

MODUL AJAR

BIOLOGI SEL & MOLEKULER



RIZKIA SUCIATI, M.Pd.

Universitas Muhammadiyah Prof DR. HAMKA

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, sebuah Modul Ajar Biologi Sel & Molekuler ini dapat terselesaikan dengan baik. Ringkasan materi ini disusun atas pertimbangan praktis, serta diharapkan dapat membantu pembaca (mahasiswa) dalam belajar Biologi. Materi yang disajikan dalam setiap bab belum secara keseluruhan sempurna seperti pada buku panduan Biologi Sel & Molekuler lainnya, namun paling tidak dapat mewakili dalam belajar Biologi Sel & Molekuler secara utuh. Pemilihan topik materi juga masih dalam bahasan yang terbuka dan luas, namun demikian penulis mengharapkan pembaca dapat mengkajinya sendiri lebih mendalam lalu mendiskusinya agar didapatkan ilmu yang lebih komprehensif.

Isi di dalam ringkasan ini tentunya telah disesuaikan dengan pengembangan kurikulum serta silabus yang akan dipelajari selama perkuliahan Biologi Sel & Molekuler berlangsung. Substansi materi dalam ringkasan ini mencakup Biologi Sel yang mencakup organel-organel beserta struktur dan fungsinya, serta pengkajian molekuler yang masih disajikan secara sederhana.

Sebagai manusia biasa tentu saja masih banyak kekurangan yang ada di dalam ringkasan materi ini, dan sebagai bentuk kesempurnaan di lain waktu besar harapan penulis untuk menerima kritik serta saran dari berbagai pihak untuk menjadikan ringkasan materi ini menjadi sebuah Modul Ajar mata kuliah Biologi Sel & Molekuler.

Jakarta, Februari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Silabus Perkuliahan	iii
Bab I Pendahuluan	1
Tugas Refleksi Diri	6
Bab II Makromolekul, Energi & Reaksi Kimia Seluler	7
Tugas Refleksi Diri	15
Bab III Struktur Sel & Fungsi : Dinding Sel & Membran Plasma	16
Tugas Refleksi Diri	19
Bab IV Membran Plasma : Transportasi Zat Hubungan/Pertautan Antar Sel	20
Tugas Refleksi Diri	24
Bab V Organel Sel	25
Tugas Refleksi Diri	27
Bab VI Analisis Genetik & Organisasi Genom	28
Tugas Refleksi Diri	32
Daftar Pustaka	33

SILABUS PERKULIAHAN
BIOLOGI SEL & MOLEKULER (3 SKS)
Rizkia Suciati, M.Pd.

Deskripsi Matakuliah : Membahas tentang sejarah perkembangan konsep dan teori sel, makromolekul kehidupan, ultrastruktur sel (organela) beserta fungsinya, sistem membran luar dan dalam, mekanisme pembelahan dan siklus sel, proses konversi energi seluler, serta analisis genetik dan organisasi genom.

Standar Kompetensi : Memahami prinsip-prinsip dasar biologi sel dan biologi molekuler.

TM	TGL.	URAIAN MATERI	Referensi
I		Pendahuluan : - Perkembangan Konsep dan Teori Sel - Sel Prokariot dan Sel Eukariot	<ul style="list-style-type: none"> - Alberts B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, & J.D. Watson. 1994. <i>Molecular Biology of The Cell</i>. Garland Publishing. New York. - Campbell and Reece. 2011. <i>Biology ed. 9th</i>. Pearson. San Fransisco. - Karp, G. 1999. <i>Cell, Moleculer Biology Ed.2</i>. John Wiley& Sons. Toronto Canada - Sumadi & Aditya. 2007. <i>Biologi Sel</i>. Graha Ilmu. Yogyakarta. - Yuwono, T. 2005. <i>Biologi Molekuler</i>. Erlangga. Jakarta.
II		Virus, Makromolekul, Energi dan Reaksi Kimia Seluler	
III		Struktur Sel & Fungsi : - Dinding Sel (Prokariot & Eukariot) - Membran Plasma/Membran Sel (Komponen Penyusun Membran Sel & Fusi Protoplas)	
IV		Struktur Sel & Fungsi : Membran Plasma/Membran Sel - Transportasi Materi (zat) melalui membran sel - Hubungan/Pertautan antar sel	
V		Struktur Sel & Fungsi : - Pencernaan Seluler : Retikulum Endoplasma, Ap. Golgi - Sintesis Protein : Ribosom - Pusat Kontrol Sel : Inti sel (nukleus) - Konversi Energi : Mitokondria, Kloroplas	
VI		Struktur Sel & Fungsi : - Perakitan sel : Badan Mikro, - Gerak Sel : Sitoskeleton, Organela gerak	
VII		Analisis Genetik & Organisasi Genom : - Rekombinasi, Pemetaan, dan Komplementasi Genetik - Organisasi Genom Prokariot dan Eukariot	
VIII		UJIAN TENGAH SEMESTER	
IX		Retikulum Endoplasma & Aparatus Golgi (Biosintesis Sel, Sekresi Protein)	
X		Ribosom, Struktur DNA, & Sintesis Protein pada organisme Prokariot dan Eukariot (Inisiasi, Elongasi, Terminasi)	
XI		Reproduksi Sel : - Inti Sel, Kromosom, Nukleosom - Mekanisme Pembelahan Sel pada Prokariot dan Eukariot	
XII		Reproduksi Sel : - Siklus Sel - Mitosis dan Meiosis	
XIII		Konversi Energi : Mitokondria - Mekanisme Respirasi Seluler (Jalur-jalur Oksidasi Karbohidrat)	
XIV		Konversi Energi : Kloroplas - Reaksi Terang dan Reaksi Gelap (Siklus Calvin)	

		- Jalur Fosforilasi (PS I dan PS II)	
XV		Organela Gerak : Sitoskeleton, Mekanisme Gerak Otot, Gerak Sel pada organisme Prokariot dan Eukariot.	
XVI		UJIAN AKHIR SEMESTER	

- **Penilaian** : UAS (40%), UTS (25%), Tugas Terstruktur (25%) dan Keaktifan belajar (10%)
- **Kehadiran minimal** untuk mengikuti UTS dan UAS : **75%**

BAB I

PENDAHULUAN

➊ DEFINISI BIOLOGI SEL & BIOLOGI MOLEKULER

Biologi sel dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang struktur, fungsi, serta aktivitas sel sebagai unit terkecil kehidupan. Sementara, biologi molekuler dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari fungsi dan organisasi organisme ditinjau dari struktur dan regulasi molekuler unsur atau komponen penyusunnya. Istilah tersebut pertama kali digunakan oleh William Astbury di tahun 1945.

Dengan demikian, biologi sel dan molekuler merupakan suatu kajian yang membahas seputar sel, struktur makromolekul kehidupan, mekanisme genetika pada suatu organisme baik yang seluler maupun organisme non-seluler.

➋ PERKEMBANGAN KONSEP & TEORI SEL

SEJARAH SEL

TOKOH	KEGIATAN
Tahun 1665, Robert Hooke, Inggris.	Menemukan sel-sel mati pada sayatan gabus
Robert Brown (1831), Scotlandia,	Menemukan inti sel
Mathias Schleiden (1838) Theodor Schwann (1839), Jerman,	Menemukan sel pada tumbuhan Menemukan sel pada hewan Teori Sel pertama : Sel merupakan unit struktur terkecil dari makhluk hidup.
Felix Durjadin (1835) Johannes Purkinje (1787 – 1869)	Menganggap bagian yang penting dari sel adalah cairan sel Cairan sel disebut protoplasma.
Max Schultze (1825 – 1974)	Berkesimpulan bahwa dasar fisik dari kehidupan ialah protoplasma sehingga lahir teori sel berikutnya bahwa sel merupakan unit fungsional kehidupan.
Rudolf Virchow (1858) Walter Flemming (1843 – 1913) dan Eduard Strasburger (1875)	Mengemukakan bahwa sel berasal dari sel (<i>omnis cellula cellulae</i>). Mengamati pembelahan-pembelahan sel sehubungan dengan proses reproduksi sel sehingga memunculkan teori sel baru, yaitu sel sebagai unit reproduksi makhluk hidup.
S. Singer dan E. Nicolson (1972),	Pada membrane sel, protein membran tersebar dan masing-masing tersisip atau terbenam di fosfolipid bilayer.

TEORI SEL

- Mathias Schleiden (Jerman, 1838) dan Theodor Schwann (Jerman, 1839).
- Schwann : "*all organized bodies are composed of essentially similar parts, namely, of cell*". Semua makhluk hidup tersusun atas sel (Teori sel 1)
- J. Purkinje (1840) dan Hugo von Mohl (1846) memperkenalkan istilah protoplasma untuk cairan yang mengisi sel.
- Max Schultze (1825 – 1974) berkesimpulan bahwa dasar fisik dari kehidupan ialah protoplasma sehingga lahirlah teori sel berikutnya bahwa sel merupakan unit fungsional kehidupan.
- Rudolf Virchow (1858) mengemukakan bahwa sel berasal dari sel (*omnis cellula cellulae*). Walter Flemming (1843 – 1913) dan Eduard Strasburger (1875) mengamati pembelahan-pembelahan sel sehubungan dengan proses reproduksi sel sehingga memunculkan teori sel baru, yaitu sel sebagai unit reproduksi makhluk hidup.
- Hugo von Mohl dan Karl Nugeli : inti dan plasma sel mengalami pembelahan untuk menjadi 2 sel anak.
- Hertwig : Fertilisasi adalah fusi dari dua pronukleus.

