View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Universitas Terbuka Repository

MODUL 1

Struktur dan Fungsi Sel

Dadan Rosana, M.Si.

PENDAHULUAN

Modul ini membahas mengenai suatu kesatuan struktural, fungsional, dan herediter terkecil dari makhluk hidup yang berupa ruangan kecil yang dibatasi oleh selaput dan berisi cairan pekat yang dikenal dengan sebutan sel. Bahasan ini sangat penting untuk dipahami oleh Anda yang mengambil mata kuliah Biofisika, sebagai langkah awal untuk memahami proses-proses fisis dan kimiawi pada makhluk hidup.

Ada dua kegiatan belajar dalam modul ini, yaitu: *pertama*, mengenai struktur dan fungsi sel yang akan membahas *mengenai struktur sel, fungsi organ-organ sel, dan model fisis sel*. *Kedua*, mengenai membran sel yang akan membahas *mengenai struktur membran sel, transpor melalui membran, dan persamaan Nerst dan Gauldman*.

Dengan mempelajari modul ini diharapkan Anda memiliki kemampuan untuk menganalisis sel sebagai unit terkecil sistem biologi yang sekaligus memahami karakteristiknya. Selain itu juga diharapkan Anda dapat menganalisis struktur dan fungsi membran sel serta proses-proses fisis maupun kimiawi yang menyertainya. Dengan demikian akan didapatkan Gambaran yang jelas mengenai proses biologis dan fisis sebagai bahasan utama dalam mata kuliah Biofisika ini.

Secara lebih khusus modul ini, memberikan kemampuan pada mahasiswa agar dapat:

1. menjelaskan struktur sel sebagai unit terkecil sistem biologi;
2. menjelaskan fungsi organ-organ sel;
3. menganalisis model fisis sel;
4. menganalisis struktur membran sel;
5. menganalisis transpor melalui membrane;
6. menganalisis persamaan Nerst dan Gauldman.

Dalam mempelajari modul ini diharapkan Anda telah memiliki bekal pengetahuan dan pemahaman mengenai beberapa topik dalam ilmu fisika seperti mekanika, listrik magnet, fluida, dan getaran bunyi.

Selamat belajar, semoga Anda berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

Struktur dan Fungsi Sel

Semua makhluk hidup, baik manusia, hewan, tumbuhan, maupun mikroba terdiri atas kumpulan sel. Sel merupakan kesatuan struktural, fungsional, dan herediter terkecil dari makhluk hidup yang berupa ruangan kecil yang dibatasi oleh selaput dan berisi cairan pekat. Dalam Becker, *et all* (2000:2) disebutkan bahwa sel merupakan suatu unit dasar biologi. Sel tersebut berasal dari sel yang ada sebelumnya dan memiliki kehidupannya sendiri di samping peranan gabungannya di dalam organisme multisel.

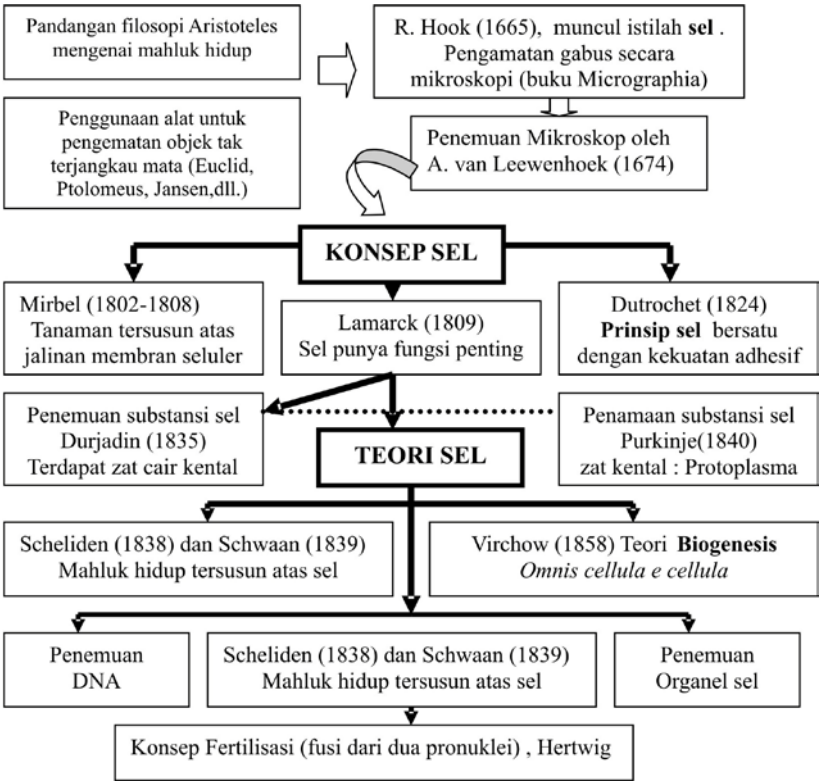
Istilah sel pertama kali dikemukakan oleh Robert Hooke pada tahun 1667 (Issoegianti, 1993:2), yang sebelumnya pada tahun 1665 menerbitkan micrographia yang memuat hasil pengamatannya pada gabus secara mikroskopik. Pada saat itu manusia belum memiliki alat yang dapat digunakan untuk melihat sel yang memiliki bentuk sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Sel dapat lebih dipelajari setelah ditemukannya mikroskop oleh Anton van Leeuwenhoek pada tahun 1674.

Kurang lebih 200 tahun kemudian, Dutrochet, von Scheleiden, dan Schwaan menegaskan penemuan Hook. Pada tahun 1824, R.J.H. Dutrochet mengemukakan prinsip sel yang menyatakan bahwa semua hewan dan tumbuhan terdiri dari sel yang tetap bersatu oleh adanya kekuatan adhesif. Kemudian pada tahun 1838, M.J. Scheleiden menerbitkan buku yang memuat pengertian mengenai genesis jaringan tumbuhan. Scheleiden menemukan adanya nukleoli dan mengemukakan mengenai teori sel pada tumbuhan. Sementara itu satu tahun berikutnya, T. Schwaan mengemukakan mengenai teori sel pada hewan. Teori sel menyebutkan bahwa makhluk hidup tersusun atas sel. Penemuan teori sel di atas seiring dengan temuan Durjadin pada tahun 1835 yang menemukan bahwa di dalam sel terdapat suatu zat yang kental, yang sekarang dikenal dengan nama protoplasma.

Pada pertengahan abad 19, pada tahun 1958, R. Virchow mengemukakan teori biogenesis yang mengoreksi teori abiogenesis. Teori biogenesis menyatakan bahwa semua sel hidup berasal dari sel yang telah ada. Konsep tersebut populer dengan *omnis cellulae cellula*. Selanjutnya pada abad 20 banyak ahli yang menemukan berbagai jenis struktur dan bentukan yang terdapat dalam sel. Misalnya pada tahun 1867, L. ST. George menemukan

organela sel yang sekarang ini disebut komplek-golgi. Pada tahun 1869, F. Meischer menemukan nuklein, dan pada tahun 1887, van Beneden menemukan sentriol.

Penemuan-penemuan penting mengenai sel terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan ditemukannya alat-alat canggih. Hingga saat ini diketahui bahwa struktur dan kegiatan sel tidak sesederhana seperti yang diduga semula. Untuk lebih jelasnya skema perkembangan sel dan teori sel dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.

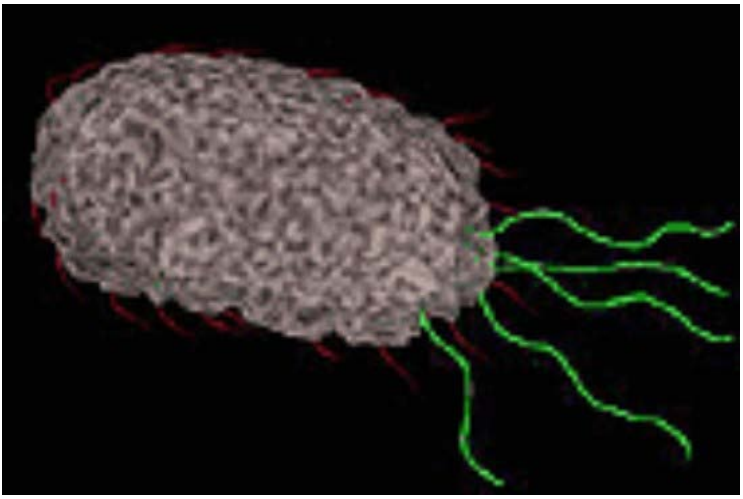


Sel merupakan unit kehidupan terkecil. Semua organisme yang hidup sekarang ini, berasal dari sebuah sel induk yang ada pada berjuta-juta tahun yang lalu. Sel ini mengalami evolusi yang berlangsung secara bertahap untuk menyesuaikan dengan lingkungannya. Berdasarkan perubahan ini, maka

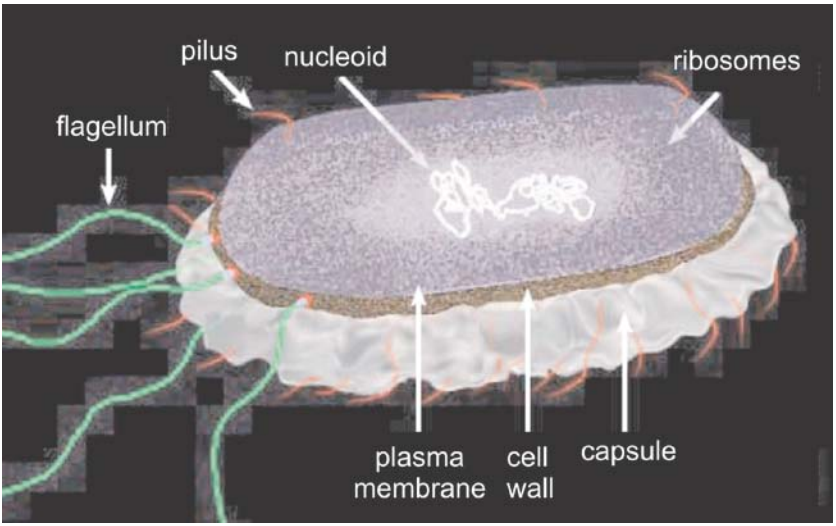
sekarang sel dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar, yaitu sel prokariotik (*prokaryotic*) dan sel eukariotik (*eukaryotic*). Istilah prokariotik dan eukariotik mula-mula digunakan oleh Hans Ris pada tahun 1960.

A. SEL PROKARIOTIK

Sel prokariotik (*pro*: sebelum, *karyot*: inti/nukleus) merupakan sel yang tidak memiliki membran nukleus, hal ini menyebabkan nukleus bercampur atau mengadakan hubungan langsung dengan sitoplasma. Ukuran dari sel prokariotik sangat kecil, yaitu ±10 μm. Contoh dari sel prokariotik adalah pada mycoplasma, bakteri dan ganggang biru.



Gambar 1.1a. Sel bakteri.



Sumber: http\\www.cellsalive.com/cells

Gambar 1.1b. Struktur sel bakteri.

Pada umumnya sel prokariotik memiliki empat bagian pokok dengan struktur dan fungsi masing-masing bagian sebagai berikut.

1. Dinding Sel

Dinding sel prokariotik terdiri dari bermacam-macam bahan organik, seperti selulosa, hemiselulosa, dan kitin. Pada beberapa bakteri, di luar dinding sel masih diselubungi oleh struktur tambahan yang disebut kapsula. Fungsi dari dinding sel adalah untuk memberi bentuk tertentu pada sel, sebagai pelindung yang kuat, juga untuk mengatur keluar masuknya zat kimia ke dalam sel.

2. Membran Plasma

Membran plasma merupakan pembungkus protoplasma dan sering disebut dengan *plasmalema* atau lapisan *hialin*. Membram plasma terdiri dari protein dan lipida. Pada tempat-tempat tertentu membran plasma ini berlipat-lipat dan membentuk suatu bangunan yang disebut *mesosoma*. Mesosoma sering disebut *kondrioid* yang berperan sebagai pengatur pembelahan dan fotosintesis bagi bakteri fotosintesis.

3. Sitoplasma

Sitoplasma sering disebut protoplasma atau plasma sel. Sitoplasma merupakan suatu koloid yang banyak mengandung karbohidrat, protein, enzim, belerang, kalsium karbonat dan volutin yang banyak mengandung asam *ribonukleat* (ARN) dan mudah menghisap warna yang bersifat basa. Sel prokariotik tidak memiliki plastid otonom seperti mitokondria dan kloroplas. Enzim-enzim pengangkutan elektron terdapat dalam selaput sel. Bahan cadangan disimpan dalam bentuk granula-granula sitoplasma yang tidak larut. Di dalam sitoplasma terdapat nukleoid dan ribosom.

a. Nukleoid

Nukleoid merupakan bahan informasi genetik, di dalamnya terdapat asam Deoksiribonukleat (AND).

b. Ribosom

Ribosom terdapat pada semua sel, yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya sintesis protein. Ribosom terdiri dari dua komponen yaitu molekul asam ribonukleat (RNA) dan molekul protein. Pada sel prokariotik, ribosom terdapat bebas di sitosol, dan jumlah ribosom dari dalam suatu sel sangat banyak dan berbeda-beda sesuai dengan macam organismenya. Ribosom memiliki diameter kurang lebih 15 nm.

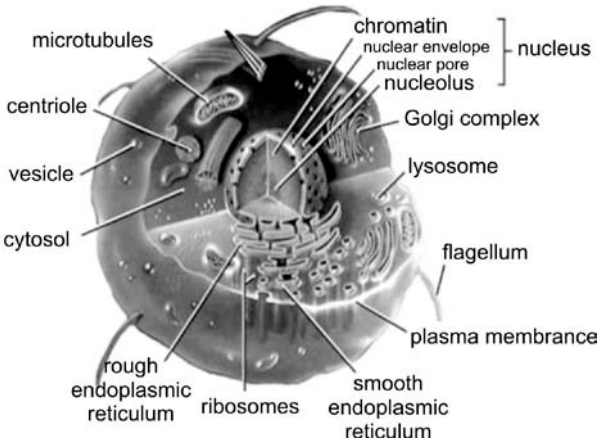
4. Flagela

Strukturnya berupa tali yang keluar dari permukaan sel, mampu bergerak untuk menggerakkan sel. Alat ini berasal dari granula basal yang terdapat di sitoplasma. Di tengahnya terdapat sebuah filamen yang terdiri dari senyawa protein yang disebut flagelin.

