

Modul Blok 3 Biologi Sel 1

Struktur dan Fungsi Membran Sel

Dra. Adelina Simamora, MS, MSc (Pharm)

Fakultas Kedokteran

Universitas Kristen Krida Wacana

Oktober

2016

Daftar Isi

1	Pendahuluan	3
2	Membran sel dan cairan tubuh	4
	1. Cairan intraselular	4
	2. Cairan ekstraselular	5
	3. Komposisi ion dalam cairan intra dan ekstraselular	5
3	Struktur kompleks membrane: lipid, protein, dan karbohidrat	6
	3.1. Lipid membran	6
	3.1.1. Fosfolipid	6
	3.1.2. Glikosfingolipid	9
	3.1.3. Sterol	9
4	Lipid pembentuk membrane bersifat amfifatik	9
	4.1 Lipid Membran membentuk lapisan ganda	10
	4.2 Protein membrane terikat dalam lipid bilayer	12
	4.3 Membrane mempunyai komposisi protein yang berbeda-beda	13
5	Membrane merupakan struktur yang dinamis	13
	5.1 Membrane memiliki struktur yang asimetriik	13
	5.2 Membrane mengandung protein integral dan perferal	14
	5.3 Model fluid mosaic	15
6	Difusi pasif dan aktif	16
	6.1 Saluran ion	19
	6.2 Ionofor	19
	6.3 Aquaporin	20
	6.4 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase	20
	6.5 Transport glukosa	21
7	Rangkuman	23
	Daftar pustaka	24

Capaian pembelajaran mata kuliah (CPMK)

Mahasiswa mampu menjelaskan struktur, sifat dan fungsi membrane sel.

Indikator keberhasilan:

1. Mahasiswa mampu menghubungkan antara sifat-sifat kimia komponen membrane sel (lipid bilayer, lipoprotein, glikoprotein pada membrane) dengan karakter model mosaic fluid sifat selectif permeable dari membrane sel.
2. Mampu menjelaskan berbagai mekanisme transport melalui membrane sel.
3. Mampu membedakan mekanisme transport pasif yaitu difusi (difusi terfasilitasi dengan bantuan transporter dan saluran ion) dan osmosis.
4. Mampu membedakan mekanisme transport aktif dan pasif.
5. Mampu menjelaskan model transport glukosa dan makromolekul lain.
6. Mampu memprediksi apa yang akan terjadi terhadap sel darah merah apabila berada pada kondisi lingkungan dengan ketonusan yang berbeda dengan kondisi intraseluler (isotonus, hypotonus, dan hipertonus).

Materi Kuliah (Ringkasan)

Komponen utama membran biologis adalah lipid bilayer, protein terkonjugasi, dan glikoprotein. Posfolipid dan kolesterol adalah komponen utama dalam lipid bilayer. Beragam komponen membran ini menyebabkan membran sel bersifat fluid dan dinamis. Oleh karena karakteristik fluid-mosaic, membran sel bersifat selektif permeable. Transport melalui membran sel dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, yaitu transport pasif, difusi yang difasilitasi, dan transport aktif. Mekanisme transport pasif terjadi karena gradien konsentrasi antar kompartemen. Sebaliknya, transport aktif terjadi dengan melawan gradien konsentrasi sehingga mekanisme transport aktif membutuhkan sejumlah energi. Mekanisme transport glukosa ke dalam sel melalui membrane sel terjadi melalui beberapa mekanisme, di antaranya dengan bantuan Na⁺-glukosa simporter. Berbagai ion melewati membrane melalui ionor. Perbedaan konsentrasi antar dua sisi membran akan mendorong terjadinya osmosis, yaitu pergerakan molekul pelarut. Pada sel darah merah, bergantung pada perbedaan konsentrasi antar dua sisi membran, osmosis akan menyebabkan sel crenated atau lisis.