SEL adalah kesatuan (unit) struktural, fungsional, dan herediter yang terkecil dari kehidupan. Pada dasarnya, organisme dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu : (1) organisme seluler (2) organisme non-seluler. Contoh dari organisme seluler yaitu bakteri, jamur, tumbuhan, hewan, dan manusia. Sementara virus atau bakteriofag merupakan contoh dari organisme non-seluler.

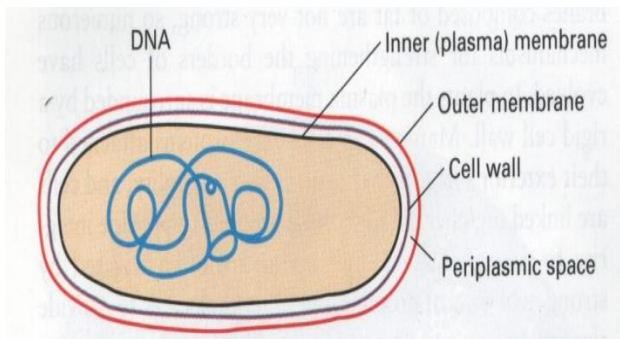
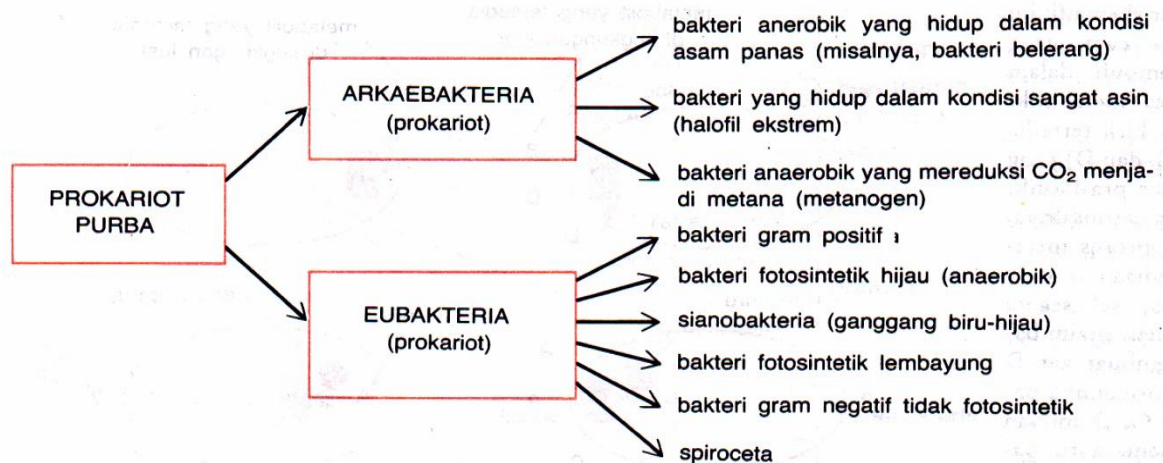
Berdasarkan satuan dasar individu, organisme dibagi menjadi : (1) organisme *unicellular* : satu organisme memiliki satu sel, misalnya bakteri. (2) organisme *multicellular* : banyak sel yang antara satu sel dengan sel lainnya terorganisasi secara spesifik, contohnya tumbuhan tingkat tinggi (Plantae).

Organisasi dan struktur rinci jasad hidup menunjukkan adanya perbedaan mendasar dalam hal morfologi ataupun reaksi molekuler yang terjadi didalam uniseluler ataupun multiseluler. Berdasarkan struktur organisasi dan struktur rinci sel, organisme dibedakan menjadi: (1) organisme Prokariot : belum ada pembagian

ruang yang jelas di antara komponen-komponen selnya, sehingga memiliki materi inti yang tersebar dalam sitoplasma. (2) organisme Eukariot :memiliki materi inti yang terorganisasi sehingga inti sel tampak jelas (ada membran nukelus), karena terpisah dengan komponen-komponen sel lain.

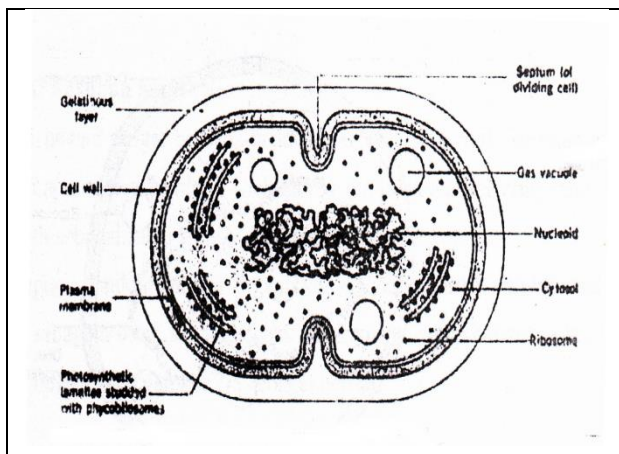
✚ SEL PROKARIOT & SEL EUKARIOT

PROKARIOT

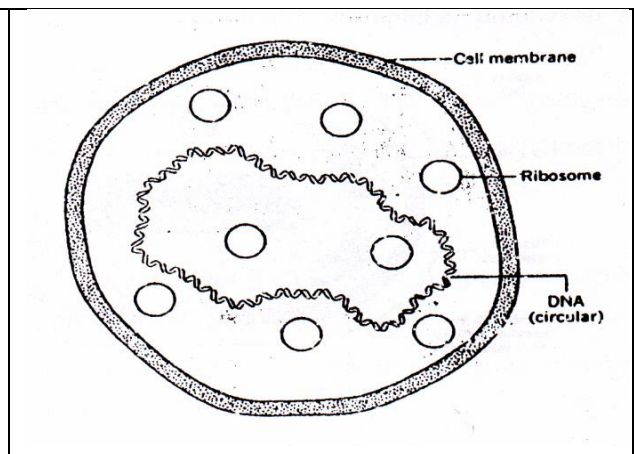


Ciri Bakteri (co: *E. coli*)

- Dinding sel dan kapsul
- Membran plasma
- Lamela sitoplasmik
- Nukleoid
- Flagella



SIANOBAKTERI (Cyanobacteria)



MIKOPLASMA (PPLO)

Ciri *Cyanobacteria* (Gg. Hijau-Biru)

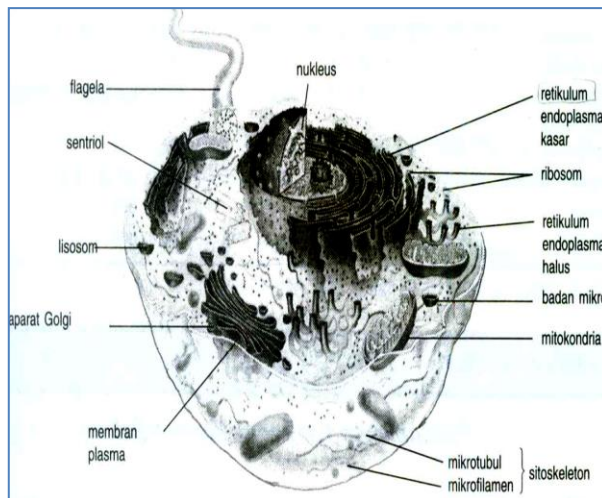
- Umumnya sel nya lebih besar dari sel bakteri
- Memiliki Klorofil α (Fikosianin, Fikoeritrin)
- Dinding sel memiliki plasmalemma, yang membentuk lekukan ke arah sitosol (*infolding*) sehingga membentuk mesosom atau Khondrioid (setara dengan Mitokondria pd sel eukriotik)
- Lamella sitomembran (membran fotosintetik; khromatofor)

Ciri Mikoplasma (PPLO = *Pleuro-pneumonia Like Organism*)

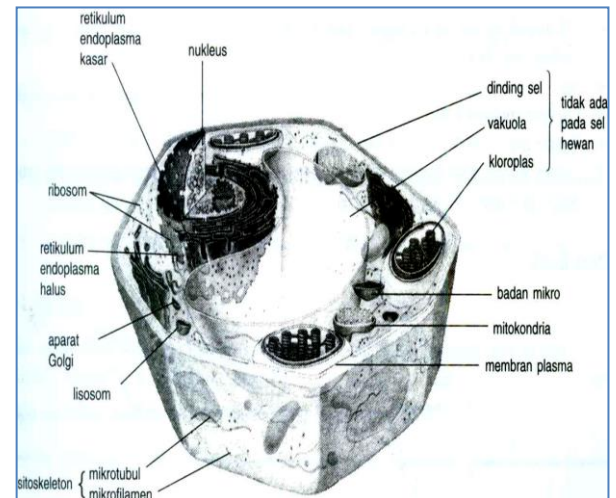
- Parasit pada manusia dan hewan, merusak alat respirasi
- DNA di daerah ini : berupa fibril, atau lingkaran *double helix*
- Hidup bebas di alam, reproduksi : tunas, spora, atau membelah diri

EUKARIOT

- A. Eukariot tk. Rendah : belum terjadi diferensiasi sel yang nyata. Contoh : khamir *S. cerevisiae* (uniseluler), jamur *Penicillium* (multiseluler).
- B. Eukariot tk. Tinggi : telah terjadi diferensiasi sel yang nyata. Contoh tumbuhan vaskuler/tk. tinggi, hewan, manusia (multiseluler).