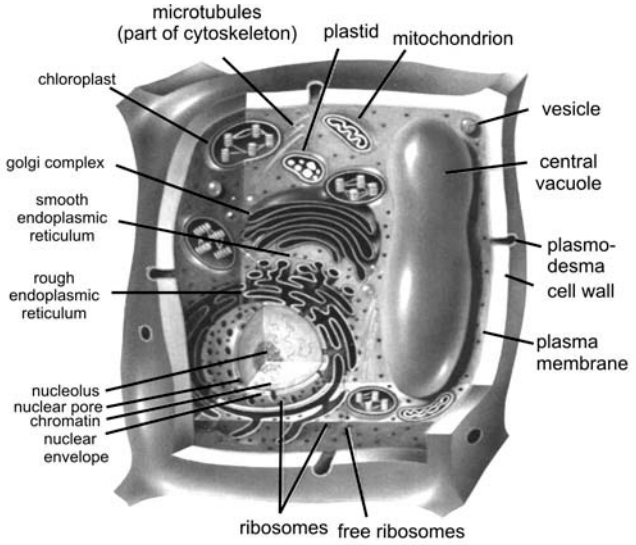
B. SEL EUKARIOTIK

Eukariotik (*eu*: sejati, dan *kariot:* nukleus/inti) adalah sel dengan nukleus sejati. Sel ini dibungkus oleh membran nukleus sehingga isinya tidak bercampur dengan sitoplasma. Perbedaan yang paling mencolok dari sel prokariotik adalah nukleus sejati yang membungkus sebagian besar DNA sel sehingga DNA tersimpan dalam kompartemen yang berbeda dari sitoplasma.

Untuk lebih memahaminya maka di bawah ini ditunjukkan model sel eukariotik, dalam bentuk tiga dimensi dan dua dimensi. Bagian-bagian sel yang digambarkan di bawah ini secara khusus akan dibahas lebih lanjut dalam kegiatan belajar ini. Sedangkan khusus mengenai membran sel akan dibahas secara lebih rinci pada Kegiatan Belajar 2.

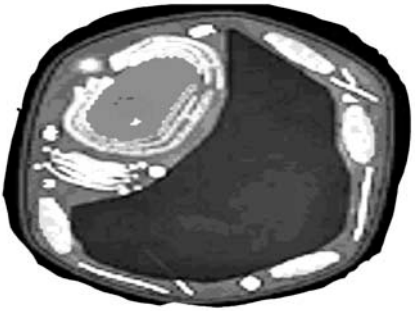


Gambar 1.2.
Model Sel Eukariotik dalam tiga dimensi (sel hewan).



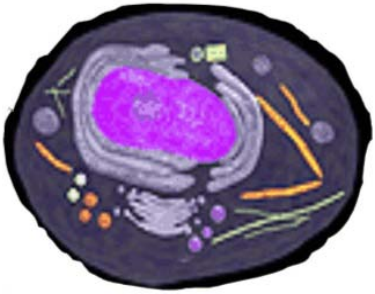
Gambar 1.3. Model sel eukariotik dalam dua dimensi.

Di samping itu kita pun dapat melihat perbedaan antara sel tumbuhan dan hewan dengan memperhatikan model di bawah ini.



Sumber: http.www.cellsalive.com/cells.

Gambar 1.4. Sel tumbuhan.



Sumber: http.www.cellsalive.com/cells.

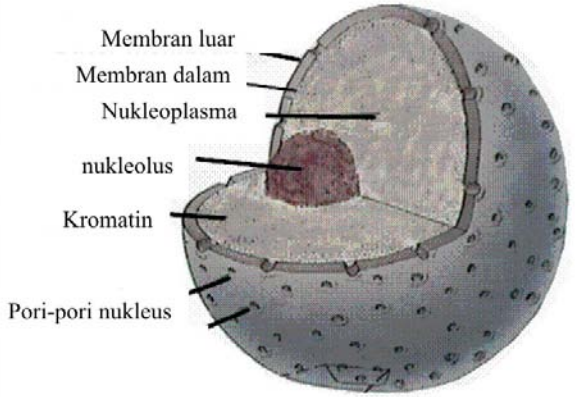
Gambar 1.5. Sel hewan.

Suatu susunan sel dilukiskan dalam Gambar 1.4. Sel tumbuhan dan Gambar 1.5 Sel hewan, yang menggambarkan bentuk aneka jenis sel.

Ada dua bagian utama sel, yaitu: inti dan isinya sering kali disebut nukleoplasma, dan bagian sisanya yang disebut sitoplasma. Inti dan sitoplasma itu dikelilingi oleh membran, demikian pula bagian yang lebih kecil seperti mithokhondria dan benda-benda Golgi. Secara garis besar struktur dan fungsi dari masing-masing komponen sel adalah sebagai berikut

1. Nukleus

Nukleus adalah organel yang paling menonjol dalam sel. Organ kecil ini dipisahkan dari sitoplasma (plasma sel) oleh pembungkus yang terdiri dari dua membran, membran dalam dan membran luar. Nukleus mengandung material genetik yaitu Asam Deoksi Ribonukleat (ADN) yang terbungkus dalam sebuah membran nukleus. Semua DNA kromosom tersimpan di dalam nukleus, terkemas dalam serat-serat kromatin berkat persekutuannya dengan protein-protein histon yang sama massanya. Isi nukleus berkomunikasi dengan sitosol melalui lubang-lubang pada pembungkusnya yang disebut pori-pori nukleus. Dalam nukleus terdapat nukleolus sebuah tempat untuk memproduksi ribosoma sel.



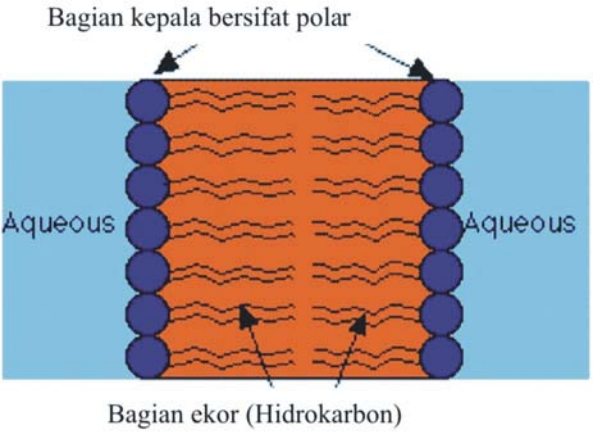
Sumber: The Science of Biology, 4th Edition, by Sinauer Associates (www.sinauer.com).

Gambar 1.6. Struktur nucleus.

2. Membran Plasma

Merupakan membran yang sangat tipis dan bersifat selektif permeabel dengan ukuran 7,5–10 nm. Membran plasma merupakan lapisan lipid ganda (bilayer) yaitu dengan struktur molekul dua lapis. Lipid yang terpenting adalah fosfolipid dan sedikit glikolipid serta kemungkinan mengandung kolesterol. Struktur membran plasma yang demikian mendukung sel untuk dapat memanfaatkan perubahan-perubahan permeabilitas ion yang terkendali pada membran plasma untuk keperluan komunikasi sel. Di samping itu juga berfungsi sebagai pelindung organel-organel dalam sel.

Berbeda dari membran plasma sel prokariotik maka membran plasma dalam sel eukariotik dapat mengembangkan kemampuan atau spesialisasi organel. Pada sel prokariotik yang tidak memiliki mitokondria, membran plasma juga bertugas melaksanakan metabolisme energi. Perbedaan inilah yang menyebabkan bahwa pada sel eukariot, membran plasmanya tidak membentuk mesosom.

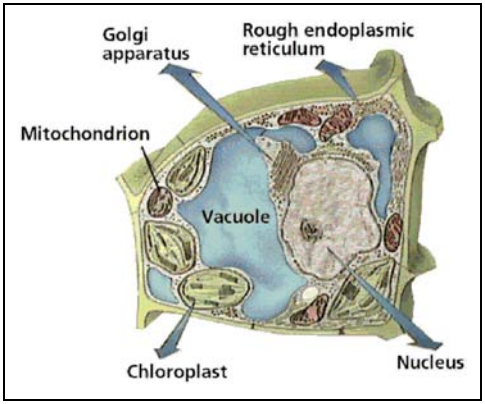


Gambar 1.7. Membran Plasma.

Bahasan mengenai membran plasma akan lebih rinci pada Kegiatan Belajar 2.

3. Organel Sel

Jumlah organel pada sitoplasma sel eukariotik lebih kompleks dibandingkan sel prokariot. Organel tersebut misalnya: mitokondria, retikulum endoplasma, nukleus, ribosom, mikrotubula, dan lain-lain.



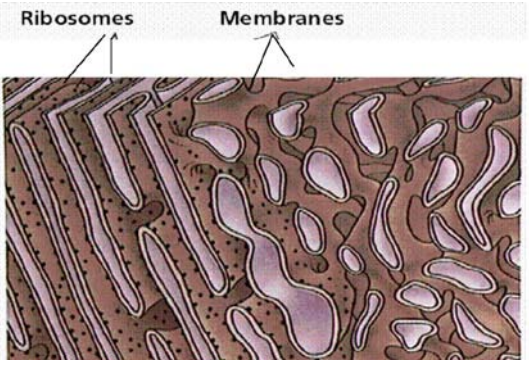
Gambar 1.8. Organel Sel.

a. Retikulum endoplasma (Endoplasmic retikulum)

Retikulum endoplasma (RE) merupakan labirin membran yang demikian banyak sehingga meliputi separuh lebih dari total membran dalam sel eukariot. Kata endoplasmik berarti `*di dalam sitoplasma*' dan retikulum diturunkan dari bahasa latin yang berarti jaringan. RE ini terdiri dari jaringan tubula dan gelembung membran yang disebut sisternal atau lumen. Membran RE memisahkan ruang internal, yaitu ruangan sisternal dari sitosol. Dan karena membran RE ini bersambung dengan selubung nukleus, ruangan diantara kedua membran selubung itu bersambung dengan ruangan sisternal RE ini.

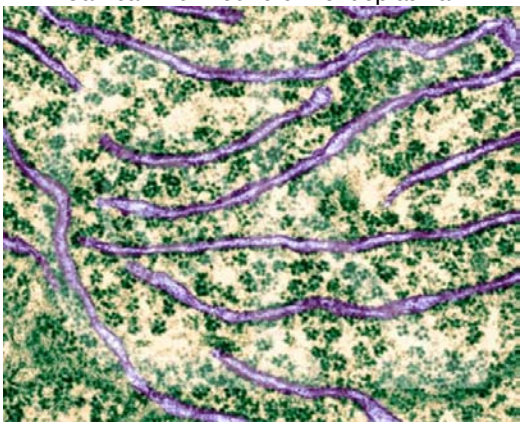
Secara umum RE memiliki fungsi sebagai berikut.

1) Pelaku aktivitas metabolik sintetik, karena mengandung berbagai macam enzim.
2) Denaturasi dan elongasi asam lemak.
3) Memberi permukaan yang luas untuk reaksi enzimatik.
4) Merupakan skeleton ultra struktur yang memberikan kekuatan mekanik sel, pada matriks sitoplasma koloidalnya.
5) Sebagai tempat pertukaran molekul melalui proses osmosis, difusi dan transpor aktif untuk membran RE dan eksosistosis.
6) Membentuk bungkus inti baru pada pembelahan sel.
7) Fungsi proteksi sel karena membran RE mampu menghilangkan efek toksik zat melalui proses detoksifikasi.



Sumber: The Science of Biology, 4th Edition, by Sinauer Associates. www.sinauer.com) and WH Freeman (www.whfreeman.com).

Gambar 1.9. Retikulum endoplasma.



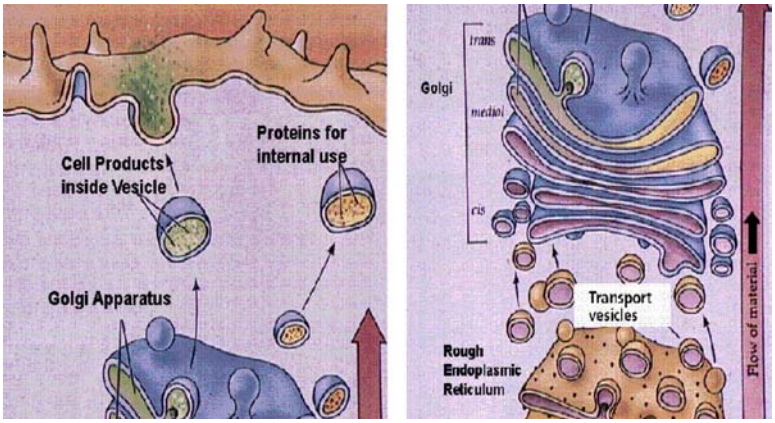
Sumber: www.DennisKunkel.com.

Gambar 1.10. Foto menggunakan Mikroskop Elektron dari Retikulum endoplasma dan ribosom. (TEM x 61,560).

b. Badan Golgi (Golgi Apparatus/Golgi Complexes)

Badan golgi mempunyai panjang sekitar 1 - 3 µm dan tinggi sekitar 0,5 µm. Badan golgi termasuk sistem vakuolar sel dan tidak terdapat ribosom. Pada sel berstruktur polar, badan golgi tunggal, besar dan menempati di bagian di antara inti dan kutub sel, misalnya pada sel kelenjar eksokim prankeas. Pada sel hepar dalam satu sel terdapat sekitar 50 kompleks golgi yang bentuknya bervariasi antara sel satu dengan lainnya. Ada tiga komponen bermembran pada badan golgi yaitu sisterna, vesikel dan vakuola.

Berdasarkan pengamatan morfologi dan sitokimia secara *in situ* serta kajian biokimiawi menunjukkan bahwa badan golgi terlibat dalam sejumlah besar kegiatan sel antara lain perakitan protein dan lipid karbohidrat tinggi atau lebih dikenal dengan proses glikosilasi, pemulihan selaput sel, dan sekresi.



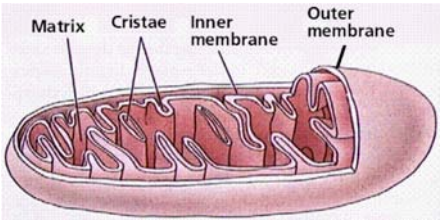
Sumber: The Science of Biology, 4th Edition, by Sinauer Associates. www.sinauer.com) and WH Freeman (www.whfreeman.com).

Gambar 1.11. Badan golgi.

c. Mitokondria (mitochondria)

Ukuran dan bentuk mitokondria, seperti halnya jumlahnya di dalam sel, bervariasi menurut jaringannya dan menurut keadaan fisiologis sel. Dengan menggunakan mikroskop cahaya mitokondria terlihat berbentuk lonjong, tetapi mitokondria juga bisa berbentuk dumbbell, spherical, atau raket, dengan diameter 0,5 μm dan panjangnya sampai 7 μm. Karena ukurannya yang sangat kecil strukturnya baru dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron.

Mitokondria mengandung sejumlah kecil DNA, RNA dan ribosom. DNA mitokondria memberikan sandi bagi sintesis protein spesifik tertentu pada membran dalam. Sebagian besar protein mitokondria dikode oleh DNA inti dan sintesis oleh ribosom yang terdapat pada sitosol atau pada retikulum endoplasma. Ini menunjukkan bahwa ada hubungan/transfer informasi dari DNA inti ke mitokondria yang kemudian muncul dari DNA yang ditemukan dalam mitokondria itu sendiri.