1. Pendahuluan

Membran plasma memiliki struktur yang sangat fluid dan dinamis. Namun demikian, membrane plasma menjadi batas sel memisahkan isi sel dengan lingkungan luar. Membrane plasma bersifat selektif permeable dan berperan sebagai barrier untuk mempertahankan perbedaan komposisi antara bagian

dalam dan luar sel. Sifat selektif permeable ini terutama karena keberadaan protein transporter dan saluran ion pada membrane. Membrane plasma juga menjadi media pertukaran materi dengan lingkungan ekstraselular melalui mekanisme eksositosis dan endositosis. Pada membrane sel terdapat juga daerah yang disebut *junction gap*, dimana melaluinya dapat terjadi pertukaran material antar sel yang berdekatan. Plasma membrane juga berperan penting dalam interaksi sel-sel dan sinyal transmembrane.

Pada sel-sel eukariot terdapat berbagai system membrane internal yang memberi batas bagi organel-organel di dalam sel. Membrane intra selular membentuk struktur morfologi organel sel, seperti mitokondria, retikulum endoplasma, retikulum sarkoplasma, membrane badan golgi, granula sekresi, lisosom, dan membrane dari inti sel. Pada berbagai membrane ini terdapat berbagai enzim yang terlibat dalam mekanisme reaksi. Membran juga menjadi tempat terdapatnya sisi-sisi aktif dimana terjadi transduksi energi, seperti pada reaksi fotosintesis dan fosforilasi oksidatif (yang terjadi pada membrane sebelah dalam dari mitokondria).

Perubahan pada struktur membrane (misalnya disebabkan oleh iskemia) dapat mempengaruhi kesetimbangan air dan aliran ion, dan pada akhirnya mempengaruhi setiap proses dalam sel. Defisiensi komponen tertentu atau perubahan komponen membrane (misalnya disebabkan oleh mutasi gen yang mengkode protein membran) mengakibatkan berbagai penyakit. Dengan kata lain untuk mendukung fungsi sel yang normal dibutuhkan membrane yang normal.

2. Membrane sel dan cairan tubuh

Kondisi normal lingkungan intra dan ekstra selular harus dijaga untuk mempertahankan fungsi normal tubuh

Reaksi-reaksi enzimatik dan proses selular dan subselular terjadi dalam lingkungan air. Agar reaksi-reaksi penting dapat berlangsung dalam lingkungan air, membran berfungsi membentuk kompartemen dan menyekat badan air.

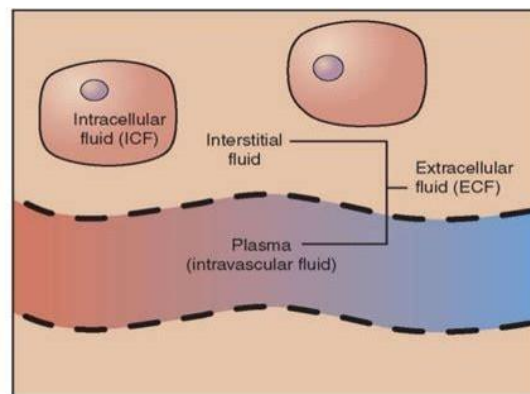
Air membentuk lebih dari 60% massa tubuh manusia dan terdistribusi dalam dua kompartemen utama.

2.1 Cairan intraselular

Kompartemen cairan intraselular membentuk 2/3 dari total badan air. Cairan intraselular adalah tempat bagi sel untuk: (1) membuat, menyimpan, dan memanfaatkan energi, (2) untuk memperbaiki sel, (3) untuk bereplikasi (4) untuk melaksanakan fungsi khusus.

