

NASKAH TUTORIAL

MODUL BIOMEDIK 1

TOPIK KONSEP DASAR SEL



DISUSUN OLEH :

Sinta Deviyanti, drg., M.Biomed

FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI

UNIVERSITAS PROF. DR. MOESTOPO (BERAGAMA)

JAKARTA

2020

PANDUAN TUTORIAL

BLOK : **Biomedik 1**

TOPIK : **Konsep Dasar Sel**

PENULIS/NARASUMBER : **Sinta Deviyanti,drg.,M.Biomed**

I. PENGERTIAN SEL

Istilah sel pertama kali digunakan oleh ilmuwan Inggris, Robert Hooke (1653-1703) melalui pengamatan potongan tipis gabus menggunakan mikroskop. Sel adalah unit dasar struktural dan fungsional dari setiap organisme. Bila dilihat dari jenjang organisasi biologis, sel merupakan kumpulan materi paling sederhana yang dapat hidup. Semua komponen sel tersusun atas komponen-komponen kimiawi utama yaitu protein, asam nukleat, lemak dan polisakarida.

Sel juga merupakan merupakan satuan yang dinamis karena dapat mengalami perubahan bentuk dan perubahan fungsi.

Perubahan sel dapat berupa pertambahan ukuran dan volume, karena adanya proses pertumbuhan maupun perubahan fungsi misalnya karena proses diferensiasi. Saat sel tidak mengalami pertumbuhan, sebenarnya juga terjadi perubahan di dalam sel karena adanya proses metabolisme. Ditinjau dari segi metabolisme, maka sel dapat dikatakan sebagai suatu sistem kimiawi yang akan melakukan transformasi nutrisi menjadi bentuk energi; sebaliknya energi yang dihasilkan akan digunakan untuk melakukan transformasi lebih lanjut untuk pertumbuhan dan perkembangan. Pengaturan seluler yang didukung oleh adanya struktur sel tersebut dapat dilakukan karena sel memiliki 2 fungsi utama yaitu : (1) sebagai perangkat kimiawi yang melakukan proses metabolisme ; (2) Sebagai perangkat yang menyimpan kode-kode informasi biologis yang akan diturunkan ke sel anakannya. Proses metabolisme akan berlangsung sesuai dengan informasi biologis yang tersimpan dalam bentuk kode-kode genetik didalam bahan genetik yaitu DNA (*deoxyribonucleic acid*). Informasi

genetik tersebut harus disalin dan diterjemahkan melalui proses ekspresi genetik yang kompleks menjadi rangkaian asam-asam amino yang spesifik. Rangkaian asam amino (protein) tersebut akan digunakan didalam proses metabolisme sel.

II. KLASIFIKASI, CIRI-CIRI/STRUKTUR SEL dan FUNGSINYA

A.Klasifikasi Sel

Berdasarkan struktur dan organisasi sel, organisme seluler dapat diklasifikasikan menjadi prokariot dan eukariot.

Organisme Prokariot : Bakteri dan *Archae*

Organisme Eukariot : Manusia, hewan, tumbuhan, jamur (*fungi*), protista

B. Persamaan Ciri-Ciri/Struktur Semua Sel

Semua sel memiliki beberapa kesamaan ciri dasar : -

- Memiliki perintang selektif sebagai pembatas sel, yang disebut membran plasma.
- Memiliki sitosol (substansi semi cair seperti jeli sebagai tempat keberadaan komponen-komponen subseluler).
- Memiliki kromosom yang membawa gen dalam bentuk DNA (*deoxyribonucleic acid*).
- Memiliki ribosom (kompleks kecil pembuat protein berdasarkan instruksi dari gen).

C. Ciri-Ciri / Struktur Sel Prokariot adalah : (gambar 1)

1. Tidak memiliki membran inti sel (membran nukleus).
2. Tidak memiliki organel (kompartemen terselubung membran sebagai bagian dari struktur sub seluler) khusus misalnya mitokondria, badan golgi, retikulum endoplasma dll spt yang dimiliki oleh sel eukariot
3. Memiliki dinding sel (misalnya pada bakteri) .

Dinding sel mengandung protein, lemak dan polisakarida.

Pada kelompok sianobakteri (*cyanobacteria*), dinding sel-nya terdiri dari polisakarida sederhana misalnya selulosa. Berdasarkan komposisi dinding sel-nya, bakteri dibedakan menjadi bakteri Gram-positif (misalnya *Bacillus subtilis*) dan bakteri Gram-negatif (misalnya *Escherichia coli*).

Beberapa jenis bakteri juga memiliki struktur tambahan di luar dinding sel yang disebut kapsul. Dinding sel dan kapsul berfungsi sebagai pelindung sel terhadap tekanan osmotik dan mekanik serta memberi bentuk sel.

4. Memiliki membran plasma sel yang terdiri dari campuran lemak dan protein.

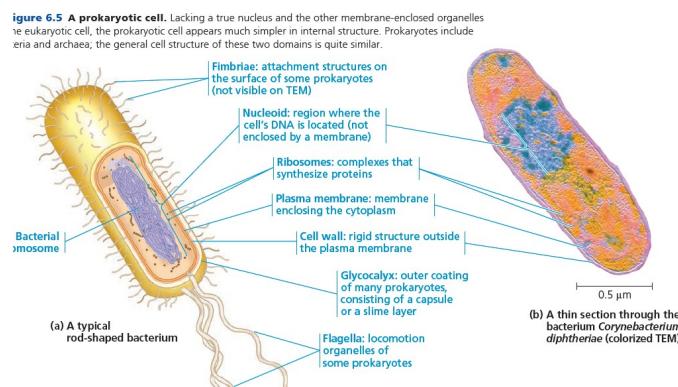
Membran plasma sel berfungsi sebagai selaput sel / perintang selektif yang bersifat semipermeabel yang mengatur keluar masuknya molekul dan ion-ion (termasuk oksigen, nutrien dan zat buangan).

5. Memiliki sitoplasma di bagian dalam sel.

6. Memiliki ribosom sebagai partikel kecil yang terdiri dari protein dan molekul RNA (*ribonucleic acid*).

Ribosom berfungsi dalam proses translasi (sintesis protein). Satu sel *prokaryot* dapat mengandung hingga 10.000 ribosom (mencapai 40% dari massa total sel bakteri).

7. Memiliki bahan genetik yang tidak terletak dalam suatu organel khusus karena tidak memiliki membran nukleus spt organisme *eukaryot*. Bahan genetik utama pada bakteri umumnya hanya berupa 1 molekul DNA yang berbentuk melingkar (kromosom bakteri) , disebut nukleoid. Sering juga memiliki bahan genetik tambahan yang disebut plasmid.Bahan genetik membawa informasi genetik untuk menentukan sifat organisme prokariot.
8. Memiliki flagela sebagai alat gerak pada beberapa spesies bakteri.
9. Memiliki pili pada beberapa spesies bakteri sebagai saluran untuk perpindahan bahan genetik (DNA) dari satu sel ke sel lain.
10. Memiliki endospora sebagai struktur khusus pada beberapa bakteri.
11. Memiliki ukuran sel organisme prokariot bervariasi dari diameter $0,1\text{-}1 \mu\text{m}$ (bakteri mikoplasma) ; $1\text{-}5 \mu\text{m}$ (bakteri khusus).
12. Memiliki bentuk sel yang bervariasi berupa kokus (*coccus*), batang, spiral, dll

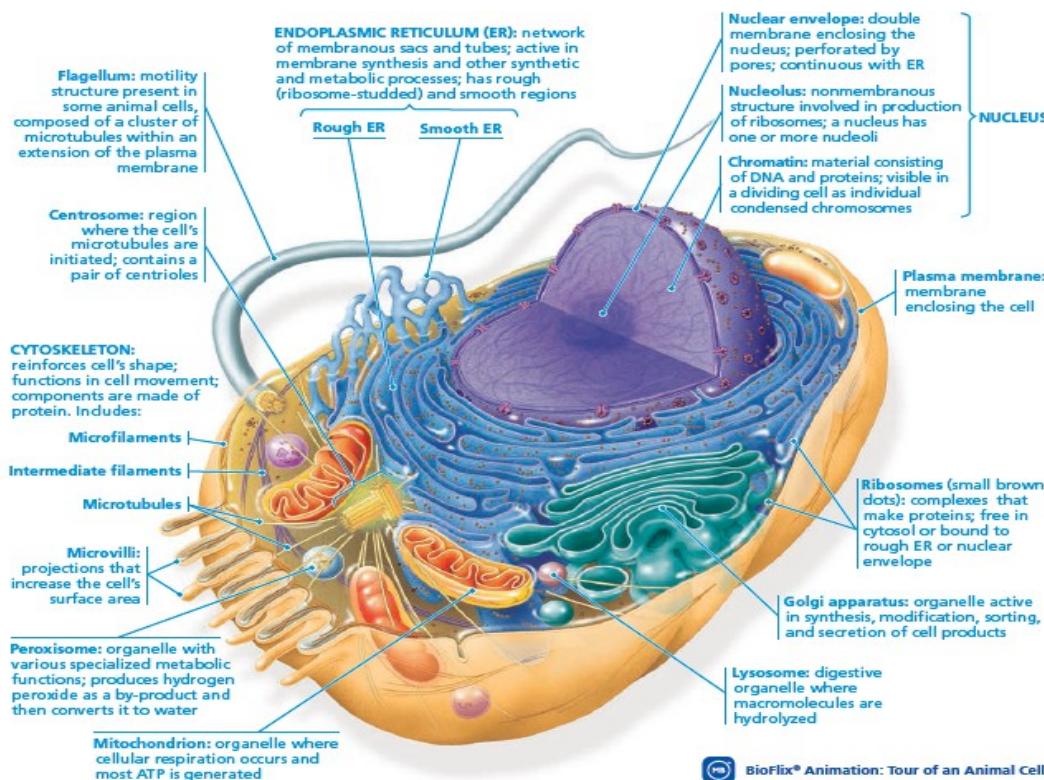


GAMBAR 1

Struktur sel prokariot

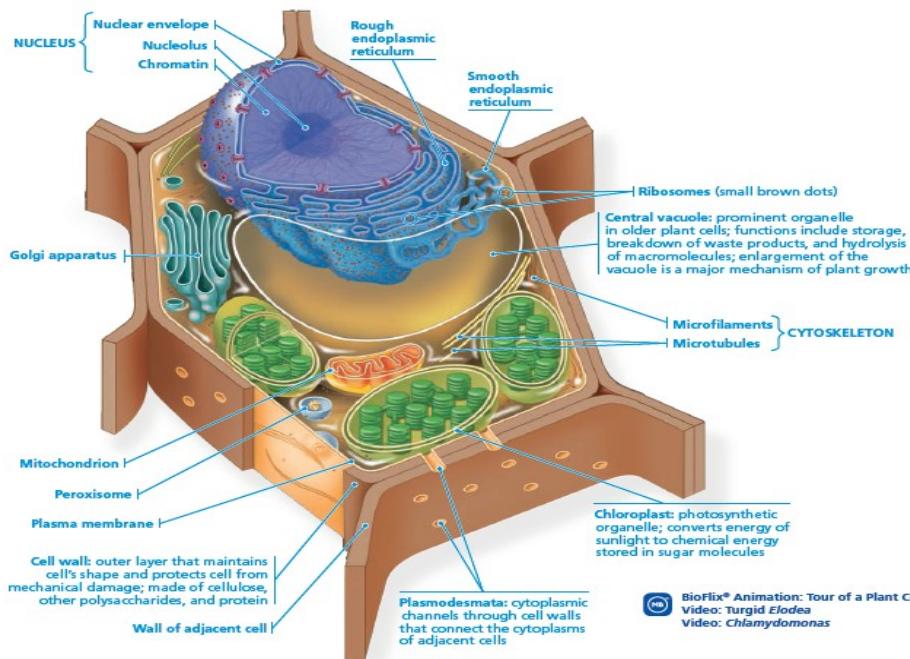
D.Ciri-Ciri / Struktur Sel Eukariot adalah : (gambar 2 dan 3)