Sel Hewan



Sel Tumbuhan

PERBANDINGAN STRUKTUR SEL HEWAN DAN SEL TUMBUHAN

Struktur	Sel Hewan	Sel Tumbuhan
Membran plasma	Ada	Ada
Dinding sel	Tidak ada	Ada
Inti sel (nukleus)	Ada	Ada
Ribosom	Ada	Ada
Retikulum endoplasma	Biasanya ada	Biasanya ada
Badan golgi	Ada	Ada
Lisosom	Kadang kadang ada	Berperan vakuola Berfungsi sebagai lisosom
Peroksisom	Kadang kadang ada	Kadang kadang ada
Glioksisom	Tidak ada	Ada
Vakuola	Kecil atau tidak ada	Biasanya sebuah vakuola besar
Mitokondria	Ada	Ada
Plastida	Tidak ada	Ada
Silia atau flagela	Ada	Pada sel sperma
Sentriol	Ada	Tidak ada
Sentrosom	Ada	Tidak ada

BAB II

VIRUS, MAKROMOLEKUL, ENERGI & REAKSI KIMIA SELULER

✚ VIRUS

STRUKTUR VIRUS

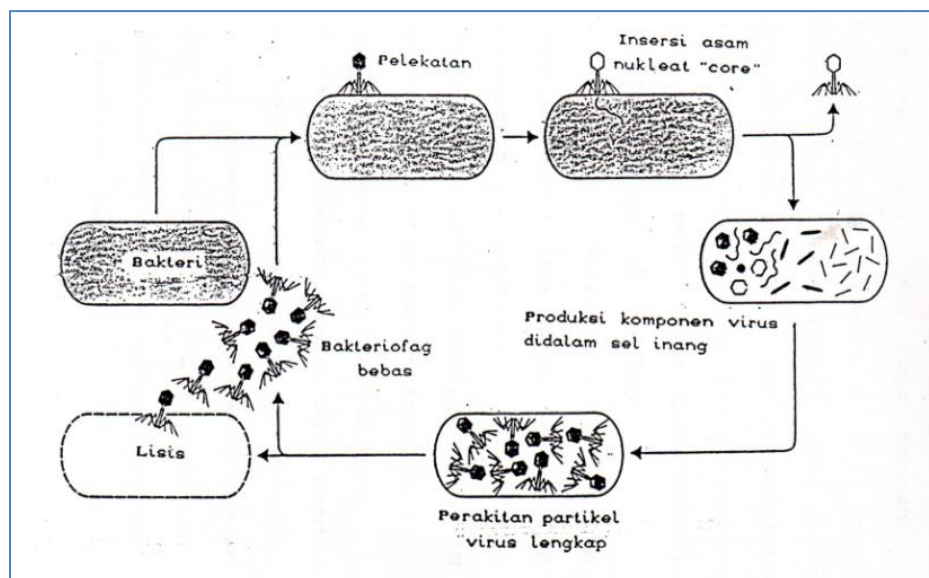
- Virus ≠ sel,
- hidup karena mempunyai materi genetik (DNA atau RNA) dan mampu bereproduksi di dalam sel inang (parasit obligat).
- Semua virus sangat kecil, ukuran dan organisasinya bermacam-macam. Kisaran diameter (atau panjang) virus : 20 - 200 nm.
- Sebagian besar virus berbentuk batang atau agak bundar dan mengandung satu "core" dari asam nukleat yang dikelilingi oleh molekul-molekul protein. Molekul-molekul protein .itu membentuk suatu lapisan atau kapsid. Protein-protein kapsid tersusun membentuk suatu pola heliks (jika virusnya seperti batang) atau suatu pola isometrik (bila virusnya globular) sehingga virus nampak seperti suatu polihedron.
- Contoh virus dengan kapsid polihedron adalah virus cacar air, sedangkan virus dengan kapsid yang heliks umumnya menginfeksi sel tumbuhan dan bakteri (Contoh : TMV).
- Dalam banyak virus hewan dan beberapa virus tumbuhan, kapsid dikelilingi oleh suatu salut ("envelope") dari lipoprotein. Virus yang terbesar dan paling kompleks adalah virus yang menyerang bakterii (bakteriofag).
- Bakteriofag yang dipelajari paling mendalam adalah bakteriofag T2, T4 dan T6 (T-genap) Bakteriofag ini mempunyai struktur seperti ekor yang keluar dari kapsid. Ekor itu diselubungi oleh suatu seludang dari protein yang tersusun dalam suatu pola heliks, sedang kepala virus polihedron. Bagian ujung ekor sering menunjukkan struktur khusus yang digunakan untuk melekat pada permukaan sel inang (Lihat Gambar).
- Virus yang menyerang sel hewan, yang paling terkenal adalah virus yang menyebabkan penyakit pada manusia, misal cacar, rabies, poliomyelitis, campak, influenza dan hepatitis. Leukemia tertentu dan kanker juga disebabkan virus.

DAUR PROLIFERATIF SUATU VIRUS

- Proliferasi virus memerlukan sel inang. Satu atau beberapa virus melekat pada tempat khusus pada permukaan sel inang.
- Setelah melekat, asam nukleat virus dimasukkan melalui membran plasma inang ke dalam sitoplasma.
- Di dalam sel inang, asam nukleat virus mengarahkan metabolisme inang sehingga dibentuk protein dan asam nukleat untuk virus yang baru.
- Komponen-komponen virus ini bergabung di dalam inang membentuk banyak virus baru.

Virus baru kemudian dikeluarkan dari sel dengan memecahkan membran plasma (lisis sel). Beberapa virus keluar dari inang dengan bertunas yang terdapat di, dalam sepotong membran plasma sel inang virus tersebut tidak melisis sel inang.

- Daur infeksi akan berulang lagi.
- Pada keadaan bebas atau diisolasi, virus tidak melakukan metabolisme dan tidak mampu berproliferasi.



- Pada beberapa keadaan dan hanya bagi beberapa virus, asam nukleat yang masuk dalam sel inang tidak menyebabkan proliferasi dan tidak melepaskan virus baru.
- Asam nukleat yang masuk itu bergabung dalam bahan genetik inang, dan sel inang melanjutkan fungsinya secara normal.
- Pada saat duplikasi bahan genetik inang sebelum pembelahan sel diikuti pula oleh duplikasi asam nukleat virus yang tergabung itu. Sehingga akan dihasilkan beberapa

generasi sel, masing-masing mengandung salinan asam nukleat virus. Virus yang menunjukkan fenomena ini dinamakan virus temperate (sedang), karena virus itu tidak menyebabkan kematian inang dengan segera. Virus yang legera menyebabkan kematian sel inang dinamakan virus yang virulen. Asam nukleat virus dorman di dalam inang dinamakan provirus dan sel yang inang terinfeksi disebut lisogenik. Cepat atau lambat, dalam satu dari generasi sel inang, asam nukleat provirus akan mulai mengarahkan replikasi virus baru, dan yang selanjutnya akan menyebabkan lisis sel dan menghasilkan partikel-partikel virus yang infeksiif.

ASAM NUKLEAT VIRUS

- Kromosom virus adalah molekul asam nukleat tunggal.
- Asam nukleat virus yang membentuk "core" dapat DNA atau RNA.
- Asam nukleat virus RNA terdapat dalam empat keadaan struktural yang berbeda :
(1) berantai-tunggal, bentuk linier (mis., TMV); (2) berantai-tunggal, bentuk sirkuler (mis., virus ensefalomiokarditis dan "potato spindle tuber viruses"); (3) berantai ganda, berbentuk linier (mis., retrovirus mamalia); dan berantai ganda, bentuk sirkuler (mis., mikovirus).
- Asam nukleat virus DNA juga terdapat dalam empat keadaan structural yang berbeda
(1) berantai-tunggal, bentuk linier (mis., parvovirus); (2) berantai--tunggal, bentuk sirkuler (mis., X174); (3) berantai-ganda, bentuk linier (mis., virus herpes); dan (4) berantai-ganda, sirkuler (mis., virus polioma dan virus SV-40).