2.2 Cairan ekstraselular

Kompartmen ini mengandung 1/3 dari total badan air. Cairan ekstraselular terdistribusi pada daerah antara plasma dan cairan interstitial. Cairan ekstra selular berfungsi sebagai sistem pengantar. Cairan ekstraselular mengantar nutrient bagi sel, seperti glukosa, asam-asam lemak, dan asam-asam amino. Cairan ekstraselular juga mengantar oksigen, berbagai ion dan mineral, dan berbagai molekul pengatur (hormone) yang mengkoordinasikan berbagai fungsi sel. Cairan ekstraselular juga berfungsi mengeluarkan CO₂, bahan buangan, dan materi toksik atau materi yang telah didetoksifikasi dari lingkungan sel terdekat.



Gambar 1 Cairan intra dan ekstraselular serta cairan interstitial.

2.3 Komposisi ion-ion dalam cairan intra dan ekstraselular sangat berbeda

Tabel 1 komposisi elektrolit dalam cairan intra dan ekstraselular

	intraselular (mmol/L)	Ekstraselular (mmol/L)
Kation		
Na ⁺	12	145
K ⁺	150	4
Ca ²⁺		5
Mg ²⁺	40	2
Glukosa		
Anion		
Cl ⁻	5	105
HCO ₃ ⁻	12	25
Ion posfat anorganik	100	2

Tabel 1 memperlihatkan komposisi ion dan molekul yang terdapat pada lingkungan intra dan ekstraselular. Terlihat bahwa lingkungan internal kaya akan ion K^+ dan Mg^{2+} , sementara ion fosfat merupakan anion yang paling dominan. Sedangkan cairan ekstra selular didominasi oleh kation Na^+ dan Ca^{2+} dan anion Cl^- . Konsentrasi glukosa pada cairan ekstraselular lebih tinggi dibanding pada intraselular. Sementara sebaliknya dengan protein, pada intraselular konsentrasi lebih tinggi dibandingkan pada cairan ekstraselular. Mengapakah perbedaan ini terjadi? Salah satu pendapat menyatakan bahwa pada awal kehidupan, laut darimana kehidupan berasal merupakan lingkungan yang kaya akan ion K^+ dan Mg^{2+} . Diamati juga bahwa reaksi-reaksi enzimatik dan berbagai proses biologis lain berlangsung baik dalam kondisi yang kaya akan ion K^+ dan Mg^{2+} . Tidak heran jika di dalam sel kaya akan ion K^+ dan Mg^{2+} . Dalam kondisi dimana laut mengalami perubahan yang besar yaitu dengan semakin dominannya ion Na^+ dan Ca^{2+} , sel menghadapi tekanan untuk menyeleksi ion-ion tersebut. Namun demikian sel mampu mengembangkan barrier untuk mempertahankan lingkungan internal yang kaya akan ion K^+ dan Mg^{2+} . Pada membrane sel terdapat pompa $Na^+-K^+-ATPase$ yang berfungsi mempertahankan kondisi intraselular tersebut.

3. Struktur membrane terdiri dari struktur molekul yang kompleks yang mengandung lipid, protein, dan karbohidrat

Pembahasan pada modul ini difokuskan pada membrane sel eukariot, walaupun prinsip-prinsipnya masih tetap dapat diterapkan pada sel prokariot. Membran tersusun dari lipid, protein dan karbohidrat dengan komposisi yang beragam bergantung pada jenis selnya. Secara umum, 40% berat kering dari sel merupakan lipid, 60% merupakan protein, dan 1 sampai 10% merupakan karbohidrat. Seluruh karbohidrat ini terikat secara kovalen pada protein ataupun lipid.

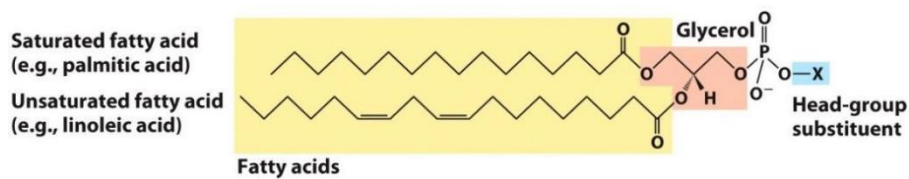
Membrane dapat digambarkan seperti lembaran yang terdiri dari lipid bilayer yang asimetris dimana permukaan bagian dalamnya berbeda dari permukaan bagian luar. Struktur yang menyerupai lembaran ini terbentuk secara spontan dalam air diakibatkan karena sifat amfipatik dari lipid. Berbagai protein terikat pada membrane tersebut dan mengemban fungsi-fungsi tertentu.