1. Memiliki struktur dan organisasi sel yang lebih kompleks dibandingkan sel prokariot.



GAMBAR 2

Struktur sel eukariot (pada sel hewan dan sel manusia)



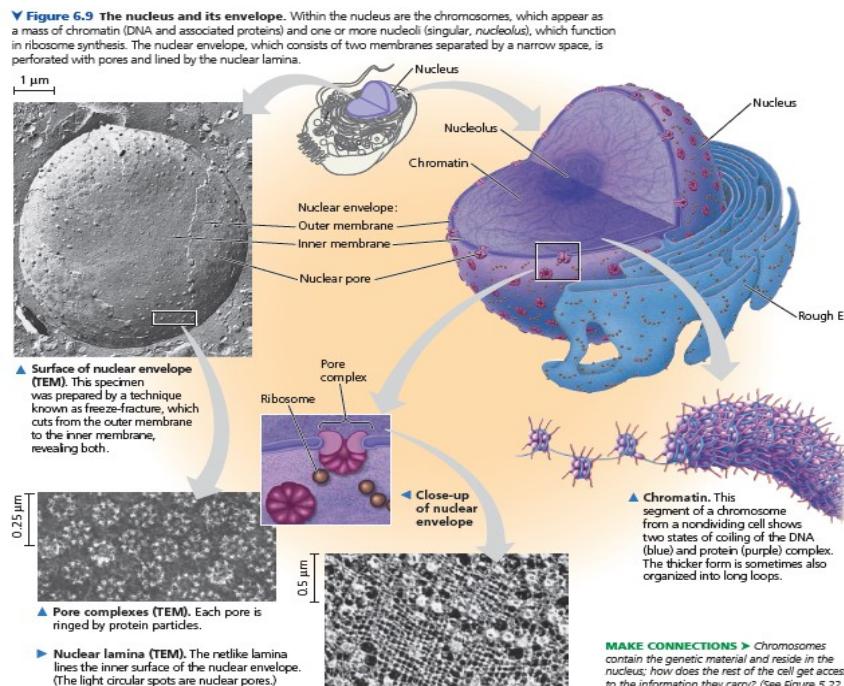
GAMBAR 3

Struktur sel eukariot (pada sel tumbuhan)

2. Memiliki sitoplasma (daerah bagian dalam sel di antara nukleus sampai membran plasma yang mengandung sitosol sebagai tempat keberadaan berbagai organel dengan bentuk dan fungsi yang khusus.
3. Memiliki bahan genetik (DNA) yang terletak di dalam organel nukleus dengan struktur nukleus yang jelas.

Bahan genetik utama umumnya berupa 1 kromosom berbentuk linier terbuat dari kromatin (DNA yang dikemas bersama protein histon). Kromatin yang tampak berupa serat tipis dan tidak jelas, akan mengumpar (berkondensasi) ketika sel bersiap untuk membelah sehingga terlihat cukup tebal yang disebut sebagai kromosom. Tiap spesies eukariot memiliki jumlah kromosom yang khas. Sel tubuh manusia mengandung 46 kromosom dalam tiap nukleusnya; kecuali sel kelamin (sel telur dan sperma) hanya mengandung 23 kromosom. Pada beberapa organisme eukariot tingkat rendah, juga memiliki bahan genetik ekstrakromosom (plasmid).

4. Memiliki nukleus yang dibatasi selaput nukleus (*nuclear envelope*) dengan membran ganda yaitu membran dalam dan membran luar. Pada beberapa tempat, kedua lapisan membran nukleus tersebut berfusi/menyatu membentuk pori-pori nukleus sebagai penghubung antara bagian dalam nukleus dengan sitoplasma (gambar 4). Pori-pori pada selaput nukleus berdiameter 100 nm. Setiap pori dilapisi oleh struktur protein yang disebut kompleks pori, berfungsi meregulasi keluar masuknya sebagian besar protein dan RNA (*ribonucleic acid*), juga kompleks besar seperti makromolekul. Nukleus mengandung gen-gen yang terkemas sebagai suatu kromatin (kompleks DNA dan protein) dan akan terlihat jelas karena berkondensasi sebagai bentuk kromosom saat pembelahan sel. Nukleus berfungsi mengarahkan sintesis protein dengan cara mensintesis RNA duta (mRNA/ *messenger RNA*) berdasarkan instruksi genetik yang disediakan DNA. Nantinya mRNA yang membawa salinan informasi genetik dari DNA, akan ditranspor ke sitoplasma melalui pori nukleus untuk selanjutnya diterjemahkan informasi genetik yang dibawanya menjadi protein di ribosom.



GAMBAR 4

Nukleus

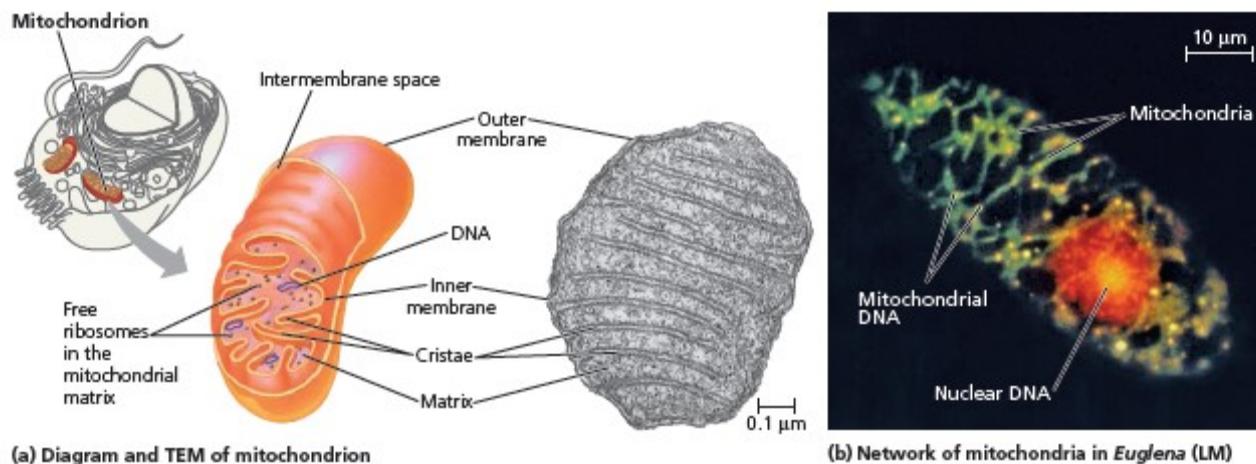
5. Memiliki nukleolus (struktur menonjol yang tidak membelah, terdapat di dalam nukleus). Nukleolus berfungsi mensintesis RNA ribosom (rRNA) berdasarkan instruksi yang terdapat di dalam DNA. Protein-protein di dalam nukleolus yang diimport dari sitoplasma, dirakit dengan rRNA menjadi sub unit ribosom berukuran besar dan kecil. Sub-unit ini akan keluar dari nukleus melalui pori nukleus menuju sitoplasma sebagai tempat perakitan 1 sub unit besar dgn 1 sub unit kecil untuk membentuk 1 ribosom. Fungsi lain dari nukleolus kini diketahui berperan juga dalam regulasi beberapa proses selular, seperti pembelahan sel.

6. Memiliki pembagian ruangan yang jelas di dalam sel sehingga terdapat bermacam-macam organel dengan fungsi khususnya masing-masing. Beberapa organel penting didalam sel eukariot antara lain :

a. Mitokondria

Mitokondria berfungsi sebagai tempat respirasi seluler yang memproduksi energi seluler berupa ATP (*adenosine triphosphate*) dari proses metabolisme di dalam sel.. Mitokondria memiliki 2 membran yang memisahkan ruang terdalamnya dari sitosol. Protein membran pada mitokondria bukan dibuat oleh ribosom yang terikat di retikulum endoplasma, namun dibuat dari ribosom bebas dalam sitosol dan ribosom yang terkandung didalam mitokondria itu sendiri.

