga tertutup dan lapisan keras jaringan pengikat (perikondrium).

a) Tulang rawan hialin

Tulang rawan hialin merupakan jenis yang paling banyak ditemukan. Berwarna putih kebiruan dan tembus cahaya (gambar 2.). Komponen matriksnya terdiri dati kolagen 40%, glikosaminoglikans, proteoglikans, dan asam hialuronat. Jaringan ini ditemukan pada ujung ventral tulang rusuk, dinding saluran pernafasan, permukaan persendian, ujung hidung,tengkorak, bronkus, cuping hidung dan rangaka janin. Tulang rawan hialin berfungsi sebagai rangka sementara embrio dan pertumbuhan longitudinal.

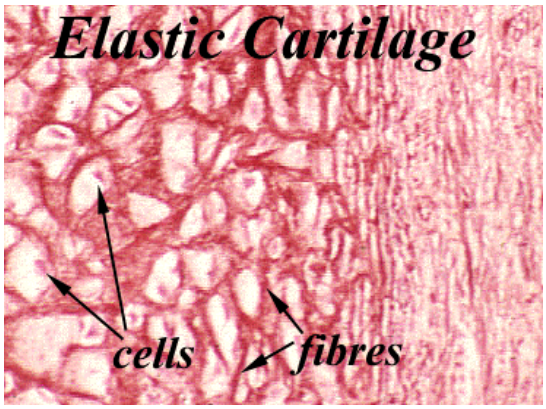


Gambar 2.1 tulang rawan hialin

Kondrosit tulang rawan hialin terletak dalam ruang berdinding halus yang disebut lacuna, setelah difiksasi akan keriput. Pada bagian tulang rawan, kondrosit berbentuk pipih, tersebar tunggal, berderet memanjang, sumbunya sejajar permukaan tulang rawan. Makin ke tengah, sel-sel ini berbentuk bulat dan berkelompok. Dalam kelompok mengandung dua sampai delapan sel dan merupakan kelompok isogenik.

b) Tulang rawan elastin

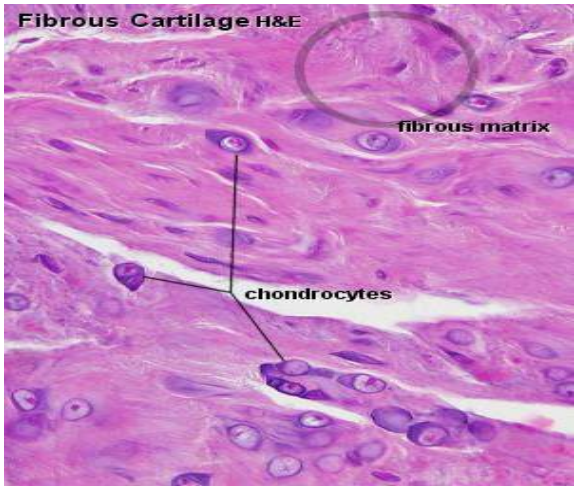
Tulang rawan elastic memiliki cirri-ciri berwarna kekuningan, komponennya terdiri dari serabut kolagen, serabut elastic dalam jumlah besar membertuk jala disekitar kondrosit (gambar 2). Ditemukan di daerah daun telinga, epiglottis, laringg, tuba eustachius. Permukaan luar tulang rawan elastin tertutup jaringan pengikat padat yang disebut dengan perikkondrium.



Gambar 2. 2 Tulang rawan elastic

c) Tulang rawan fibrosa

Tulang rawan fibrosa merupakan bentuk perpaduan antara jaringan ikat padat dan tulang rawan hialin. Mengandung bundel-bundel serat kolagen, sehingga bersifat sangat kuat dan lebih kaku. Sel-sel kondrosit terkurung dalam kapsula yang bulat dan dikelilingi matriks hialin. Kondrosit ada kecuali pada lacuna, ada beberapa yang terletak diantara pita berkas kolagen. Matriks bersifat asidofil. Tulang rawan fibrosa dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2. 3. Tulang rawan fibrosa

Jaringan ini ditemukan pada discus diantara tulang vertebrae dan pada semifisis pubis diantara dua tulang pubis. Berfungsi sebagai pelumas untuk mencegah erosi vertebrae selama gerakan columna vertebralis.

2) Jaringan Tulang Keras (Osteon)

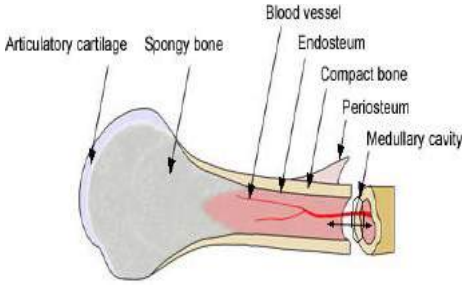
Jaringan tulang, merupakan jaringa yang paling keras di dalam tubuh. Memiliki fungsi saebagai kerangka utama tubuh, menyokong struktur berdaging, melindungi oraga-organ vital dalam rongga tubuh, tempat pembentukan sel darah dan sebagai alat gerak pasif.

Komponen jaringan tulang terdiri dari bahan interseluler yang mengalami kalsifikasi, matriks tulang, dan sel-sel antara lain osteoblas, osteosit, dan osteoklas. Permukaan luar dan dalam tertutup lapisan jaringan pengikat, berturut-turut disebut periosteum dan endosteum.

Matriks tulang terdiri dari 50% bahan anorganik berupa kalsium dan fosfor dalam jumalh besar, bikarbonat, sitrat, magnesium, kalium, dan natrium. Selain itu, juga terdapat bahan organic berupa serabut kolagen 95%, dan zat dasar amorf (mengandung glikosaminoglikans). Kalsium dan fosfor membentukhidroksiapatit dengan serabut kolagen yang bertanggungjawab dalam kekerasan tulang.

Sel-sel tulang terdiri dari osteoblas, berfungsi untuk mensintesa komponen organic matriks tulang (kolagen dan glikoprotein), berbentuk kuboid, bila berada pada matrik yang baru disintesa disebut dengan osteosit. Martiks yang baru disintesa belum mengalami kalsifikasi, terletak di dekat osteoblas disebut osteoid/prebone. Sel tulang berikutnya adalah osteosit, merupakan sel matur yang dibungkus lapisan matriks tulang yang telah mengalami mineralisasi. Sel ini mengandung kalsium fosfat yang berikatan dengna protein/glikoprotein dan berfungsi untuk mensintesis matriks.

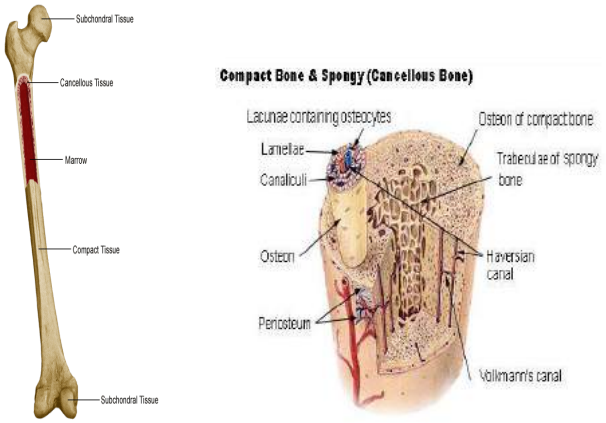
Osteoklas, merupakan sel tulang yang motil, sangat besar dan bercabang-cabang serta berinti banyak. Memiliki fungsi antara lain memfagosit sel-sel tulang yang sudah rusak, reabsorbsi dan perubahan bentuk tulang permukaan. Struktur tulang terdiri atas empat bagian antara lain priosteum, compact bone (tulang kompak), spongy bone (tulang spongiosa dan bone marrow (sumsumtulang) (gambar 2.4). Periosteum merupakan selaput luar tulang yang tipis, mengandung osteoblas, jaringan ikat, dan pembuluh darah. Fungsi periosteum antara lain sebagai tempat melekatnya otot rangka, memberi nutrisi, pertumbuhan, dan reparasi tulang rusuk.



Gambar 2.4 Struktur tulang

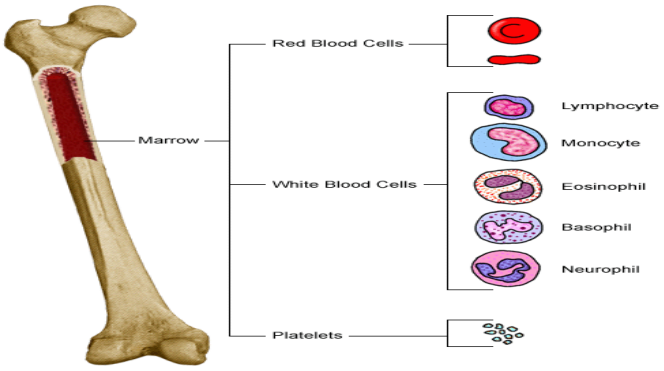
Bagian ketiga penyusun tulang adalah compact bone, yang terletak di luar, memiliki tekstur halus dan sangat kuat, Memiliki sedikit rongga dan mengandung

banyak kapur (kalsium phosfat dan kalisium karbonat). Paling banyak ditemukan pada tulang kaki dan tangan.



Gambar 2.5 *Compact bone Spongy bone*

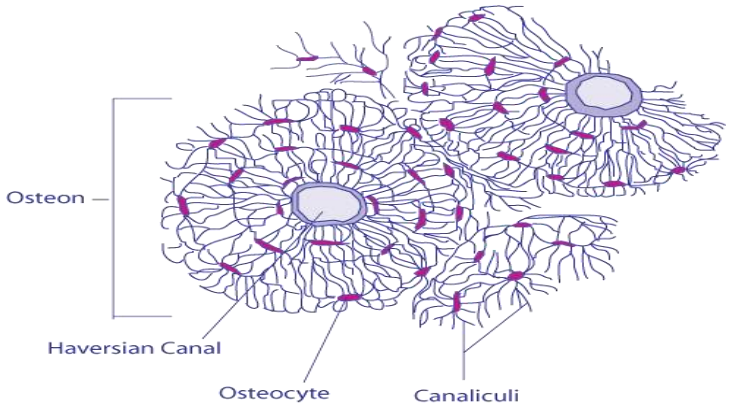
Spongy bone memiliki banyak rongga, yang diisi oleh sumsum merah dan terdiri dari kisi-kisi tipis tulang yang disebut dengan trabekula (gambar 2.5). Sumsum tulang, berbentuk seperti jelly yang kental. Dilindungi oleh spongiosa dan berfungsi untuk mereproduksi sel – sel darah merah dalam tubuh (Gambar 2. 6).



Gambar 2. 6 Bone Marrow

Berdasarkan matgriksnya, tulang keras ada dua macam yaitu:tulang kompak terletak diluar, padat tanpa rongga, terdiri dari system havers (Gambar 2.7). Sistem havers terdiri dari saluran havers, didalam saluran terdapat pembuluh darah dan saraf. Di sekeliling system havers ada lamella, yaitu zat intrerseluler berkapur. Pada ;lamella terdapat rongga (lacuna). Dalam lacuna terdapat osteosit, antar lacuna atau antara lacuna dengan canalis havers ditumbuhkan. Tulang

spons, tidak mengandung system havers, terletak di dalam, banyak rongga dan saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya.



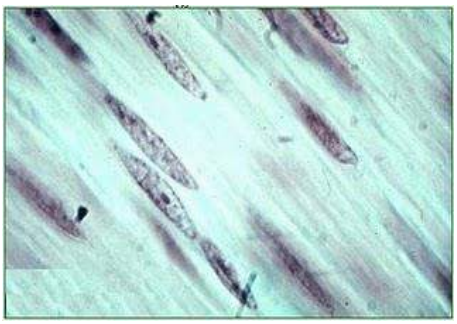
Gambar 2.7 Sistem Havers

C. JARINGAN OTOT

Jaringan otot merupakan kumpulan serat (sel) otot yang diikat dan dibungkus selubung jaringan ikat. Fungsi jaringan otot adalah sebagai alat gerak aktif. Berdasarkan sifat morfologik dan fungsional, terdapat 3 macam jaringan otot antara lain jaringan otot polos, jaringan otot lurik, dan jaringan otot jantung.

1) Jaringan Otot polos

Terdiri dari sel-sel otot polos (tidak terdapat garis melintang), dibungkus oleh jaringan ikat halus yang disebut endomisium, memiliki myofibril homogeny, dikendalikan oleh saraf otonom, yaitu simpatis dan parasimpatis, sel berbentuk gelendong dengan satu nucleus ditengahnya. Bersifat tidak sadar, kontraksi lamban dan tahan lelah (gambar 2.8) terdapat pada ginjal, uterus, organ reproduksi wanita dan pria, organ system pencernaan, organ system pernafasan, dan dinding pembuluh darah.