Sumber: The Science of Biology, 4th Edition, by Sinauer Associates (www.sinauer.com) and WH Freeman (www.whfreeman.com).

Gambar 1.12. Mitokondria.

d. Kloroplas (chloroplast)

Tempat fotosintesis adalah organ subseluler yang berstruktur tinggi disebut kloroplas. Hasil kimia fotosintesis adalah perubahan CO_2 dan H_2O menjadi karbohidrat. Karbohidrat yang tersimpan dan dihasilkan sebagai akibat fotosintesis dapat dilihat sebagai butir pati.

4. Membran Dalam

Sel eukariot biasanya mempunyai volume yang jauh lebih besar daripada sel prokariot, biasanya seribu kali atau lebih. Bahan atau material sel yang dikandungnya pun sekian kali lebih banyak. Sebagai contoh bahwa pada sel tubuh manusia mengandung DNA yang seribu kali lebih banyak daripada yang dimiliki oleh bakteri.

Membran dalam berbagai organel seperti membran pada mitokondria, membran vakuola (pada sel tumbuhan), badan golgi dan lainnya merupakan tempat berlangsungnya reaksi penting. Akibat penambahan volume sel maka harus diimbangi dengan penambahan luas permukaan sel dengan mempertahankan nisbah luas permukaan terhadap volume. Hal ini menjelaskan mengapa semua sel eukariot mempunyai ciri dasar berupa banyak dan kompleksnya membran dalam, berupa:

a. Membran dalam retikulum endoplasma yang membentuk sebuah kompartemen mirip labirin.
b. Membran dalam badan golgi yang membentuk tumpukan kantong-kantong kempis yang berperan dalam pengubahan molekul-molekul produk dari retikulum endoplasma.
c. Membran lisosom yang mengandung enzim pencernaan sel.

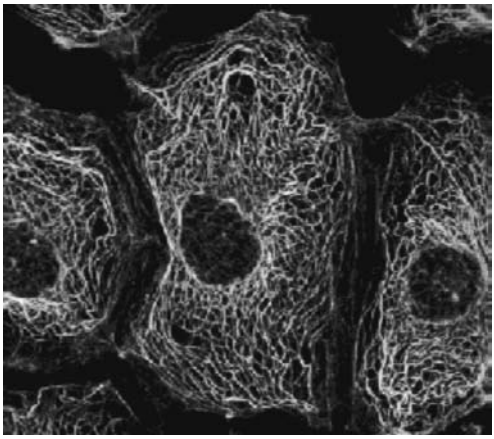
d. Membran pembungkus peroksisom tempat pembentukan dan penguraian H_2O_2 yang reaktif dan berbahaya selama oksidasi bermacam-macam molekul oleh O_2.
e. Membran vakuola (tonoplas) pada sel tumbuhan yang membentuk gelembung-gelembung kecil dan rongga besar berisi cairan.

Dengan struktur sel tersebut yang terletak di sebelah dalam sel, dapat menyediakan luas permukaan yang memadai sesuai dengan volumenya yang besar yaitu bahwa antara kompartemen-kompartemen terbungkus membran di dalam sel dan lingkungan di luar sel terjadi suatu mekanisme pertukaran (transpor) yang tiada henti. Mekanisme tersebut adalah endositosis dan eksositosis, yang hanya terjadi pada sel-sel eukariotik.

Dalam endositosis, bagian-bagian pada membran sebelah luar membentuk lekukan ke arah dalam yang kemudian membulat dan memisahkan diri menjadi gelembung-gelembung sitoplasma yang terbungkus membran dan berisi zat-zat yang berasal dari luar sel serta molekul-molekul yang telah terserap sebelumnya pada permukaan sel.

Eksositosis adalah proses kebalikan dari endositosis. Dalam hal ini, gelembung terbungkus membran dalam sel, mengacu dengan membran plasma dan melepaskan isinya ke lingkungan sebelah luar. Dengan cara itu, membran-membran di sekeliling kompartemen yang terletak jauh di dalam sel berfungsi menambah luas permukaan efektif sel untuk pertukaran bahan-bahan dari luar.

5. Sitoskeleton (Cytoskeleton)



Sumber: Cytoskeleton (www.sinauer.com).

Gambar 1.13.

Semua sel eukariotik dilengkapi dengan sebuah kerangka sel (sitoskeleton) yang berfungsi memberinya bentuk, kemampuan bergerak dan kemampuan mengatur organel-organel serta memindahkan organel-organel dari satu bagian sel ke bagian yang lain. Hal ini disebabkan oleh karena semakin besarnya sebuah sel, semakin rumit serta semakin khusus struktur-struktur di dalamnya.

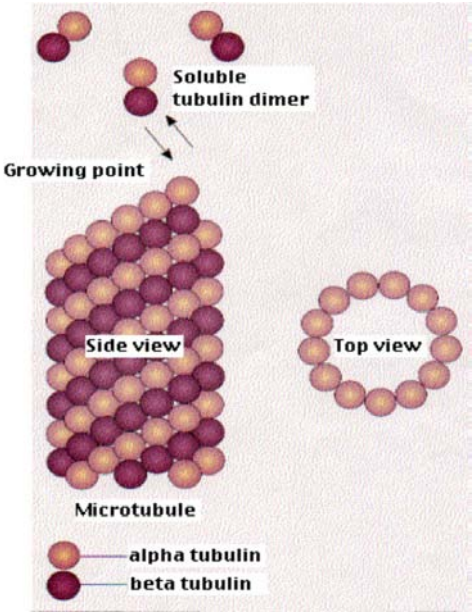
Dengan demikian semakin besar pula keharusan untuk menjaga agar struktur-struktur tersebut tetap sebagaimana adanya dan mengatur pergerakannya.

Kerangka sel tersusun atas suatu jaringan filamen protein. Tiga di antaranya yang paling penting adalah *Actin filaments* (juga disebut *microfilaments*), *Intermediate filaments*, dan *Microtubules*.

Mikrofilamen adalah serat tipis dengan panjang diameter $5 - 6$ nm. Terdiri dari protein yang disebut aktin. Banyak mikrofilamen membentuk kumpulan atau jaringan pada berbagai tempat dalam sel. Adanya hal itu digabungkan dengan gerak sel. Bila sel hewan membelah menjadi dua, misalnya, terbentuklah seberkas mikrofilamen dan memisahkan kedua sel anak itu.

Pada banyak sel, sitoplasmanya bergerak-gerak dan fenomena ini dinamakan aliran sitoplasmik. Geraknya bergantung pada adanya mikrofilamen. Mikrofilamen ini juga merupakan ciri yang penting sekali

dalam sel yang berpindah-pindah dan berubah-ubah bentuknya. Hal ini tidak saja berlaku bagi sel gerak bebas yang independen seperti halnya amuba, tetapi juga pada kebanyakan sel hewan selama pembentukan embrio.



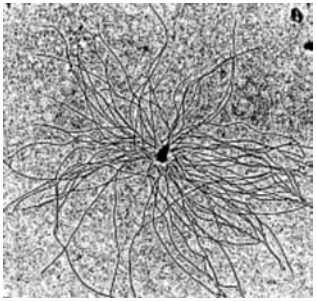
Gambar 1.14. Skema cytoskeleton.

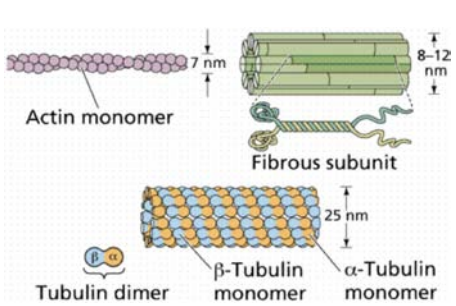
Filamen intermediat adalah serat sitoplasmik yang panjang dengan diameter sekitar 10 nm. Disebut intermediat karena diameternya lebih besar dari diameter mikrofilamen (6 nm) dan lebih kecil daripada diameter mikrotubula (25 nm) dan filamen 'tebal' (15 nm) pada serat otot rangka. Filamen intermediet terdiri dari molekul-molekul protein fibrosa. Filamen intermedia merupakan benang berongga yang terdiri dari lima buah protofilamen, sejajar satu dengan yang lain dan membentuk sebuah lingkaran. Filamen intermediet banyak dijumpai dalam sel yang sering mendapatkan tekanan mekanis, seperti sel epitelum, akson sel saraf atau sel-sel otot polos.

Mikrotubula adalah silinder protein yang terdapat pada kebanyakan sel hewan dan tumbuhan. Ada dua macam α-tubulin dan β-tubulin. Masing-

masing dengan berat molekul sekitar 55.000 dalton. Mikrotubula juga memainkan peranan yang amat penting dalam pembelahan sel. Pembelahan sel yang berhasil memerlukan distribusi tepat kromosomnya ke setiap sel anak. Setiap kromosom bergerak ke tujuannya berakhir pada seikat mikrotubula. Mikrotubula juga digunakan dalam pembentukan sentriol, benda basal dan flagella.

Terdapat dua kelompok mikrotubula: 1) Mikrotubula stabil yaitu mikrotubula yang dapat diawetkan dengan larutan fiksatif apa pun, misalnya: OsO_4, MnO_4, atau aldehida pada suhu berapa pun. 2) Mikrotubula labil yaitu mikrotubula yang dapat diawetkan hanya dengan larutan Gambar 1.15. Mikrotubula fiksatif aldehida dan pada sekitar suhu 4°C.





Gambar 1.15a. Mikrotubula. Gambar 1.15b. Bagian-bagian mikrotubula.

Tabel 1.1.
Perbandingan antara sifat mikrotubula, mikrofilamen dan filamen intermedia.

Sifat/Tanda	Mikrotubula	Filamen intermedia	Mikrofilamen
Struktur	Berongga dengan dinding terdiri dari 13 protofilamen.	Berongga dengan dinding terdiri dari 4-5 rotofilamen.	Mampat (padat) terdiri dari polimer aktin (Aktin-F) .
Garis tengah (nm).	24	10	7
Kesatuan monomer.	Tubulin α dan β	5 jenis protein	Aktin-G
Aktivitas aATP-ase.	Terletak di dinein	----	---
Fungsi	Kemampuan pergerakan pada	Menggabungkan kesatuan kontraktif	Berperan dalam kontraksi otot

	eukariota. Gerakan kromosoma. Gerakan materi intra sel Memelihara bentuk sel.	di dalam sel otot.	perubahan bentuk sel protoplasma sitokenesis .

LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

1) Jelaskanlah secara singkat apa yang dimaksud dengan sel!
2) Berikanlah penjelasan fungsi retikulum endoplasma secara umum!
3) Jelaskan bagaimana mekanisme transpor pada sel-sel eukariotik!
4) Jelaskanlah secara singkat bagaimana fungsi kerangka sel (sitoskeleton) pada sel eukariotik!
5) Jelaskan secara singkat perbedaan antara Mikrotubula stabil dan Mikrotubula labil!

Petunjuk Jawaban Latihan

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam menjawab soal-soal di atas perhatikanlah jawaban di bawah ini sebagai acuan.

1) Sel merupakan kesatuan struktural, fungsional, dan herediter terkecil dari makhluk hidup yang berupa ruangan kecil yang dibatasi oleh selaput dan berisi cairan pekat, sel merupakan suatu unit dasar biologi.
2) Secara umum RE memiliki fungsi sebagai berikut.
   a. Pelaku aktivitas metabolik sintetik, karena mengandung berbagai macam enzim.
   b. Denaturasi dan elongasi asam lemak.
   c. Memberi permukaan yang luas untuk reaksi enzimatik.
   d. Merupakan skeleton ultra struktur yang memberikan kekuatan mekanik sel, pada matriks sitoplasma koloidalnya.
   e. Sebagai tempat pertukaran molekul melalui proses osmosis, difusi dan transpor aktif untuk membran RE dan eksosistosis.
   f. Membentuk bungkus inti baru pada pembelahan sel.

g. Fungsi proteksi sel karena membran RE mampu menghilangkan efek toksik zat melalui proses detoksifikasi.

3) Mekanisme transpor tersebut pada sel-sel eukariotik adalah endositosis dan eksositosis. Dalam endositosis, bagian-bagian pada membran sebelah luar membentuk lekukan ke arah dalam yang kemudian membulat dan memisahkan diri menjadi gelembung-gelembung sitoplasma yang terbungkus membran dan berisi zat-zat yang berasal dari luar sel serta molekul-molekul yang telah terserap sebelumnya pada permukaan sel. Sedangkan eksositosis adalah proses kebalikan dari endositosis. Dalam hal ini, gelembung terbungkus membran dalam sel, menyatu dengan membran plasma dan melepaskan isinya ke lingkungan sebelah luar. Dengan cara itu, membran-membran di sekeliling kompartemen yang terletak jauh di dalam sel berfungsi menambah luas permukaan efektif sel untuk pertukaran bahan-bahan dari luar.
4) Kerangka sel (sitoskeleton) berfungsi memberinya bentuk, kemampuan bergerak dan kemampuan mengatur organel-organel serta memindahkan organel-organel dari satu bagian sel ke bagian yang lain.
5) Mikrotubula stabil, yaitu mikrotubula yang dapat diawetkan dengan larutan fiksatif apa pun, misalnya: OsO_4, MnO_4, atau aldehida pada suhu berapa pun. Mikrotubula labil yaitu mikrotubula yang dapat diawetkan hanya dengan larutan fiksatif aldehida dan pada sekitar suhu 4°C.

RANGKUMAN

Sel merupakan kesatuan struktural, fungsional, dan herediter terkecil dari makhluk hidup yang berupa ruangan kecil yang dibatasi oleh selaput dan berisi cairan pekat, sel merupakan suatu unit dasar biologi. Teori biogenesis menyatakan bahwa semua sel hidup berasal dari sel yang telah ada. Konsep tersebut populer dengan *omnis cellula e cellula*. Sel dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar, yaitu sel prokariotik (*prokaryotic*) dan sel eukariotik (*eukaryotic*).

Sel prokariotik merupakan sel yang tidak memiliki membran nukleus, hal ini menyebabkan nukleus bercampur atau mengadakan hubungan langsung dengan sitoplasma. Ukuran dari sel prokariotik sangat kecil, yaitu 1−10 μm. Contoh dari sel prokariotik adalah pada mycoplasma, bakteri dan ganggang biru. Pada umumnya sel prokariotik

memiliki empat bagian pokok dengan yaitu: Dinding sel, Membran Plasma, Sitoplasma, dan Flagela.

Eukariotik adalah sel dengan nukleus sejati. Sel ini dibungkus oleh membran nukleus sehingga isinya tidak bercampur dengan sitoplasma. Ada dua bagian utama sel, yaitu: inti dan isinya sering kali disebut nukleoplasma, dan bagian sisanya yang disebut sitoplasma. Inti dan sitoplasma itu dikelilingi oleh membran, demikian pula bagian yang lebih kecil seperti mitokondria dan benda-benda Golgi.

TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Teori biogenesis menyatakan bahwa semua sel hidup berasal dari sel dikemukakan oleh ….
   A. M.J. Scheleiden
   B. L.S.T. George
   C. R. Virchow
   D. F. Meischer

2) Sel yang tidak memiliki membran nukleus, yang menyebabkan nukleus bercampur atau mengadakan hubungan langsung dengan sitoplasma, adalah ….
   A. Eukariotik
   B. Prokariotik
   C. Mesosoma
   D. Mitokondria

3) Bagian sel prokariotik yang berfungsi untuk memberi bentuk tertentu pada sel, sebagai pelindung yang kuat, juga untuk mengatur ke luar masuknya zat kimia ke dalam sel adalah ….
   A. Membram plasma
   B. Sitoplasma
   C. Nukleus
   D. Dinding sel

4) Bagian sel prokariotik yang banyak mengandung karbohidrat, protein, enzim, belerang, kalsium karbonat dan volutin yang banyak mengandung asam *ribonukleat* (ARN) dan mudah menghisap warna yang bersifat basa ….

A. Membram plasma
B. Sitoplasma
C. Nukleus
D. Mitokondria

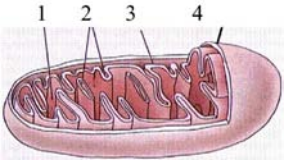
5) Bagian yang berfungsi sebagai alat gerak pada sel prokariotik adalah ….
A. Membran plasma
B. Flagella
C. Sitoplasma
D. Nekleus

6) Bagian sel yang terlibat dalam sejumlah besar kegiatan sel antara lain perakitan protein dan lipid karbohidrat tinggi atau lebih dikenal dengan proses glikosilasi, pemulihan selaput sel, dan sekresi adalah ….
A. Sitoplasma
B. Retikulum endoplasma
C. Mikrotubula
D. Badan golgi

7) Jaringan filamen protein yang menyusun kerangka sel adalah ….
A. Actin filaments, intermediate filaments, dan microtubules
B. Retikulum endoplasma, mikrotubula, dan sitoplasma
C. Actin filament, mikrotubula dan intermediate filament
D. Sitoplasma, badan golgi dan Ribosom

8) Organ subseluler yang berstruktur tinggi tempat terjadinya fotosintesis adalah ….
A. Sitoplasma
B. Badan golgi
C. Ribosom
D. Kloroplas

Untuk soal no. 9 dan 10. perhatikanlah Gambar di bawah ini



9) Bagian dari mitokondria yang ditunjukkan oleh angka 2 adalah ….
A. Matrix

B. Cristae
C. Inner membrane
D. Outer membrane

10) Mitokondria mengandung sejumlah kecil DNA, RNA dan ribosom. DNA mitokondria memberikan sandi bagi sintesis protein spesifik tertentu pada ….
A. 1
B. 2
C. 3
D. 4

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

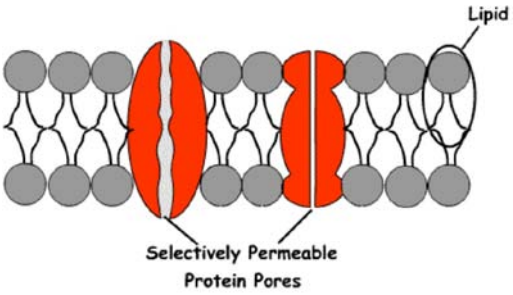
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Membran Sel

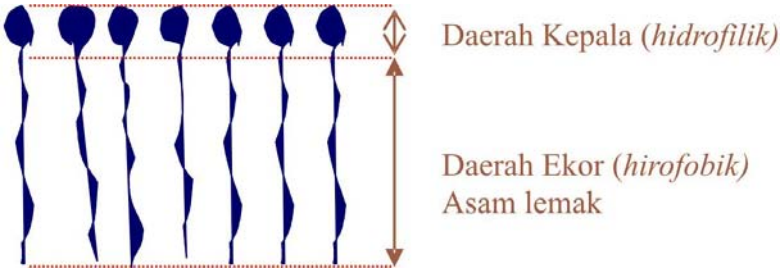
Membran plasma merupakan suatu plasma yang membatasi sel dengan lingkungannya yang bersifat semipermeabel. Reaksi-reaksi biokimia dalam metabolisme sel memerlukan bahan-bahan tertentu (misalnya nutrisi, O_2) dari luar sel, di samping itu digunakan juga untuk mengeluarkan sisa metabolisme yang tidak berguna (misalnya CO_2). Masuknya bahan-bahan ke dalam sel dan ke luarnya zat-zat tertentu dari dalam sel diatur oleh membran plasma.

Membran plasma sangat tipis sehingga hanya dapat divisualisasikan dengan menggunakan mikroskop elektron. Membran plasma adalah suatu susunan berlapis dengan pola beraturan dan terutama terdiri atas protein dan lipid. Fungsi membran tidak mungkin terpisahkan dari proses kehidupan. Membran plasma menjadikan sel bentuk yang mandiri dengan memisahkan sel dari lingkungannya.



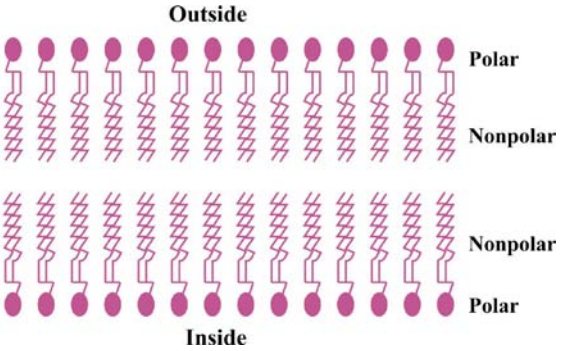
Gambar 1.16. Membran plasma.

Teori tentang membran plasma telah dikenal semenjak Overtoon menemukan bahwa membran plasma terdiri dari sederet molekul *fosfolipid* yang membentuk lapisan. *Fosfolipid* merupakan senyawa yang bersifat *hidrofilik* (pada daerah kepala yaitu gugus fosfat) dan *hirofobik* (pada daerah ekor yaitu asam lemak). Dengan demikian dapat berfungsi sebagai penyekat karena lapisan air di luar protoplasma tidak dapat masuk ke dalam sel.



Gambar 1.17. Model membran plasma Overtoon.

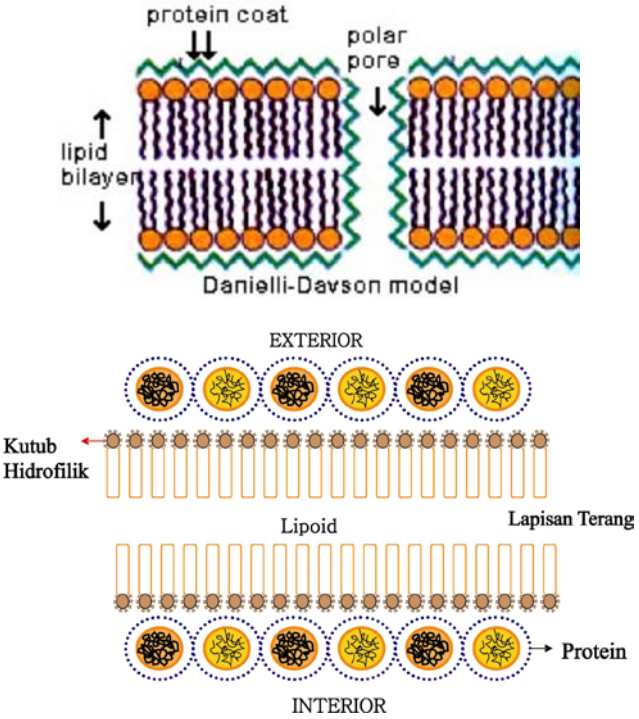
Pada tahun 1925, ketika E. Gorter dan F. Grendel menerbitkan hasil penelitiannya pada organisasi lipid dalam membran sel darah merah. Penelitian mereka diperoleh dari darah berbagai mamalia termasuk anjing, biri-biri, kelinci, babi Guinia, kambing dan manusia. Gorter dan Grendel menyimpulkan bahwa membran sel dibentuk dengan lembar lipid bimolekuler. Mereka menyatakan bahwa ujung polar dari salah satu lapisan molekul lipid menghadap ke luar (ke lingkungan plasma) dan ujung polar dari lapisan lipid yang lainnya menghadap ke dalam. Kemudian bagian nonpolar pada akhir hidropobik akan saling berhadapan satu sama lain. Model Goster dan Grendel tidak dapat menjelaskan bagaimana zat-zat yang tidak dapat larut dalam lemak dapat menembus membran.



Gambar 1.18. Model membran plasma Goster & Grendel.

Pada tahun 1938 Davson dan Danielli mengemukakan bahwa membran plasma tersusun dari dua lapisan lipida, ujung hidrofobiknya saling

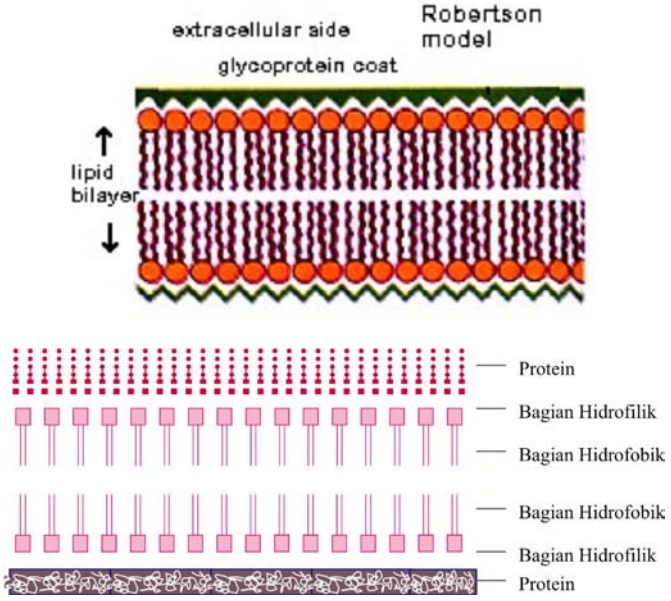
berhadapan seperti susunan misel yang dapat larut dan berikatan bersama dengan interaksi hidrofobik. Sedangkan ujung yang berlawanan (kutub lainnya), menghadap ke luar, berhubungan langsung dengan lapisan monomolekul dan protein. Struktur Davson dan Danielli disebut model kue sandwich.



Gambar 1.19. Model membran plasma Kue Sandwich (Davson & Danielli).

Pada tahun 1957 J.D. Robertson mengemukakan bahwa membran tertentu dengan osmium tetraoksida membentuk lapisan Trilaminar yang karakteristik. Trilaminar terdiri dari dua lapisan gelap di luar yang paralel (osmiophilic) dan lapisan terang di bagian pusat (osmiobhic). Lapisan osmiophilic biasanya memiliki ukuran ketebalan 2,0 − 2,5 nm. Menurut Robertson lapisan gelap di luar yang paralel dianggap terdiri dari molekul protein dan lemak yang polar, sedangkan lapisan terang di bagian pusat

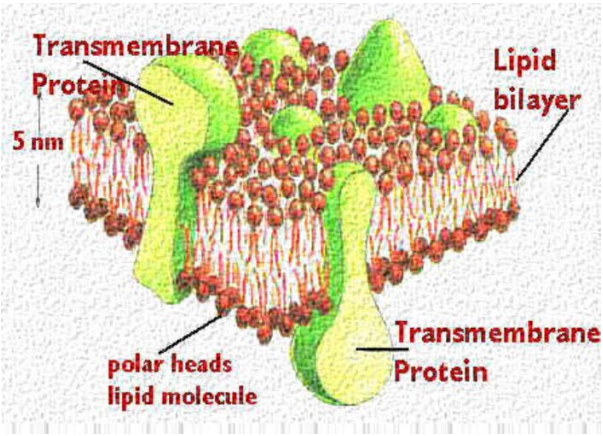
terdiri dari bagian molekul lemak yang non polar. Belakangan, pada tahun 1965, Robertson mengubah pendapatnya. Ia menganggap bahwa lapisan luar bukan protein dan lemak yang polar tetapi mukopolisakarida dan lemak yang polar.



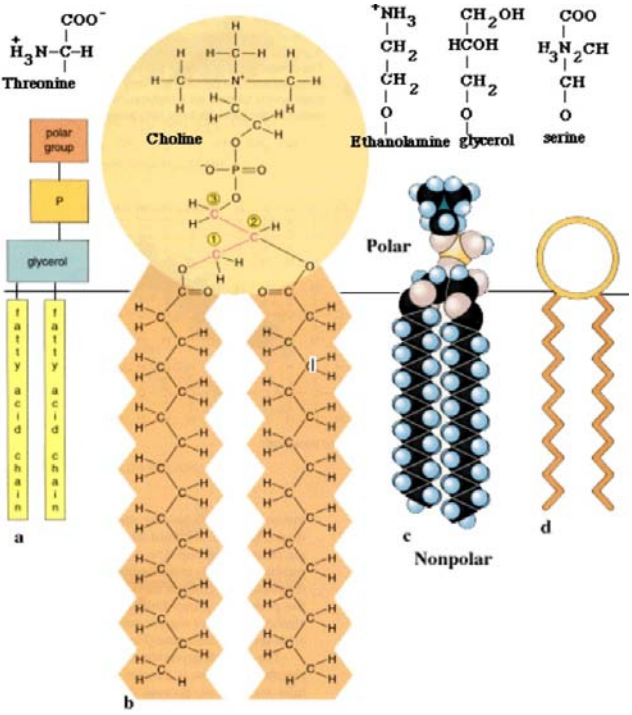
Gambar 1.20. Model Membran plasma J. P. Robertson.

S.J. Singer dan Nicolson, pada tahun 1972, mengajukan model cairan mozaik bagi plasmalemma. Model yang mereka usulkan pada dasarnya menggambarkan bahwa membran merupakan larutan dua dimensi yang terdiri atas lipid dan protein globuler yang terarah. Karakteristik model ini adalah sebagian besar dari seluruh molekul fosfolipid dan glikolipid membran tersusun sebagai dwilapis. Dwilapis ini memegang peran ganda; *pertama*, sebagai pelarut protein membran yang integral dan *kedua*, sebagai sawar membran tertentu dan mungkin diperlukan untuk aktivitasnya. Protein membran dapat bebas berdifusi lateral dalam matrik lipid, kecuali bila ada pembatasan oleh interaksi yang khusus, namun tidak bebas untuk berputar dari satu sisi membran ke sisi lainnya. Model membran mozaik cair adalah model membran yang digunakan pada saat ini karena mampu menjawab

masalah lalu lintas zat yang melewati membran permeabilitas. Sebagian kecil lipid membran berinteraksi secara khas dengan protein.