Mitokondria juga mengandung sejumlah kecil DNA. DNAmitokondria ini berfungsi memprogram sintesis protein yang dibuat di ribosom dari organel mitokondria. Mitokondria diselubungi oleh 2 membran yang masing-masing merupakan lapisan ganda fosfolipid dengan sekumpulan protein tertanam di dalam membrannya. Membran luar mitokondria berstruktur mulus namun membran dalam dalamnya membentuk lipatan-lipatan yang disebut kista. Kista sebagai permukaan yang berlipat-lipat, memberikan luas permukaan yang amat besar pada membran dalam mitokondria sehingga mampu meningkatkan produktivitas respirasi selular. Membran dalam membagi mitokondria menjadi 2 kompartemen internal yaitu ruang antar membran (wilayah sempit antara membran luar dan dalam) dan matriks mitokondria (diselubungi oleh membran dalam). Matriks mitokondria mengandung banyak enzim yang berbeda (untuk mengkatalis beberapa tahapan respirasi seluler) serta DNA mitokondria dan ribosom. Membran dalam mitokondria, juga mengandung protein-protein lain yang berfungsi untuk respirasi seluler termasuk enzim yang membuat ATP (gambar 5)



GAMBAR 5

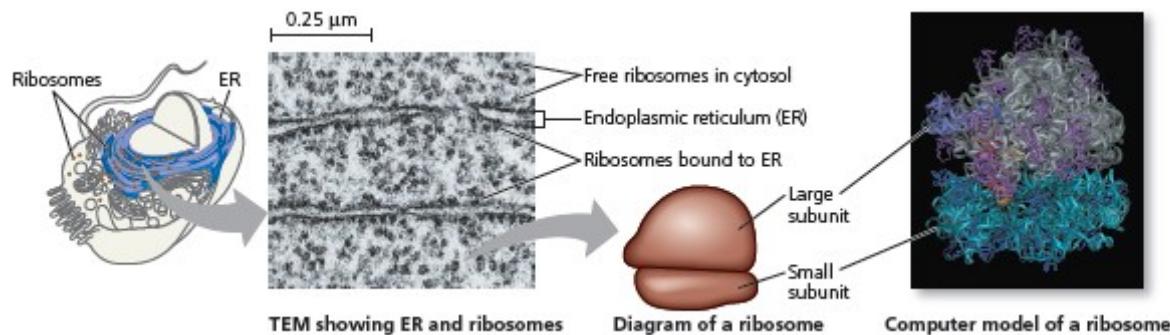
Mitokondria

b. Kloroplas

Kloroplas merupakan bagian khusus dari keluarga organel pada tumbuhan yang dikenal dengan sebutan plastida. Kloroplas sebagai anggota terspesialisasi dari organel plastid, hanya dijumpai pada sel tumbuhan dan alga. Kloroplas mengandung pigmen hijau klorofil yang bersama-sama enzim dan molekul lainnya berfungsi menghasilkan gula selama fotosintesis (sebagai tempat fotosintesis yang mengubah energi surya menjadi energi kimia dengan cara menyerap cahaya matahari untuk mensintesis senyawa-senyawa organik seperti gula dari karbondioksida dan air). Kloroplas terdiri dari daerah intermembran, stroma (mengandung ribosom) dan daerah thylakoid. Walaupun diselubungi oleh membran, kloroplas bukan merupakan bagian dari sistem endomembran. Salah satu jenis plastida adalah amiloplas (organel hampir tak berwarna yang berfungsi menyimpan pati (amylose) terutama di bagian akar dan umbi tanaman). Jenis plastida lainnya yaitu kromoplas, memiliki pigmen yang menimbulkan warna oranye dan kuning pada buah dan bunga.

c.Ribosom

Merupakan kompleks yang terbuat dari RNA ribosom dan protein. Berfungsi dalam proses sintesis protein. Sel dengan laju sintesis protein yang tinggi, memiliki ribosom dalam jumlah banyak, misalnya sel pankreas manusia. Ribosom mensintesis protein di 2 lokasi pada sitoplasma yaitu ribosom bebas yang tersebar di sitosol dan ribosom yang terikat melekat pada sisi luar retikulum endoplasma maupun pada selaput nukleus. Protein yang disintesis di ribosom bebas, berfungsi dalam sitosol (misalnya sebagai enzim untuk mengkatalis langkah pertama menguraikan gula). Sedangkan protein yang disintesis oleh ribosom yang terikat di membran retikulum endoplasma, berfungsi untuk disisipkan ke dalam membran retikulum endoplasma agar dapat dikemas membentuk organel tertentu seperti lisosom (gambar 6).

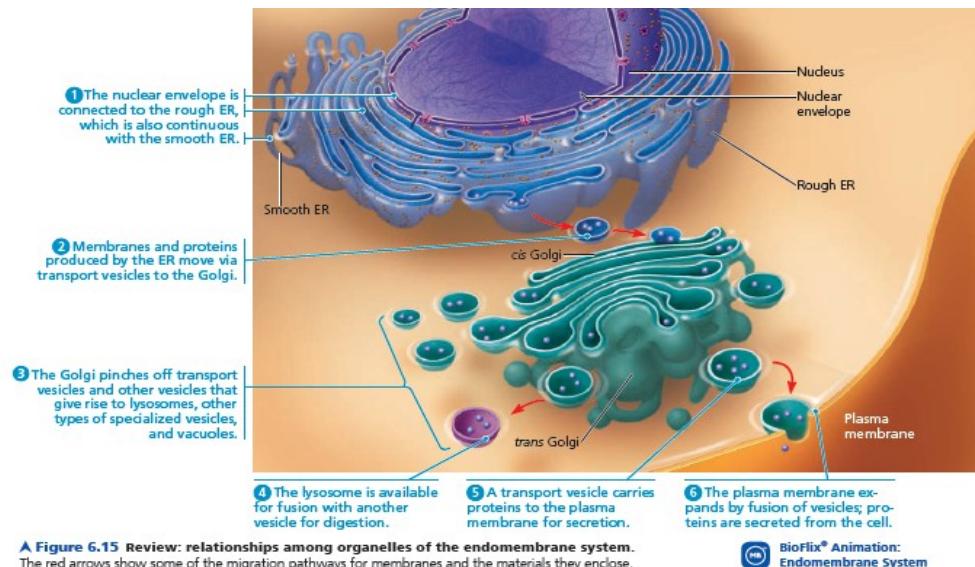


GAMBAR 6

Ribosom

d. Sistem Endomembran

Membran-membran pada sistem ini dihubungkan melalui kesinambungan (kontinuitas) fisik langsung maupun melalui transfer segmen-segmen membran sebagai suatu vesikel berukuran mungil. Sistem endomembran tidak identik dalam hal struktur maupun fungsinya. Sistem endomembran meliputi selaput nukleus, retikulum endoplasma, aparatus golgi, lisosom, vakuola, membran plasma (gambar 7)



▲ Figure 6.15 Review: relationships among organelles of the endomembrane system. The red arrows show some of the migration pathways for membranes and the materials they enclose.

 BioFlix® Animation:
Endomembrane System

GAMBAR 7

Sistem endomembran

1). Selaput nukleus (sudah dibahas pada uraian sebelumnya)

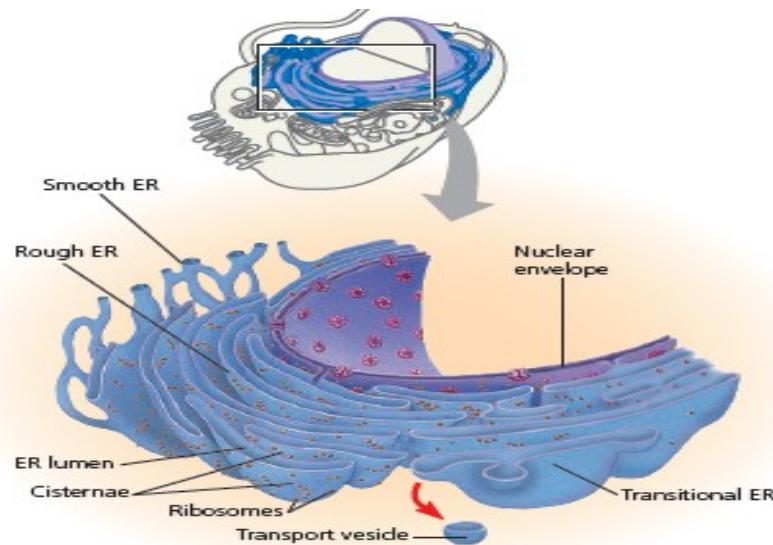
2). Retikulum endoplasma (RE)

Merupakan jejaring membran yang ekstensif sehingga menyusun lebih dari separuh total membran dalam dari sel eukariot. RE terdiri dari jejaring tubulus dan kantung bermembran yang disebut sisterna. Membran RE yang memisahkan kompartemen internal RE dari sitosol, disebut lumen (rongga) RE atau ruang sisterna. Lumen RE ini tersambung dengan ruang diantara kedua membran pada selaput nukleus karena membrane RE tersambung dengan selaput nukleus. Terdapat 2 wilayah yang berbeda struktur dan fungsinya pada RE (yaitu RE halus dan RE kasar) walaupun saling terhubung (gambar 8).

RE halus (*smooth* RE) tidak mengandung ribosom dipermukaannya. RE kasar (*rough* RE) memiliki ribosom yang menempel di permukaan luarnya. RE kasar berfungsi dalam sekresi protein dan tempat melekatnya ribosom. RE halus berfungsi sebagai tempat sintesis lemak (termasuk minyak, fosfolipid, steroid), metabolisme karbohidrat serta detoksifikasi obat-obatan dan racun. Steroid yang dihasilkan RE halus antara lain adalah hormone seks dan berbagai hormon steroid yang disekresi oleh kelenjar adrenal. Sel-sel yang menyintesis dan menyekresikan hormon-hormon ini, misalnya dalam testis dan ovarium, banyak mengandung RE halus. Enzim-enzim pada RE halus yang membantu mendetoksifikasi obat-obatan dan racun, banyak dijumpai di sel organ hati. Obat penenang (sedatif) fenobarbital dan barbiturate merupakan contoh obat yang dimetabolisme dengan cara ini di RE halus didalam sel organ hati. RE halus juga berfungsi menyimpan kalsium, RE halus yang terspesialisasi banyak dijumpai di dalam sel-sel otot untuk memompa ion kalsium dari sitosol ke dalam lumen RE. Ketika suatu otot dirangsang oleh impuls saraf, ion-ion kalsium membanjir melintasi membran RE kembali ke sitosol dan memicu kontraksi sel otot tersebut.

RE kasar berfungsi mensintesis protein sekresi (karena memiliki ribosom yang menempel di permukaan luarnya). RE kasar banyak dijumpai pada sel-sel pankreas tertentu yang menyintesis protein insulin di RE kasar nya dan mensekresikan hormon ini ke dalam darah. Membran RE kasar menjaga protein sekresi yang terbentuk agar terpisah dari protein yang dihasilkan oleh ribosom bebas. Protein sekresi ini akan meninggalkan RE kasar dalam kondisi terbungkus membran vesikel yang bertunas seperti gelembung dari

wilayah RE yang terspesialisasi yang disebut RE transisional. Vesikel yang bergerak dari satu bagian sel menuju bagian lain disebut vesikel transport. RE kasar juga memiliki fungsi lain yaitu sebagai tempat pembentukan membran untuk sel. RE kasar tumbuh dengan cara menambahkan protein membran dan fosfolipid ke dalam membrannya sendiri. Membran RE mengembang dan ditransfer dalam bentuk vesikel transport ke komponen-komponen lainnya dari sistem endomembran.