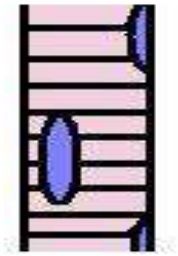


Gambar 2. 8 Otot Polos

2) Jaringan Otot lurik/ otot rangka

Terdiri dari sel-sel otot lurik, susunan miofibril tidak homogen sehingga membentuk garis-garis lurik (pita gelap:disebut pita A, pita terang disebut pita I, ditengah-tengah pita I terdaapat pita Z, diantara pita A terdapat pita H). Filamen terdiri atas aktin, tropomiosin, troponin, dan myosin (gambar 2.9).

Bentuk sel silindris panjang dengan nucleus banyak dan terletak ditepi. Dilapisi jaringan ikat lembut yang disebut endomisium. Endomisium dilapisi perimisium, perimisium dilapisi epimisium. Bersifat sadar dan mudah lelah, melekat pada rangka tubuh, terdapat pada daerah tangan, kaki, dan tempat-tempat lain yang aktif bergerak.



Gambar 2. 9 Sel Otot Lurik

Berdasarkan morfologik, histokimia dan fungsional, serabut otot rangka ada 3 golongan, diantaranya:

- **Serabut Merah**

Serabut merah memiliki mioglobin, sitokrom dalam jumlah banyak, kontraksi lambat, dapat melakukan kegiatan hebat dan kontinyu. Misalnya serabut-serabut otot dada burung,ekstremitas mamalia, dan punggung manusia.

- **Serabut Putih**

Serabut putih, terdiri dari mioglobin, sitokrom dan mitokondria sedikit, kontraksi cepat, tidak melakukan kegiatan berat dan kontinyu. Misalnya pada otot dada ayam, kalkun, dan otot mata manusia.

- **Serabut Intermediate**

Merupakan serabut perpaduan antara serabut merah dan serabut putih. Misalnya otot rangka manusia.

3) Jaringan Otot jantung

Jaringan ini hanya terdapat pada jantung, berbentuk seperti anyaman bercabang-cabang, myofibril tidak homogeny, sehingga terdapat garis-garis lurik. Memilki sifat tidak sadar dan tahan lelah.

D. JARINGAN SARAF

Jaringan saraf merupakan jaringan yang tersebar di seluruh tubuh, sebagai jaringan komunikasi terpadu sehingga memiliki peranan yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup organism. Jaringan saraf memiliki beberapa fungsi diantaranya pengontrol aktivitas tubuh, menyimpan memori, koordinasi dengan tubuh bagian dalam, dan adaptasi dengan lingkungan. Secara structural, jaringan saraf terdiri dari sel saraf/neuron dan sel glia/neuroglia.

a. Neuron

Neuron adalah satuan antomis dan fungsional yang terdiri dari badan sel (perikaryon), dendrite, dan akson. Dendrit merupakan prosesus panjang, banyak dan berfungsi menerima rangsang dari luar (lingkungan), sel epitel sensoris, atau neuron lain. Memiliki bentu pendek, sebagian besar sel saraf terdiri dari banyak dendrite, serta mengandung benda-benda nisl, mitokondria, neurofilamen, mikrotubulus, tetapi tidak mempunyai apparatus golgi. Perikaryon/soma, merupakan pusat kegiatan seluruh sel saraf dan menerima rangsang. Perikaryon mengandung nucleus dan sitoplasma. Berfungsi sebagai pusat trofik (nutrisi) dan menerima rangsang. Dalam sitoplasma terdapat nucleus, REg, ribosom bebas, benda nissl, apparatus golgi, mitokondria, neurofilamen dan mikrotubulus.

Akson, merupakan prosesus silindris panjang, diameter konstan dan tidak bercabang / tunggal, berfungsi membangkitkan/menghantarkan impuls saraf ke sel lain (sel saraf, sel otot, dan kelenjar). Di dalam system saraf pusat, akson bercabang disebut dengan kolateral/telodendron. Bgian akson yang bermielin mengandung sel schwan, dan aksoplasma mengandung mitokondria, mikrotubulus dan mikrofilamen. Berdasarkan ukuran dan bentuk prosesusnya, neuron ada 3 macam, yaitu 1) neuron multipolar, yaitu neuron yang mempunyai lebih dari 2 prosesus sel (1 akson dan yang lainnya dendrit). 2) neuron bipolar, yaitu neuron yang mempunyai 1 dendrit dan 1 akson, ditemukan di daerah ganglion koklea, retina, dan mukosa olfaktorius. 3) pseudounipolar merupakan neuron dengan 1 prosesus tunggal dekat perikaryon dan bercabang-cabang membentuk huruf T, ditemukan pada ganglion spinalis dan kranialis.

Berdasarkan peranan fungsionalnya, neuron ada 3 macam yaitu: 1) neuron motorik, mengatur organ efektor (kelenjar eksokrin dan endokrin) dan serabut otot. 2) neuron sensoris, menerima rangsang sensoris dari lingkungan dan dari dalam tubuh. 3) interneuron, mengadakan hubungan timbale balik diantara neuron-neuron lain, sehingga membentuk rangkaian fungsional yang kompleks. Hubungan antara satu akson dengan dendrite atau perikaryon atau dengan akson neuron lain disebut dengan sinaps. Berdasarkan hubungannya, sinaps ada 4 macam, yaitu aksodendritik, aksosomatik, dendodndritik dan aksoaksonik.

b. Neuroglia

Merupakan beberapa jenis sel yang ditemukan dalam system saraf pusat dan berhubungan dengan neuron. Neuroglia berperan membantu fungsi normal system saraf. Neuroglia ada 4 macam yaitu, astrosit, oligodendrosit, microglia, dan sel ependim. Astrosit merupakan neuroglia terbesar dengan prosesus panjang. Memiliki inti ditengah, berbentuk bulat dan sedikit terwarnai. Prosesus memiliki pedikel yang melebar pada ujungnya (kaki veskuler) yang melekat pada dinding pembuluh darah kapiler.

Oligodendrosit, merupakan neuroglia yang lebih kecil disbanding astrosit, dengan sedikit prosesus, nucleus kecil dan bulat serta kromatin padat. Ditemukan pada jaringan saraf pusat janin. Mikroglia, merupakan neuroglia yang memiliki badan kecil, padat dan gepeng. Nukleus bulat, memiliki prosesus pendek yang ditutupi oleh banyak juluran kecil dan berfungsi dalam mengeluarkan debris sel. Sel ependim, merupakan neuroglia yang melapisi rongga otak dan medulla spinalis dan terendam dalam cairan cerfebrospinal serta memiliki silia.

E. UJI KOMPETENSI

1. Jelaskan yang dimaksud dengan jaringan!
2. Jelaskan perbedaan jaringan epitel, ikat, saraf dan otot berdasarkan fungsinya! Gunakanlah tabel dalam menganalisisnya!
3. Bagaimanakah hubungan keempat jaringan dasar pada hewan? Jelaskan pendapat kalian!
4. Jelaskan proses terbentuknya kelenjar endokrin dan eksokrin!
5. Berikanlah contoh organ tubuh yang disusun oleh jaringan epitel pipih, kubus dan silindris!

MATERI 3
SISTEM RESPIRASI

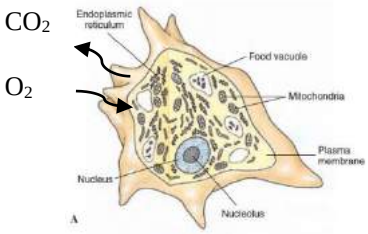
Indikator Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan pengertian respirasi
2. Mampu menjelasan struktur organ respirasi
3. Mampu menjelaskan fungsi organ respirasi
4. Mampu menjelaskan fisiologi respirasi

Sistem respirasi merupakan sekumpulan organ yang memiliki fungsi untuk melakukan proses pernafasan/respirasi demi keberlangsungan hidup suatu makhluk. Pernafasan (respirasi) adalah proses pengambilan oksigen (O_2) dari lingkungan luar dan digunakan oleh sel-sel tubuh untuk menghasilkan energy serta mengeluarkan karbondiaksida (CO_2) ke lingkungan luar. Dalam hal ini, yang memiliki peran tersebut adalah organ respirasi. Untuk itu, organ respirasi memiliki sifat antara lain:

1) Memiliki membrane yang bersifat permiabel
2) Permukaan membrane selalu basah
3) Memiliki vaskularitas tinggi
4) Memiliki permukaan luas

Pada beberapa hewan kecil (hewan bersel satu dan berukuran tubuh kurang dari 1mm) pertukaran gas berlangsung lebih sederhana, yaitu cukup dengan difusi gas dari udara atau air melalui membran ke dalam sel-sel jaringan tubuh. Misalnya pada amoeba (gambar 3.1) dan kelompok prozoa lainnya serta ubur-ubur dan cacing pipih.



Gambar 3.1 Amoeba melakukan pertukaran gas secara sederhana dari lingkungan menuju sel secara langsung (Sumber: Hickman, 2001: 216)

Pada hewan yang berukuran lebih besar dan hewan yang memiliki permukaan tubuh kering atau tidak permeabel (tidak mudah dimasuki oleh partikel padat, cair dan gas secara langsung), proses pertukaran gas menjadi lebih kompleks. Oleh karena itu pada kelompok hewan tersebut, pertukaran gas dilakukan oleh organ spesifik antara lain kulit (*integument*), insang (*gill*), trakea (*trache*) dan paru-paru (*pulmo*). Keempat macam organ respirasi itu memiliki bentuk yang berbeda, namun memiliki fungsi yang sama dalam pernafasan. Organ respirasi tersebut mempunyai suatu membrane respirasi yang lembab supaya mudah dilewati oleh oksigen dan karbondioksida dengan cara difusi.

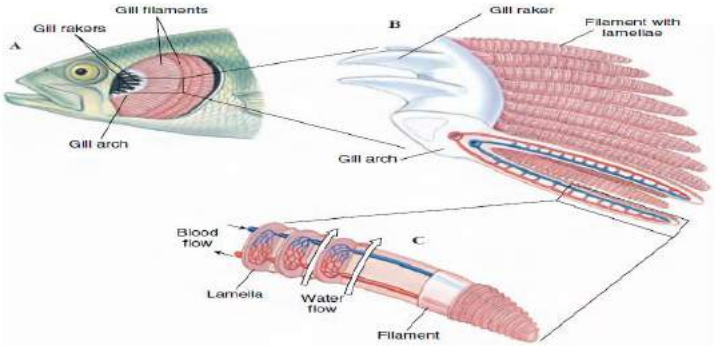
A. KULIT (*INTEGUMENT*)

Difusi gas melalui protoplasma merupakan proses yang sangat lambat dan hal itu tidak seperti hewan yang proses metabolismenya melalui difusi saja. Hewan yang diameternya berukuran lebih dari 1 mm, proses metabolismenya tidak melalui hal ini. Olehkarena itu alat pernafasannya dimodifikasi sehingga mempermudah pertukaran gas melalui per mukaan tubuhnya. Pada sebagian besar hewan akuatik, kulit banyak mengandung pembuluh darah dan sangat permeable terhadap gas. Cacing tanah, lintah dan larva sebagian besar ikan memiliki kulit yang mendukung difusi oksigen meskipun seluruh kebutuhan metabolisme terpenuhi. Namun pada hewan yang lebih besar seperti ampfibi dan ikan juga menggunakan respirasi kulit sesekali atau terus menerus sebagai tambahan pada alat pernafasan paru-paru atau insang.

Respirasi kulit terjadi hanya pada kulit tipis, mengandung banyak pembuluh darah dan lembab sepanjang waktu. Namun banyak hewan dengan kulit tipis lebih rentan terhadap predasi. Respirasi kulit terjadi pada kelompok udang (*crustacea*) kecil yang proses kitinisasinya tidak terlalu kuat.

B. INSANG (*GILL*)

Insang merupakan organ pernafasan pada hewan yang hidup di perairan. Insang dimiliki oleh invertebrate dan vertebrata. Berdasarkan strukturnya, insang ada dua tipe yaitu insang filamen yang berada di luar dan insang lamela berada di dalam(Gambar 3.2). Kedua macam insang tersebut dimiliki oleh kelompok ikan teleostei (ikan bertulang keras). Sedangkan beberapa kelompok ikan (elasmobranchia dan dipnoi) dan kecebong hanya memiliki insang filamen pada tahap larva, dan sebagian besar hewan akuatik memiliki insang lamela.

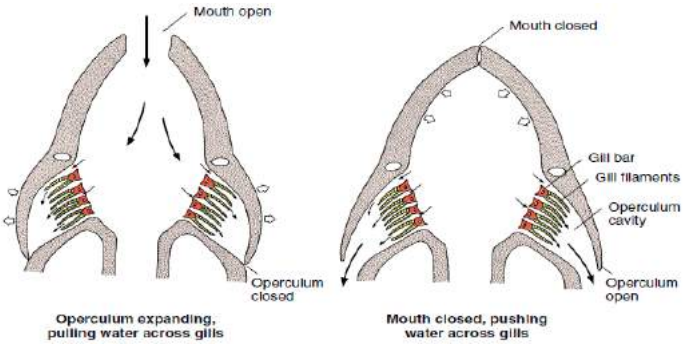


Gambar 3.2. Daerah pernafasan yang berisi insang, terdiri dari empat lengkung insang, setiap insang mengandung banyak filamen (A). Satu lengkung insang terdiri dari *gill rakers* (penyaring) yang berperan untuk menekan keluar benda-benda yang tidak digunakan oleh tubuh (debris), dan *gill filament* berperan mendorong debris keluar (B). Satu filamen dipotong untuk mengetahui saluran pembuluh darah dalam (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 527).