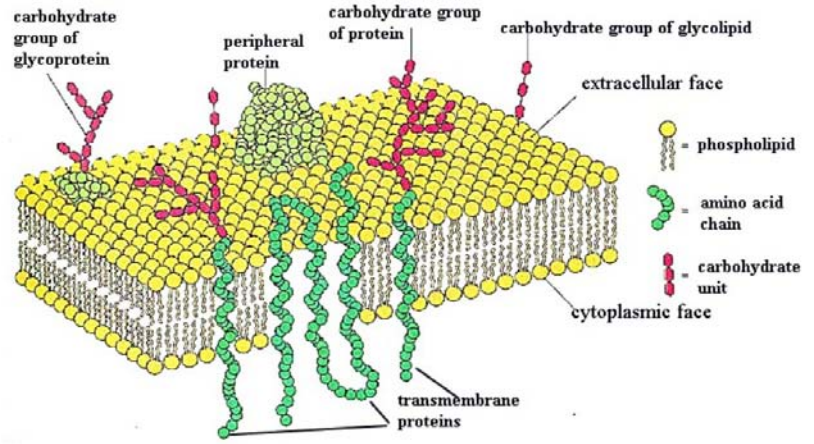
Gambar 1.21. Model Fluid Mozaik.



Gambar 1.22. Molekul lipid Dwilapis.

A. STRUKTUR MEMBRAN SEL

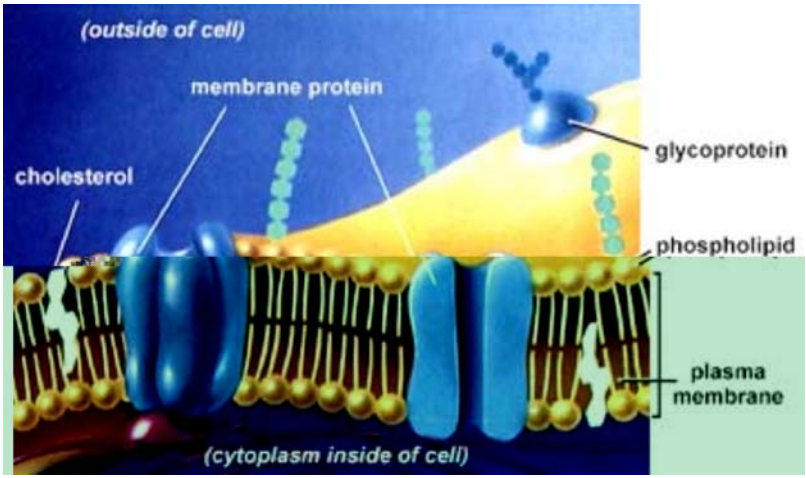
1. Komponen penyusun Membran



Gambar 1.23. Komponen penyusun membran sel.

Model Fluid Mozaic dari struktur membran sangat didukung oleh bukti-bukti visual yang didapatkan sewaktu membran diteliti menggunakan mikroskop elektron. Abalisis kimiawi juga menyingkapkan bahwa membran sel tersusun atas lipid, protein, dan karbohidrat.

Tiga membran yang utama adalah fosfolipid, glikolipid, dan kolesterol. Sedangkan protein penyusun membran adalah protein intrinsik (integral) dan protein porifer (ekstrinsik). Karbohidrat penyusun membran adalah glikoprotein. Selanjutnya akan dibahas lebih lanjut tentang komponen penyusun membran tersebut.

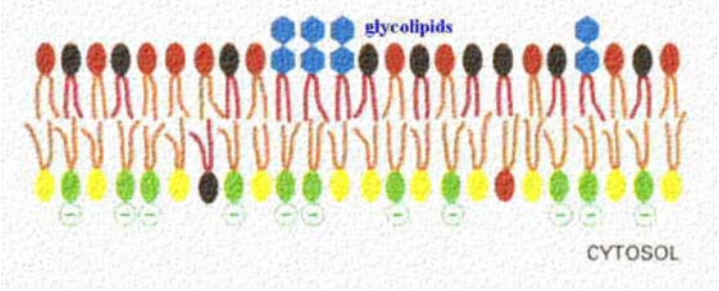


Gambar 1.24. Struktur membran yang membatasi sel dengan lingkungannya.

a. Lipid membran

1) Fosfolipid
   Fosfolipid merupakan ester asam lemak dengan gliserol yang mengandung asam fosfat dan nitrogen. Fosfolipid utama yang ditemukan adalah fosfogliserida, yang mengandung dua molekul asam lemak yang berkaitan ester dengan gugus hidroksil pada gliserol. Gugus hidroksi yang ketiga pada gliserol membentuk ikatan ester dengan asam fosfat. Fosfogliserida yang umum dijumpai adalah fosfatidil kolin, fosfatidil serin, fosfatidil etanolamin, fosfatidil inositol, dan difosfatidil gliserol. Rantai asam lemak dalam fosfolipid biasanya mengandung atom karbon dalam jumlah genap, khas antara 14 dan 24 yang paling umum adalah asam lemak-14 dan karbon-16. Asam lemak dapat jenuh atau tidak jenuh.
2) Glikolipid
   Glikolipid sesuai namanya, merupakan lipid yang mengandung gula. Dalam sel hewan, glokolipid, seperti juga sfingomielin, diturunkan dari *sfingosin*. Gugus amino pada kerangka karbon *sfingosin* terisolasi oleh asam lemak seperti pada kerangka karbon sfingomielin. Perbedaan antara glikolipid dan sfingomielin terdapat pada jenis fragmen yang

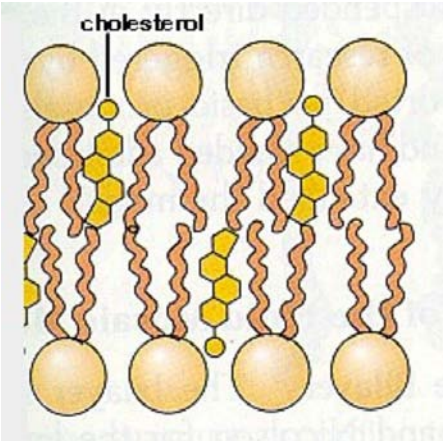
berikatan pada gugus hidroksi primer di kerangka karbon sfingosin. Pada glikolipid, satu atau lebih gula berikatan pada gugus ini. Glikolipid yang paling sederhana adalah *serebrosida*, hanya ada satu residu gula, glukosa dan galaktosa. Glikolipid yang lebih majemuk, misalnya *gangliosida*, mengandung rantai bercabang terdiri atas sebanyak tujuh residu gula.



Gambar 1.25. Struktur glakolipid dalam sel.

3) Kolesterol

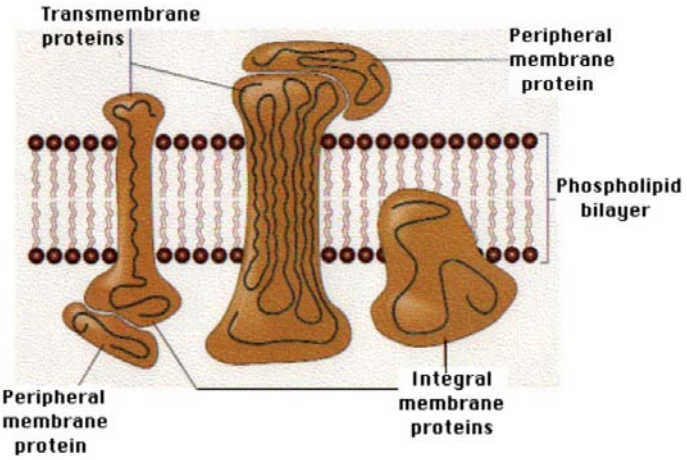
Lipid lain yang penting dalam beberapa membran adalah kolesterol. Kolesterol dan senyawa turunan esternya, dengan asam lemaknya yang berantai panjang merupakan komponen penting dari membran sel sebelah luar.



Gambar 1.26. Kolesterol dalam sel.

b. Protein membran

1) Protein Integral (Protein Intrinsik)
Protein integral adalah protein yang merentangi lapisan lipid dwilapis. Protein membran intrinsik dan integral mengandung daerah hidrofilik dan hidrofobik. Bagian hidrofilik protein berinteraksi dengan ujung polar molekul lipid pada masing-masing permukaan selebaran bimolekuler.

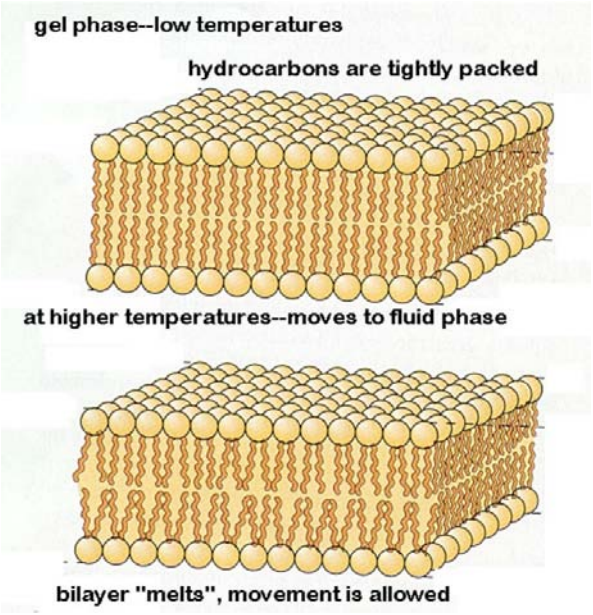


Gambar 1.27.
Protein membran integral berinteraksi luas dengan daerah hidrokarbon pada phospolipid dwilapis (bilayer). Hampir semua protein membran integral yang sudah dikenal, merentang pada dwilapis lipid. Protein membran perifer berikatan pada permukaan protein membran integral.

2) Protein Porifer (Protein ekstrinsik)
Protein membran porifer atau ekstrinsik umumnya terikat longgar pada membran protein yang kaya akan asam amino dengan rantai samping hidrofilik yang menyebabkan interaksi dengan lingkungan air dan dengan permukaan polar lipid dwilapis.

c. Karbohidrat membran

Bagian ini merupakan protein yang mengandung karbohidrat yang terikat secara kovalen, yang merupakan monosakarida tunggal atau oligosakarida yang relatif pendek. Kebanyakan protein yang disekresi menuju ke bagian luar sel relatif adalah glikoprotein, seperti kebanyakan protein dalam plasma darah. Salah satu protein membran sel yang paling banyak diketahui adalah glikofirin (dalam sel darah merah), yang mengandung hampir 50% karbohidrat dalam bentuk rantai polisakarida yang panjang yang terikat secara kovalen pada salah satu ujung rantai polipeptida. Rantai polisakarida memanjang dari permukaan luar membran sel sedangkan rantai polipeptida terbenam di dalam sel.



Gambar 1.28. Membran sel.

Lipida polar bersifat ampifatik yang terdiri dari senyawa-senyawa yang mempunyai gugus hidrofobik (tidak menyukai air) dan hidrofilik (menyukai air). Di dalam sistem cair, lipida polar secara spontan terdispersi, membentuk misel yaitu suatu susunan globuler yang terbentuk oleh gugus-gugus kepala polar yang dikelilingi air dan rantai-rantai hidrokarbon bergerombol

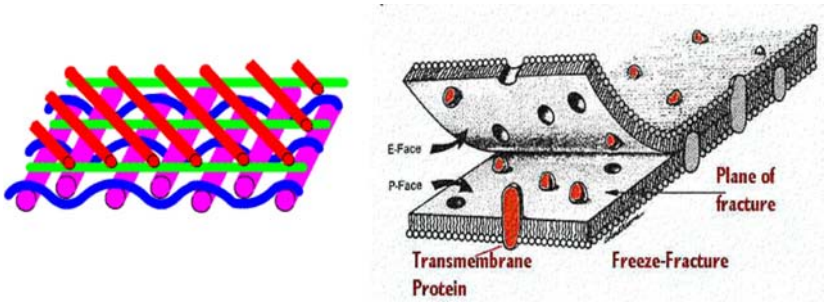
berhadap-hadapan, dengan ekor hidrokarbon lipida yang tersembunyi dari lingkungan cair dan kepala hidrofilik yang bermuatan listrik terbuka pada permukaan, bersinggungan dengan medium cair.

Lipida cair membentuk suatu lapisan dengan ketebalan satu molekul yaitu lapisan tunggal. Pada sistem tersebut, ekor hidrokarbon terbuka ke udara, jadi terhindar dari air, dan kepala hidrofilik memanjang ke fase cair yang bersifat polar.

Lipida polar juga segera dan dengan spontan membentuk lapisan ganda yang sangat tipis, yang memisahkan dua kompartemen cair. Pada struktur ini ekor hidrokarbon molekul lipida memanjang ke bagian dalam yang berkesinambungan, dan kepala hidrofilik menghadap ke luar, memanjang ke fase cair. Tebal lapisan ganda fosfolipid kira-kira 6–7 nm (lihat Gambar 1.28).

2. Sifat-sifat Membran Plasma

a. Selektif permeabel



Gambar 1.29. Dwilapis lipid dan protein.

Sifat semi permeabel ini dapat disebabkan oleh dwilapis lipid maupun proteinnya. Bagian membran hidrofobik menghalangi transpor ion dan molekul polar, yang bersifat hidrofobik seperti hidrokarbon, karbondioksida dan oksigen yang dapat larut dalam membran dan dapat melintasinya dengan mudah. Molekul sangat kecil yang polar tetapi tidak bermuatan juga dapat lewat melalui membran dengan cepat. Contohnya adalah air dan etanol, yang cukup kecil untuk lewat diantara lipid-lipid membran. Bila lapisan lipid tidak

sangat permeabel terhadap molekul polar tak bermuatan yang lebih besar, seperti glukosa dan gula lainnya. Dwilapis ini juga relatif tidak permeabel terhadap semua ion, sekalipun ion itu sangat kecil seperti H^+ dan Na^+. Atom atau molekul bermuatan dan lapisan airnya sulit menembus lapisan hidrofobik membran. Akan tetapi, dwilapis lipid hanyalah salah satu bagian cerita tentang permeabilitas relatif membran. Protein yang ada dalam membran memainkan peran penting dalam pengaturan transpor. Karena itu tidak semua zat atau molekul dari luar sel dapat masuk melalui membran plasma. Hal ini karena struktur dasar membran plasma sebagian besar terdiri atas lipid (fosfolipid) yang hanya dapat dilewati oleh molekul-molekul tertentu dengan perantara *protein carrier*.

b. Sifat fluiditas membran

Membran bukan lembaran molekul statis yang terikat kuat di tempatnya. Membran ditahan bersama terutama oleh interaksi hidrofobik, yang jauh lebih lemah dari ikatan kovalen. Sifat fluiditas membran ditentukan oleh faktor-faktor di bawah ini

1) Pergerakan fosfolipid

   Sebagian fosfolipid dapat berpindah secara acak dalam bidang membrannya. Fosfolipid bergerak untuk menjaga fluiditas membran. Fosfolipid bergerak sepanjang bidang membran dengan cepat, kira-kira 2 μm seukuran panjang sel bakteri. Pergerakan Fosfolipid ini ada dua macam; pergerakan lateral (dalam dua dimensi/pada satu lapisan saja) dan pergerakan flipflop/bertukar tempat (dari lapisan luar ke dalam dan sebaliknya). Akan tetapi jarang terjadi suatu molekul bertukar tempat secara melintang melintasi membran, yang beralih dari satu lapisan fosfolipid ke lapisan yang lainnya karena untuk melakukan hal itu, sebagian hidrofilik lapisan tersebut harus melintasi inti hidrofobik membrannya.