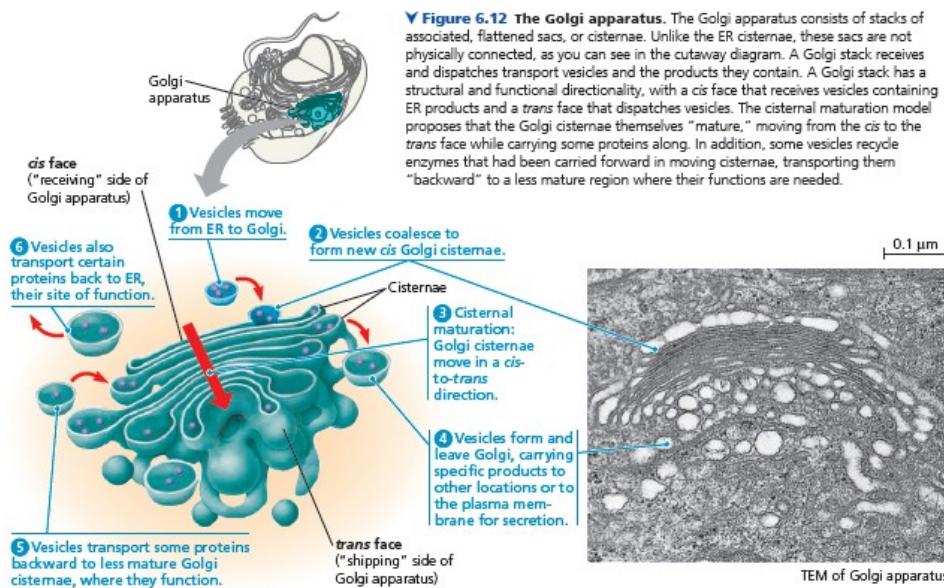
GAMBAR 8

Retikulum endoplasma

3). Aparatus Golgi / Badan golgi

Vesikel transport yang telah meninggalkan RE, bergerak menuju apparatus golgi (badan golgi). Fungsi badan golgi yaitu sebagai pusat modifikasi, penyimpanan, pemilahan dan pengiriman (sekresi) protein yang telah diproduksi oleh RE sebelumnya. Badan golgi banyak dijumpai pada sel-sel yang terspesialisasi untuk sekresi. Struktur badan golgi terdiri dari kantong-kantong pipih bermembran, disebut sisterna. Membran tiap sisterna dalam satu tumpukan, memisahkan ruang internal sisterna dari sitosol. Vesikel transport yang terkonsentrasi di dekat badan golgi, terlibat dalam transfer materi diantara bagian-bagian golgi dan struktur-struktur lain. Produk RE (protein), dimodifikasi (misalnya memodifikasi bagian karbohidrat pada glikoprotein suatu enzim) dari wilayah *cis* (kutub tumpukan badan golgi yang bekerja sebagai wilayah penerimaan) ke *trans* (kutub tumpukan badan golgi yang bekerja sebagai wilayah pengiriman) dari badan golgi. Sisi *cis* biasanya terletak di dekat RE. Vesikel transport menggerakkan materi dari RE menuju badan golgi. Vesikel transport yang bertunas dari RE ini dapat menambahkan membran dan isi lumennya ke sisi *cis* dengan cara berfusi dengan membran golgi. Sisi *trans* akan memunculkan vesikel yang terlepas dan berpindah ke tempat lain (gambar 9).

Badan golgi juga berfungsi membuat sendiri beberapa makromolekul, misalnya polisakarida (termasuk pektin dan polisakarida non selulosa lainnya untuk digabung bersama selulosa membentuk dinding sel yang dibuat oleh sel tumbuhan). Sebelum melepaskan produknya melalui pertunasan vesikel dari sisi *trans*, badan golgi memilah produknya dan menentukan tujuan/targetnya pada berbagai bagian sel. Selanjutnya vesikel transport yang bertunas dari golgi mungkin memiliki molekul eksternal pada membrannya untuk mengenali tempat tujuan/target pengantaran produknya baik pada organel spesifik lainnya atau ke membran plasma.



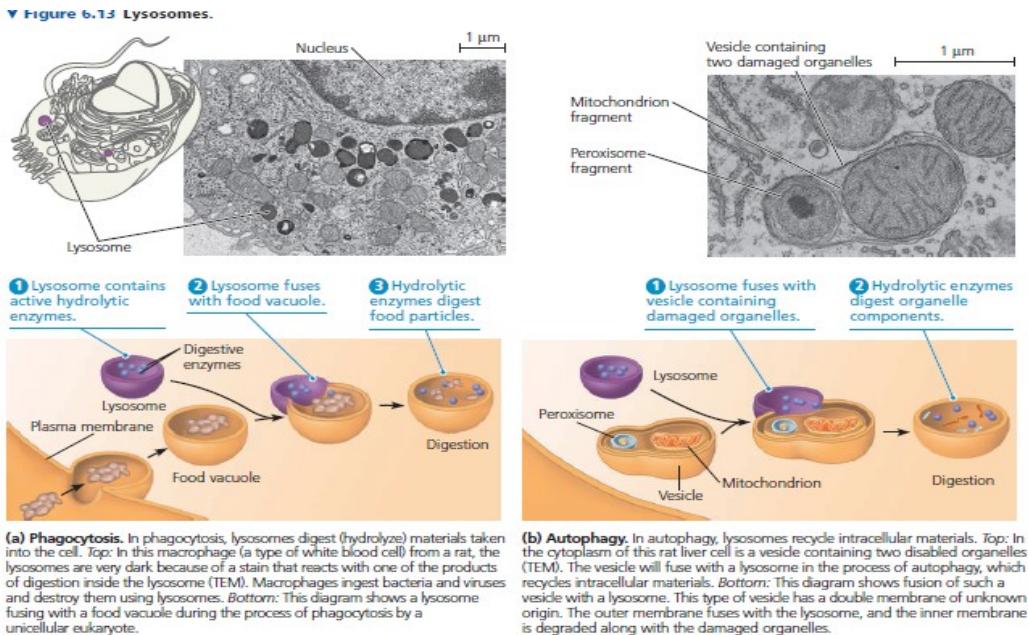
GAMBAR 9

Badan golgi

4). Lisosom

Merupakan kantong bermembran yang berisi enzim-enzim hidrolitik yang berfungsi untuk mencerna makromolekul di dalam sel. (pencernaan intraselular). Produk-produk pencernaan termasuk gula sederhana, asam amino dari lisosom, masuk ke dalam sitosol dan menjadi nutrien bagi sel. Lisosom juga menggunakan enzim hidrolitiknya untuk mendaur ulang materi organiknya sendiri (proses *autofag*). Selama *autofag*, organel sel yang rusak diselubungi oleh membran dan berfusi dengan membran luar lisosom

untuk diuraikan oleh enzim-enzim didalam lisosom, produk monomer hasil pencernaan oleh lisosom akan dikembalikan lagi ke sitosol untuk digunakan kembali. Lisosom membantu sel untuk terus menerus memperbaharui dirinya sendiri. Pada amoeba, lisosom yang mengandung enzim-enzim pencernaan, melakukan pencernaan intraselular dengan cara berfusi dengan vakuola makanan yang terbentuk dari hasil fagositosis (menelan organisme yang lebih kecil atau partikel makanan lain) (gambar 10). Sel darah putih manusia dari jenis makrofag, juga melakukan fagositosis dengan cara menelan dan menghancurkan bakteri serta patogen lain untuk menjaga pertahanan tubuh.



GAMBAR 10

Lisosom

5). Vakuola

Vakuola adalah vesikel yang dibatasi membran dengan fungsi yang berbeda pada sel yang berbeda. Vakuola makanan terbentuk pada proses fagositosis. Vakuola kontraktil terdapat pada protista air tawar untuk memompa kelebihan air keluar dari sel sehingga mempertahankan konsentrasi ion dan molekul yang sesuai di dalam sel. Berfungsi sebagai tempat penyimpanan air serta produk metabolismenya. Sel tumbuhan dewasa memiliki vakuola sentral berukuran besar dari hasil penggabungan vakuola-vakuola kecil dari RE dan badan golgi. Membran vakuola bersifat selektif dalam mentranspor zat terlarut. Vakuola sentral juga berfungsi menyimpan cadangan senyawa organik yang penting dan tempat penyimpanan utama ion anorganik (kalium, klorida) pada sel tumbuhan. Vakuola pada sel tumbuhan juga berfungsi sebagai tempat pembuangan produk sampingan metabolismik yang membahayakan sel bila terakumulasi di sitosol. Vakuola juga dapat mengandung pigmen pemberi warna pada sel tumbuhan. Vakuola pada sel tumbuhan juga berfungsi menampung senyawa-senyawa beracun untuk melindungi tumbuhan dari predator. Bila vakuola menyerap air dapat membesar sehingga membantu pertumbuhan sel tumbuhan.

e. Peroxisom

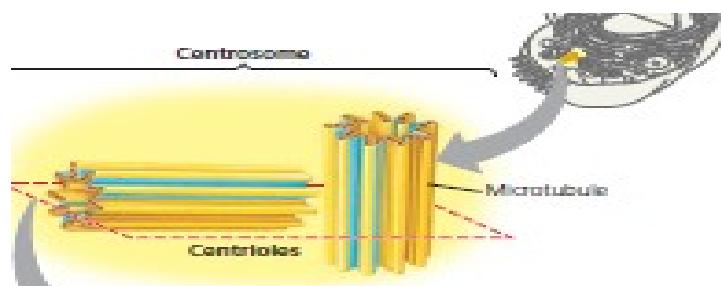
Merupakan kompartemen metabolismik terspesialisasi yang dibatasi oleh satu membran tunggal. Berfungsi menghasilkan hidrogen peroksid (H₂O₂) karena mengandung enzim yang dapat mentransfer hidrogen dari berbagai substrat ke oksigen. Peroxisom dapat menggunakan oksigen untuk memecah asam lemak menjadi molekul yang lebih kecil agar dapat ditranspor ke mitokondria sebagai bahan bakar pada respirasi seluler. Peroxisom di organ hati, membantu mendetoksifikasi alkohol dan senyawa-senyawa berbahaya lain dengan cara mentransfer hidrogen dari racun-racun tersebut ke oksigen. H₂O₂ yang dihasilkan peroxisom, bersifat toksik, namun peroxisom mengandung sejenis enzim yang dapat mengubah H₂O₂ menjadi air. Peroxisom yang terspesialisasi disebut glioksisom, terdapat pada jaringan penyimpanan lemak pada biji tumbuhan.

f. Sitoskeleton

Merupakan jejaring serat yang membentang diseluruh sitoplasma sel. Berfungsi untuk pengorganisasian struktur sel (memberi bentuk dan menyokong sel) dan aktivitas sel (berinteraksi dengan protein motorik untuk motilitas/pergerakan sel , memandu vesikel sekresi dari badan golgi ke membran plasma, memisahkan kromosom saat pembelahan sel, dll) Terdiri dari 3 tipe struktur molekular yaitu mikrotubulus, mikrofilamen dan filamen intermedi.