Insang merupakan struktur berfilamen tipis yang kaya akan pembuluh darah dan memiliki susunan aliran darah berlawanan arah dengan aliran air yang melintasi insang (*cuntercurent flow*). Kondisi demikian memungkinkan terjadinya pengambilan oksigen se banyak mungkin dari air. Beberapa ikan bertulang, dapat mengekstraksi 85% oksigen dari air yang melewati insang. Aliran air yang melewati insang didorong dan ditarik oleh pompa insang dan dibantu oleh gerakan ikan dalam air. Bagian tubuh ikan yang berperan dalam memompa air menuju insang adalah mulut dan operculum.

Siklus pemompaan dimulai dengan terbukanya mulut ikan menyebabkan air masuk sehingga ada sedikit tekanan negative dalam rongga mulut maupun rongga insang. Ketika mulut ditutup, tekanan dalam rongga mulut meningkat (menjadi positif), air didorong masuk rongga insang dan selanjutnya mendorong operculum dan air keluar dari rongga insang. Tekanan dalam rongga mulut dan

rongga insang menjadi kecil daripada tekanan air diluar tubuh, sehingga operculum menutup kembali. Untuk memulai siklus pemompaan mulut dibuka lagi, begitu seterusnya (Gambar 3.3).



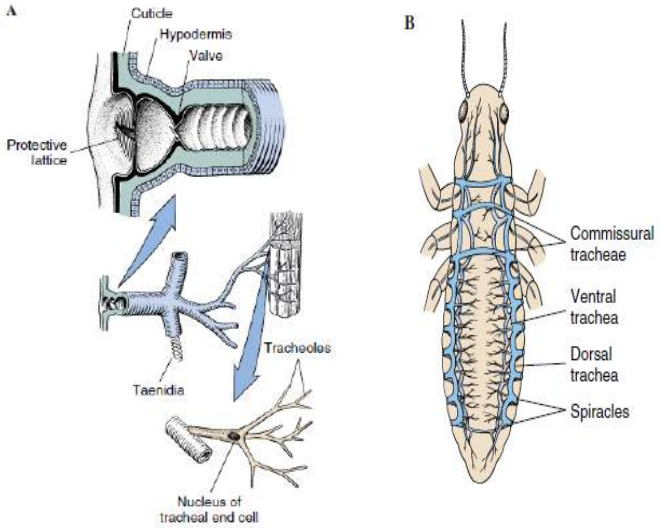
Gambar 3.3. *Ram Ventilation*: melalui dua pompa otot rangka yaitu satu berada di rongga mulut dan yang kedua berada di rongga operculum, dimana air ditarik ke dalam mulut melewati insang dan keluar melalui celah operculum. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001:697).

Untuk menjaga supaya konsentrasi oksigen tetap stabil, maka aliran air disekitar insang harus ada. Aliran air disekitar insang dapat ditingkatkan dengan dua cara yaitu pertama, selalu menggerakkan insang didalam air. Kedua, menggerakkan air kearah insang. Pada beberapa jenis ikan yang sangat aktif, ketika berenang cepat mereka terus berusaha membuka mulut dan operculum supaya insang dilewati banyak air dan memperoleh oksigen sebanyak mungkin. Proses demikian disebut dengan *ram ventilation*. Ikan yang seperti itu akan mengalami sesak nafas jika diletakkan ditempat yang sempit seperti aquarium, yang membatasi gerakan berenang bahkan jika airnya jenuh dengan oksigen.

C. TRAKEA (TRAKHEA)

Modifikasi struktur respirasi terjadi akibat perubahan habitat dari perairan (akuatik) ke habitat darat (terestial). Arthropoda darat khususnya insekta, memiliki system pernafasan yang sebanding dengan system paru-paru yang sangat berkembang. Sistem trakea memiliki dua fungsi yaitu membawa udara ke tubuh dan mendistribusikannya ke dalam sel. Olehkarena itu tidak diperlukan system transportasi lain.

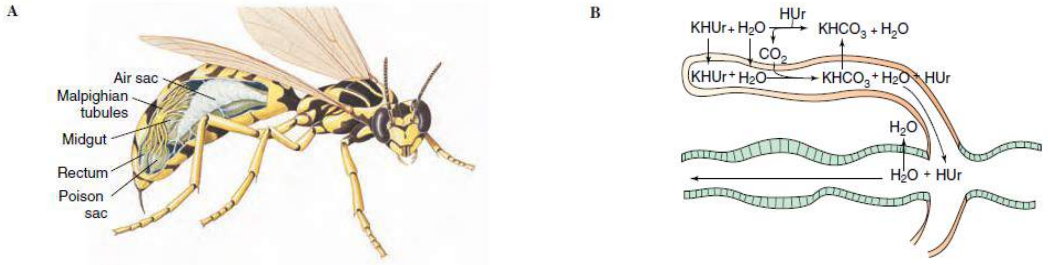
Tabung trakea merupakan derivate turunan ektoderm yang berkembang sebagai invaginasi (lekukan) dari dinding tubuh dan lubang spirakel eksterior. Spirakel/spiral merupakan lubang kutikula (pada integumen) yang menghubungkan trakea dan lingkungan. Pada umumnya spirakel dilengkapi dengan mekanisme membuka dan menutupnya katup yang dapat mengurangi kehilangan air pada serangga. Selain itu, spirakel juga berfungsi sebagai penyaring debu maupun parasit masuk. Trakea memiliki spiral kutikula, membentuk lapisan, sehingga tabung dapat mengembang ketika penuh dengan udara. Spiral kutikula yang mengalami penebalan (disebut taenida) yang berfungsi mencegah kerusakan. Trakea bercabang menjadi tabung lebih kecil dan sangat halus yang disebut trakeol. Cabang yang sangat halus tersebut dapat menembus ke dalam sel-sel tubuh hingga berdekatan dengan mitokondria (Gambar 3.4). Trakeol ini merupakan unit fisiologis penting dari pertukaran gas dan system transportasi yang efisien tanpa menggunakan pigmen pembawa oksigen pada hemolimfa.



Gambar 3.4.
A. Hubungan spiral, trakea, taenidia (pita *chitinous* yang menguatkan trakea) dan trakeol (diagram).
B. Generalisasi pengaturan system trakea serangga (diagram). Kantung udara dan trakeol tidak ditampilkan. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 422).

Sistem trakea tanpa taenida juga berfungsi sebagai kantong udara (Gambar 3.5). Pada sebagian besar serangga, kantong udara dapat meningkatkan volume udara inspirasi dan ekspirasi. Gerakan otot perut menarik udara ke dalam trakea dan memperluas kantong yang mengempis saat ekspirasi. Pada beberapa serangga, seperti belalang, terdapat pompa dengan menembus bagian perut,

memompa dengan protorax, atau menyodorkan kepala ke depan dan kebelakang. Pada beberapa serangga, kantung udara memiliki fungsi selain pernafasan. Misalnya mamungkinkan organ dalam untuk merubah volume selama pertumbuhan tanpa merubah bentuk serangga dan mengurangi bobot serangga besar.



Gambar 3.5. Tubulus Malpigi Serangga.

A. Tubulus malpigi serangga terletak pada persimpangan midgut dan hindgut (rektum) seperti yang ditunjukkan pada tampilan potongan tawon.

B. Fungsi tubulus malpigi. Bahan terlarut khususnya kalium, secara aktif disekresikan ke tubulus atas. Air dan kalium asam urat (KHUr) mengikuti. Kalium diserap kembali di tubulus bawah dan air serta zat terlarut lainnya diserap di rectum. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 423).

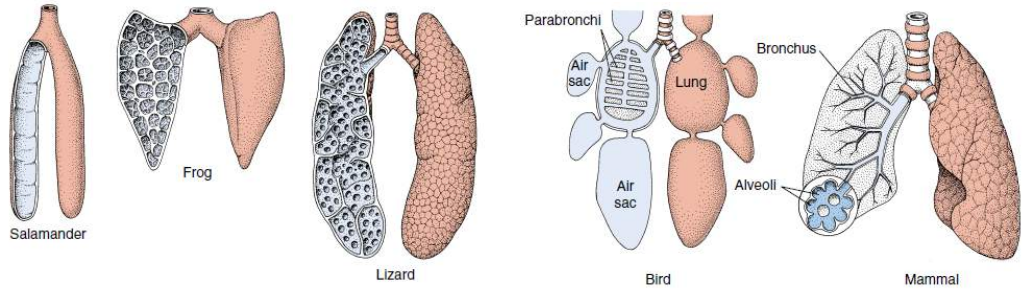
Pada serangga yang sangat kecil, gas transporatasi terjadi seluruhnya melalui difusi sepanjang gradient konsentrasi. Konsumsi oksigen menyebabkan penurunan tekanan pada trakea yang menghisap udara melalui spirakel. Sistem trakea merupakan adaptasi untuk menghirup udara, khususnya pada sebagian besar serangga (nimfa, larva dan serangga dewasa) yang tinggal di perairan. Pada sebagian kecil, nimfa akuatik berbadan halus, pertukaran gas terjadi melalui difusi pada dinding tubuh, biasanya masuk dan keluar dari jaringan trakea tepat di bawah integument. Nimfa akuatik dari *stoneflies* dan *mayflies* (capung) memiliki insang trakea yang merupakan perluasan tipis dari dinding tubuh yang kaya akan trakea. Insang nimfa capung berada pada daerah rectum (*rectal gills*) dimana pertukaran gas terjadi saat air masuk dan keluar.

D. PARU-PARU (PULMO)

Paru-paru (pulmo) merupakan alat pernafasan pada hewan yang hidup di darat. Pulmo vertebrata pertama kali berkembang yaitu pada kelmpok Amphibi dewasa dan strukturnya masih sangat sederhana, yang berupa kantong tipis

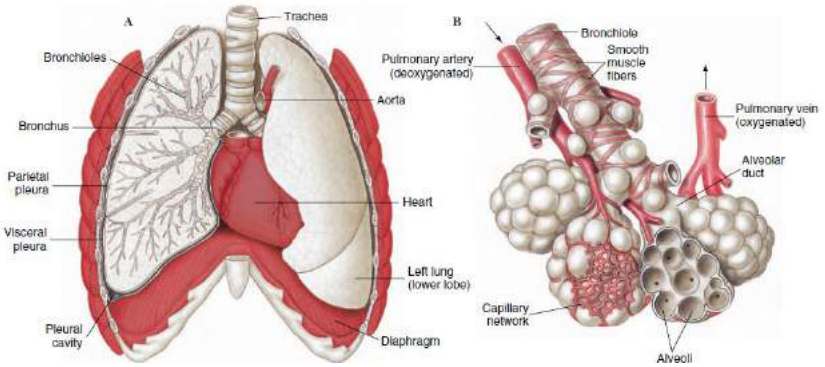
dengan sedikit lipatan-lipatan ada dinding dalamnya, tidak ada saluran paru-paru (trakhea)seperti halnya vertebrata yang lebiih tinggi karena amphibi belm memiliki leher yang nyata sehingga pulmo terletak dekat dengan lingkungan luar. Pulmo dengan luar tubuh berhubungan melalui celah yang disebut *rima glottidis*, merupakan bagian laring dan terletak didalam rongga mulut dekat faring. Kesederhanaan struktur inilah yang menyebabkan katak masih menggunakan kulit sebagai alat bantu respirasi.

Pada reptilian, pulmo terbentuk dengan sekat-sekat pemisah yang tumbuh sebagai lipatan-lipatan pada dinding dalam untuk memperluas pemukaan repirasi. Sedangkan pada aves, pulmo relatif kecil dan dan melekat pada costa dan vertebrae thoracalis sehingga hanya mampu mengembang sedikit. Untuk keperluan terbang, bronkus pada burung dimodifikasi membentuk kantong-kantong udara (*saccus pneumaticus*) yang terletak diantara alat-alat *viscera* (Gambar 3.6). Dengan menambah atau mengurangi volume udara dalam kantong-kantong udara, maka burung dapat mengatur tinggi rendahnya terbang.



Gambar 3.6. Struktur internal paru-paru pada kelompok vertebrata. Umumnya pada tren evolusi, paru-paru berasal dari kantung sederhana dengan sedikit pertukaran antara darah dan udara menuju struktur lobus kompleks masing-masing dengan divisi kompleks dan permukaan pertukaran yang luas. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 698).