3.1 Lipid membran

Lipid pembentuk membran sel mamalia terutama adalah fosfolipid, glikosfingolipid, dan kolesterol

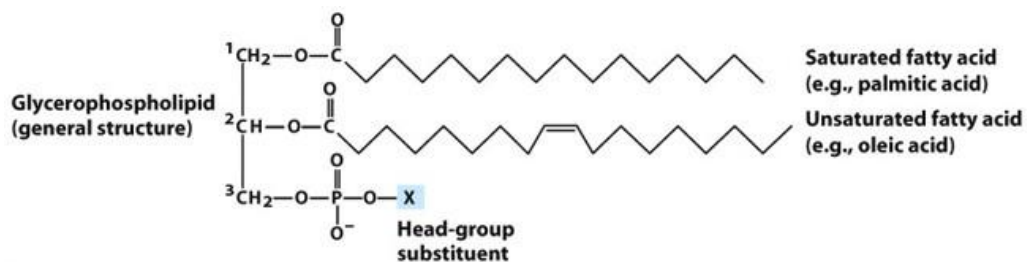
3.1.1 Fosfolipid

Dari dua kelas fosfolipid pembentuk membrane, fosfoglisericida adalah yang paling umum ditemukan. Fosfoglisericida atau gliserofosfolipid terdiri dari tulang punggung berupa gliserol dimana terikat dua asam lemak melalui ikatan ester dan alcohol terfosforilasi (Gambar 2, 3 dan 4). Konstituen asam lemak biasanya adalah asam lemak dengan atom C berjumlah genap dan tidak bercabang. Sekitar 50% asam lemak dalam fosfolipid merupakan asam lemak jenuh, biasanya asam lemak atom C-16 dan 18. Sebagian asam lemak yang lain adalah asam lemak tidak jenuh. Konformasi yang umum ditemukan adalah ikatan ganda -cis. Jumlah ikatan tidak jenuh akan mempengaruhi fluiditas membrane. Asam lemak tidak jenuh yang banyak ditemukan pada membrane sel hewan adalah asam oleat, di samping juga asam arakidonat, asam linoleate dan asam linolenat.



Gambar 2 Gliseroposfolipid, tulang punggung berupa gliserol yang mengikat 2 asam lemak dan 1 gugus posfat

Fosfoglisericida paling sederhana adalah asam fosfatidat, yaitu 1,2-diasilgliserol-3-posfat. Fosfatidat merupakan zat perantara yang penting dalam pembentukan fosfoglisericida. Pada fosfoglisericida yang ditemukan pada membrane, gugus 3-fosfat teresterifikasi oleh etanolamin, kolin, gliserol, atau inositol. Fosfoglisericida yang ditemukan pada sel hewan adalah fosfatidil etanol amin (sefalin), fosfatidil kolin (lecitin) Gambar 4, dan fosfatidilserin.



Gambar 3 Struktur fosfoglisericida terdiri dari asam-asam lemak (R1 dan R2), gliserol, dan komponen alcohol. Pada asam fosfatidat, gugus R3 adalah atom hydrogen.