1) Mikrotubulus

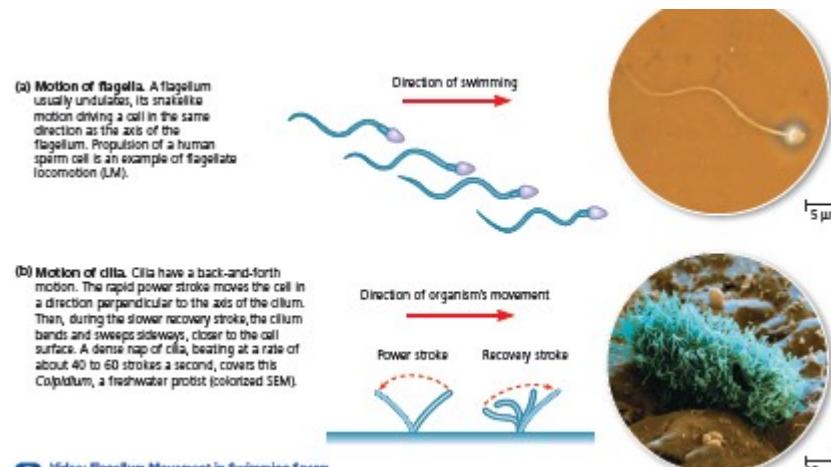
Pada sel hewan dan manusia, mikrotubulus tumbuh keluar dari sentrosom (merupakan wilayah dekat nukleus dan dianggap sebagai pusat pengorganisasian mikrotubulus). Terdapat sepasang sentriol (masing-masing terdiri dari 9 set triplet mikrotubulus yang tersusun berbentuk cincin) di dalam sentrosom (gambar 11) yang dapat bereplikasi sebelum sel membelah.



GAMBAR 11

Mikrotubulus penyusun sentriol di dalam sentrosom

Susunan mikrotubulus yang terspesialisasi pada beberapa sel eukariot, dapat menjulur membentuk flagela dan silia untuk membantu pergerakan, misalnya pada sel sperma, alga dan beberapa tumbuhan. Pergerakan flagela memiliki pola gerak seperti ombak sedangkan silia mendorong dan mundur silih berganti (gambar 12).

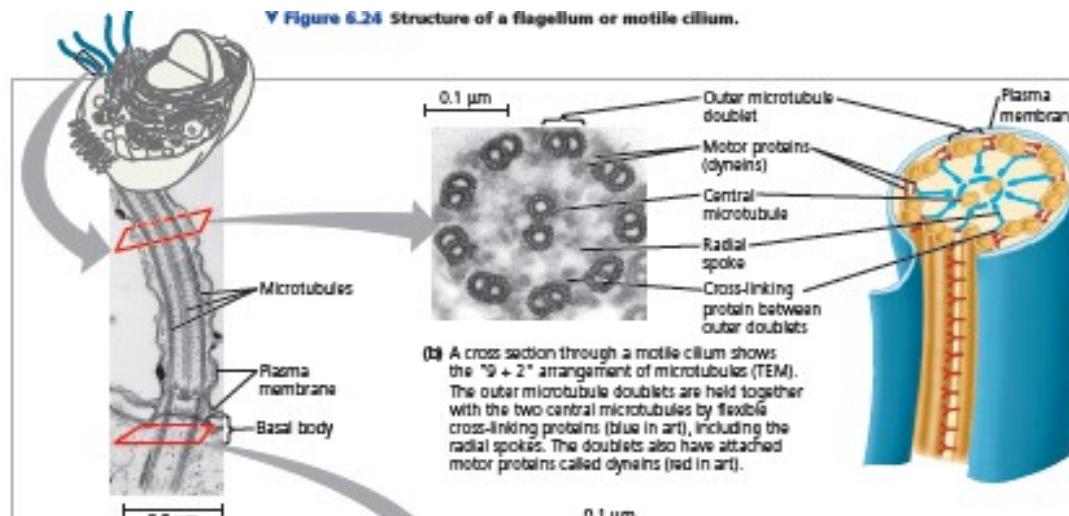


GAMBAR 12

Pola pergerakan flagela dan silia karena peran mikrotubulus

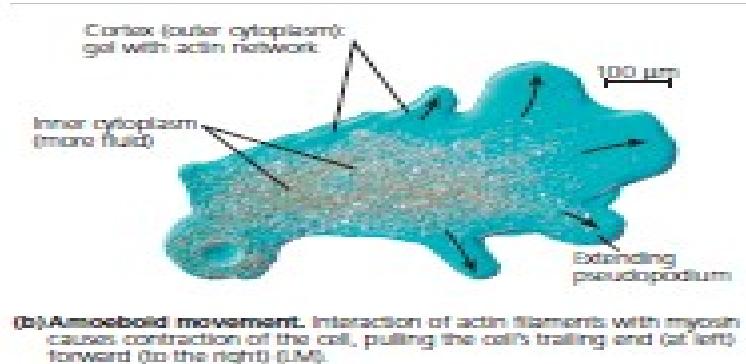
Pergerakan flagela dan silia terjadi karena interaksi mikrotubulus dengan dinein (protein motorik) sebagai protein penaut yang berjarak teratur disepanjang flagela dan silia (gambar 13). Silia atau flagela dari sel-sel yang tetap ditempat sebagai bagian dari lapisan suatu jaringan, dapat menggerakkan cairan melalui permukaan jaringan, misalnya lapisan trachea yang bersilia akan

menyapu mucus (lendir) yang mengandung kotoran bila terperangkap keluar dari paru-paru; lapisan silia pada oviduk (indung telur) dari organ reproduksi wanita, akan membantu menggerakkan sel telur menuju rahim.



1) Mikrofilamen

Berbentuk batang padat yang tersusun dari molekul protein aktin yang memuntir. Selain dijumpai dalam bentuk filament lurus, mikrofilamen juga dapat membentuk jejaring struktural (karena terdapat protein yang berikatan disepanjang sisi filament aktin sehingga memungkinkan filament baru membentang sebagai cabang). Peran mikrofilamen dalam sitoskeleton yaitu menahan tegangan (gaya tarik). Mikrofilamen yang terspesialisasi pada sel-sel di usus hewan dan manusia untuk mentranspor materi melintasi membran sel, akan menjadi inti dari mikrovilli yaitu suatu penjuluran halus yang meningkatkan luas permukaan sel di usus. Pada sel otot, ribuan mikrofilamen tersusun paralel satu sama lain dan berselang seling dengan filament-filamen yang lebih tebal (terbuat dari protein miosin) untuk motilitas (pergerakan) sel. Kontraksi lokal oleh aktin dan miosin juga dapat dilihat pada pergerakan pada pergerakan *amoeba* yang merayap di sepanjang suatu permukaan dengan cara menjulur dan mengalir ke dalam penjuluran selular (disebut pseudopodia = kaki palsu) (gambar 14)



GAMBAR 14

Peran mikrofilamen pada pergerakan *amoeba*

2) Filamen intermediet

Diameternya lebih besar dari mikrofilamen namun lebih kecil dari mikrotubulus. Terspesialisasi untuk menahan tegangan dan merupakan pengukuh sel yang lebih permanen dibandingkan mikrotubulus dan mikrofilamen karena sering diuraikan dan dirakit kembali di berbagai bagian sel. Bahkan setelah sel mati, jejaring filament intermediet sering tetap bertahan, misalnya lapisan terluar kulit manusia, terdiri dari sel-sel kulit mati yang penuh dengan protein keratin. Selain menguatkan bentuk sel, cabang-cabang mikrofilamen yang membentang dalam sitoplasma juga berperan menahan/ menetapkan posisi organel-organel tertentu misalnya nukleus, sehingga tidak bergeser. Filamen intermediet juga berfungsi memperkuat penjuluran panjang (akson) sel saraf yang meneruskan impuls.

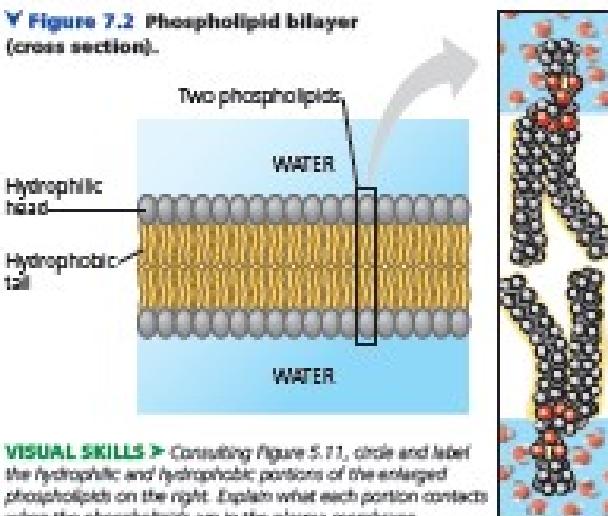
7. Memiliki Dinding sel (hanya pada tumbuhan)

Merupakan struktur ekstraselular sel tumbuhan yang membedakannya dari sel hewan dan manusia. Berfungsi melindungi sel, mempertahankan bentuk sel dan mencegah pengambilan air secara berlebihan. Dinding sel jauh lebih tebal dibandingkan membran plasma. Pada tumbuhan utuh, dinding sel yang kuat akan menahan tumbuhan tetap tegak melawan gaya gravitasi. Dinding sel primer yang relatif tipis dan fleksibel, disekresi pertama kali oleh sel tumbuhan muda. Diantara dinding primer sel-sel yang bersebelahan, terdapat lamella tengah yaitu lapisan tipis yang banyak mengandung polisakarida lengket yang disebut pektin. Lamela tengah melekatkan sel-sel yang bersebelahan. Ketika sel tumbuhan menjadi dewasa dan berhenti tumbuh, pektin akan memperkuat sel. Beberapa sel tumbuhan juga mensekresikan zat-zat pengeras ke dalam dinding primer. Sel-sel lain ada yang menambahkan dinding sel sekunder diantara membran plasma dan dinding primer. Dinding sekunder sering terdeposit dalam beberapa lembar lapisan, memiliki matriks yang kuat dan tahan lama untuk melindungi dan menyokong sel. Contoh : kayu, terutama terdiri dari dinding sekunder. Dinding sel tumbuhan umumnya berlubang-lubang akibat saluran diantara sel-sel yang bersebelahan, disebut plasmodesma.