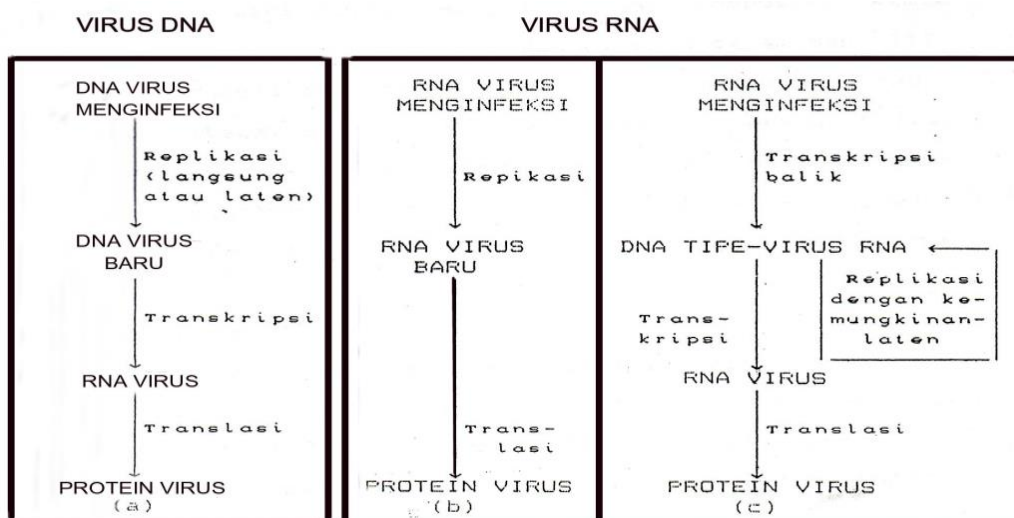
REPLIKASI VIRUS DNA DAN RNA

Virus DNA :

- Dalam sel yang diinfeksi dengan virus DNA, DNA virus yang menginfeksi *direplikasi*, membentuk DNA virus yang baru, yang kemudian *ditranskripsi* menjadi RNA; RNA ini selanjutnya *ditranslasi* menjadi protein virus (Gambar a). DNA dan protein virus yang baru dihasilkan itu bergabung membentuk partikel virus yang lengkap yang akan dibebaskan setelah sel inang mengalami lisis.
- Satu keadaan laten dapat juga terjadi, yaitu DNA virus masuk ke dalam genom sel inang, direplikasi dan disebarkan bersama-sama dengan DNA asli sel inang, sampai DNA virus itu ditranskripsi lagi menjadi RNA virus dan kemudian ditranslasi menjadi protein virus.

Virus RNA :

- Pada sebagian besar virus RNA keterlibatan DNA dilampaui, Misal, selama infeksi suatu sel dengan virus polio, RNA beruntai tunggal (disebut untai +) memasuki sel inang dan berperan sebagai *template* bagi sintesis untai – yang komplementer. Untai - ini kemudian digunakan dalam proliferasi untai-untai +, yang selanjutnya akan ditranslasi menjadi protein virus (Gambar b).
- Pada beberapa virus yang RNA-nya beruntai-ganda, hanya satu dari dua untai RNA yang dihasilkan selama replikasi ditranskripsi; atau untai-tunggal RNA yang menginfeksi, komplementer (bukan identik) dengan RNA virus yang dihasilkan yang akan ditranslasi menjadi protein virus.
- RNA virus tumor, tidak memindahkan informasi dari RNA ke RNA, tetapi dari RNA ke DNA dan kemudian ke RNA yang baru. RNA virus digunakan sebagai *template* untuk sintesis DNA oleh sel yang terinfeksi (suatu fenomena yang disebut "reverse transcription" (transkripsi kebalikan) (Gambar c). Beberapa "DNA virus" yang dihasilkan dapat masuk ke dalam genom sel inang, sehingga terbentuk keadaan provirus. Diperkirakan keadaan provirus merupakan dasar dari bermacam-macam kanker yang diinduksi virus RNA dan virus DNA. Satu atau lebih gen provirus itu (yang biasanya ditekan oleh sel inang) dapat menjadi tidak ditekan lagi dan menghasilkan suatu zat onkogenik (penyebab kanker) yang dapat mengubah sifat dan perilaku normal sel. Perubahan tersebut dapat ditunda selama beberapa generasi bergantung kepada perioda laten.



Replikasi virus DNA dan RNA

VIROID

- Viroid lebih kecil daripada virus dan juga lebih sederhana, karena terdiri tidak lebih dari satu untai RNA tunggal sepanjang kira-kira 50 nm. RNA tidak diselubungi oleh sesuatu struktur dan tidak berasosiasi dengan suatu zat kimia kecuali selama infeksi. Viroid diperkirakan penyebab penyakit pada sel-sel hewan dan sel tumbuhan tertentu.

✚ MAKROMOLEKUL KEHIDUPAN

Makromolekul mempunyai peranan khusus dan sangat penting bagi organisme. Protein dan asam nukleat merupakan dua kelompok makromolekul yang mempunyai peranan yang khusus bagi proses molekuler dalam sel.

PROTEIN

- Merupakan sebuah MAKROMER.
- Setiap protein tersusun atas ASAM AMINO, setiap asam amino tersusun atas 1 atom HIDROGEN, 1 gugus AMINO, 1 gugus KARBOKSIL, dan 1 gugus ALKIL.

JENIS PROTEIN

Berdasarkan Fungsi :

- Protein Essensial : dihasilkan dari hewan atau tumbuhan melalui sintesis protein
- Protein Non Essensial : langsung dapat diproduksi dari dalam tubuh, contohnya Leusin, Valin, Alanin.

Berdasarkan Bentuk :

- Protein Sederhana : hanya terdiri dari molekul-molekul asam amino, contohnya protein Fiber dan Globular
- Protein Gabungan : protein yang membentuk gugus/ikatan dengan makromolekul selain protein, contoh Glikoprotein, Lipoprotein, Nukleoprotein

FUNGSI PROTEIN

- Sebagai katalisator reaksi-reaksi biokimia dalam sel
- Sebagai pengangkut molekul-molekul kecil atau ion
- Sebagai komponen sistem kekebalan tubuh
- Sebagai feromon

- Sebagai pengatur ekspresi genetik, penerus impuls saraf, dan pendukung kekuatan regang
- Berperan dalam sistem pergerakan yang terkoordinasi

ASAM NUKLEAT

- Merupakan sebuah MAKROMER.
- Monomer dari As. Nukleat adalah NUKLEOTIDA, setiap molekul nukleotida tersusun atas 1 gula PENTOSA, 1 BASA Nitrogen, dan 1,2, atau 3 gugus PHOSPHAT.
- Basa N : Adenin, Guanin, Cytosin, Timin.
- Ada 2 macam gula PENTOSA:
 - gula RIBOSA
 - gula DEOXIRIBOSA

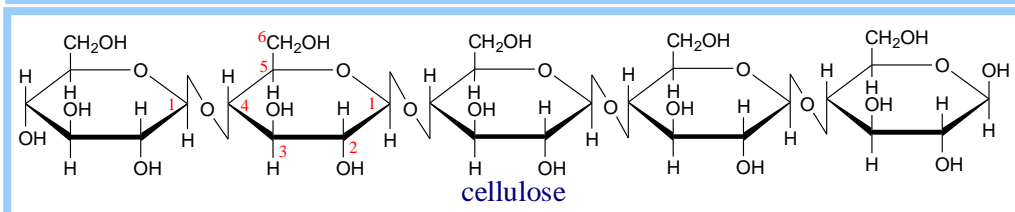
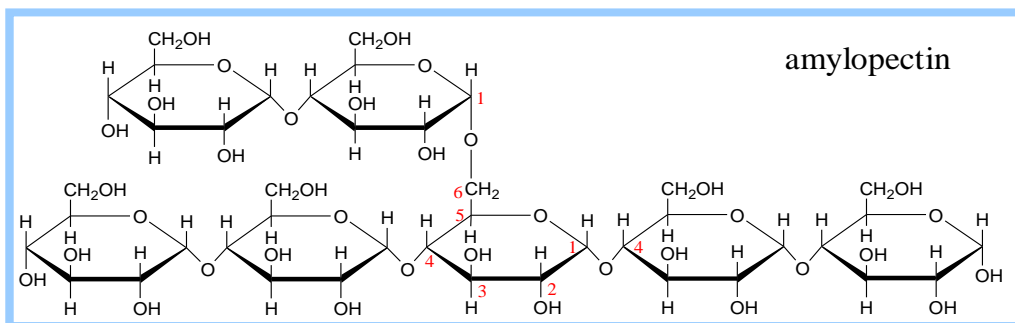
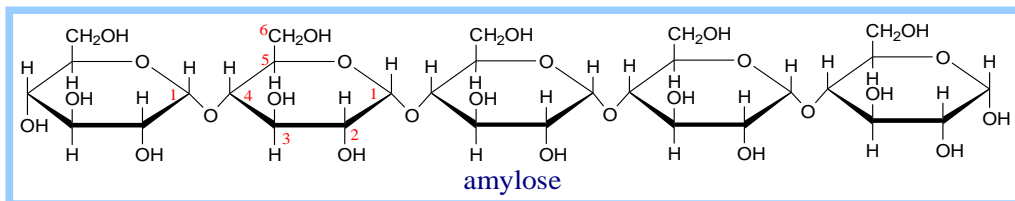
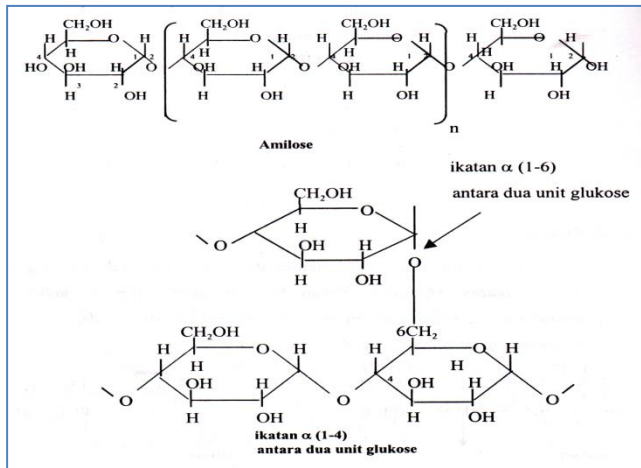
KARBOHIDRAT