Pada mamalia, struktur pulmo lebih kompleks terdiri dari beberapa lobi. Bronkus pada mamalia bercabang-cabang menjadi saluran-saluran yang lebih kecil yang disebut bronkeolus, lalu bercabang lagi menjadi alveolus yaitu kantong udara berongga dan berbentuk mangkok serta berdinding tipis yang selalu basah dan kaya akan pembuluh darah. Disinilah tempat terjadinya pertukaran gas O_2 dan CO_2 (Gambar 3.7).



Gambar 3.7.
A. Paru-paru manusia yang ditunjukkan pada paru-paru kanan.
B. Bagian terminal bronkeolus yang menunjukkan kantong udara dengan suplei darahnya. Panah menunjukkan arah aliran darah. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 698).

Pada mamalia akuatik (seperti ikan paus dan lumba-lumba), alat respirasinya tetap menggunakan pulmo namun trakea tersekat-sekat untuk mencegah kemungkinan masuknya air ke dalam paru-paru. Biasanya ketika menarik nafas, air ikut mengalir masuk tetapi akan berhenti sampai sekat pertama kemudian air tersebut akan disemprotkan ke luar lagi. Kadar O_2 dalam air memang lebih kecil daripada di udara. Untuk menambah kebutuhan oksigen mamal akuatik ini menyimpan oksigen pada otot dalam bentuk ikatan mioglobin. Mioglobin akan membebaskan oksigennya bila lingkungan kekurangan oksigen, misalnya bila menyelam jauh dari permukaan air. Mamal akuatik yang masih muda biasanya berada dekat permukaan air supaya lebih mudah memperoleh oksigen di udara dan selain itu kandungan mioglobin dalam otot masih sedikit.

Konsumsi oksigen setiap hewan berbeda-beda tergantung dari luas permukaan alveolusnya (Tabel 3.1). Semakin luas permukaan alveolus maka respirasi semakin efisien, yang berarti kebutuhan oksigen lebih terpenuhi sesuai dengan kebutuhan.

Tabel 3.1. Konsumsi O_2 pada Berbagai Vertebrata (Sumber: Suntoro dan Tanjung, 1996: 217)

Nama Hewan	**Kebutuhan O_2 (ml/kg/jam)**	**Luas Paru-Paru atau insang (Cm^2/gm)**	**Kapasitas Darah Mengangkut O_2 (Volume %)**
Manusia	330	7	20
Mencit	2500-20.000	54	17
Burung Gereja	6700	-	16
Katak	150	2,5	10
Ikan (Dogfish)	54,5	18,6	5

Mekanisme Pernafasan pada Mamalia/Manusia

Rongga dada merupakan rongga yang tertutup dan diperkuat oleh tulang-tulang rusuk serta teroisahkan dari rongga perut oleh diafragma. Paru-paru merupakan struktur elastis dan berada di dalam rongga dada. Permukaan luar paru-paru dibatasi oleh lapisan pleura visceralis, sedangkan dinding dada sebelah dalam dibatasi oleh pleura parietalis. Olehkarena itupembatas pleura membentuk rongga pleura yang berisi cairan intra intrapleura. Tekanan di dalam rongga pleura lebih rendah daripada tekanan udara luar yaitu sebesar 4 mmHg, tekanan ini disebut *tekanan intrapleura.* Hal ini dikarenakan pada perkembangan awal mamalia, paru-paru mengisi penuh rongga dada, tetapi dalam perkembangan selanjutnya volume rongga dada meningkat lebih besar dari volume paru-paru. Dengan demikian paru-paru dapat leluasa didalam rongga dada, disebabkan sifat elastic yang dimilikinya dan tekanan intrapleura yang besarnya 3-4 mm lebih rendah dari tekanan udara luar.

Adapun mekanisme pernafasan pada mamalia/manusia terdiri atas inspirasi dan ekspirasi.

a. Inspirasi

Inspirasi merupakan proses masuknya udara ke dalam paru-paru. Selama inspirasi, volume rongga dada membesar tetapi tekanannya lebih kecil dan diafragma bergerak sehingga 75% volume rongga dada berubah, selama inspirasi biasa. Pada manusia diafragma bergerak turun 1,5cm dan sekitar 500ml udara dihirup. Otot-otot respirasi utama yang ikut berperan dalam inspirasi adalah otot-otot antar tulang rusuk eksterna, yang memanjang miring, turun naik dari rusuk ke rusuk.

Jika otot-otot antar rusuk eksternal berkontraksi, maka rusuk-rusuk yang lebih bawah terangkat. Hal ini menyebabkan dada naik dan menekan tulang dada (sternum) naik ke atas, sehingga meningkatkan diameter rongga dada antero posterior. Diameter vertical juga meningkat disebabkan penurunan diafragma. Selama inspirasi, tekanan intrapleura (rongga dada) menurun 6 mm Hg dan penurunan ini diikuti oleh penurunan tekanan didalam paru-paru.

b. Ekspirasi

Ekspirasi merupakan proses keluarnya udara dari paru-paru. Saat ekspirasi, rongga dada menurun/mengecil, tulang rusuk tertarik ke bawah sehingga meningkatkan tekanan rongga perut yang menekan diafragma keatas/naik. Peristiwa ini menyebabkan tekanan didalam paru-paru meningkat sehingga udara keluar dari paru-paru sampai tekanan udara didalam paru-paru kembali sama dengan tekanan luar (tekanan atmosfer).

Regulasi Pernafasan

Makhluk hidup melakukan pernafasan secara terus menerus untuk melangsungkan kehidupannya. Hal ini dapat terlaksana karena dikendalikan oleh saraf yaitu medulla oblongata. Dimana kerja dari medulla oblongata ini dipengaruhi oleh korteks otak, pons varolli, nervus vagus, suhu dan zat kimia antara lain karbondioksida (CO_2), Oksigen (O_2) dan PH.

1) Korteks otak

   Korteks otak dapat meningkatkan atau menurunkan laju pernafasan

2) Pons Varolli

   Didalam pons varolli terdapat pusat pneumotaksis yang menggiatkan pusat inspirasi dan menghasilkan inhibisi yang sifatnya periodic.

3) Nervus Vagus

   Impuls-impuls yang disebabkan rangsang listrik melalui saraf vagus dapat menghalangi pusat pernafasan dan pernafasan menjadi terhenti.

4) Suhu

   Suhu tinggi dapat meningkatkan respirasi

5) CO_2

   Jika kadar CO_2 dalam darah berlebihan maka dapat meningkatkan laju dan kedalaman respirasi.

6) O_2

7) Jika kadar O_2 dalam darah rendah, maka dapat meningkatkan laju dan kedalaman respirasi.

E. UJI KOMPETENSI

1. Apa yang dimaksud dengan pernafasan?
2. Jelaskan struktur trachea beserta fungsinya!
3. Jelaskan mekanisme fisiologi pernafasan pada mamalia!
4. Bagaimanakah mamalia akuatik melakukan pernafasan dengan paru-paru selama berada di laut lepas?
5. Medulla oblongata merupakan saraf yang mengendalikan pernafasan. Jelaskan beberapa hal yang dapat mempengaruhi kerja medula oblongata

MATERI 4
SISTEM PENCERNAAN

Indikator Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan pengertian pencernaan
2. Mampu menjelaskan struktur pencernaan
3. Mampu menjelaskan fungsi masing-masing organ pencernaan
4. Mampu menjelaskan fisiologi pencernaan

A. STRUKTUR DAN FUNGSI SISTEM PENCERNAAN

Sistem pencernaan merupakan sekumpulan organ yang berfungsi melakukan proses pencernaan. Pencernaan itu sendiri memiliki arti sebagai suatu proses merubah bahan makanan kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana secara mekanik dan secara kimia oleh enzim didalam tubuh yang dimulai dari mulut hingga proses penyerapan oleh pembuluh darah serta pembuangan sisanya melalui anus.

Sebagian kecil hewan dapat menyerap makanan secara langsung dari lingkungan. Kecuali beberap hewan yang parasit darah,protozoa usus tertentu yang parasit, cacing pita dan *acantocdephalans* yang memberi makan diri mereka sendiri dengan menyerap molekul organic primer secara langsung melalui permukaan tubuh mereka. Sebagian besar hewan harus memproses makanan terlebih dahulu untuk menyerapnya. Hewan tersebut adalah hewan yang memiliki banyak spesialisasi untuk mendapatkan makanan. Sehingga pengadaan makanan menjadi salah satu penggerak kuat dalam evolusi hewan, dimana seleksi alam merupakan prioritas tinggi pada adaptasi untuk mengeksploitasi sumber-sumber makanan baru dan cara menangkap makanan serta asupan.

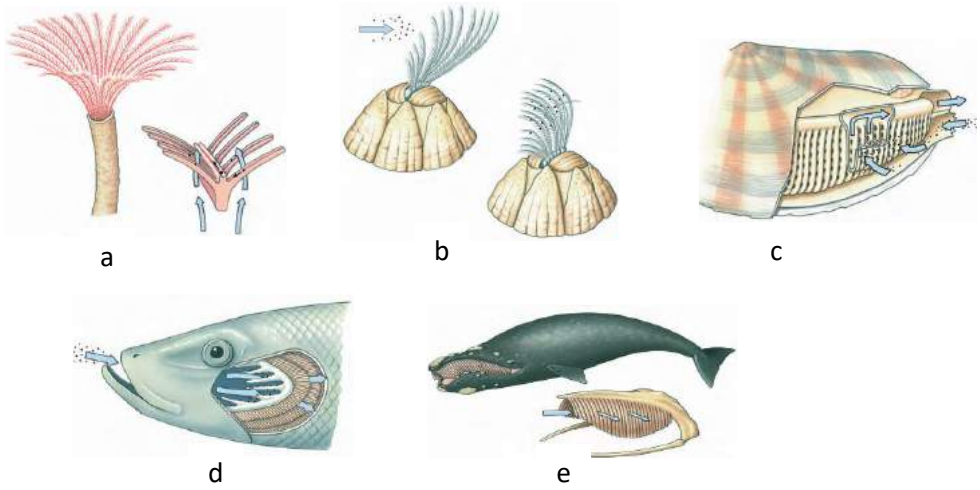
Adaptasi Hewan untuk Mendapatkan Makanan

Pemakan partikulat

Partikel mikroskopis melayang ditemukan 100 meter diatas permukaan laut. Partikel mikroskopis yang dimaksud adalah plankton, organism yang sangat kecil dan hanyut mengikuti arus air. Sisanya adalah debris yang menghancurkan

sisa tanaman dan hewan mati. Plankton hidup bergerombol di lautan secara tidak merata, pertumbuhan plankton paling banyak ada pada muara dan daerah *upwilling* yang memiliki banyak nutrisi. Plankton dikonsumsi oleh sejumlah besar hewan, invertebrate dan vertebrata dengan mekanisme makan yang bervariasi.

Salah satu yang paling penting dan metode yang banyak digunakan untuk memberi makanan adalah pemberian makan suspensi (*suspension feeding*). Mayoritas pemakan suspensi (*suspension feeders*) menggunakan permukaan bersilia untuk menghasilkan arus yang menarik partikel makanan yang melayang ke dalam mulut mereka. Sebagian besar *suspension feeding* adalah invertebrata, seperti kelas *polychaeta*, *mollusca*, *hemicordata*, dan sebagian besar *protocordata* menangkap partikel makanan pada lembaran berlendir yang membawa makanan menuju saluran pencernaan. Hewan lainnya seperti udang peri, kutu air, dan remis melakukan gerakan menyapu pada kaki berambutnya (*setae*) untuk menciptakan arus air dan memasukkan makanan ke mulut. Di air tawar, pada tahap perkembangan serangga tertentu, organisme menggunakan *setae* yang tersusun seperti kipas atau memutar jaring sutra untuk menjebak makanan.



Gambar 4.1 Mekanisme makan pada hewan dengan menggunakan *filter feeding*: a) class *polychaeta fillum Annelida*, b) Class Malacostraca, subphylum Crustacea, phylum Arthropoda, c) class bivalvia fillum mollusca, d) class Osteichthyes, phylum Chordata, e) Paus, class Mammalia, phylum Chordata.
(Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 708).

Salah satu bentuk pemakan suspense adalah *filter feeding* (penyaring makanan). Misalnya semua jenis *microcrustacea*, ikan-ikan kecil, hiu penjemur,

burung Flamingo dan hewan besar seperti paus (Gambar 4.1). Sumber nutrisi utama pada kelompok hewan tersebut adalah diatom, salah satu komponen plankton.

Bentuk lain pemakan suspense adalah *deposite feeding* (pengumpul makanan). *Deposite* feeding menyerap endapan organic yang terurai (detritus) yang terakumulasi di atas dan didalam substrat. Hewan yang tergolong kelompok ini antara lain annelida dan beberapa *hemicordata*, mereka cukup melewati substrat melalui tubuhnya lalu menyerapnya sebagai makanan. Hewan lain seperti *mollusca Schaphopoda*, *mollusca bivalvia* tertentu, dan beberapa cacing *polychaeta* tertentu menggunakan anggota tubuhnya untuk mengumpulkan endapan organic (detritus) agak jauh dari tubuh dan menggerakkannya kearah mulut (Gambar 4.2).