8. Memiliki membran plasma

Membran plasma merupakan pemisah sel hidup dari lingkungan sekelilingnya. Fungsinya sebagai *barrier* selektif lalu lintas oksigen, nutrisi dan zat buangan untuk sel (meregulasi transport melintasi perbatasan selular/ meregulasi lalu lintas molekular pada sel).

Membran plasma bersifat permeabilitas selektif yaitu memungkinkan beberapa zat untuk menembus membran tersebut secara lebih mudah dibandingkan zat-zat lainnya. Lipid (fosfolipid), protein dan karbohidrat merupakan bahan utama penyusun membran plasma dalam model *mosaic fluid*. Pada model *mosaic fluid* ini, membran plasma merupakan suatu mosaik dari molekul-molekul protein yang bergerak naik turun dalam lapisan ganda fosfolipid yang bersifat *fluid*.. Membran plasma merupakan struktur yang bersifat *fluid* (tidak memiliki bentuk yang tetap dan mudah mengalir/ tidak kaku) dengan “mosaic” berupa berbagai protein yang tertanam di dalam atau melekat pada lapisan ganda (*bilayer*) fosfolipid serta karbohidrat yang terikat pada protein maupun lipid di permukaan luar membran plasma.. Bagian kepala lapisan ganda fosfolipid bersifat hidrofilik dan bagian ekornya bersifat hidrofobik (gambar 15)



GAMBAR 15

Lapisan ganda fosfolipid pada membran sel

Sebagian besar lipid dan beberapa protein penyusun membran plasma, dapat bergeser kesana-kemari secara lateral sepanjang bidang membran. Sebagian besar fungsi membran plasma dalam meregulasi transport, ditentukan oleh protein penyusunnya. Ada 2 populasi protein utama di membran plasma yaitu protein integral (protein yang menembus inti hidrofobik lapisan ganda lipid, contohnya : protein integrin) dan protein peripheral/tепи (protein yang tidak tertanam dalam lapisan ganda lipid, hanya terikat longgar ke permukaan membran dan seringkali melekat ke bagian protein integral yang menjulur keluar membran plasma).

Beberapa protein membran, ditahan pada posisinya oleh perlekatan ke sitoskeleton di sisi sitoplasmik (sisi yang menghadap sitoplasma) membran plasma. Sisi lainnya yaitu ekstraselular (sisi yang menghadap ke luar sel) dari membran plasma, protein membran tertentu melekat ke serat-serat matriks ekstraselular.

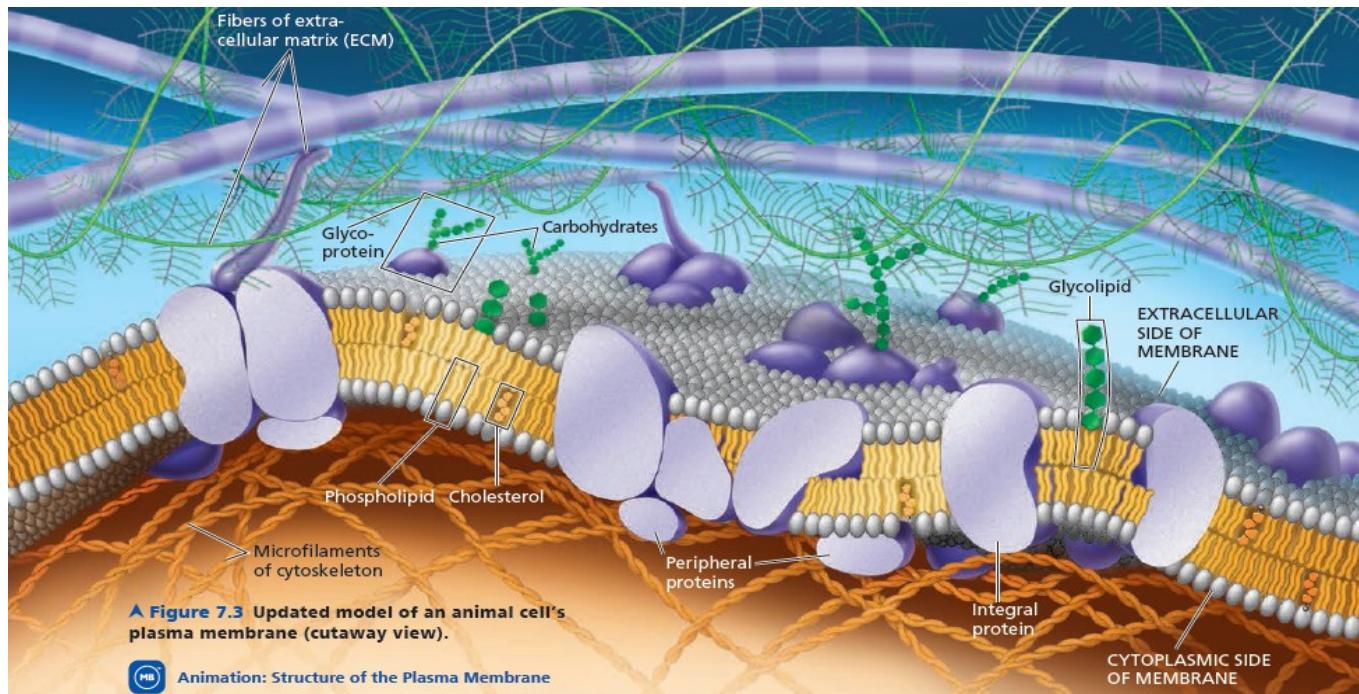
Membran plasma juga memiliki kandungan karbohidrat yang berikatan kovalen dengan lipid, membentuk molekul glikolipid, namun sebagian karbohidrat pada membran plasma juga berikatan dengan protein membentuk glikoprotein. Karbohidrat pada sisi ekstraseluler membran plasma, bervariasi antar spesies , antar individu berbeda dalam 1 spesies, bahkan antar tipe sel yang berbeda pada 1 individu. Keanekaragaman jenis dan lokasi molekul pada permukaan membran sel, memungkinkan karbohirat membran berfungsi sebagai penanda yang membedakan satu sel dengan sel lainnya. Misalnya 4 tipe golongan darah pada manusia (A,B,AB,O) mencerminkan variasi karbohidrat pada permukaan sel darah merah. Susunan asimetris protein, lipid dan karbohirat pada membran plasma sel (gambar 16) , ditentukan saat membran dibangun oleh RE dan badan golgi.

Lalu lintas molekul kecil dan ion yang melintasi membran terjadi dalam 2 arah, misalnya pertukaran kimiawi antara sel otot dengan cairan ekstraselular disekelilingnya; pertukaran gula, asam amino, dan nutrient lainnya memasuki sel sedangkan zat-zat buangan metabolismik meninggalkan sel.; pengambilan oksigen untuk respirasi seluler dan pembuangan karbodioksida; regulasi konsentrasi ion-ion organik Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Cl^- dengan cara mengulang aliran ion-ion tersebut melintasi membran plasma.

Molekul-molekul non polar, misanya hidrokarbon, karbodioksida dan oksigen, bersifat hidrofobik sehingga dapat larut dalam lapisan ganda lipid membran plasma dan melintas dengan mudah tanpa bantuan protein membran. Sebaliknya, inti hidrofobik membran plasma akan menghalangi ion dan molekul polar bersifat hidrofilik yang amat kecil sehingga tidak bisa melintas dengan cepat. Perlu bantuan protein transport yaitu protein saluran (*channel protein*) yang membentang di kedua sisi membran, agar molekul polar yang hidrofilik tersebut dapat menghindari kontak dengan lapisan ganda lipid untuk melintasi membran plasma. Contoh protein saluran adalah aquaporin yang membantu molekul air melintasi membran plasma secara lebih cepat (dibandingkan dengan berdifusi sendiri) dengan

cara membuat saluran (terowongan) bersifat hidrofilik yang diperlukan ion dan molekul tertentu untuk melintasi membran plasma. Protein transport lainnya yaitu protein pembawa (*carrier* protein) berperan memegang molekul yang dibawanya dan berubah bentuk sedemikian rupa sehingga molekul tersebut dapat terkirim melintasi membran. Protein transport bersifat spesifik untuk zat yang ditranslokasikan (dipindahkan) dan hanya memungkinkan zat tertentu saja yang mampu melintasi membran plasma, misalnya glukosa yang diangkut dalam darah dan dibutuhkan oleh sel darah merah untuk aktivitas selular dapat memasuki sel darah merah dengan cepat melalui protein pembawa spesifik lainnya dalam membran plasma dibandingkan jika berdifusi sendiri.

Permeabilitas selektif membran dengan demikian tergantung pada penghalangan selektif oleh lapisan ganda lipid dan pada protein transport spesifik yang tertanam dalam membran plasma.



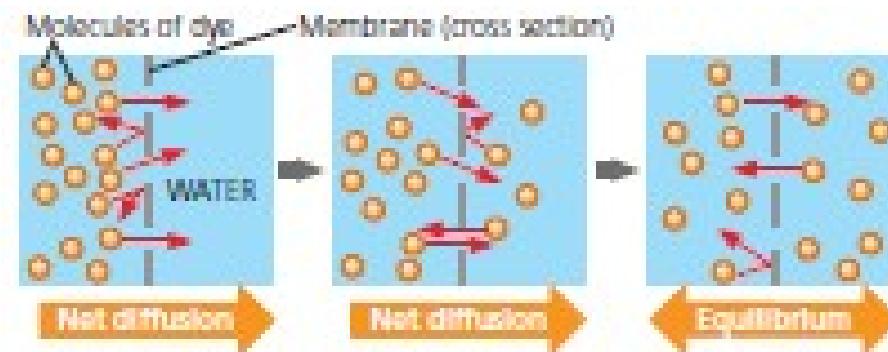
GAMBAR 16

Struktur membran plasma sel hewan dan manusia

Mekanisme transpor zat/molekul/ion melintasi membran plasma dapat melalui :

a. Transport pasif

Yaitu difusi (pergerakan molekul zat sehingga tersebar merata didalam ruang yang tersedia) melintasi membran biologis. Proses difusi terjadi secara spontan dan tidak memerlukan energi karena menuruni gradien konsentrasi yaitu perpindahan zat dari konsentrasi (zat terlarut) tinggi ke rendah (gambar 17). Contoh : pengambilan O_2 oleh sel yang melakukan respirasi. Namun karena membran plasma bersifat permeabel selektif maka laju difusi berbagai molekul bisa berbeda-beda. Contoh : laju difusi molekul air melintasi membran plasma bisa lebih cepat dengan bantuan protein transport yaitu akuaporin (protein saluran).