- Tersusun atas GLUKOSA-glukosa
- adalah MAKROMER yang tersusun dari monomer-monomer MONOSAKARIDA
- Bentuk2 MONOMER dari KARBOHIDRAT :
 - a. GLUKOSA : hasil fotosintesis
 - b. GALAKTOSA : gula madu
 - c. FRUKTOSA : gula buah
- POLISAKARIDA :
 - Struktural, contohnya Selulosa (pada dinding sel tumbuhan)
 - Nutrien, contohnya Amilum (pada sel tumbuhan dan sel bakteri), Glikogen (sel hewan), dan Asam hialuronat (jaringan ikat)
- PATI (TEPUNG) : makromer atau polimer dari glukosa.
 - a. AMILOSA
polimer glukosa yang tersusun dari unit-unit glukosa linier dan tidak bercabang.
 - b. AMILOPEKTIN
polimer dari glukosa yang bercabang-cabang dan membentuk rantai.
- SELULOSA : makromer dari glukosa yang cincin glukosanya tersusun secara bolak-balik, sehingga menghasilkan molekul yang KAKU.

➤ GLIKOGEN :

- Hati : tempat pembentukan glikogen dari glukosa (terkait dengan kadar gula dalam darah)
- Otot : sumber cadangan energi untuk aktivitas

Berikut struktur kimia dari (a) polisakarida, (b) amilosa, (c) amilopektin, dan (d) selulosa :



LIPID (LEMAK)

- Lipid menurut BLOOR : LIPID, FOSFOLIPID, STEROID
- Tiap molekul LEMAK tersusun atas 1 molekul GLISEROL, dan 3 molekul ASAM LEMAK.
- Sifat dari lemak adalah TIDAK TERIKAT dengan AIR (HIDROFOBIAK).
- Ada 2 jenis LEMAK:
 - LEMAK TAK JENUH (LEMAK NABATI)
adalah lemak yang pada ikatan asam lemaknya MEMPUNYAI 1 atau LEBIH ikatan KARBON RANGKAP/GANDA. SIFAT : cair (pada suhu kamar)
 - LEMAK JENUH (LEMAK HEWAN)
adalah lemak yg pd ikatan as.lemaknya TIDAK MEMPUNYAI ikatan KARBON RANGKAP/GANDA. SIFAT : padat/beku (pada suhu kamar)

✚ ENERGI & REAKSI KIMIA SELULER

Reaksi-reaksi biokimia secara garis besar dibagi dalam 2 golongan, yaitu: (1) Reaksi Biosintetik (anabolik) : reaksi biokimia yang dilakukan oleh sel untuk menyusun komponen-komponen sel, misalnya asam amino, asam nukleat, dan lain-lain. (2) Reaksi Degradatif (katabolik) : reaksi biokimia perombakan senyawa kimia kompleks menjadi lebih sederhana.

BIOKATALIS

Sel juga mensintesis sekelompok protein yang mempunyai fungsi khusus yaitu enzim sebagai biokatalis. Enzim mempunyai karakteristik utama yaitu: kemampuan katalitik dan spesifisitas.

Kemampuan katalitik, merupakan kemampuan mempercepat suatu reaksi transformasi kimiawi, tetapi tidak mengubah keseimbangan reaksi melainkan menurunkan energi aktivasi suatu reaksi. **Spesifisitas**, adalah enzim mampu bekerja pada spesifisitas yang tinggi, baik terhadap reaksi yang dikatalisis maupun substrat.

Pengaturan kerja enzim dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: (1) *Feed-back inhibition*, bekerjanya enzim tertentu dihambat oleh keberadaan substrat tertentu. (2) Aktifasi prekursor, keberadaan suatu substrat mengaktifkan kerja enzim.

BAB III

STRUKTUR SEL & FUNGSI : DINDING SEL & MEMBRAN PLASMA

✿ DINDING SEL

Dinding Sel Fungi (Jamur)

- Tersusun dari Khitin dan β -glukan.
- Khitin merupakan komponen utama penyusun dinding sel fungi yang berbentuk filamen. Memiliki struktur yang mirip dengan selulosa, yaitu homopolisakarida linier.
- Glukan (β -glukan) merupakan polimer dari D-glukose, yang juga membentuk dinding sel jamur.
- Mannan (Mannan-protein) adalah komponen utama penyusun dinding sel pada *yeast* atau ragi. Polimer ini adalah campuran antara homo dan heteropolisakarida yang berikatan dengan protein. Berfungsi sebagai pelapis maupun mengadakan penetrasi ke bagian dalam dinding, sehingga menambah kuat struktur dinding sel.

Dinding Sel Tumbuhan tingkat Tinggi (Vaskuler)

- Dinding sel dari berbagai spesies tumbuh-tumbuhan pun dapat berbeda tebal dan tipisnya, lunak dan kerasnya, kekakuannya, atau mungkin komposisinya.
- Pada tumbuhan air, dinding sel berfungsi melindungi protoplas agar tidak lisis serta sebagai penguat tanaman.
- Pada tumbuhan terestrial atau udara, dinding sel berfungsi sebagai pencegah terjadinya dehidrasi.
- Polisakarida merupakan komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan. Ada 3 macam polisakarida penyusun dinding sel tumbuhan, yaitu: (1) Selulosa: terdapat pada dinding primer ataupun sekunder. (2) Hemiselulosa: heteropolimer dan sangat bercabang. Xilan, arabinosilan, galaktomannan, dan xiloglukan merupakan contoh dari hemiselulosa. (3) Pektin: polisakarida kompleks dengan struktur yang bervariasi.

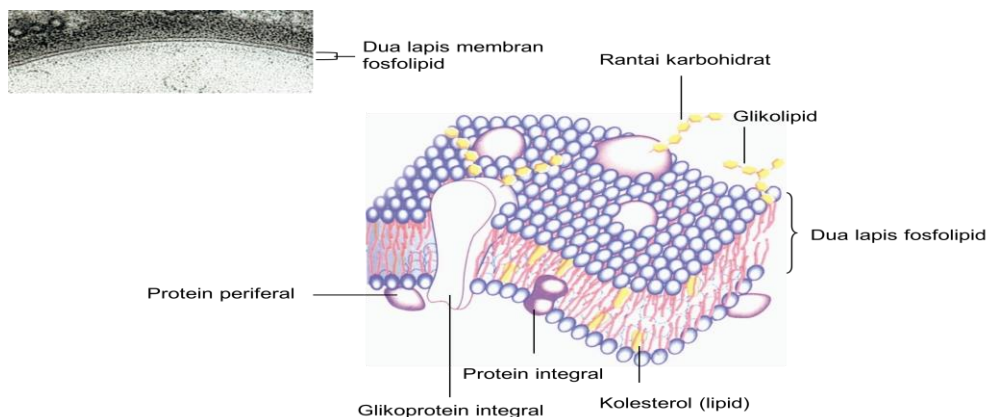
✿ MEMBRAN PLASMA/MEMBRAN SEL

Singer & Nicolson (1972) mengemukakan teori tentang membran plasma, yang dikenal dengan *Fluid Mozaic Model*. Teori ini menyatakan bahwa membran plasma terdiri dari lapisan lemak bimolekuler, yang pada kedua sisinya terputus oleh adanya molekul protein. Beberapa molekul protein berada di permukaan membran,

terikat pada permukaan lemak yang berkutub, disebut juga protein perifer/ektrinsik/eksternal. Dan protein yang dapat menembus ke dalam membran plasma disebut protein integral/intrinsik/integral.

Fungsi membran plasma

- Pengatur gerakan materi (keluar masuknya zat) dari dalam dan luar sel.
- Tempat terjadinya beberapa reaksi kimia tertentu
- Penghubung antara bagian luar dan dalam sel, misalnya memindahkan sinyal
- Penghubung transfer energi antara dalam dan luar sel.



Struktur lipid bilayer membran fosfolipid pada membran plasma

KOMPONEN PENYUSUN MEMBRAN PLASMA

Membran plasma disusun oleh lipid, protein, dan karbohidrat.

1. LIPID

Molekul lipid dari membran plasma terdiri dari 3 jenis; (a) Fosfolipid, (b) Kolesterol, dan (c) Glikolipid. Ketiga jenis lipid tersebut bersifat *ampifatik*, yang berarti memiliki ujung HIDROFOBIK (nonpolar; menjauhi air) dan ujung lainnya HIDROFILIK (polar; menyukai air).

2. PROTEIN

Molekul protein penyusun membran plasma terdiri dari protein perifer (ekstrinsik) dan protein integral (intrinsik). Molekul-molekul protein perifer dapat berikatan dengan molekul karbohidrat (glikoprotein) dan berperan sebagai reseptor serta dalam reaksi imunologis. Sedangkan molekul protein integral berkaitan dengan proses transpor membran dan proses enzimatik.