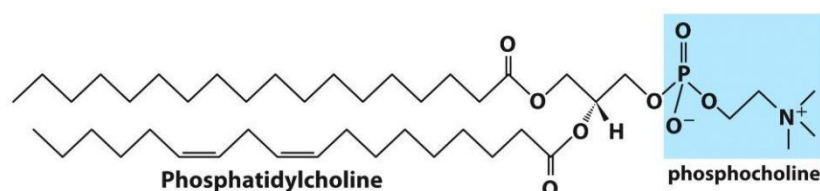


Figure 10-14
Lehninger Principles of Biochemistry, Sixth Edition
© 2013 W. H. Freeman and Company

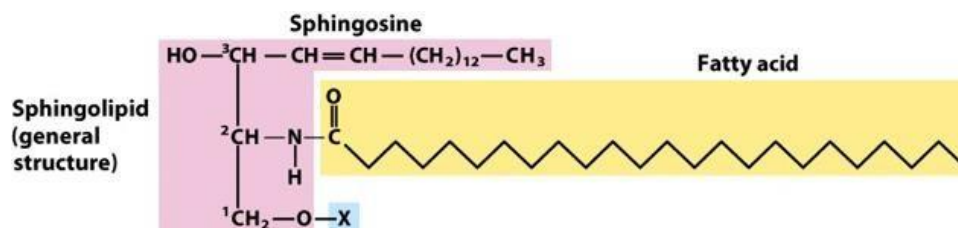
Gambar 4 Fosfatidilkolin

Name of glycerophospholipid	Name of X—O	Formula of X	Net charge (at pH 7)
Phosphatidic acid	—	— H	-2
Phosphatidylethanolamine	Ethanolamine		0
Phosphatidylcholine	Choline		0
Phosphatidylserine	Serine		-1
Phosphatidylglycerol	Glycerol		-1
Phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate	myo-Inositol 4,5-bisphosphate		-4*
Cardiolipin	Phosphatidyl-glycerol		-2

Gambar 5 Berbagai gliseroposfolipid¹

Kelas fosfolipid kedua adalah sphingolipid (Gambar 5). Sphingolipid merupakan bagian penting pada membrane jaringan sel saraf. Tulang punggung sphingolipid bukan gliserol, melainkan sfingosin. Pada sphingosine menempel asam lemak yang teresterifikasi pada gugus amino. Perlu diketahui bahwa baik jumlah maupun jenis asam lemak pada fosfolipid bervariasi pada berbagai membrane. Tiga jenis sphingolipid adalah sphingomyelin, cerebroside, dan ganglioside. Dari namanya dapat diketahui bahwa sphingomyelin merupakan bagian penting pada myelin, jaringan system saraf.

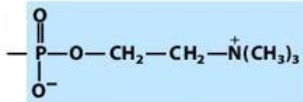
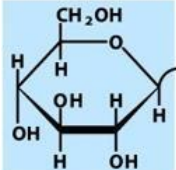
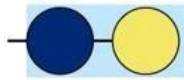
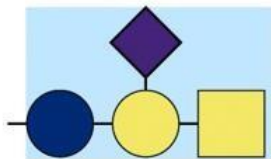
Pada sphingomyelin, Satu asam lemak menempel pada gugus amino melalui ikatan amida, membentuk seramida. Gugus -OH dari sfingosin teresterifikasi dengan fosforilkolin.



Gambar 6 Struktur sphingomyelin terdiri dari tulang punggung sfingosin, satu asam lemak menempel pada gugus amino melalui ikatan amida.

3.1.2 Glikosfingolipid

Adalah lipid yang mengandung gugus gula yang menempel pada tulang punggung berupa gugus seramida. Contohnya adalah galaktosil-, glukosil-seramida dan gangliosida. Kebanyakan glikosfingolipid ditemukan di membrane plasma sel.