GAMBAR 17

Difusi sebagai transport pasif

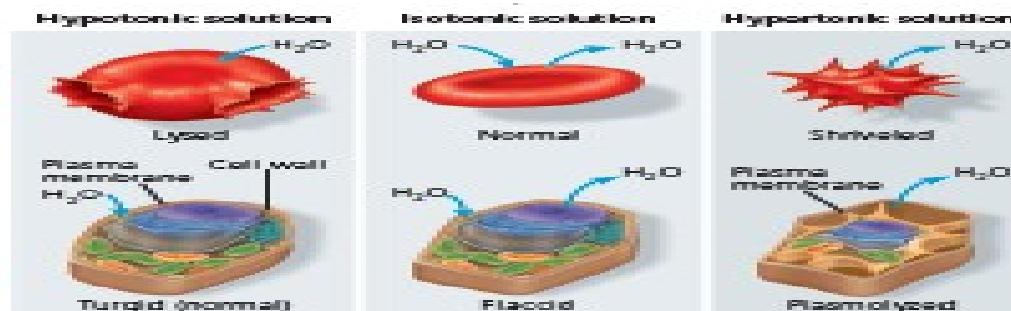
b.Osmosis

Yaitu difusi air (pelarut) melintasi membran permeabel selektif sehingga tercapai keseimbangan air antara sel dengan lingkungannya.

Terkait keseimbangan air, jika suatu sel tanpa dinding sel (misalnya sel hewan / sel manusia) direndam dalam lingkungan isotonik (iso=sama) terhadap sel, tidak ada pergerakan netto air melintasi membran plasma atau air mengalir melintasi membran namun dalam laju yang sama dalam kedua arah sehingga pada lingkungan isotonik maka volume sel hewan/sel manusia tersebut akan stabil (gambar 18).

Jika sel tersebut dipindahkan ke dalam larutan yang hipertonik terhadap sel (hiper=lebih banyak, dalam hal ini mengacu pada zat terlarut) maka sel akan kehilangan air ke lingkungan sehingga mengerut dan mungkin mati (gambar 18).

Jika sel tersebut ditempatkan dalam larutan hipotonik terhadap sel (hipo=lebih sedikit, zat terlarutnya) maka air akan memasuki sel lebih cepat dibandingkan air yang keluar dari sel sehingga sel akan membengkak serta lisis (pecah/meletus seperti balon air yang kelebihan) (gambar 18).



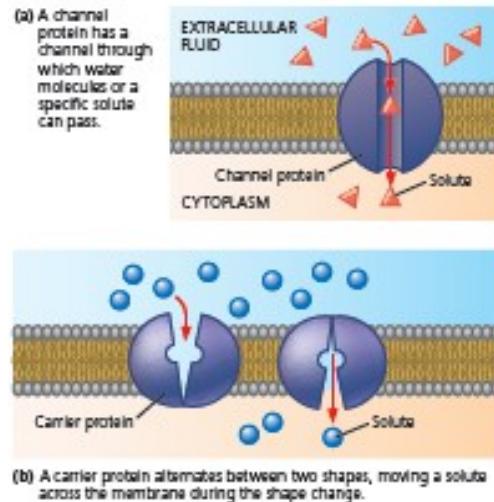
GAMBAR 18

Keseimbangan air pada sel tidak berdinding pada kondisi hipertonik, isotonik dan hipotonik

Terkait keseimbangan air, pada sel tumbuhan, prokariota, fungi (jamur) dan beberapa protista yang memiliki dinding, bila sel direndam dalam larutan hipotonik (misalnya terendam dalam air hujan) maka dinding sel akan membantu mempertahankan keseimbangan air dengan cara menggembung ketika air masuk melalui proses osmosis. Namun dinding sel yang relatif tidak elastik akan mengembang hanya sampai batas tertentu sebelum memberi tekanan balik pada sel yang melawan pengambilan air lebih lanjut. Kondisi ini sel disebut bersifat turgid (amat kaku) sebagai kondisi sehat untuk sebagian besar sel tumbuhan.

c. Difusi terfasilitasi / Difusi dipermudah

Yaitu difusi pasif dengan bantuan protein transport (baik protein saluran/ *channel* protein maupun protein pembawa/ *carrier* protein) yang membentang di kedua sisi membran (gambar 19). Terjadi karena banyak molekul polar dan ion yang dihalangi perlintasannya oleh lapisan ganda lipid pada membran sel. Meskipun dibantu oleh protein transport, difusi terfasilitasi ini dianggap sebagai transport pasif karena zat terlarut bergerak menuruni gradient konsentrasinya. Difusi terfasilitasi mempercepat transport zat terlarut dengan cara menyediakan saluran yang efisien melalui membran sel namun tidak mengubah arah transport. Contoh, akuaporin merupakan protein transport (protein saluran) yang memfasilitasi difusi air dalam jumlah yang sangat banyak. Sel ginjal juga memiliki akuaporin yang banyak sekali sehingga dapat mengambil kembali air dari urin sebelum diekskresikan.



GAMBAR 19

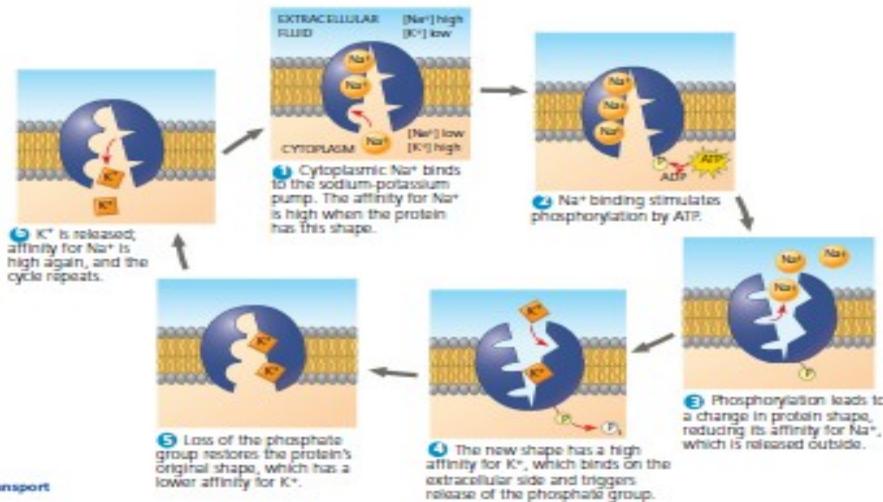
Difusi terfasilitasi

d. Transport aktif menggunakan energi untuk menggerakkan zat terlarut melawan gradien

Yaitu difusi dengan bantuan protein transport untuk menggerakkan zat terlarut melintasi membran sel namun melawan gradien konsentrasinya (melintasi membran plasma dari sisi konsentrasi lebih rendah (didalam atau diluar) ke sisi yang konsentrasinya lebih tinggi sehingga membutuhkan energi dalam bentuk ATP (*adenosine tri phosphate*) (Gambar 20). Transpor aktif ini memungkinkan sel mempertahankan konsentrasi internal zat terlarut kecil yang berbeda dari konsentrasi di lingkungan. Contoh : pompa natrium-kalium (*sodium-potassium pump*) yang mempertukarkan natrium (Na^+) dengan kalium (K^+) melintasi membran plasma sel hewan dan manusia dengan memompa natrium ke luar sel dan memompa kalium ke dalam sel.

► Figure 7.15 The sodium-potassium pump: a specific case of active transport.
 This transport system pumps ions against steep concentration gradients. Sodium ion concentration ($[Na^+]$) is high outside the cell and low inside, while potassium ion concentration ($[K^+]$) is low outside the cell and high inside. The pump oscillates between two shapes in a cycle that moves three Na^+ out of the cell (steps 1–3) for every two K^+ pumped into the cell (steps 4–6). The two shapes have different binding affinities for Na^+ and K^+ . ATP hydrolysis powers the shape change by transferring a phosphate group to the transport protein (phosphorylating the protein).

 [Animation: Active Transport](#)



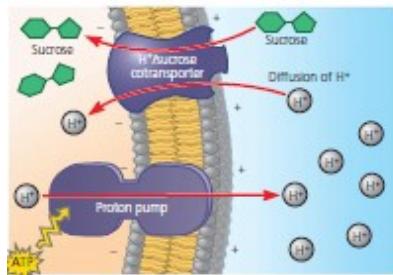
GAMBAR 20

Transport aktif menggunakan energi untuk menggerakkan zat terlarut melawan gradien

e. Transpor serentak oleh protein membran (kotranspor)

Yaitu suatu pompa tunggal bertenaga ATP yang mentranspor zat spesifik dapat menggerakkan secara tidak langsung transport aktif beberapa zat terlaru (Gambar 21). Contoh : sel tumbuhan menggunakan gradien ion hidrogen yang dibangkitkan oleh pompa protonnya untuk menggerakkan transport aktif asam amino, gula dan beberapa nutrien lain ke dalam sel. Salah satu protein transport menggandengkan kembalinya ion hidrogen dengan transport sukrosa ke dalam sel. Protein ini dapat mentranslokasikan sukrosa ke dalam sel melawan gradien konsentrasi namun hanya jika molekul sukrosa bergerak ditemani oleh ion hidrogen. Ion hidrogen menggunakan protein transport sebagai jalan untuk berdifusi menuruni gradien elektrokimiawi yang dipertahankan oleh pompa proton.

▼ Figure 7.18 Cotransport: active transport driven by a concentration gradient. A carrier protein, such as this H⁺/sucrose cotransporter in a plant cell (top), is able to use the diffusion of H⁺ down its electrochemical gradient into the cell to drive the uptake of sucrose. (The cell wall is not shown.) Although not technically part of the cotransport process, an ATP-driven proton pump is shown here (bottom), which concentrates H⁺ outside the cell. The resulting H⁺ gradient represents potential energy that can be used for active transport—of sucrose, in this case. Thus, ATP hydrolysis indirectly provides the energy necessary for cotransport.