Gambar 4.2 Annelida sebagai *deposit feeder*. Makanan yang terperangkap pada lendir disalurkan sepanjang tentakel menuju mulut. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 709).

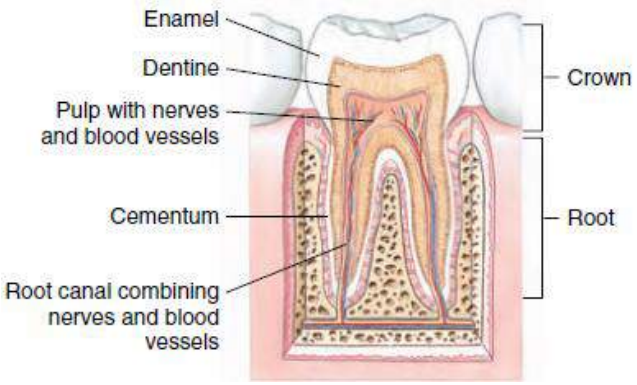
Pemakan makanan berat

Adaptasi dari hewan yang paling menarik adalah mereka berevolusi untuk pengadaan dan manipulasi makanan padat. Mereka terbentuk sesuai dengan apa yang mereka makan. Predator harus dapat menemukan, menangkap, menahan dan menelan mangsa. Sebagian besar karnivora hanya mengambil makanan dan menelannya utuh, meskipun beberapa menggunakan racun yang melumpuhkan atau membunuh mangsa pada saat ditangkap. Meskipun bukan gigi asli muncul diantara invertebrate, banyak yang memiliki paruh atau struktur seperti gigi untuk menggigit dan memegang. Misalnya Nereis yang merupakan polychaeta karnivora memiliki otot faring dengan rahang *chitinous* yang dapat dibalik dengan kecepatan tinggi untuk merebut mangsanya. Setelah penangkapan dilakukan, faring ditarik dan mangsa ditelan. Ikan, amfibi dan reptile menggunakan gigi

terutama untuk mencengkeram mangsa dan mencegah pelariannya sampai mereka bisa menelannya secara utuh. Ular dan ikan lainnya bisa menelan makanan yang sangat banyak. Mencengkeram mangsa, bersama dengan tidak adanya anggota badan, dikaitkan dengan beberapa adaptasi makanan yang mencolok pada kelompok ini: gigi bengkok, untuk merebut dan memegang mangsa dan rahang dan perut menggelembung untuk mengakomodasi makanan mereka yang besar dan jarang. Burung tidak memiliki gigi, tetapi paruh mereka dilengkapi dengan gerigi atau paruh bagian atas bengkok untuk merebut dan merobek mangsa.

Banyak invertebrate mengurangi ukuran makanan dengan merobek mangsa/*devices*. Serangga memiliki tiga pasang pelengkap pada kepalanya yang berfungsi sebagai rahang, gigi berkitin, pahat, lidah atau tabung penghisap. Biasanya pasangan pertama berfungsi sebagai gigi penghancur, kedua sebagai rahang penggenggam, ketiga sebagai lidah pemeriksa dan perasa.

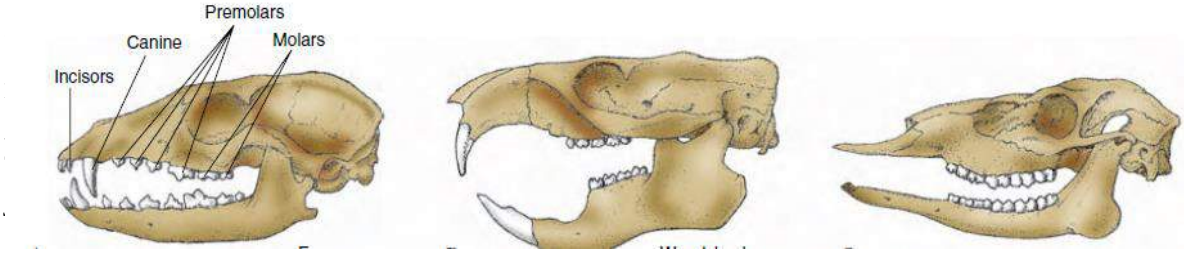
Pengunyah sejati, mengunyah makanan yang berkebalikan dengan merobek dan menghancurkan, hanya ditemukan pada mamalia. Mamalia memiliki 4 jenis gigi berbeda yang disesuaikan dengan fungsinya. Gigi seri dirancang untuk menggigit, memotong dan mengupas. Gigi taring untuk menangkap, menusuk dan merobek, gigi geraham depan dan geraham belakang untuk menggiling dan menghancurkan (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Struktur gigi molar manusia. Gigi tersusun dari tiga lapisan tulang terkalsifikasi meliputi: enamel mengandung 98% mineral dan paling keras, dentin yang menyusun massa gigi sekitar 75% mineral, dan sementum (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 710).

Pola dasar ini dimodifikasi pada hewan yang memiliki kebiasaan makan khusus (Gambar 4.4). Herbivor menekan gigi taring tetapi geraham berkembang baik

dengan bagian enamel untuk menggiling. Gigi seri hewan pengerat berkembang



a b c

Gambar 4.4 a) Gigi rubah abu-abu, karnivora menunjukkan 4 jenis gigi. b) woodchuck, seekor hewan pengerat memiliki gigi seri seperti pahat yang terus tumbuh sepanjang hidup untuk mengganti keausan. c) Rusa berekor putih, seekor ungulate penjelajah dengan geraham datar yang memiliki tonjolan kompleks yang cocok untuk menggiling (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 710).

Herbivora, atau hewan pemakan tumbuhan merupakan hewan yang pencernaannya berkembang khusus untuk memotong dan menghancurkan tanaman. Beberapa invertebrate memiliki mulut penggores seperti radula siput. Serangga seperti belalang, memiliki penggilingan dan pemotongan mandibula. Mamalia, herbivore seperti kuda dan ternak menggunakan geraham yang luas dan bergelombang untuk menggiling. Semua mekanisme ini menghancurkan ketangguhan dinding sel selulosa untuk mempercepat pencernaan oleh mikroorganisme usus, serta untuk melepaskan isi sel selama pemecahan enzimatik berlangsung. Dengan demikian herbivore dapat mencerna makanan yang tidak bisa dimakan karnivora, dan dalam melakukannya, mengubah bahan tanaman menjadi protein untuk dikonsumsi oleh karnivoran dan omnivore.

Pemakan cairan

Pemakan cairan merupakan karakter khas dari parasit, tetapi digunakan juga oleh sebagian besar yang hidup bebas. Beberapa parasit internal (endoparasit) menyerap nutrisi disekitarnya secara sederhana, yang disediakan oleh inang. Yang lain menggigit dan menggerogoti jaringan inang, menghisap darah, dan memakan isinya dari usus inang. Parasit eksternal (ektoparasit), seperti lintah, lamprey, krustasea, dan serangga menggunakan berbagai macam penusukan yang efisien dan mulut pengisap untuk menyerap darah atau cairan tubuh lainnya. Ada banyak arthropoda yang mengisap cairan, misalnya kutu, nyamuk, kutu pengisap, kutu busuk, dan tungau serta beberapa yang membahayakan manusia dan inang

vertebrata lainnya. Hewan tersebut banyak menjadi vector penyakit serius manusia dan lebih dari itu menjadi pengganggu.

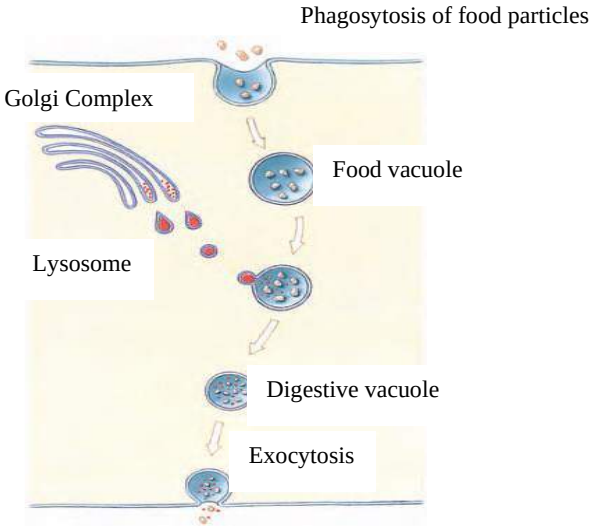
Nyamuk merupakan hewan utama yang memiliki kebiasaan dalam mengisap darah manusia dan hewan berdarah lainnya. Nyamuk dengan lembut hinggap pada tubuh mangsa, kemudian menusuknya dengan mulut yang tersusun seperti 6 jarum. Salah satunya digunakan untuk menyuntikkan antikoagulan air liur (menimbulkan rasa gatal yang mengganggu saat menggigit dan berfungsi sebagai vector untuk mikroorganisme penyebab malaria, demam kuning, ensefalitis, dan penyakit lainnya); mulut lainnya yaitu saluran yang digunakan untuk menyalurkan darah yang dihisap. Hal itu sangat berguna bagi nyamuk betina untuk mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan untuk pembentukan telurnnya.

Pencernaan

Setiap hewan merakit kembali dari beberapa yang dicerna dan unit yang diserap menjadi senyawa organic yang sesuai dengan kebutuhan hewan itu sendiri. Pencernaan (digesti) memiliki dua tipe yaitu digesti intraseluler dan ekstraseluler.

1. Digesti Intraseluler

Digesti intraseluler ini ditemui pada protozoa, porifera dan coelenterata. Bahan makanan memasuki sel secara pinositosis atau fagositosis, yang membutuhkan energy. Fagositosis terjadi jika suatu molekul atau partikel kecil menempel pada permukaan sel dan membrane sel dibawahnya mengalami *invaginasi* membentuk saluran endositotik. Partikel-partikel ditelan masuk ke dalam vesikel yang terbentuk di dasar saluran. Vesikle yang terisi penuh dengan makanan (disebut vakuola makanan). Badan golgi di dalam sel memproduksi lisosom yang mengandung enzim pencernaan (lisozim). Lisosom menyatu dengan vakuola makanan dan melepaskan enzim yang mencerna makanan dengan melingkupinya. Hasil pencernaan berupa gula sederahana, asam amino dan molekul lainnya diserap ke dalam sitoplasma sel. Sedangkan limbah yang tidak dapat dicerna akan dibebaskan dengan memecah membrane. Sisa makanan tersebut dikeluarkan melalui anus sel (anal pore) secara eksositosis (Gambar 4.5).



Gambar 4.5. Pencernaan intraseluler. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 711).

Batasan terjadinya pencernaan intraseluler yaitu hanya partikel kecil yang dapat difagosit, diterima dan setiap sel harus mampu mengeluarkan semua enzim yang diperlukan dan menyerap produk ke dalam sitoplasma. Pada pencernaan ekstraseluler tertentu, sel-sel yang melapisi rongga saluran pencernaan terspesialisasi membentuk berbagai secret pencernaan, sedangkan sebagian besar lainnya, atau seluruhnya berfungsi sebagai penyerapan. Banyak metazoa yang lebih sederhana seperti radiate, cacing pipih turbelaria, dan cacing pita (nemerteans) menggunakan kedua pencernaan yaitu intraseluler dan ekstraseluler.

2. Digesti Ekstraseluler

Pencernaan ekstraseluler dilakukan oleh hewan yang memiliki system pencernaan lengkap dari mulut hingga anus, dan adanya spesialisasi daerah saluran pencernaan. Untuk arthropoda dan vertebrata, hampir seluruhnya pencernaan ekstraseluler. Makanan yang masuk melalui mulut dicerna secara mekanik, kimiawi dan mendapat perlakuan bakteri pada berbagai fase asam dan basa dan pada pencernaan ditambahkan asam lambung sesuai tahapan saat melewati saluran pencernaan.