2) Ketidakjenuhan asam lemak

   Suatu membran tetap berwujud fluida begitu suhu turun, hingga akhirnya, pada beberapa suhu kritis, fosfolipid mengendap pada suatu susunan yang rapat yang membrannya membeku. Membran tetap berwujud fluida pada suhu yang lebih rendah jika membran itu

mengandung banyak fosfolipid dengan ekor hidrokarbon tak jenuh. Hal ini disebabkan oleh adanya kekusutan di tempat ikatan rangkapnya. Dengan kata lain adanya ikatan rangkap dapat menyulitkan letak rantai-rantai karbon agar tersusun padat, sehingga dapat menghambat proses pembekuan membran pada saat suhu rendah. Lebih besar jumlah ikatan rangkap pada hidrokarbon fosfolipid maka membran akan bersifat semakin cair.

Untuk mempertahan fluiditasnya membran sel-sel yang hidup pada suhu rendah mempunyai proporsi asam lemak yang lebih tinggi. Bukti lain mengemukakan bahwa sel dapat mengubah kesetimbangan asam lemak jenuh dan tak jenuh dalam membran menjadi suatu adaptasi terhadap pergantian suhu.

3) Adanya kolesterol

Kolesterol juga memegang peranan kunci sebagai pengontrol fluiditas membran. Kolesterol mengandung inti steroid dengan gugus hidroksil pada satu sisi dan ekor hidrokarbon yang lentur pada sisi yang lain. Kolesterol tersisip diantara fosfolipid dengan sumbu tegak lurus pada bidang membran. Gugus hidroksil kolesterol membentuk ikatan hydrogen dengan atom oksigen karbonil pada gugus kepala fosfolipid. Sedangkan ekor hidrokarbon kolesterol terletak di bagian tengah dwilapis lipid yang nonpolar. Kolesterol mencegah kristalisasi rantairantai asam lemak dengan menyusup diantaranya. Pada dasarnya konsentrasi kolesterol yang tinggi mencegah pergerakan fosfolipid. Efek kolesterol yang berlawanan inilah yang menghambat rantai asam lemak tidak melakukan pergerakan sehingga membran menjadi kurang cair. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kolesterol meredam fluiditas membran.

4) Keterikatan protein pada filamen sitoskleton

Protein ada yang terikat pada filamen sitoskleton sehingga dapat mempertahankan bentuk membran meskipun bersifat cair. Pelekatan ini berkombinasi untuk memberi kerangka luar yang lebih kuat daripada yang dapat diberikan oleh membran plasma itu sendiri.

c. Dinamis

Yang dinamis dari selaput plasma adalah molekul-molekul dari selaput plasma yaitu fosfolipid dan protein. Fosfolipid pada suhu normal (misal 37°C pada prokaryota) akan berada dalam kondisi normal, tetapi pada suhu yang lebih tinggi fosfolipid akan menjadi mudah bergerak demikian juga bila lebih pendek asam lemaknya maka akan makin mudah bergerak.

d. Membran sebagai mosaik

Membran plasma disebut mosaik karena letak komponen (protein) yang tidak teratur. Hal ini memudahkan transporasi zat. Membran plasma dan membran berbagai macam organel masing-masing memiliki koleksi protein yang unik. Sampai saat ini telah ditemukan lebih dari 50 jenis protein dalam membran plasma yang tersusun dengan pola yang tidak teratur.

e. Asimetris

Molekul-molekul lipid penyusun lapisan bagian luar selaput plasma berbeda dengan penyusun bagian dalamnya. Demikian pula molekul-molekul peptide dan karbohidratnya. Sebagian besar karbohidrat terdiri dari glikolipid, glikoprotein, dan proteoglikan. Karbohidrat-karbohidrat ini hanya ada pada permukaan luar membran plasma, karena itu pada begian luar susunannya lebih kompleks. Hal ini untuk mendukung fungsinya sebagai reseptor molekul-molekul khusus maupun agensia khas seperti virus dan bakteri. Selain itu juga dapat sebagai reseptor terhadap perubahan lingkungan seperti suhu, intensitas cahaya dan lain-lain.

3. Fungsi Membran Plasma

Membran plasma mempunyai fungsi yang sangat kompleks, membran bukan sekadar kulit ienert yang membungkus sel dan bukan pula struktur statis yang tetap karena membran menjalankan banyak fungsi dinamis yang kompleks. Membran bersama organel-organel sel lainnya menjalankan banyak fungsi yang dinamis. Secara umum fungsi membran adalah sebagai berikut:

a. Sebagai pembatas antara lingkungan di dalam sel dengan lingkungan di luar sel dan diantara lingkungan dalam organel dengan lingkungan dalam sitoplasma.

b. Mengatur permeabilitas membran terhadap senyawa-senyawa atau ion-ion yang melewatinya. Permeabilitas terutama diatur oleh protein integral.
c. Sebagai protein pengenal atau reseptor molekul-molekul khusus seperti hormon, antigen metabolisme maupun agensia khas seperti bakteri atau virus. Selain itu selaput sebagai suatu kelompok molekul juga dapat berfungsi sebagai reseptor terhadap perubahan suhu, intensitas cahaya dan lain-lain.
d. Sebagai jalan untuk keluar masuknya zat dari luar ke dalam sel atau sebaliknya. Bagian transpor ini akan dibahas lebih lanjut pada bagian berikutnya.
e. Penyedia enzim karena membran plasma berfungsi sebagai sebuah sarana terselenggaranya aktivitas seluler yang terorganisasi. Sebagai contoh, enzim sitokrom yang terlibat dalam respirasi merupakan bagian dari membran mitokondria.
f. Berperan dalam transduksi energi. Perubahan satu jenis energi ke bentuk yang lain (teransduksi) merupakan hal yang penting dalam aktivitas makhluk hidup, dan membran secara langsung berhubungan dengan hal ini. Contoh pada tumbuhan di mana kemampuan sel tumbuhan untuk menangkap energi matahari dan merubahnya dalam bentuk energi kimia yang terkandung dalam karbohidrat.

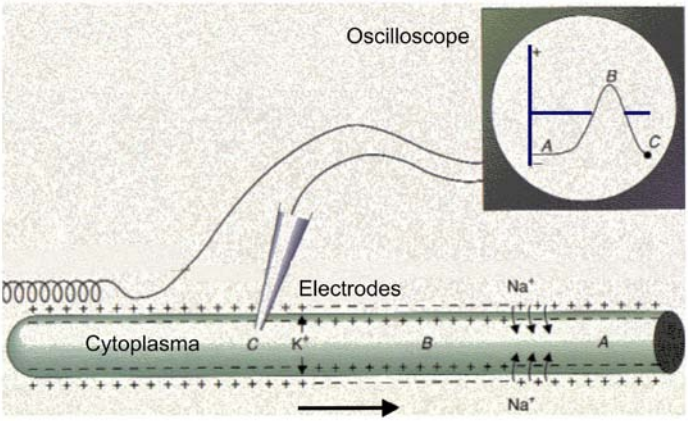
B. TRANSPOR MELALUI MEMBRAN

Transportasi melalui membran sel sangat penting bagi kelangsungan hidup sel. Substansi tertentu misalnya, harus bergerak masuk ke dalam sel untuk menyokong agar sel itu tetap hidup, demikian juga sebaliknya. Zat-zat buangan yang dihasilkan dari metabolisme sel harus dikeluarkan dari dalam sel yang selanjutnya dibuang ke luar tubuh. Seperti sudah digambarkan sebelumnya, membran plasma berfungsi sebagai dinding atau pembatas antara zat hidup dan zat non-hidup, membran intraseluler diantara beberapa ruang sitoplasmik.

Sebagai pembatas, membran plasma mencegah terjadinya pertukaran bebas antarzat yang satu dengan yang lain, tetapi pada saat yang bersamaan membran plasma juga berfungsi sebagai sesuatu yang menyediakan sarana komunikasi diantara ruang. Setiap sel membutuhkan nutrisi, air, oksigen, ion,

substrat, dan lain-lain dari lingkungannya, baik itu yang merupakan aliran darah dari suatu organisme bersel banyak atau sebuah medium dimana suatu organisme bersel satu sedang tumbuh. Merupakan tanggung jawab dari membran plasma untuk memastikan bahwa semua zat yang cocok dipersilakan masuk ke dalam sitoplasma dan sebaliknya. Dalam kapasitas ini, membran plasma biasa disebut sebagai membran selektif permeabel.

Di antara zat-zat yang diperbolehkan memasuki ruang dalam sel, beberapa diantaranya disaring dengan hanya melalui sebuah proses difusi sebagai respons terhadap perbedaan tingkat konsentrasi di antara membran. Dalam hal ini, membran plasma bertindak sebagai sebuah pagar yang dapat menutup dan membuka. Beberapa zat yang lain dibawa melalui membran sehingga tetap terjaga tingkat konsentrasinya yang tinggi ketika berada dalam sel, membran plasma berfungsi sebagai pompa molekul. Beberapa zat yang lainnya termasuk cairan dimana zat tersebut berada, dapat dipersilakan masuk ke dalam sel oleh formasi vesikel dari membran plasma. Salah satu konsekuensi terpenting dari kedudukan membran plasma sebagai sebuah membran selektif permeabel adalah kapasitasnya untuk memisahkan ion-ion yang ada dan karenanya menimbulkan adanya perbedaan potensial listrik diantara bagian-bagiannya. Perbedaan potensial listrik ini merupakan sesuatu yang berbahaya untuk sesuatu yang dikenal sebagai sel pengganggu, neuron dan sel tubuh, tetapi pada saat bersamaan juga memainkan peranan penting dalam hal kemampuan setiap sel untuk merespon lingkungannya.



Gambar 1.30.

Impuls pada sel neuron. Perbedaan potensial antarbagian pada neuron menyebabkan terjadinya mekanisme transpor ion (K^+ serta Na^+).

Pengaturan terhadap zat-zat tersebut tidak hanya terbatas pada pergerakannya dari luar ke dalam sel oleh membran plasma. Berbagai sekat intraseluler juga harus berhubungan satu sama lainnya. Tidak ada organel yang independen, masing-masing bergantung pada pertukaran zat pada kedua arah diantara membran dimana mereka terikat. Secara umum terdapat dua macam proses transpor melalui membran sel yaitu *transpor pasif* dan *transpor aktif*.

1. Transpor Pasif

Transpor pasif yaitu gerakan sederhana suatu zat dengan perbedaan konsentrasi di dalam dan di luar sel. Jika konsentrasi di luar sel lebih tinggi, maka terjadi gerakan molekul dari luar menuju ke dalam, sebaliknya jika konsentrasi di dalam sel lebih tinggi, gerakan molekul dari sel kelingkungan. Perbedaan konsentrasi sel dengan lingkungannya disebut *gradient konsentrasi*. Transpor pasif dalam responnya terhadap gradien konsentrasi tidak memerlukan energi. Beberapa proses yang berlangsung yang menunjukkan transpor pasif adalah

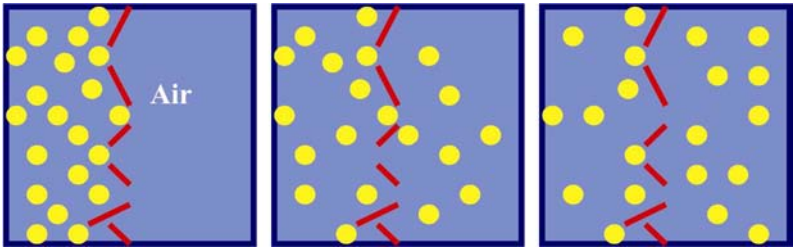
a. Difusi

Difusi adalah perpindahan substansi tertentu dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Zat berdifusi menurut kemiringan (gradien) konsentrasi, dan untuk ini tidak memerlukan energi (ATP). Difusi dapat dibedakan menjadi difusi sederhana dan difusi dipermudah (sering juga disebut difusi bersyarat atau difusi berfasilitas).

1) Difusi Sederhana/Bebas

Pada difusi sederhana molekul bergerak searah dengan gradien konsentrasi. Pada difusi bebas, zat berdifusi langsung atau bebas tanpa memerlukan *protein carrier* (pembawa). Pada umumnya metabolit yang dapat melintasi membran melalui difusi sederhana ini merupakan metabolit dengan berat molekul yang kecil, seperti; air, O_2, ethanol, CO_2, senyawa-senyawa lemak dan molekul-moekul kecil lain yang polar tak bermuatan dapat menembus secara langsung pada sela-sela lipid. Selain itu juga protein juga punya saluran ditengahnya.

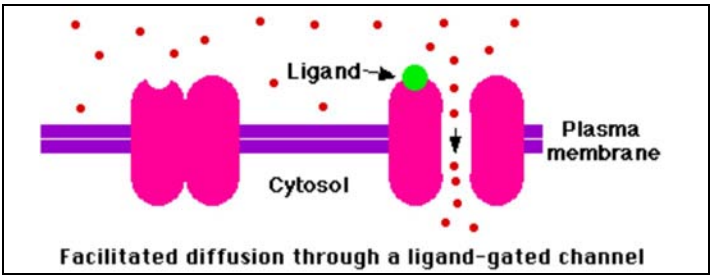
Mekanisme difusi bebas yaitu, molekul yang dilarutkan bersifat tetap, bergerak, dan bertabrakan berulangkali setiap detik. Tabrakan molekul terjadi secara acak. Akhirnya pergerakan secara acak tersebut membawa beberapa molekul ke daerah yang berbeda, sehingga tidak ada perubahan pada konsentrasi antara dua wilayah. Perbedaan derajat konsentrasi antara sisi luar dan dalam membran akan hilang pada saat difusi telah selesai. Difusi secara bebas dan sederhana ini bukan merupakan mekanisme transpor yang terlalu penting pada membran karena berjalan lambat.



Gambar 1.31. Difusi sederhana.

2) Difusi Bersyarat/Berfasilitas

Pada prinsipnya difusi berfasilitas sama dengan difusi bebas, yaitu dalam hal diperlukan adanya perbedaan konsentrasi dan dalam prosesnya tidak memerlukan energi. Sedangkan perbedaannya adalah pada proses difusi dimana gerakan senyawa melewati membran jauh lebih cepat karena adanya protein carrier pada membran. Pada difusi berfasilitas, difusi juga dipengaruhi kejenuhan protein carrier terhadap zat itu. Protein carrier mengangkut senyawa-senyawa yang tidak bisa melewati lapisan lipid secara langsung, misalnya ion-ion dan senyawa lain yang polar bermuatan. Bilayer lipid sangat tidak permeabel terhadap semua ion sekalipun ion kecil seperti H^+ dan Na^+, sehingga pengangkutan harus melalui protein carrier.