GAMBAR 21

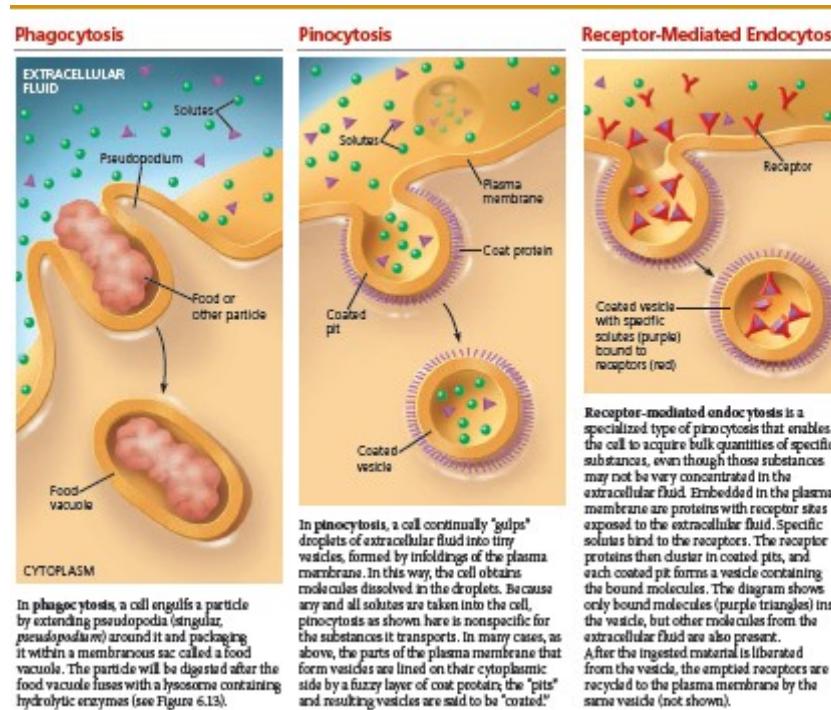
Transpor serentak oleh protein membran (kotranspor)

f. Transpor massal melintasi membran plasma melalui eksositosis.

Yaitu sekresi molekul biologis tertentu melalui penyatuhan (fusi) vesikel dengan membran plasma (dalam hal ini vesikel transpor yang telah bertunas dari badan golgi dan bergerak ke membran plasma). Banyak sel sekresi menggunakan eksositosis untuk mengekspor produk. Contoh : sel di pangkreas membuat dan mensekresi insulin ke dalam cairan ekstraselular melalui eksositosis ; neuron (sel saraf) menggunakan eksositosis untuk melepaskan neurotransmitter yang memberi sinyal pada neuron lain atau sel otot.

g. Transpor massal melintasi membran plasma melalui endositosis.

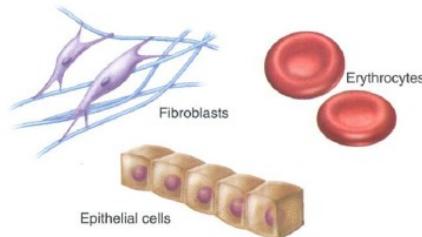
Yaitu pengambilan molekul biologis dan partikel oleh sel dengan cara membentuk vesikel baru dari membran plasma. Pada mekanisme ini, membran plasma akan melekuk ke dalam membentuk kantong. Ketika lekukan bertambah dalam, kantungpun terlepas dari membran plasma dan membentuk vesikel yang mengandung materi yang sebelumnya berada di luar sel. Ada 3 jenis endositosis (gambar 22) yaitu fagositosis (pengambilan molekul dan partikel padat), pinositosis (pengambilan molekul dan partikel cair) dan endositosis diperantarai reseptor (contoh : pengambilan kolesterol yang mengalir dalam darah sebagai partikel lipoprotein berdensitas rendah atau LDL = *low density lipoprotein*, untuk dimanfaatkan dalam sintesis membran plasma dan steroid)



GAMBAR 22

Tiga jenis endositosis

9. Memiliki ukuran sel dengan diameter umumnya 1—100 μm (lebih besar dibandingkan ukuran sel prokariot).
10. Memiliki bentuk sel bervariasi. Contoh : sel lemak berbentuk bulat (*spherical*), sel darah merah berbentuk cakram (*disc*), sel saraf bercabang, sel ginjal berbentuk seperti kubus (gambar 23)



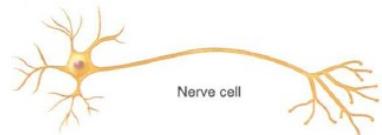
(a) Cells that connect body parts, form linings, or transport gases



(b) Cells that move organs and body parts



(c) Cell that stores nutrients



(e) Cell that gathers information and controls body functions



(f) Cell of reproduction

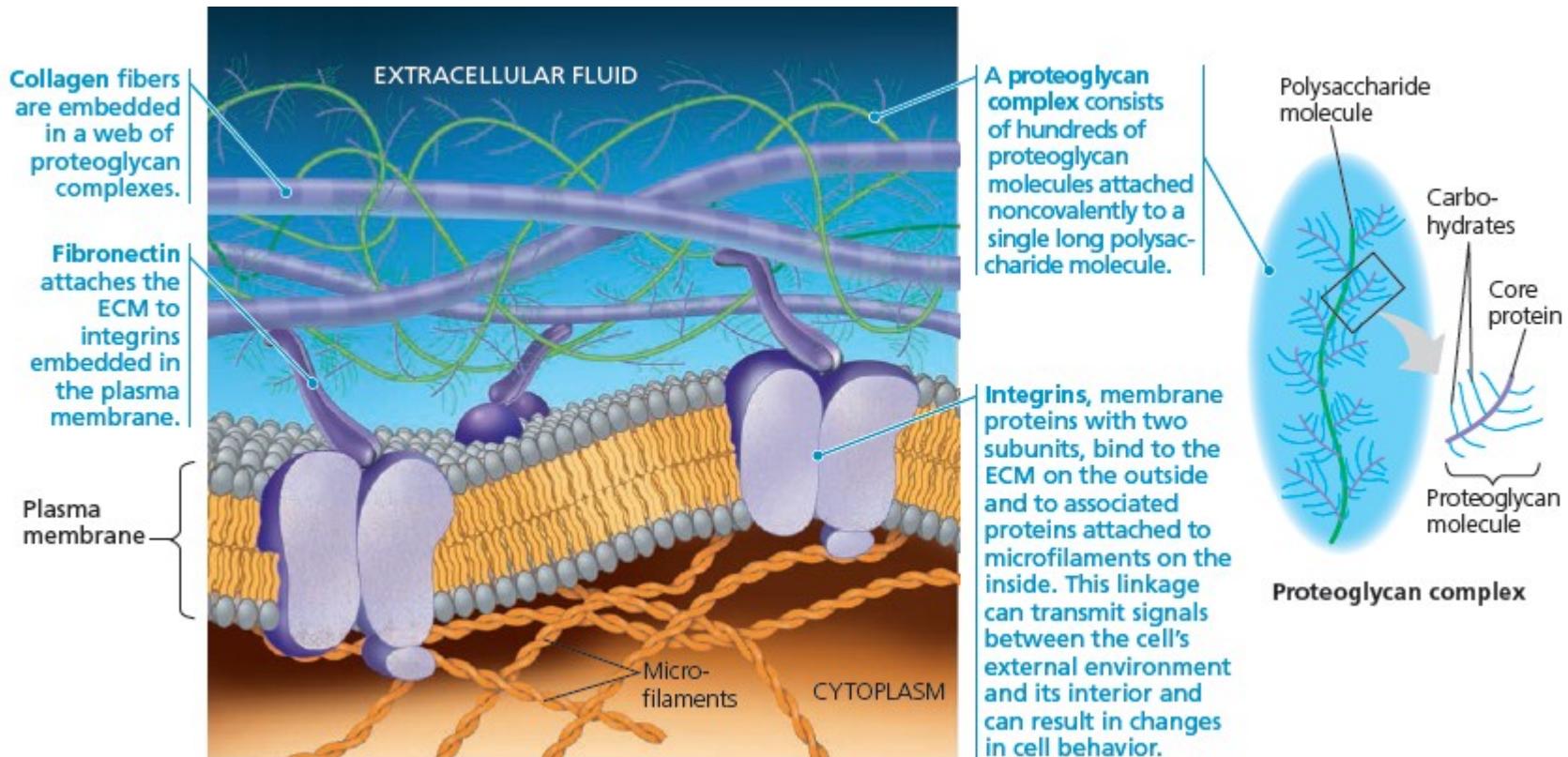
GAMBAR 23

Variasi bentuk sel eukariota (pada manusia)

11. Memiliki Matriks Ekstraselular (Pada Sel Hewan dan Manusia)

Walaupun tidak memiliki dinding seperti sel tumbuhan, sel hewan dan manusia memiliki matriks ekstraselular (MES) dengan bahan penyusun utama yaitu glikoprotein yang disekresi oleh sel. Glikoprotein utama pada sel hewan dan manusia adalah kolagen yang membentuk serat-serat kuat di luar sel. Serat kolagen tertanam dalam jeiring (jalinan) proteoglikan. Suatu molekul proteoglikan terdiri dari 1 protein inti kecil dengan banyak rantai karbohidrat yang terikat secara kovalen sehingga 95% molekul tersebut bisa berupa karbohidrat. Kompleks proteoglikan besar dapat terbentuk ketika ratusan proteoglikan menjadi berikatan non kovalen dengan suatu molekul polisakarida tunggal panjang.

Beberapa sel dilekatkan ke MES oleh glikoprotein MES jenis lainnya yaitu fibronektin. Fibronektin dan protein-protein MES lain berikatan dengan protein reseptor permukaan sel yaitu integrin yang tertanam kedalam disepanjang membran plasma. Sisi integrin yang menghadap sitoplasma akan berikatan dengan protein-protein terkait yang melekat ke mikrofilamen sitoskeleton (gambar 24). MES berfungsi meregulasi perilaku sel dan mempengaruhi aktivitas gen dalam nukleus (memicu jalur-jalur pensinyalan kimiawi dalam sel).



GAMBAR 24

Matriks ekstraselular pada sel hewan dan sel manusia

DAFTAR PUSTAKA :

1. Urry LA, Cain ML, Minorsky PV, Wasserman SA, Reece JB. Campbell Biology.11th ed. New York: Pearson, 2017:93-140.
2. Campbell NA, Reece JB, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB. Biologi. Edisi kedelapan. Jilid 1. Alih bahasa: Wulandari DT. Jakarta: Penerbit Erlangga. 2010:102-150.
3. Marieb EN, Hoehn K. Anatomy & Physiology. 4th ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings. 2011:54-100.
4. Yuwono T. Biologi Molekuler. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2005:7-12.