Molekul proteinnya pun beragam, protein dapat membentuk kanal/saluran sehingga dikenal dengan *channel protein*, dan ada pula yang memiliki pengikat khusus (*binding site*) dikenal dengan *carrier protein*.

3. KARBOHIDRAT

Pada semua sel eukariotik memiliki karbohidrat pada permukannya, dan sebagian besar adalah oligosakarida. Molekul-molekul ini berikatan dengan molekul protein membran plasma (glikoprotein) dan sebagian kecil terikat oleh molekul lipid (glikolipid). Setiap molekul glikoprotein memiliki sejumlah rantai-rantai bercabang, dan setiap molekul glikolipid hanya memiliki sebuah rantai cabang.

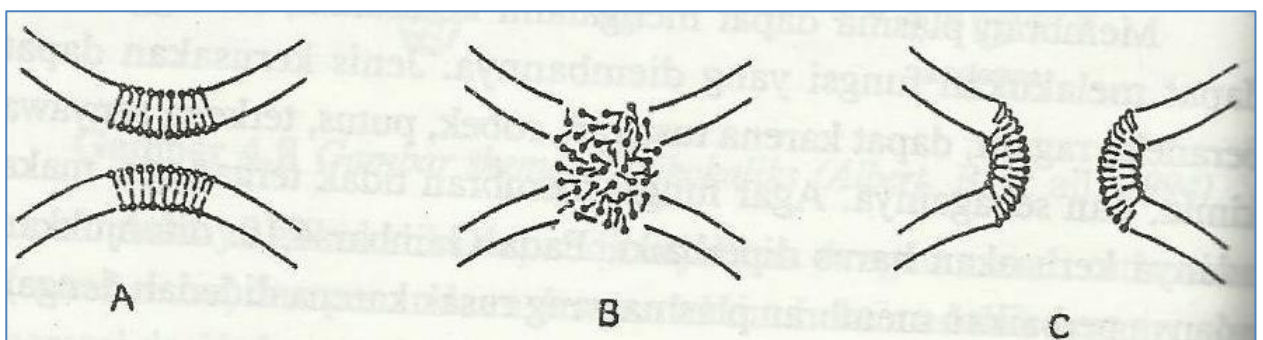
Adanya molekul karbohidrat yang berlebihan pada sel-sel eukariotik membentuk bangunan tambahan yang disebut dengan glikokaliks atau dikenal dengan istilah *cell coat* (selubung sel).

FUSI PROTOPLAS

Bila dua buah sel intak berada dalam suatu medium, secara alami akan mengadakan kontak yang kemudian akan membentuk fusi sel. Fusi sel berlangsung dengan didahului oleh adanya kontak antara dua buah sel intak atau lebih.

Fosfolipid penyusun membran di bagian yang mengadakan kontak berorientasi dan beradaptasi (re-orientasi), dan terjadilah fusi sel yang sempurna.

Berikut Skematik Fusi Sel (*courtesy* Gaynor, 1989) :



Bentuk Skematik Fusi Sel

BAB IV

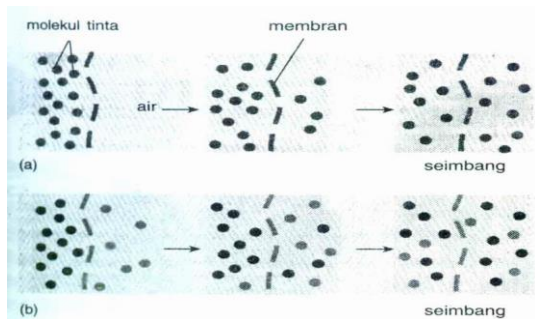
MEMBRAN PLASMA : TRANSPORTASI ZAT HUBUNGAN/PERTAUTAN ANTAR SEL

❁ TRANSPORTASI ZAT MELALUI MEMBRAN PLASMA

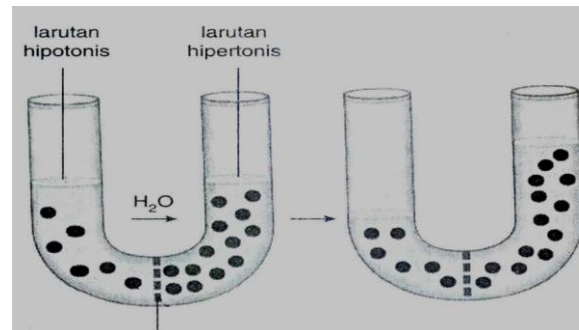
Dilihat dari materi yang ditransportkan, transpor materi melalui membran secara umum dapat dibedakan menjadi : (a) transpor materi berukuran kecil dan ion-ion : Difusi sederhana, difusi terfasilitasi, dan transpor aktif. (b) transpor materi berukuran besar : pinositosis dan fagositosis.

DIFUSI SEDERHANA

Difusi (transpor pasif) : pengangkutan materi dari daerah/medium dengan konsentrasi tinggi ke daerah/medium konsentrasi rendah, sehingga tidak membutuhkan energi ATP. Hanya sejumlah kecil jenis molekul yang bergerak melalui membran dengan cara difusi. Molekul hidrofobik dengan mudah bergerak melalui membran karena larut lemak, sedangkan molekul hidrofilik yang berukuran besar tidak dapat melewatinya, hanya yang berukuran kecil yang dapat masuk melewati lipid bilayer membran plasma.



Difusi larutan



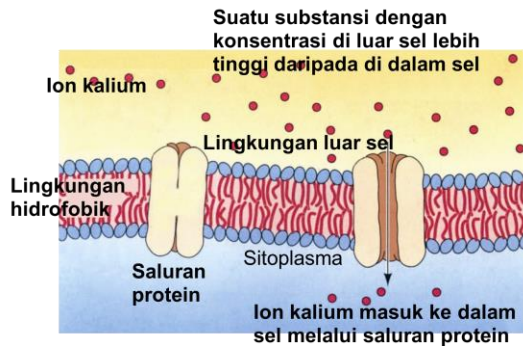
Perpindahan air menembus membran selektif permeabel

DIFUSI FASILITASI

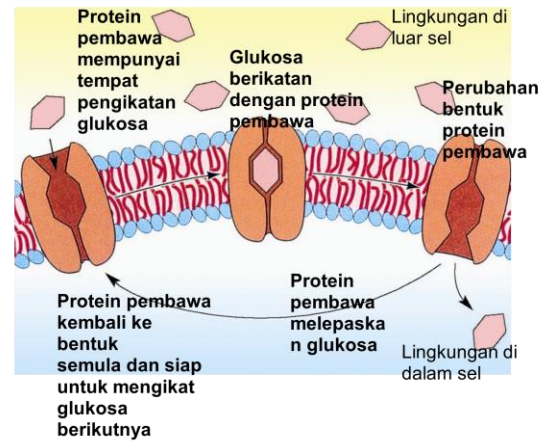
Tidak jauh berbeda dengan difusi sederhana, difusi fasilitasi sudah jelas dibantu oleh keberadaan protein membran, yaitu protein pembawa (*carrier protein*) dan protein saluran/kanal (*channel protein*).

Protein pembawa atau karier ini memiliki transporter yang mengikat molekul-molekul spesifik untuk dilalui ke sisi lain membran, seperti gula, asam-asam amino, dan nukleotid, dan ada transporter yang khusus untuk mengikat anion dan kation seperti Na⁺, K⁺, Ca²⁺, dan Cl⁻.

Protein kanal bekerja dengan membentuk pori terbuka dalam membran, membiarkan molekul-molekul kecil yang ukuran dan muatannya sesuai untuk dilewati dengan bebas. Porin merupakan salah satu bentuk protein kanal.



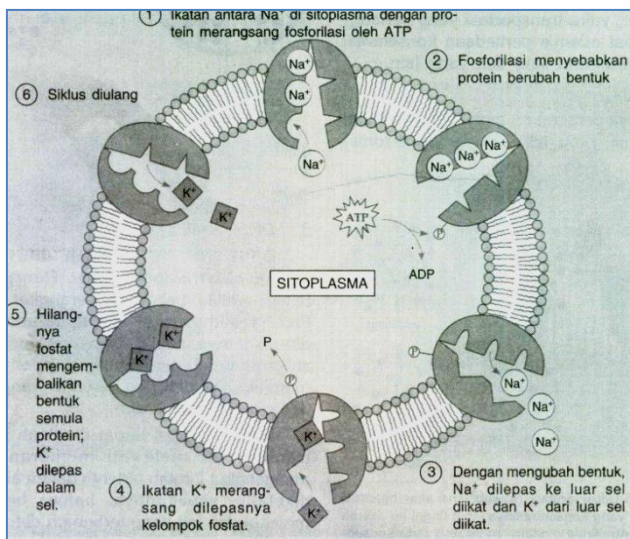
Difusi fasilitasi Protein Kanal



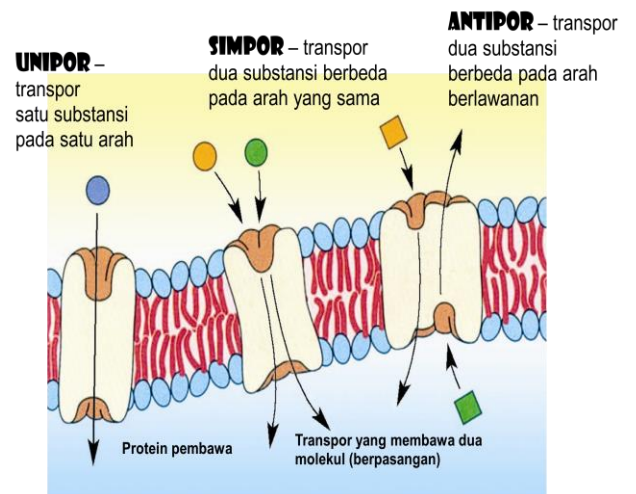
Difusi Fasilitasi Protein Pembawa

TRANSPOR AKTIF

Karakteristik dari transpor aktif : melawan gradien konsentrasi kimiawi atau potensial elektrik, memerlukan energi ATP, sensitif terhadap racun, serta spesifik untuk substrat tertentu. Transpor aktif ada yang secara langsung yaitu mekanisme Na^+ dan K^+ , dan transpor aktif tidak langsung yaitu simport dan antiport.