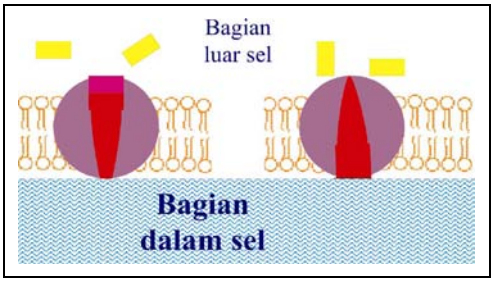


Sumber: www. Cellsbioxom

Gambar 1.32. Difusi berfasilitas melalui membrane.

Tahapan-tahapan dalam difusi berfasilitas adalah:

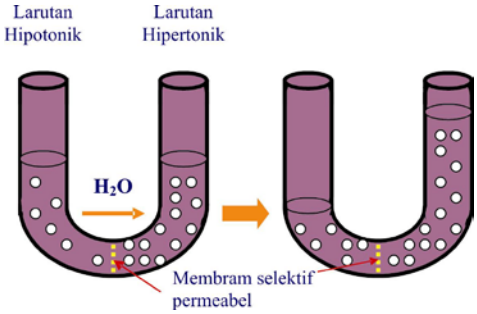
1) Tahap awal
   Yaitu tahap pengenalan (*recognition*) dari molekul metabolit yang akan mengalami transpor ke dalam sel dengan protein carrier.
2) Tahap pengikatan
   Molekul carrier yang terdapat di dalam membran akan membentuk kompleks spesifik dengan metabolit yang berada di luar membran.
3) Tahap gerakan
   Yaitu gerakan dari kompleks tersebut ke bagian yang lebih dalam dari membran. Cara geraknya dapat melalui mekanisme difusi, rotasi, osilasi dan gerakan lainnya.
4) Tahap pelepasan
   Pada tahap ini terjadi pelepasan metabolit ke dalam sel melalui mekanisme asosiasi, disosiasi, dan translokasi.



Gambar 1.33. Proses difusi berfasilitas.

b. Osmosis

Osmosis adalah proses keluar masuknya air melalui membran plasma yang bersifat selektif permeabel. Air tersebut bergerak dari larutan yang konsentrasinya rendah menuju ke larutan yang konsentrasinya tinggi. Air dapat melewati membran secara langsung, tetapi glukosa tidak dapat menembus membran semipermeabel. Dengan waktu tertentu air akan bergerak menuju larutan glukosa, untuk meningkatkan konsentrasi larutan di sebelahnya. Jadi disini pergerakan molekul air menuju glukosa. Hasilnya air akan bergerak melalui membran sebagai respon terhadap gradien konsentrasi. Osmosis akan berhenti apabila sudah terjadi keseimbangan konsentrasi di dalam dan di luar sel (adanya ekivalensi), karena adanya kekuatan lain yang menahan, yakni gaya reaksi dari membran. Bila kekuatan membran lebih lemah dari kekuatan masuknya air di dalam sel maka sel akan pecah (*lysis*).

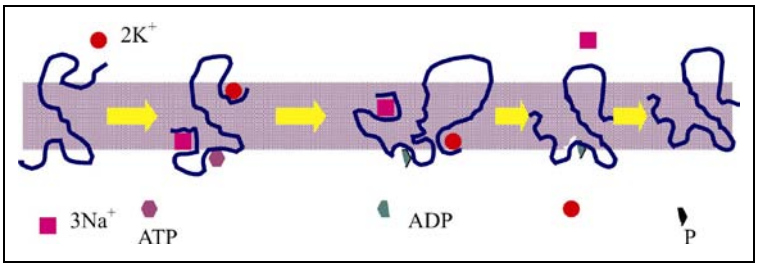


Gambar 1.34.
Dua larutan gula yang berbeda konsentrasinya dipisahkan oleh membran berpori yang permeabel terhadap pelarut (air) tetapi tidak terhadap zat

terlarutnya (gula). Air berdifusi dari larutan hipotonik ke larutan hipertonik. Transpor pasif air, atau osmosis, mengurangi perbedaan konsentrasi gula.

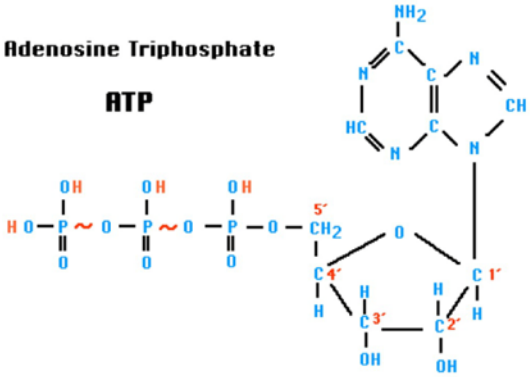
2. Transpor Aktif

Transpor aktif merupakan pergerakan senyawa menembus membran dari daerah berkonsentrasi rendah ke daerah berkonsentrasi tinggi (melawan gradien konsentrasi). Pada transpor aktif diperlukan energi terutama bersumber pada *Adenosine Tripospat* (ATP). Salah satu contoh transpor aktif adalah pemompaan ion Na^+ dan K^+.



Gambar 1.35a. Transpor aktif ATP dan ADP.

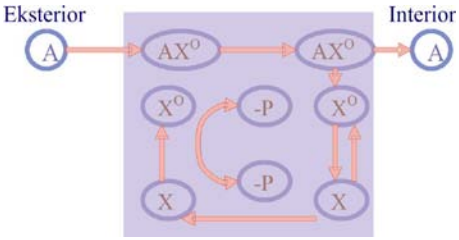
Konsentrasi ion K^+ dalam sel dipertahankan untuk selalu lebih tinggi daripada ai luar sel. Sebaliknya konsentrasi ion Na^+ di dalam sel diusahakan selalu lebih rendah daripada di luar sel. Ion Na^+ dan K^+ dua-duanya dipompa melawan gradien konsentrasi, dan pemompaan dapat terjadi akibat hidrolisis ATP.



Gambar 1.35b. Ikatan ATP.

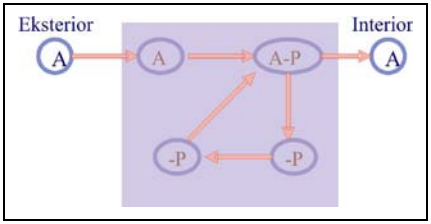
Mekanisme transpor aktif melalui dua tahapan, yaitu

a. Proses perubahan carrier X menjadi X^o dengan menggunakan sistem energi. X tersebut selanjutnya mampu mengikat metabolit menjadi X^o. Kompleks ini bergerak menuju ke bagian yang lebih dalam. Karena adanya perubahan lingkungan yang mempengaruhi terjadinya disosiasi cepat dan A terlepas masuk ke dalam sel, dan secara spontan X^o berubah menjadi X.



Gambar 1.36a. Cara pertama transpor aktif (Conn & Stumpf, 1972:136).

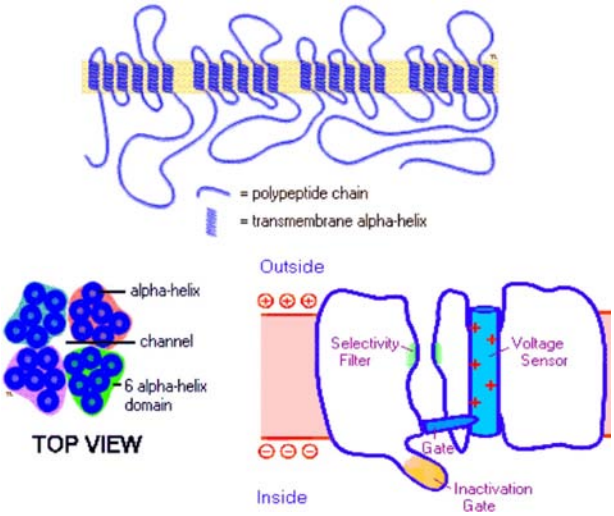
b. Serupa dengan mekanisme pertama, bedanya A mengalami perubahan kimia, misalnya terjadi peristiwa fosforilasi, tetapi segera diubah kembali menjadi struktur semula pada saat dilepaskan ke dalam sel.



Gambar 1.36b. Cara kedua transpor aktif (Conn & Stumpf, 1972:136).

Beberapa contoh sistem transpor aktif adalah:

a. Pengambilan asam amino, peptide, nukleosida dan kalium pada bakteri Escherchia coli. Bahan tersebut baru dapat masuk ke dalam selnya jika ada pengangkut dan energi yang cukup.
b. Ganggang laut dapat menimbun yodium dalam selnya melebihi konsentrasi dalam air laut disekitarnya.
c. Pompa ion natrium dan Kalium.



Gambar 1.36c. Pompa ion Natrium dan Kalium.

3. Cytosis

Cytosis adalah transpor yang melibatkan membran pecah (*lysis*). Proses ini melibatkan lisosom, berarti zat dicerna dan ditransfer dalam vesikula. Proses pengambilan substansi oleh sebuah sel dari sekitar melalui membran plasma secara umum dinamakan endositosis (endocytosis) dan pengeluarannya dinamakan eksositosis (*exocyitosis*). Hal yang perlu diperhatikan dalam proses ini yaitu substansi yang dimasukkan atau dikeluarkan berada dalam vesikel, terpisah jauh dari makromolekul lain yang terlarut dalam sitosol.

a. Endositosis

Endiositosis merupakan proses pengambilan suatu substansi oleh sebuah sel dari sekitarnya melalui membran plasma secara umum. Beberapa bentuk endositosis adalah:

1) Fagositosis

   Fagositosis (bahasa Yunani; *phagein* = makanan) adalah proses pengambilan partikel-partikel padat yang ukurannya agak besar, misalnya bakteri atau fragmen-fragmen sel yang rusak. Pada amoeba, proses diawali dengan pembentukan pseudopodia dari selnya yang kemudian mengelilingi makannya. Setelah itu membran plasmanya robek sementara untuk membentuk vakuola makanan, selanjutnya dinding vakuola bersatu dengan membran lisosom yang mengandung enzim hidrolitik sehingga makannya dapat dicerna. Makanan yang tercerna diserap dalam sitoplasma sedang ampas yang tidak berguna dikeluarkan dari sel dengan proses eksositosis.

2) Pinositosis

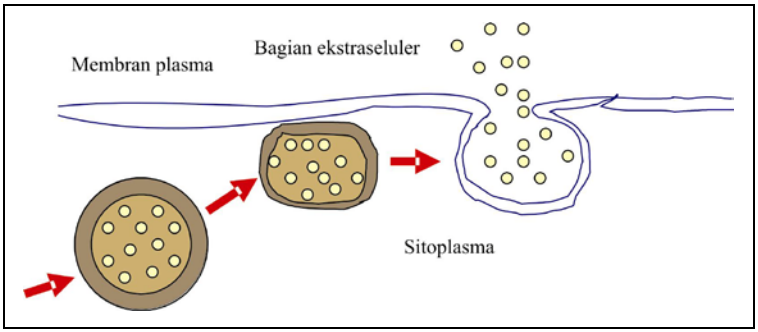
   Pinositosis (bahasa Yunani; *pinein* = minum) adalah proses pengambilan makanan yang berbentuk cair dari sekitarnya yaitu partikel-partikel yang sangat kecil yang larut dalam cairan itu. Membran plasma mengadakan invaginasi, membentuk saluran panjang yang sempit dan pada ujungnya terbentuk vakuola. Vakuola tersebut lama-kelamaan melepaskan diri sehingga isinya dapat diserap oleh sitoplasma. Air dan karbohidrat tidak mampu merangsang terjadinya pinositosis.

3) Endositosisi dengan perantara reseptor

   Beberapa partikel, misalnya protein dan lipoprotein diambil oleh sel secara selektif dengan lebih dahulu melekat pada reseptor protein yang terdapat pada membran plasma dan selanjutnya membran plasma mengadakan invaginasi bersama-sama dengan reseptor yang mengikat partikel yang diperlukan. Partikel lipoprotein yang diambil oleh sel mengandung kolesterol dan lemak untuk kepentingan membran.

b. Eksositosis

Dalam proses eksositosis, membran suatu vesikel atau vakuola yang terdapat dalam sitoplasma mula-mula menempel pada membran plasma. Kemudian membran plasma membuka untuk sementara sehingga isi vesikel atau vakuola tersebut dapat dikeluarkan dari dalam sel. Substansi yang dikeluarkan antara lain berupa sekresi (misalnya hormon) atau partikel yang tidak tercerna.



Gambar 1.37. Proses eksositosis.

4. Translokasi Kelompok

Merupakan mekanisme transporasi gula melintasi membran pada bakteri. Berdasar-kan mekanisme ini gula dilepaskan ke dalam sel dalam bentuk phosphorilated derivate. Mekanisme ini memerlukan transpor aktif, sehingga gula-fosfat tidak dapat lolos kembali melewati membran. Mekanisme ini meliputi reaksi:

$$\text{Posfeonol piruvat} + \text{HPr} \xrightarrow{\text{Enz I, Mg2+}} \text{Piruvat} + \text{P} - \text{H}$$

$$\text{P} - \text{HPr} + \text{Gula} \xrightarrow{\text{Enz II}} \text{Gula} - \text{GP} + \text{HPr}$$

C. PERSAMAAN NERST DAN GAULDMAN

Selanjutnya kita menganalisis gerakan partikel bermuatan yang ada pada membran. Meskipun ion-ion utamanya bergerak melalui lubang atau rongga, tetapi kita akan melihat difusi ion ke dalam wilayah homogen, untuk mengetahui bagaimana respon flux ion terhadap konsentrasi larutan dan terhadap potensial listrik yang ada pada membran.