B. FISIOLOGI PENCERNAAN

Kerja Enzim Pencernaan

Proses mekanik berupa pemotongan dan penggilingan dengan gigi serta pencampuran yang dilakukan otot pada saluran usus merupakan proses penting dalam pncernaan. Namun pemecahan makanan menjadi unit kecil yang dapat diserap pada prinsipnya tergantung pada kerusakan kimia oleh enzim. Enzim pencernaan antara lain enzim hidrolitik atau hidrolase, disebut demikian karena molekul makanan dipisahkan oleh proses hidrolisis, pemutusan ikatan kimia dengan menambahkan komponen air diatasnya:

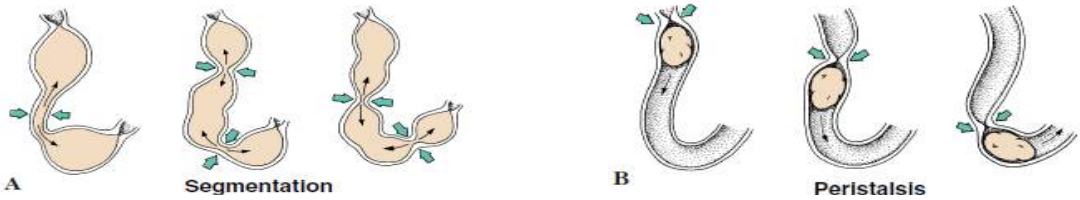
$$R\text{-}R + H_2O \xrightarrow{\text{digestive enzym}} R\text{-}OH + H\text{-}R$$

Dalam reaksi enzimatik umum ini, R-R mewakili molekul makanan yang dipecah menjadi dua produk, R-OH dan R-H. Biasanya produk dari reaksi ini selanjutnya harus dibagi berulangkali sebelum molekul aslinya direduksi menjadi sejumlah subunit-subunit. Misalnya, Proteins,terdiri dari ratusan atau bahkan ribuan asam amino yang saling terkait, yang harus benar-benar dipisahkan sebelum asam amino dapat diserap. Demikian pula karbohidrat, harus direduksi menjadi gula sederhana. Lemak (lipid) direduksi menjadi molekul gliserol, asam lemak, dan monogliserida, meskipun beberapa lemak berbeda dengan protein dan karbohidrat , nemun dapat diserap tanpa terlebih dahulu terhidrolisis secara sempurna. Ada enzim spesifik untuk setiap senyawa organic. Enzim-enzim tersebut terletak didaerah tertentu pada saluran pencernaan dalam sebuah”rantai enzim”, dimana enzim dapat memulai menyelesaikannya. Hasilnya kemudian bereaksi untuk melakukan hidrolisis.

Motilitas dalam Saluran Pencernaan

Makanna dipindahkan melalui saluran pencernaan oleh silia atau otot-otot khusus, dan sering dilakukan oleh keduanya. Gerakan biasanya dilakukan oleh silia pada aselomata dan metazoan pseudoselomata yang tidak memiliki otot usus yang berasal dari mesodermal selomata sejati. Silia menggerakan cairan usus dan juga beberapa bahan aselomata, seperti kebanyakan moluska, selom kurang berkembang. Pada hewan dengan selom yang berkembang baik, usus biasanya dilapisi dengan dua lapisan otot polos yang berlawanan:1) lapisan memanjang,

dimana lapisan halus serat otot berjalan sejajar dengan panjangnya usus, dan lapisan melingkar, dimana serat otot mengelilingi lingkar usus. Yang paling khas gerakan usus adalah segmentasi, kontraksi bergantian dari cincin otot usus halus yang terus menerus meremas dan memeras isinya berulang dan seterusnya. Jenis lain dari tindakan otot adalah peristaltik, yaitu menyapu makanan ke bawah usus dengan gelombang kontraksi dari otot melingkar (Gambar 4.6).



Gambar 4.6 A. Pergerakan isi usus dengan : A, segmentasi, yaitu gerakan kontraksi memeras makanan bolak-balik, mencampurnya dengan enzim. Gerakan mencampur berurutan terjadi pada interval sekitar 1 detik. B, Gerakan peristaltic, menunjukkan bagaimana makanan didorong maju oleh gelombang kontraksi yang berjalan. (Sumber: Hickman, *at all*. 2001: 712)

Daerah Penerima

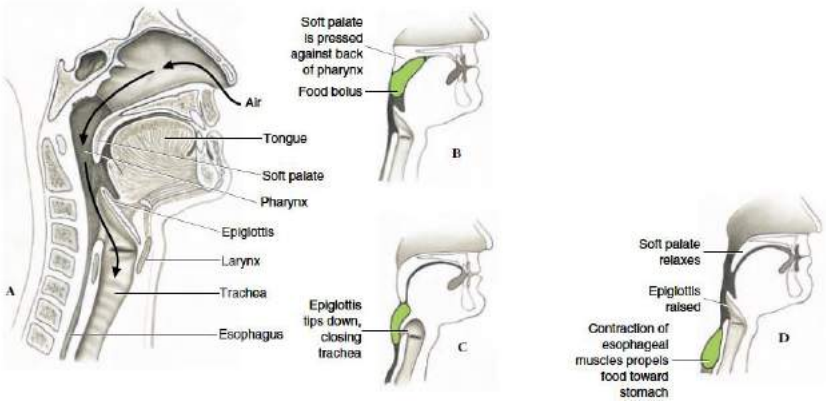
Daerah saluran pencernaan yang pertama terdiri dari perangkat untuk memakan dan menelan. Antara lain mulut (misalnya, mandibula, rahang, gigi, radula, paruh), rongga bukal dan otot tekak. Kebanyakan metazoan selain pemakan suspense memiliki kelenjar air liur (kelenjar bukal) yang menghasilkan sekret pelumas yang mengandung mucus untuk membantu menelan. Kelenjar ludah sering memiliki fungsi spesialisasi lain seperti sekresi enzim beracun untuk melawan dan menang dari mangsa serta sekresi enzim saliva untuk memulai pencernaan. Sekresi saliva lintah misalnya, merupakan campuran kompleks yang mengandung substansi anastesi (membuat gigitannya hampir merasa tanpa rasa sakit) dan beberapa enzim mencegah pembekuan darah serta meningkatkan aliran darah dengan melebarkan pembuluh darah dan melarutkan jaringan semen yang mengikat sel bersama.

Saliva amylase adalah enzim pemecah karbohidrat yang memulai hidrolisis dari pati tumbuhan dan hewan. Hal ini hanya ditemukan pada moluska herbivore tertentu, beberapa serangga, dan pada mamalia primata, termasuk manusia. Pati/tepung merupakan polimer glukosa panjang. Saliva amylase tidak menghidrolisis pati secara sempurna, tetapi memecahnya sebagian besar menjadi

dua fragmen glukosa yang disebut maltosa. Beberapa glukosa bebas dan fragmen yang lebih panjang dari pati juga diproduksi. Ketika makanan berat (bolus) ditelan, saliva amylase terus bekerja untuk beberapa waktu. Mencerna sekitar setengah dari pati sebelum enzim dinon aktifkan oleh lingkungan dari asam lambung. Pencernaan pati selanjutnya dilakukan di luar perut yaitu usus.

Lidah merupakan pembaruan pada vertebrata, biasanya menempel pada lantai mulut, yang membantu memanipulasi makanan dan menelan. Yang berguna untuk menangkap makanan (pada bunglon, pelatuk dan trenggiling) atau sebagai sensor penciuman (pada sebagian besar ular dan kadal).

Pada manusia, menelan dimulai dengan lidah mendorong makanan yang dibasahi perlahan. Saat makanan sampai pada faring, ujung epiglottis turun diatas trachea, hamper menutupnya. Beberapa partikel makanan dapat masuk ke dalam pembukaan trachea tetapi kontraksi otot laring menjaganya supaya tetap berada pada trachea. Setelah makanan berada pada kerongkongan, otot kerongkongan melakukan kontraksi peristaltic mendorong makanan menuju perut (lambung) (Gambar 4.7).



Gambar 4.7 Rongga mulut dan tenggorokan pada manusia bagian sagital (A), dan urutan menelan (B-D) (Sumber: Hickman, 2001:714)

Daerah konduksi dan penyimpanan

Kerongkongan vertebrata dan banyak invertebrate berfungsi untuk memindah makanan ke daerah pencernaan. Pada banyak invertebrate (annelid, serangga, gurita), kerongkongan melebar menjadi tembolok. Digunakan untuk menyimpan makanan sebelum dicerna. Diantara vertebrata, hanya burung yang

memiliki tembolok, yang berfungsi menyimpan dan melunakkan makanan (misalnya, gandum) sebelum melewati perut/lambung, atau untuk memungkinkan fermentasi ringan dari makanan sebelum dimuntahkan untuk memberi makan anak burung.

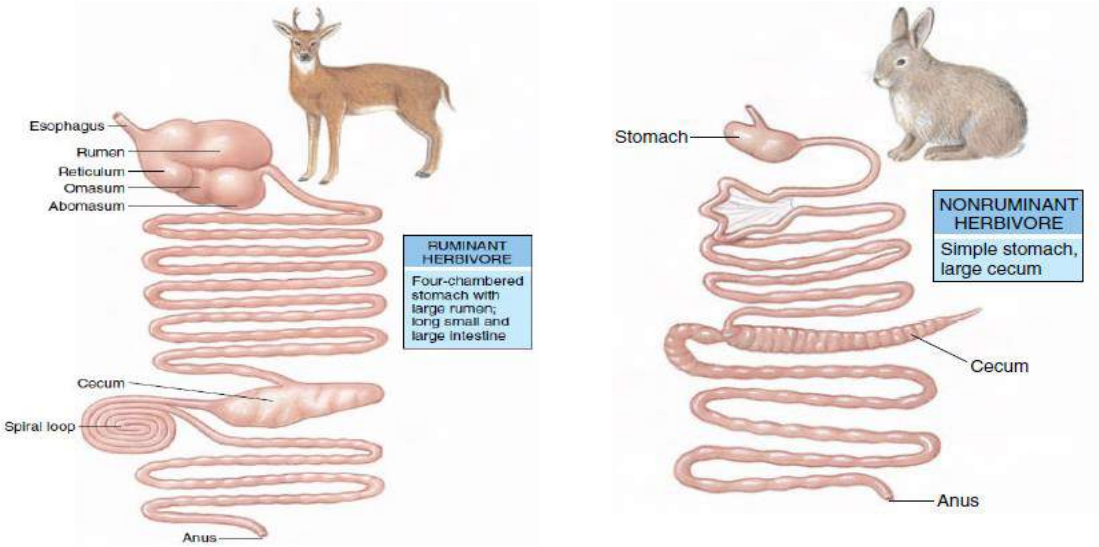
Daerah penggilingan dan pencernaan awal

Pada sebagian besar vertebrata dan beberapa invertebrate, perut merupakan tempat pencernaan serta penyimpanan dan pencampuran makanan dengan cairan pencernaan (asam lambung). Kerusakan mekanis makanan, terutama makanan nabati dengan selulosa dinding sel yang keras sering terjadi pada hewan herbivore dengan menggiling dan menghancurkan isi perut. Otot empedal dari cacing olgochaeta darat, dan burung dibantu oleh batu dan pasir ditelan bersama makanan atau pada arthropoda, dengan pengerasan lapisan (misalnya, gigi khitin dari proventrikulus serangga, dan gigi berkapur dari lambung krustasea).

Divertikula pencernaan, berupa tubulus buntu atau kantong yang muncul dari saluran utama, sering melengkapi perut dari sebagian besar invertebrate. Divertikula pencernaan tersebut dilapisi dengan epitel serbaguna yang memiliki sel khusus untk mensekresi lender atau enzim pencernaan, penyerapan, atau penyimpanan. Misalnya, ceca dari polychaeta annellida, pencernaan moluska bivalvia, hipatopankreas krustase, dan pilorik ceca dari bintang laut.

Vertebrata herbivore mengembangkan beberapa strategi untuk memanfaatkan mikroorganisme pemecah selulosa mendapatkan nutrisi maksimal dari tanaman. Meskipun berlimpah di bumi, selulosa kayu yang membungkus tanaman hanya dapat dipecah oleh enzim selulosa yang jumlahnya terbatas. Hewan-hewan metazoan tidak dapat menghasilkan usus selulose untuk pencernaan langsung dari selulosa. Namun banyak herbivore metazoan menampung mikroorganisme (bakteri dan protozoa) di usus mereka yang menghasilkan selulosa. Mikroorganisme ini memfermentasi selulosa pada usus secara anaerobic, menghasilkan asam lemak dan gula yang dapat digunakan oleh herbivore. Sedangkan alat fermentasi paling mewah adalah perut multiruang pada

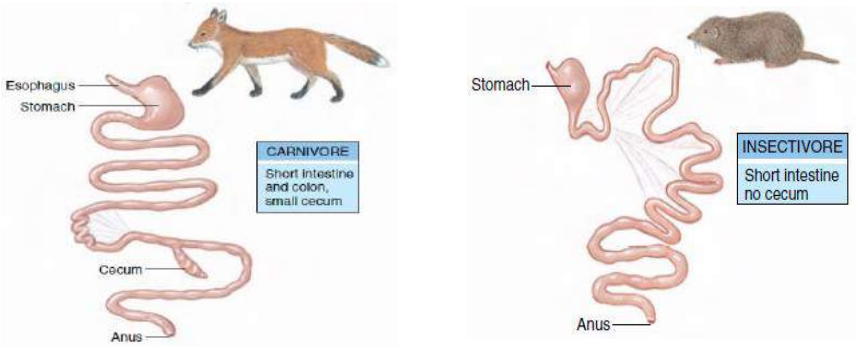
ruminansia (Gambar 4.8). Banyak hewan lain menyimpan mikroorganisme dibagian sekum.