Transpor Aktif Langsung (pompa ion Na^+ dan K^+)



Transpor Aktif Tidak Langsung

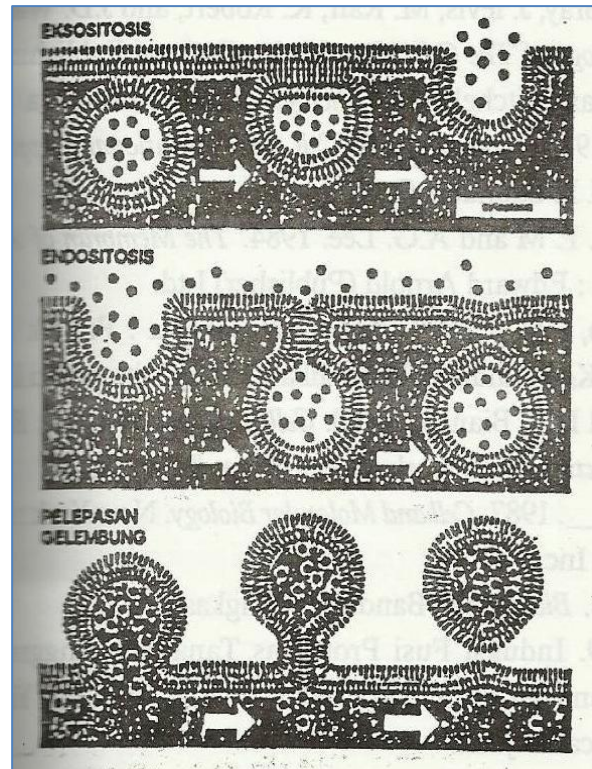
PINOSITOSIS dan FAGOSITOSIS

Peristiwa pinositosis dan fagositosis merupakan pengangkutan makromolekul dan partikel-partikel besar yang tidak melibatkan protein membran.

Pengangkutan makromolekul dan partikel tersebut melalui EKSOSITOSIS, bila berlangsung pelepasan dari sel-sel ke luar sel. Dan melalui ENDOSITOSIS bila berlangsung pemasukan makromolekul dan partikel-partikel ke dalam sel.

PINOSITOSIS terjadi jika yang ditranspor berupa larutan dengan melalui pembentukan gelembung-gelembung kecil, dan FAGOSITOSIS terjadi bila yang ditranspor berupa makromolekul atau partikel melalui pembentukan gelembung-gelembung besar.

Perhatikan Gambar di samping.



Peristiwa Eksositosis, Endositosis, dan Pelepasan gelembung

➊ HUBUNGAN/PERTAUTAN ANTAR SEL

Sel saling berhubungan dan melakukan komunikasi antar sesamanya. Ada tiga bentuk hubungan atau pertautan antar sel, yaitu: (1) *Tight Junction*, (2) *Gap Junction*, dan (3) *Adhering Junction* atau desmosom.

TIGHT JUNCTION

Dikenal dengan pertautan penyumbat atau pertautan rapat. Ada dua bentuk dari *tight junction* : (1) tersusun atas sederet protein transmembran yang saling berikatan dari yang berdampingan. (2) di tempat pertautan, belahan ekstrasitoplasmik membran dari dua sel yang bersebelahan bersatu membentuk lembaran. Di pusat pertautan, fosfolipid belahan ekstrasitoplasmik membentuk misel.

GAP JUNCTION

Pertautan penghubung, memungkinkan lewatnya zat-zat kimia tertentu atau isyarat elektrik dari sel yang satu ke sel tetangganya. Permeabilitas gap junction dipengaruhi oleh ion Ca^{2+} di dalam sel. Bila kadar ion Ca^{2+} di dalam sel tinggi, hubungan antar sel pada gap junction tertutup, dan akan membuka kembali saat keadaan normal.

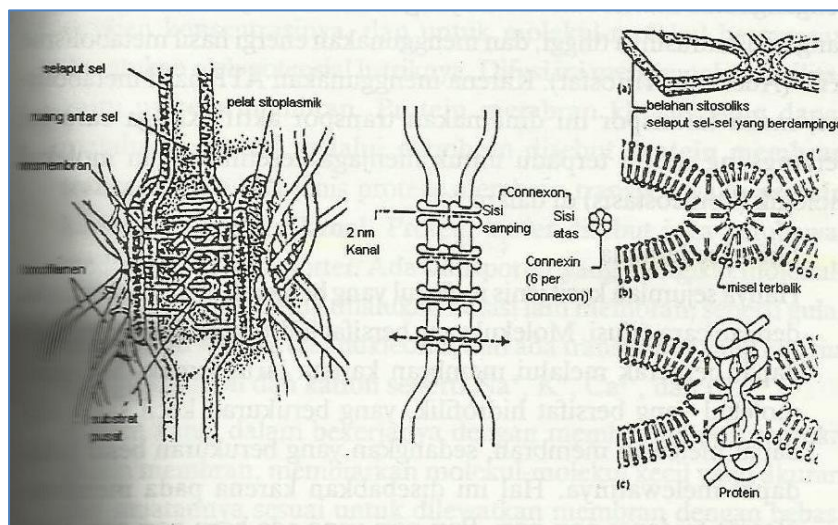
Gap junction berperan sebagai perekat antar sel, dan sebagai penghubung langsung antar sel. Selain itu, gap junction berperan sebagai jalan permeabilitas dari berbagai jenis molekul antara sel-sel yang bersebelahan.

Pada tumbuhan, hubungan semacam ini dilakukan melalui saluran yang terbuka, disebut plasmodesmata, dan di tengahnya terdapat desmotubula.

ADHERING JUNCTION (DESMOSOM)

Merupakan tipe hubungan yang fungsi utamanya adalah untuk melekatkan (adhesi) antara sel yang satu dengan sel lainnya. Banyak dijumpai pada jaringan yang banyak mendapatkan tekanan mekanis yang kuat, seperti jaringan otot jantung, epitelium kulit, dan leher rahim.

Ada tiga bentuk desmosom yaitu: (1) belt desmosom: berfungsi sebagai pengikat sel-sel jaringan epitelium, (2) spot desmosom: berbentuk bercak yang merupakan titik persentuhan antara dua buah sel, dan (3) hemi desmosom: setengah desmosom, tidak menambatkan/mengikat, tetapi hanya merekatkan permukaan basa sel epitelium ke lamina basal atau matriks ekstrasel.



Pertautan antar sel

BAB V

ORGANEL SEL

✿ RETIKULUM ENDOPLASMA

- Merupakan tumpukan-tumpukan dari kantung
- Berhubungan langsung dengan membran plasma dan membran luar inti
- Merupakan komponen sistem *Cytocavitary Network* (jaringan membran) bersama mitokondria, lisosom, badan golgi, peroksisom, dan membran inti.
- RER : *Rough Endoplasmic Reticulum* (RE kasar) berperan dalam membantu sintesis protein
- SER : *Smooth Endoplasmic Reticulum* (RE halus) membantu proses sintesis lemak, sintesis kolesterol, produksi steroid

✿ BADAN GOLGI/ APARATUS GOLGI

- Letaknya berdekatan deng RE.
- Memiliki polaritas
- Merupakan kumpulan sisternae tunggal
- Membentuk vesikula sekresi, lisosom, dan peroksida
- Membungkus hasil-hasil sintesis atau seksresi protein yaitu enzim agar tidak berbahaya

✿ RIBOSOM

- Berperan dalam sintesis protein
- Merupakan struktur multimolekuler yang tersuspensi di dalam sitoplasma
- Memiliki dua tipe ribosom, yaitu ribosom sub unit kecil (pada prokariot) dan ribosom sub unit besar (pada eukariot)

✿ NUKLEUS

- Berfungsi mengorganisasi sel, karena di dalam inti sel terdapat materi genetik
- Umumnya berjumlah satu, namun pada sel otot lurik jumlahnya lebih dari satu
- Pada protozoa, memiliki ukuran nukleus yang berbeda yaitu mikronukleus dan makronukleus

- Bagian dari inti sel : membran inti/karioteka, nukleoplasma, nukleolus, dan benang-benang kromatin

✿ **MITOKONDRIA**

- Berperan dalam respirasi seluler : mengubah energi potensial yang terdapat ppada bahan makanan menjadi energi potensial yang disimpan di dalam ATP
- Berada di daerah sel yang paling aktif, contoh : sel saraf, sel otot, sel sekretori

✿ **KLOROPLAS**

- Mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi kimia
- Tempat berlangsung proses fotosintesis, tilakoid sebagai tempat reaksi terang fotosintesis, dan stroma adalah tempat berlangsungnya reaksi gelap fotosintesis.