Flux dari jenis muatan pada media homogen sejalan dengan persamaan berikut.

$$F = -D\nabla C + \mu qCE \qquad \text{..... (1.1)}$$

dimana *E* adalah medan listrik, yang dinyatakan dengan $E = -\nabla V$, dengan *V* adalah energi potensial listrik, μ mobilitas dan *q* muatan ion. Persamaan

sebelah kanan adalah hukum distribusi Fick dan persamaan kedua adalah bentuk hukum Ohm untuk gerakan pembawa muatan pada medium yang kental Koefisien difusi untuk ion jenis *i* bisa dihubungkan dengan mobilitasnya dengan menggunakan hubungan Stokes-Einstein dimana $D = \mu_i k_B T$, sehingga persamaan (1.1) untuk geometri satu dimensi menjadi,

$$F_i = -\mu_i \left(k_B T \frac{\partial C_i}{\partial x} + q_i C_i \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad \text{.... (1.2)}$$

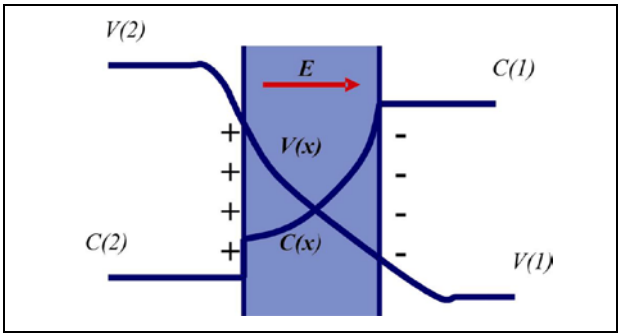
Jika dicapai keadaan yang tetap, maka fluksnya akan bernilai konstan terhadap waktu. Sekarang mari kita lihat membran selektif, yang hanya bisa ditembus (permeabel) oleh ion jenis tunggal, katakanlah K^+. Persamaan (1.1) bisa dikalikan dengan faktor penggabungan eksponen ($q_i V/k_B T$) dan bisa digabungkan untuk menghasilkan fluk ion tunggal sebagai fungsi dari konsentrasi energi yang menabrak membran.

$$Fi = -\mu_i k_B T \frac{\int_1^2 d\left(e^{V/V_0}\right)}{\int_1^2 e^{V/V_0} dx} = \mu_i k_B T \frac{C_i(1)e^{V/V_0} - C_i(2)e^{V_2/V_o}}{\int_1^2 e^{V/V_0} dx} \quad \text{... (1.3)}$$

dimana Vo dinyatakan disini dengan $V_o = k_B T/q_i$. Untuk mendapatkan solusi yang lebih eksplisit, memerlukan pengetahuan tentang profil potensi aktual untuk mengevaluasi integral pada denominator. Untuk membran yang sangat tipis, kita bisa mempertanyakan atau mengatakan bahwa medan yang ada pada membran sangat konstant (lihat Gambar 1.38), sehingga potensi atau energinya bisa seragam sesuai dengan jaraknya. Dalam hal ini, jika kita menyatakan $\Delta V = V_2 - V_1$, maka persamaannya akan menjadi sebagai berikut.

$$J_i = q_i F_i = \frac{\mu_i q_i^2 \, \Delta V C_i(2) \, e^{V/V_0} - C_i(1)}{d \, e^{\Delta V/V_0} - 1} \quad \text{.... (1.4)}$$

persamaan (1.4) dikenal sebagai pendekatan medan-konstan (*constant-field approxi-mation*) untuk hubungan *tegangan-arus transmembran*.



Gambar 1.38. Potensial Listrik melalui membran tipis.

Apa yang terjadi jika flux ion bernilai nol? Karena arus ion mengalir melalui membran, maka ketidakseimbangan muatan bisa saja terjadi. Bentukan muatan ini akan membentuk medan listrik yang berlawanan dengan aliran difusi ion. Pada keadaan seimbang, jika flux bernilai nol, akan ada energi yang masuk ke dalam membran. Dengan $F = 0$ pada persamaan (1.4), kita menemukan bahwa, dengan menggunakan $C_i(1)/C_i$ (2), diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$V_1 - V_2 = -\left(k_B T / q\right) \ell n\left(C_1 / C_2\right) \quad \text{.... (1.5)}$$

Selanjutnya kita akan melihat pada beberapa membran yang bisa ditembus oleh beberapa jenis ion monovalen, yang masing-masing dicirikan dengan adanya mobilitas μ_i. Jika ion-ion ini bergerak bebas, maka total arus transmembrannya adalah jumlah dari elemen-elemen yang ada pada persamaan (1.5), yaitu

$$J = -\frac{Vq^2}{k_B T}\left[\sum_i \frac{P_i^+\left(\left(C_i^+\right)_1 - \left(C_i^+\right)_2 e^{V/V_0}\right)}{1 - e^{-V/V_0}} + \sum_i \frac{P_i^-\left(\left(C_i^-\right)_1 - \left(C_i^-\right)_2 e^{-V/V_0}\right)}{1 - e^{-V/V_0}}\right] a \quad \text{..(1.6)}$$

Untuk menghasilkan persamaan (1.5) dan (1.6), kita sudah menghubungkan permeabilitas instrinsik ion P_i; dengan mobilitas μi oleh persamaan $P_i = D/d = \mu_i k_B T/d$, dimana d adalah ketebalan membran. Maka A dan B dinyatakan sebagai berikut.

$$A = \sum_i P_i^+ \left(C_i^+\right)_1 + \sum_i P_i^- \left(C_i^-\right)_2 \quad B = \sum_i P_i^+ \left(C_i^+\right)_2 + \sum_i P_i^- \left(C_i^-\right)_1 \quad .. (1.7)$$

untuk keadaan tetap *J = 0*, kita mendapatkan

$$A - B\, e^{V/V_0} = 0 \quad .... (1.8)$$

atau untuk sisa energi membran

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{k_B T}{q} \ell n \frac{\sum_i P_i^+ \left(C_i^+\right)_1 + \sum_i P_i^- \left(C_i^-\right)_2}{\sum_i P_i^+ \left(C_i^+\right)_2 + \sum_i P_i^- \left(C_i^-\right)_1} \quad .... (1.9)$$

Persamaan (1.9) dikenal sebagai persamaan Goldman-Hodgkin-Katz, dan sering kali digunakan untuk menghitung permeabilitas relatif ion pada membran tertentu. Rumus turunannya mengasumsikan bahwa semua ion masuk ke dalam membran dan bahwa permeabilitas relatif itu tetap; jika permeabilitasnya berubah-ubah, maka hubungannya kemungkinan akan menjadi lebih rumit.

LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

1) Jelaskanlah apa gunanya membran memiliki bentuk seperti mosaik!
2) Apa yang menyebabkan membran plasma memiliki sifat selektif permeabel?
3) Jelaskan bagaimana fungsi kolesterol di dalam membran!
4) Jelaskanlah dengan singkat apa saja fungsi dari membran sel secara umum!
5) Jelaskan secara singkat perbedaan antara protein intrinsik dan protein ekstrinsik pada membran!

Petunjuk Jawaban Latihan

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam menjawab soal-soal di atas perhatikanlah jawaban di bawah ini sebagai acuan.

1) Membran plasma disebut mosaik karena letak komponen (protein) yang tidak teratur. Hal ini memudahkan transporasi zat. Membran plasma dan membran berbagai macam organel masing-masing memiliki koleksi protein yang unik. Sampai saat ini telah di-temukan lebih dari 50 jenis protein dalam membran plasma yang tersusun dengan po-la yang tidak teratur.
2) Sifat semipermeabel dapat disebabkan oleh dwilapis lipid maupun proteinnya, bagian membran hidrofibik menghalangi transpor ion dan molekul polar. Yang bersifat hidrofibik seperti hidrokarbon, karbondioksida dan oksigen yang dapat larut dalam membran dan dapat melintasinya dengan mudah. Molekul sangat kecil yang polar tetapi tidak bermuatan juga dapat lewat melalui membran dengan cepat. Kolesterol juga memegang peranan kunci sebagai pengontrol fluiditas membran.
3) Kolesterol mencegah kristalisasi rantai-rantai asam lemak dengan menyusup di anta-ranya. Pada dasarnya konsentrasi kolesterol yang tinggi mencegah pergerakan fosfo-lipid. Efek kolesterol yang berlawanan inilah yang menghambat rantai asam lemak ti-dak melakukan pergerakan sehingga membran menjadi kurang cair. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kolesterol meredam fluiditas membran.
4) Fungsi membran sel antara lain: sebagai pembatas antara lingkungan di dalam sel dengan lingkungan, mengatur permeabilitas membran terhadap senyawa-senyawa atau ion-ion yang melewatinya, sebagai reseptor molekul-molekul khusus seperti hormon, antigen metabolisme, jalan untuk keluar masuknya zat dari luar ke dalam sel atau sebaliknya, penyedia enzim, dan transduksi energi.
5) Protein intrinsik adalah protein yang merentangi lapisan lipid dwilapis. Protein membran intrinsik dan integral mengandung daerah hidrofilik dan hidrofobik. Bagian hidrofilik protein berinteraksi dengan ujung polar molekul lipid pada masing-masing permukaan selebaran bimolekuler. Sedangkan protein membran porifer atau ekstrinsik umumnya terikat longgar pada membran protein yang kaya akan asam amino dengan rantai samping hidrofilik yang menyebabkan interaksi dengan lingkungan air dan dengan permukaan polar lipid dwilapis.

RANGKUMAN

Membran plasma merupakan suatu plasma yang membatasi sel dengan lingkungannya yang bersifat semipermeabel. Masuknya bahan-bahan ke dalam sel dan keluarnya zat-zat tertentu dari dalam sel diatur oleh membran plasma. Membran plasma sangat tipis sehingga hanya dapat divisualisasikan dengan menggunakan mikroskop elektron. Membran plasma adalah suatu susunan berlapis dengan pola beraturan dan terutama terdiri atas protein dan lipid. Fungsi membran tidak mungkin terpisahkan dari proses kehidupan. Membran plasma menjadikan sel bentuk yang mandiri dengan memisahkan sel dari lingkungannya.

Model membran plasma sesuai dengan perkembangannya adalah: Model Membran plasma Overtoon, Model Membran plasma Goster & Grendel, Model Membran plasma Kue Sandwich (Davson & Danielli), Model Membran plasma J.P. Robertson, Model Fluid Mozaik, dan Molekul Lipid Dwilapis.

Tiga membran yang utama adalah fosfolipid, glikolipid, dan kolesterol. Sedangkan protein penyusun membran adalah protein intrinsik (integral) dan protein porifer (ekstrinsik). Karbohidrat penyusun membran adalah glikoprotein.

Beberapa sifat membran yang sangat berguna adalah: selektif permeabel, sifat fluiditas membran, dinamis, membran sebagai mozaik, dan asimetris. Sedangkan fungsinya antara lain: sebagai pembatas antara lingkungan di dalam sel dengan lingkungan di luar sel dan diantara lingkungan dalam organel dengan lingkungan dalam sitoplasma, mengatur permeabilitas membran terhadap senyawa-senyawa atau ion-ion yang melewatinya, sebagai protein pengenal atau reseptor molekul-molekul khusus seperti hormon, antigen metabolisme maupun agensia khas seperti bakteri atau virus sebagai jalan untuk keluar masuknya zat dari luar ke dalam sel atau sebaliknya, penyedia enzim karena membran plasma berfungsi sebagai sebuah sarana terselenggaranya aktivitas seluler yang terorganisasi, dan berperan dalam transduksi energi.

TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

1) Model membran yang pertama kali mengemukakan bahwa membran plasma tersusun dari dua lapisan lipida, ujung hidropobik-nya saling berhadapan seperti susunan misel yang dapat larut dan berikatan bersama dengan interaksi hidropobik, adalah ….
   A. model membran plasma Overtoon
   B. model membran plasma Goster & Grendel
   C. model membran plasma kue sandwich
   D. model membran plasma J.P. Robertson

2) Model cairan mozaik bagi plasmalemma, dikemukakan oleh ….
   A. Overtoon
   B. S.J. Singer dan Nicolson
   C. J.P. Robertson
   D. Goster & Grendel

3) Lipid membran yang berupa ester asam lemak dengan gliserol yang mengandung Asam fosfat dan Nitrogen, adalah ….
   A. glikolipid
   B. kolesterol
   C. fosfolipid
   D. hidrofobik

4) Faktor-faktor yang tidak menentukan sifat fluiditas membran adalah ….
   A. pergerakan fosfolipid
   B. ketidakjenuhan asam lemak
   C. adanya kolesterol
   D. tingginya konsentrasi karbohidrat

5) Gerakan sederhana suatu zat melintasi membran karena adanya perbedaan konsen-trasi di dalam dan di luar sel disebut ….
   A. transpor aktif
   B. transpor pasif
   C. endositosis
   D. fagotosisi

6) Membran suatu vesikel atau vakuola yang terdapat dalam sitoplasma mula-mula menempel pada membran plasma. Kemudian membran plasma membuka untuk sementara sehingga isi vesikel atau vakuola tersebut dapat dikeluarkan dari dalam sel. Hal ini terjadi pada proses ….
   A. transpor aktif

B. transpor pasif
C. endositosis
D. eksositosis

7) Transpor yang melibatkan membran pecah disebut ….
A. endositosis
B. eksositosis
C. cytosis
D. pinositosis

8) Persamaan yang sering kali digunakan untuk menghitung permeabilitas relatif ion pada membran tertentu, adalah persamaan ….
A. Planck-Einsteins
B. Gay Lussac
C. Archimides
D. Goldman-Hodgkin-Katz

9) Proses perpindahan substansi tertentu dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah, menurut kemiringan (*gradien*) konsentrasi, dan untuk tidak memerlukan energi (ATP), adalah ….
A. difusi
B. osmosis
C. cytosis
D. kinesis

10) Proses pengambilan makanan yang berbentuk cair dari sekitar sel yaitu partikel-partikel yang sangat kecil yang larut dalam cairan itu dimana membran plasma mengadakan invaginasi, membentuk saluran panjang yang sempit dan pada ujungnya terbentuk vakuola, dikenal dengan istilah ….
A. endositosis
B. pinositosis
C. eksositosis
D. cytosis

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

1) C R. Virchow.
2) B Prokariotik.
3) D Dinding sel.
4) B Sitoplasma.
5) B Flagella.
6) D Badan Golgi.
7) A Actin filaments, intermediate filaments, dan microtubules.
8) D Kloroplas.
9) B Cristae.
10) C Membran dalam.

Tes Formatif 2

1) C Model Membran plasma Kue Sandwich.
2) B S.J. Singer dan Nicolson.
3) C Fosfolipid.
4) D Tingginya konsentrasi karbohidrat.
5) A Transpor aktif.
6) D Eksositosis.
7) D Cytosis.
8) D Persamaan Goldman-Hodgkin-Katz.
9) A Difusi.
10) B Pinositosis.

Daftar Pustaka

Dennis Kunkel. (2004). *http://rabi.phvs.virainia.edu/HTW/book.html*. www.Cellsbio.com

Freeman. (2004). *The Science of Biology*, 4th Edition, by Sinauer Associates (www.sinauer.com) and (www.whfreeman.com).

Lubert, Styer. (2000). *Biokomia*. Vol I. Edisi 4. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.

_____, (2001), *How things work: the physics of everyday life* (2"ed), (Versi Elektronik). httta://rabi.nhys.vireiniaedu/HTW/book.html

http://www.biosci.uga.edu/ahnanac/bio_103/notes/may_15.htm.

http.www.cellsalive.com/cells

_____, (2004), *The Science of Biology*, 4th Edition, by Sinauer Associates (www.sinauer.com)

Ralph Nossal & Harold Leccar. (1991). *Mollecular & Cell Biophysics*. Canada. Addison-Wesley Publishing Company.

William Hughes. (1979). *Aspect of Biophysics*. Canada. John & Sons, Inc.