Gambar 4.8 Perut hewan herbivore ruminansia dan non ruminansia. (Sumber: Hickman, 2001: 620)

Perut vertebrata karnivora dan omnivore berupa tabung otot berbentuk U (Gambar 4.9) dilengkapi dengan kelenjar yang menghasilkan enzim proteolitik dan asam kuat, yang terakhir adalah adaptasi yang mungkin muncul untuk membunuh mangsa dan menghentikan aktivitas bakteri. Ketika makanan sampai di perut, sfingter jantung terbuka secara refleks untuk mengijinkan makanan masuk, lalu menutup untuk mencegah memutahkan kembali ke kerongkongan. Pada manusia, gelombang peristaltic lembut terjadi pada perut (lambung) dengan kecepatan setiap tiga menit. Aktivitas mengocok kuat terjadi di ujung usus yangmana makanan dilepaskan dengan stabil ke dalam duodenum, daerah pertama dari usus kecil. Sfingter pylorus mengatur aliran makanan pada usus dan mencegah dimuntahkan kembali ke perut. Kelenjar tubular dalam pada dinding perut mengeluarkan asam lambung, pada manusia sekitar 2 liter setiap hari. Ada dua jenis sel yang melapisi kelenjar ini: *chief* sel yang mensekresi pepsin, dan sel parietal yang mensekresi asam hidroklorida. Pepsin adalah protease (enzim pemecah protein) yang bekerja hanya dalam media asam (pH 1,6-2,4). Ini enzim yang sangat spesifik memecah protein besar dengan cara memutus ikatan peptide

tertentu yang tersebar disepanjang rantai peptide dari molekul protein. Meskipun pepsin, karena spesifikaisnya, tidak dapat sepenuhnya mendegradasi protein, secara spesifik menghidrolisisnya menjadi polipepdita yang lebih kecil. Protease lainnya yang bersama-sama dapat memecah semua ikatan peptide dari protein pencernaan pada usus. Pepsin ditemukan pada semua usus vertebrata.



Gambar 4.9 Perut Karnivora dan Omnivora (Sumber: Hickman, 2001:620)

Renin merupakan enzim yang diproduksi oleh ginjal adalah enzim pengental susu ditemukan dalam perut ruminansia. Begitupun pada mamalia lainnya. Dengan pembekuan dan pengendapan protein susu, memperlambat pergerakan susu melalui lambung. Renin diekstrak dari perut anak sapi digunakan dalam pembuatan keju. Bayi manusia yang ng dilakukan oleh orang dewasa. Sekresi getah lambung dilakukan berselang, dengan jumlah kecil dan terus menerus. Bahkan dengan periode yang lama saat kelaparan, sekresi normal meningkat ketika dirangsang oleh penglihatan dan bau makanan, dengan adanya makanan di perut, dan keadaan emosional seperti kecemasan dan kemarahan.

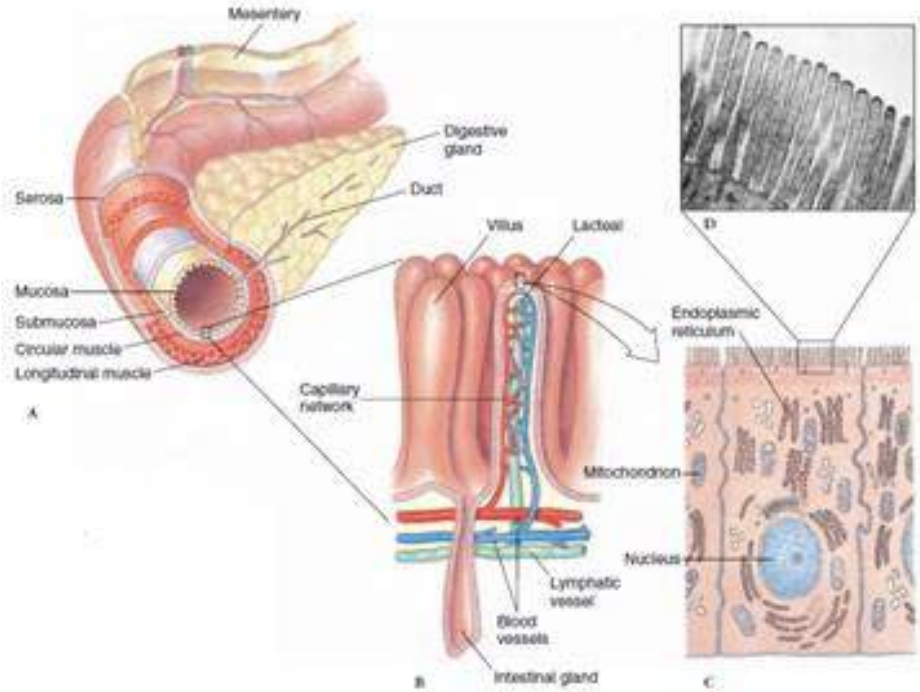
Pencernaan Daerah Terminal dan Penyerapan: Usus

Pentingnya variasi luas usus pada kelompok hewan. Pada invertebrate yang memiliki divertikula pencernaan luas yang menghancurkan makanan dan difagosit, usus dapat berfungsi hanya sebagai jalur pengeluaran limbah dari tubuh. Pada invertebrate lain dengan perut sederhana dan disemua vertebrata, usus dilengkapi untuk pencernaan dan penyerapan.

Perangkat untuk meningkatkan luas permukaan internal usus sangat berkembang pada vertebrata, yang tidak didapatkan pada invertebrate. Cara untuk meningkatkan daya serap permukaan usus adalah dengan menambah panjang

usus. Umumnya usus melingkar pada vertebrata, dan mencapai perekembangan tertinggi pada mamalia, dimana usus bisa melebihi delapan kali panjang tubuhnya. Sedangkan pada invertebrate yang memiliki tubuh sempit, cara untuk meningkatkan daya serap usus dilakukan dengan cara dinding usus dorsal melipat kedalam. Misalnya pada *typlhosole* cacing *oligochaeta* darat.

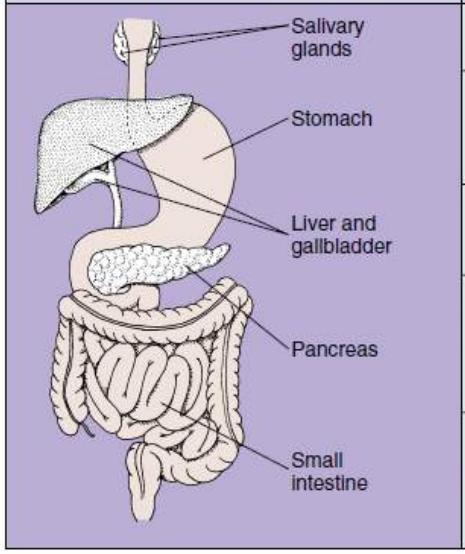
Lamprey dan hiu memiliki lipatan spiral dan longitudinal pada ususnya. Pada vertebarta lain berkembang lipatan yang rumit (pada amphibi dan reptile) dan proyeksi kecil seperti jari yang disebut vili (pada burung dan mamalia), yang bagian permukaan dalamnya seperti beludru. Setiap lapisan sel rongga usus tambahan berbatasan dengan ratusan vili pendek yang disebut mikrovili. Adanya lipatan dan struktur vili inilah usus dapat meningkatkan permukaan internalnya lebih dari satu juta kali dibanding silinder halus dengan diameter yang sama. Ini permukaan rumit yang sangat memudahkan penyerapan molekul makanan (Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Struktur saluran pencernaan vertebrata, A. lapisan mukosa yang berurutan,submukosa, otot dan serosa yang membungkus, sebuah kelenjar yang mensekresi enzim pencernaan, (misalnya pamkreas), dan mesentrium tipis yang meletakkan usus dalam rongga tubuh. B. Bagian dari lapisan mukosa usus, terlihat seperti jari. C. irisan satu sel lapisan mukosa. D. Mikrovili pada lapisan sel mukosa, usus tikus (x16.400). (Sumber: Hickman, 2001: 716).

Pencernaan pada Usus Kecil Vertebrata

Makanan dilepaskan kedalam usus kecil melalui sfingter pylorus, yang rileks sewaktu-waktu untuk memungkinkan masuknya isi asam perut (asam lambung) menjadi awal segmen usus halus, usus duabelas jari. Dua sekresi mengalir ke dalam wilayah ini: asam pancreas dan empedu (Gambar 4.11). Kedua secret ini mengandung bikarbonat tinggi, terutama asam pancreas, yang secara efektif menetralkan asam lambung, meningkatkan pH dari massa makanan cair, disebut *chime* dari pH 1,5 hingga 7 saat memasuki usus duabelas jari. Perubahan pH ini penting karena semua enzim usus hanya efektif dalam keadaan netral atau media yang sedikit basa.



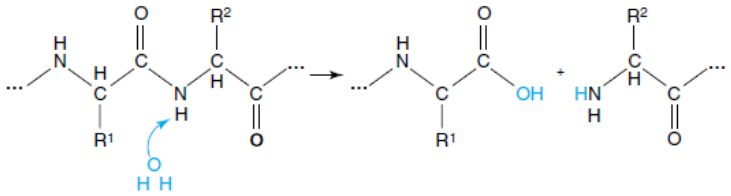
REGION	SECRETION	pH	COMPOSITION
	Saliva	6.5	Amylase Bicarbonate
	Gastric juice	1.5	Pepsin HCl Rennin in ruminant mammals
	Bile	7–8	Bile salts and pigments Cholesterol
	Pancreatic juice	7–8	Trypsin, Chymotrypsin, Carboxypeptidase, Lipase, Amylase, Nucleases Bicarbonate
	Membrane enzymes	7–8	Aminopeptidase Maltase Lactase Sucrase Alkaline Phosphatase

Gambar 4.11 Sekresi saluran pencernaan mamalia (Sumber: Hickman, 2001: 716)

Enzim Pankreas

Sekresi pankreas vertebrate mengandung beberapa enzim yang sangat penting dalam pencernaan (Gambar 4.11). Dua protease kuat yaitu tripsin dan kimotripsin, melanjutkan pencernaan enzimatik dari protein yang dimulai dari pepsin, yang sedang dinonaktifkan oleh ke-basa-an usus. Tripsin dan kimotripsin, seperti pepsin adalah protease yang sangat spesifik yang memisahkan ikatan

peptide jauh didalam molekul protein. Hidrolisis dari ikatan peptide ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Hidrolisis ikatan peptide (Sumber: Hickman, 2001: 717).

Getah pancreas juga mengandung karboksipeptidase yang menghilangkan asam amino dari karboksil polipeptida, lipase pancreas yang menghidrolisis lemak menjadi asam lemak dan gliserin, amylase pancreas, sebuah emzim pemecah pati identik dengan amylase saliva dalam aksinya, dan nuclease yang mendegradasi RNA dan DNA menjadi nukleotida. Lapisan membrane enzim sel usus memiliki enzim pencernaan yang tertanam pada permukaan membrane yang melanjutkan pencernaan karbohidrat, protein dan senyawa fosfat. Ini mikrovili membrane enzim termasuk aminopeptidase yang memecah asam amino terminal dari ujung amino peptide pendek, dan beberapa disakaridase, enzim yang memecah molekul gula 12 karbon menjadi 6 unit karbon. Disakaridase, termasuk maltase memecah maltose menjadi dua molekul glukosa. Sucrose memecah sukrosa menjadi fruktosa dan glukosa. Dan lactase memecah laktosa (gula susu) menjadi glukosa dan galaktosa. Juga ada alkali fosfatase sebuah enzim yang memecah berbagai senyawa fosfat.

Empedu hati mensekresikan empedu ke dalam saluran empedu, yang mengalir ke bagian atas usus (duodenum). Diantara waktu makan, empedu terkumpul di kantong empedu dan kantong penyimpanan yang dapat diperluas dengan melepaskan empedu ketika dirangsang oleh kehadiran makanan berlemak pada duodenum. Empedu mengandung air, garam empedu, dan pigmen tetapi tidak ada enzim. Garam empedu (terutama *taurocholat* dan glikokolat) sangat penting untuk pencernaan lemak. Lemak, karena mereka cenderung tetap besar, globul tidak larut dalam air, sangat resisten untuk pencernaan enzimatik. Garam empedu mengurangi tegangan permukaan butiran lemak, kemungkinan tindakan berputar dari usus memcah lemak menjadi tetesan kecil (emulsifikasi). Dengan

permukaan total paparan partikel lemak sangat meningkat, lipase mampu memecah lemak dan menghidrolisis trigliserida molekul. Warna kunig-hijau mepedu dihasilkan oleh pigmen empedu, produk pemecahan hemoglobin dari sel darah merah yang aus. Pigmen empedu juga memberikan karakteristik pada warna feses.

Produksi empedu hanyalah salah satu dari fungsi hati. Organ ini sangat berguna sebagai gudang glikogen, pusat produksi protein plasma, tempat sintesis protein, dan detoksifikasi limbah protein, tempat penghancuran sel darah merah tua, serta pusat metabolisme lemak, asam amino dan karbohidrat.

Penyerapan

Sedikit makanan yang diserap di perut (lambung) karena pencernannya masih belum sempurna dan daerah permukaan serap terbatas. Namun beberapa bahan seperti obat-obatan dan alcohol, diserap sebagian besar disana yang bereran untuk tindakan ceat bahan tersebut. Makanan yang paling banyak dicerna yaitu diserap di usus kecil dimana banyak vili berbentuk jari memberi luas permukaan yang sangat besar yang dapat melewati sirkulasi lumen usus.