✿ **BADAN MIKRO**

- Dikenal juga dengan istilah peroksisom (pada sel hewan) dan glioksisom pada sel tumbuhan
- Pada sel hewan letaknya terkurung dalam sel-sel hati
- Pada sel tumbuhan terdapat pada endosperm yang berperan dalam perkecambahan biji
- Secara umum berfungsi dalam perubahan lemak menjadi karbohidrat

✿ **SITOSKELETON**

- Sitoskelet merupakan suatu filamen yang terbentuk dari protein yang berada di dalam sitosol yang banyak terlarut dalam ribosom, sehingga dapat memberikan kekuatan kepada sel atau kerangka sel
- Berfungsi memmberi bentuk kepada sel, mengatur dan menimbulkan gerakan sitoplasmik, serta membantu membentuk network enzim.

BAB VI

ANALISIS GENETIK & ORGANISASI GENOM

ANALISIS GENETIK

Dalam sejarah perkembangan genetika, Gregor Mendel dikenal sebagai orang yang pertama menganalisis sistem pewarisan sifat secara sederhana. Melalui eksperimen yang dilakukannya, Mendel menyimpulkan dua buah prinsip yang berkaitan dengan pewarisan sifat.

Prinsip pertama, bahwa hanya satu alel dari suatu gen yang diturunkan dari sel induk ke sel keturunannya, dikenal dengan prinsip segregasi. Prinsip kedua, adalah prinsip pemisahan dan pengelompokan secara bebas (*independent assortment*), menyatakan bahwa segregasi suatu pasangan sifat berlangsung secara independen satu sama lain.

Kedua prinsip inilah yang digunakan sebagai dasar analisis genetik. Analisis genetik digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya tautan gen (*gene linkage*).

REKOMBINASI GENETIK

Adalah suatu proses penggabungan dua lokus genetik yang ada pada dua kromosom yang berbeda ke dalam satu kromosom yang sama.

PEMETAAN GENETIK

Merupakan suatu cara untuk menentukan urutan gen-gen di dalam suatu kromosom. Pemetaan genetik digunakan untuk menentukan jarak relatif antara suatu gen dengan gen lainnya.

Dalam pemetaan genetik, jarak antara lokus-lokus yang berekombinasi akan menentukan frekuensi rekombinasi.

KOMPLEMENTASI GENETIK

Prinsip komplementasi genetik mempunyai arti sangat penting dalam analisis genetik konvensional, misalnya dalam menentukan apakah dua mutasi bersifat alelik atau tidak. Metode komplementasi genetik juga dapat membantu dalam mengisolasi suatu gen. Misalnya, mengisolasi gen yang menentukan kemampuan sintesis asam amino leusin pada suatu bakteri.

✿ ORGANISASI GENOM

Gen dengan genom memiliki arti yang berbeda. Gen merupakan unit molekul DNA atau RNA dengan panjang minimum tertentu yang membawa informasi mengenai urutan asam amino yang lengkap suatu protein, atau yang menentukan struktur lengkap suatu molekul rRNA atau tRNA.

Genom adalah satu kesatuan gen yang secara alami dimiliki oleh satu sel atau virus, atau satu kesatuan gen yang secara alami dimiliki oleh satu sel atau virus, atau satu kesatuan kromosom organisme eukariot dalam fase haploid.

Pada kelompok prokariot, seringkali terdapat bahan genetik tambahan selain bahan genetik utama, yang umum dikenal dengan **plasmid**. Sedangkan pada organisme eukariot, selain kromosom sebagai bahan utama genetik, adapula bahan genetik tambahan misalnya molekul DNA pada mitokondria dan kloroplas (pada tumbuhan hijau). Pada dasarnya plasmid merupakan entitas genetik yang ditemukan secara alami di dalam sel beberapa kelompok prokariot dan eukariot. Dengan teknik rekayasa genetik, kini telah dikembangkan plasmid artifisial yaitu penggabungan gen-gen dari beberapa plasmid alami maupun dari genom organisme tertentu. Contoh plasmid artifisial adalah plasmid seri pUC (pUC 18 dan pUC 19).

ORGANISASI GENOM – GEN PADA PROKARIOT

- Organisme prokariot umumnya hanya memiliki satu unit molekul DNA untai-ganda, sehingga bersifat monoploid
- Plasmid pada prokariot berupa molekul DNA untai-ganda dengan struktur lingkaran.
- Pada umumnya plasmid tidak dibutuhkan oleh sel untuk pertumbuhan meskipun seringkali plasmid membawa gen-gen tertentu, misalnya gen resistensi terhadap antibiotik
- Secara umum struktur lengkap gen pada bakteri terdiri dari tiga bagian :
 - (1) **promoter** : bagian yang berfungsi sebagai pengatur proses ekspresi genetik (transkripsi) bagian struktural.
 - (2) **struktural (*coding region*)** : bagian gen yang membawa kode-kode genetik yang akan ditranskripsi dan kemudian ditranslasi atau hanya ditranskripsi saja.
 - (3) **terminator** : bagian gen yang berperan dalam proses penghentian transkripsi

- Ada tiga kelompok utama organisasi gen : (1) gen independen, (2) unit transkripsi, (3) kelompok gen (*gene cluster*), dan (4) Operon.
- Gen independen : gen yang ekspresinya tidak tergantung pada ekspresi gen lain sehingga gen tersebut akan diekspresikan terus-menerus (ekspresi konstitutif).
- Unit transkripsi : sekelompok gen yang secara spesifik terletak berdekatan dan diekspresikan bersama-sama.
- Kelompok gen : beberapa gen yang secara fisik terletak pada lokus yang berdekatan dan produk ekspresi gen-gen tersebut diperlukan dalam rangkaian proses fisiologis yang sama.
- Operon : sekelompok (gen) struktural yang terletak berdekatan dan ekspresinya dikendalikan oleh satu promotor yang sama.
- Dengan adanya sistem operon, maka mRNA hasil transkripsi gen prokariot bersifat *polisistronik* karena satu molekul mRNA mengkode lebih dari satu protein.

ORGANISASI GENOM – GEN PADA EUKARIOT

- Genom eukariot mempunyai organisasi yang lebih kompleks dibandingkan dengan genom prokariot. Molekul DNA utama pada eukariot berupa molekul untai ganda dengan struktur linier. Bahan genetik utama organisme eukariot adalah kromosom, yang terletak di dalam nukleus.
- Perbedaan mendasar antara organisasi gen prokariot dengan eukariot adalah pada bagian strukturalnya, yaitu keberadaan intron.
- Ada tiga kelas gen pada eukariot :
 - (1) **Gen Kelas I** : gen-gen yang mengkode pembentukan rRNA 5,8S, rRNA 18S, dan rRNA 28S. Ketiganya digunakan dalam pembentukan ribosom.
 - (2) **Gen Kelas II** : gen-gen yang mengkode sintesis semua molekul protein. Gen-gen tersebut akan lebih dahulu ditranskripsi menjadi molekul mRNA, selanjutnya di translasi menjadi rangkaian asam-asam amino yang membentuk suatu protein.
 - (3) **Gen Kelas III** : gen-gen yang mengkode pembentukan tRNA dan rRNA 5S. molekul tRNA digunakan untuk membawa asam amino yang akan disambungkan menjadi molekul protein dalam proses translasi.

- Salah satu perbedaan utama antara organisasi gen pada prokariot dengan eukariot adalah bahwa bagian struktural gen prokariot (bakteri) tidak mengandung **INTRON**.
- Intron adalah sekuens nukleotida yang tidak akan ditemukan terjemahannya di dalam rangkaian asam amino protein yang dikode oleh suatu gen.
- Intron akan ditranskripsi tetapi tidak mengalami translasi karena mengalami pemotongan sekuens nukleotida.
- Sebaliknya, **EKSON** adalah sekuens nukleotida yang akan diterjemahkan.
- Pada genom eubakteri, diketahui tidak ada intron, tetapi pada genom arkhaeobakteri tertentu diketahui terdapat intron.

Daftar Pustaka

- Alberts B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, & J.D. Watson. 1994. *Molecular Biology of The Cell*. Garland Publishing. New York.
- Campbell and Reece. 2011. *Biology ed. 9th*. Pearson. San Fransisco.
- Karp, G. 1999. *Cell, Moleculer Biology Ed.2*. John Wiley& Sons. Toronto Canada.
- Kimball, J.W. 1994. *Biologi*. Edisi V. Jilid I. Erlangga. Jakarta.
- Sumadi & Aditya. 2007. *Biologi Sel*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Yuwono, T. 2005. *Biologi Molekuler*. Erlangga. Jakarta.