Karbohidrat diserap hampir secara eksklusif sebagai gula sederhana (monosakarida misalnya glukosa, fruktosa dan galaktosa) karena usus hamper tidak permeable terhadap polisakarida. Protein diserap terutama sebagai subunit asam amino mereka, meskipun jumlah protein kecil terbatas atau kadang-kadang fragmen peptide dapat diserap. Kedua proses transfer aktif dan pasif gula sederhana dan asam amino diseluruh epitel usus.

Segera setelah bahan makanan ini berada dalam konsentrasi tinggi di usus sehingga bahan makanan tersebut mudah menyebar ke dalam darah, dimana konsentrasi mereka awalnya lebih rendah. Namun jika penyerapan hanya pasif, transfer segera terhenti setelah konsentrasi suatu zat menjadi sama pada kedua sisi usus epitel. Transfer pasif saja akan memungkinkan nutrisi yang berharga menjadi hilang dalam feses. Faktanya, sangat sedikit hilang karena transfer pasif dilengkapi oleh mekanisme transfer aktif yang terletak pada sel epitel yang mentransfer molekul makanan ke dalam darah. Bahan-bahan ini dipindahkan lagi terhadap gradient konsentrasinya, sebuah proses yang membutuhkan pengeluaran

sebesar energy. Meskipun tidak semua produk makanan diangkut secara aktif seperti glukosa, galaktosa dan sebagian besar asam amino, ditangani oleh transportasi mekanisme yang spesifik untuk masing-masing jenis molekul.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, tetesan lemak diemulsikan oleh garam empedu dan kemudian dicerna oleh lipase pankreas. Trigliserida dipecah menjadi asam lemak dan monogliserida, yang kompleks dengan garam empedu untuk membentuk tetesan kecil dsebut misel. Ketika misel bertemu mikrovili epitel usus, asam lemak dan monogliserida diserap secara difusi sederhana. Mereka kemudian memasuki reticulum endoplasma penyerap. Dimana mereka disintesis ulang menjadi trigliserida sebelum masuk ke lakteals, tetesan lemak memasuki system getah bening dan akhirnya masuk ke sirkulasi darah melalui duktus torasikus. Setelah makanan berlemak, bahkan senwich, selai kacang mengandung banyak tetesan lemak dalam darah memberikan penampakan seperti susu plasma darah.

Daerah penyerapan air dan konsentrasi padatan

Usus besar menampung sisa-sisa pencernaan yang tidak dapat dicerna dengan reabsobsi air menjadi padat atau kotoran semi padat untuk dikelurkan dari tubuh dengan membuang air besar (defekasi). Reabsorbsi memiliki arti khusus pada serangga, terutama yang hidup di daerah kering, yang harus (dan dilakukan) menghemat hamper semua air yang masuk ke dubur. Kelenjar dubur khusus menyerap air dan ion sesuai kebutuhan, menyisakan pelet feses yang hamper benar-benar kering. Pada reptile dan burung, yang juga menghasilkan feses yang hamper kering, sebagian besar air diserap kembali pada bagian kloaka. Kotoran seperti pasta berwarna putih yang dibentuk mengandung sisa makanan dan asam urat yang keduanya tidak dapat dicerna.

Usus besar (kolon) manusia mengandung sejumlah besar bakteri, yang pertama masuk ke kolon steril bayi yang baru lahir bersama makanannya. Pada orang dewasa, sekitar sepertiga dari berat kering kotoran adalah bakteri; ini termasuk bakteri yang tidak berbahaya serta bakteri yang dapat menyebabkan penyakit serius. Biasanya pertahanan tubuh mencegah invasi bakteri tersebut ke perut atau aliran darah. Bakteri mendegradasi sampah organic dalam tinja dan

memberikan beberapa nutrisi bermanfaat dengan mensintesis vitamin tertentu (vitamin K dan sejumlah kecil vitamin B), yang akan diserap oleh tubuh.

Regulasi dari Asupan Makanan

Kebanyakan hewan secara tidak sadar menyesuaikan diri terhadap asupan makanan untuk menyeimbangkan pengeluaran energy. Jika pengeluaran energy ditingkatkan dengan aktivitas fisik yang lebih besar, makanan yang dikonsumsi lebih banyak. Kebanyakan vertebrata dari ikan hingga mamalia memakan kalori daripada bulk karena, jika dietnya diencerkan dengan serat, mereka merespon dengan makan lebih banyak. Demikian pula ketika asupan kalori terlalu tinggi.

Pusat rasa lapar yang terletak di hipotalamus otak mengatur asupan makanan. Penurunan tingkat glukosa darah merangsang keinginan untuk makan. Sementara sebagian besar hewan nampaknya mampu menstabilkan berat badan mereka pada tingkat normal dengan mudah, banyak manusia tidak bisa. Obesitas meningkat di seluruh dunia dan menjadi masalah utama kesehatan di banyak Negara. (Penilaian berat badan tergantung pada indeks massa tubuh [(berat dalam kilogram dibagi dengan kuadrat tinggi badan dalam meter], lingkar pinggang, dan factor resiko penyakit berhubungan dengan obesitas). Obesita disebabkan karena terlalu banyak makan dan sedikit gerak. Selain itu, penyimpanan lemak diawasi oleh hipotalamus yang bisa diatur pada titik lebih tinggi atau lebih rendah dari normal. Pengaturan tinggi dapat diturunkan sedikit dengan olahraga.

Hormon leptin bekerja melalui uman balik system yang memberitahu hipotalamus bahwa banyak lemak dibawa tubuh. Jika levelnya tinggi, pelepasan leptin oleh sel-sel lemak mengarah pada nafsu makan kurang dan termogenesis meningkat.

Regulasi Pencernaan

Proses pencernaan dikoordinasi oleh hormone yang diproduksi tubuh yang menyebar pada jaringan endokrin dan system gastrointestinal (GI). Diantara hormone GI yang utama adalah gastrin, kolesistokinin (CCK), dan sekretin. Gastrin adalah hormone polipeptida kecil yang diproduksi oleh sel-sel endokrin dibagian pylorus perut. Gastrin diproduksi sebagai respon terhadap rangsangan oleh ujung saraf parasimpatis. Dan ketika makanan berprotein mausk ke lambung.

Tindakan utamanya adalah untuk merangsang sekresi asam klorida dan untuk meningkatkan motilitas lambung. CCK juga merupakan polipeptida hormone, dan memiliki struktur yang mencolok mirip dengan gastrin, dan keduanya muncul dari gen leluhur. CCK disekresi oleh sel endokrin pada dinding usus halus bagian atas sebagai respon terhadap adanya asam lemak dan asam amino pada duodenum. Ini setidaknya memiliki tiga fungsi berbeda.

Ini merangsang kantong empedu konraksi sehingga meningkatkan aliran garam empedu ke dalam usus. Dia merangsang sekresi yang kaya enzim dari pancreas, dan itu bekerja pada otak untuk berkontribusi rasa kenyang setelah makan, terutama yang kaya akan lemak. Hormon pertama yang ditemukan adalah sekretin diproduksi oleh sel endokrin pada dinding duodenum. Ini disekresikan sebagai respon terhadap makanan dan asam kuat di perut dan usus kecil, dan tindkan utamanya adalah untuk merangsang pelepasan basa cairan pancreas yang menetralkan asam lambung saat memasuki usus. Dia juga membantu pencernaan lemak dengan menghambat motilitaa lambung dan meningkatkan produksi dari sekresi empedu alakali hati.

Hormon GI ketika diisolasi struktunya adalah peptide. Struktur tersebut juga ada pada saluran hormone GI dan system saraf pusat. Salah satunya adalah CCK, yang ditemukan pada konsentrasi tinggi di korteks serebral dan hypothalamus mamalia. Memberikan rasa kenyang setelah makan serta berperan mengatur nafsu makan. Beberapa peptide GI lainnya, misalnya peptide usus vasoaktif (VIP) dan peptide penghambat lam bung (GIP) muncul memainkan peran neurotransmitter dalam otak. Fleksibilitas yang tak terduga ini memperluas konsep tentang hormone sebagai molekul yang mampu berfungsi dalam beberapa cara berbeda.

C. UJI KOMPETENSI

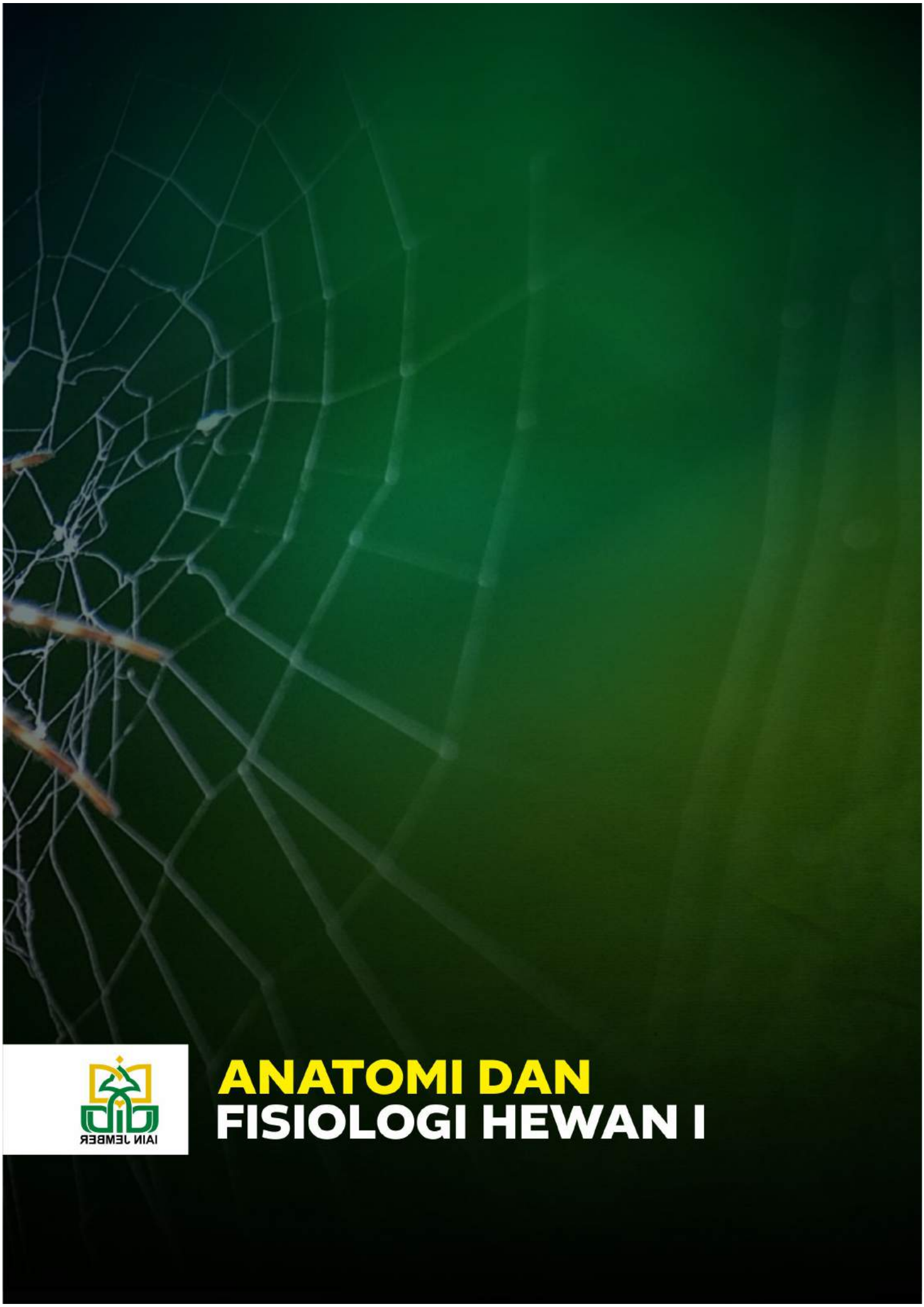
1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pencernaan?
2. Secara garis besar terdapat dua macam pencernaan, yaitu pencernaan interseluler dan intraseluler. Jelaskan perbedaan dari kedua pencernaan tersebut!
3. Bagaimanakah struktur pencernaan pada herbivore ruminansia? Apakah sama dengan herbivore non ruminansia? Jelaskan!
4. Jelaskan fungsi usus pada vertebrata!
5. Jelaskan fisiologi pencernaan pada daerah usus vertebrata!

DAFTAR PUSTAKA

Hickman, C.P. 2001. *Integrated Principle Of Zoology. 11th Edition*. New York: McGraw Hill Companies.

Isnaini, W. 2006. *Fisiologi Hewan*. Yogyakarta: Kanisius.

Kay, Ian. 1998. *Animal Physiology*. New York: Bios scientific Publisher



ANATOMI DAN FISIOLOGI HEWAN I