Name of sphingolipid	Name of X—O	Formula of X
Ceramide	—	— H
Sphingomyelin	Phosphocholine	
Neutral glycolipids Glucosylcerebroside	Glucose	
Lactosylceramide (a globoside)	Di-, tri-, or tetrasaccharide	
Ganglioside GM2	Complex oligosaccharide	

Gambar 7 Struktur galaktosil-seramida dan glukosil-seramida. Tulang punggung seramida diberi warna biru.¹

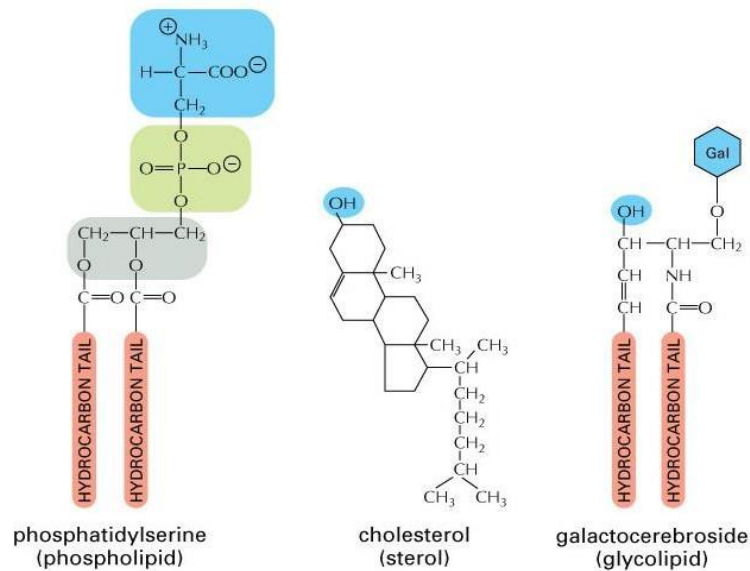
3.1.3 Sterol

Golongan sterol yang paling banyak ditemukan pada membrane adalah kolesterol yang banyak terdapat di membrane plasma pada sel-sel mamalia. Dalam jumlah kecil, kolesterol juga ditemukan di membrane mitokondria, kompleks golgi, dan membran inti. Pada membrane sel, kolesterol berada di antara fosfolipid. Gugus -OH dari kolesterol mengarah ke interfase dengan air dan struktur cincin kolesterol mengarah arah lapisan lipid.

Semua jenis lipid di atas (fosfolipid, glikosfingolipid, dan sterol) dapat dipisahkan satu dari yang lain dengan berbagai Teknik pemisahan seperti, kolom kromatografi dan kromatografi lapis tipis. Bobot molekul dari masing-masing lipid dapat ditentukan dengan gas kromatografi.

4. Lipid pembentuk membrane bersifat amfifatik

Lipid yang ditemukan pada membrane mempunyai sisi hidrofilik dan hidrofobik karenanya disebut amfifatik. Sisi hidrofobik dari lipid tidak dapat larut dalam air tetapi larut dalam minyak. Sebaliknya sisi hidrofilik tidak dapat larut dalam minyak namun larut dalam air. Sifat amfifatik fosfolipid dapat dilihat pada Gambar 8. Gugus yang bermuatan listrik dan mengandung gugus OH bersifat hidrofilik.



Gambar 8 Penggambaran fosfolipid ataupun lipid membrane yang lain.

Gugus kepala bersifat polar dan gugus ekor bersifat hidrofobik. Asam-asam lemak pada bagian ekor adalah asam lemak jenuh ataupun tidak jenuh. Asam lemak jenuh biasanya terikat pada atom C nomor 1 dari gliserol, sementara asam lemak tidak jenuh menempel di atom C nomor 2. Bagian yang bengkok pada asam lemak tidak jenuh merupakan bagian yang penting karena menentukan fluiditas membrane.

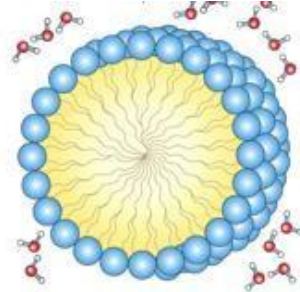
Asam lemak jenuh mempunyai rantai karbon yang lurus, sementara asam lemak yang tidak jenuh (biasanya bentuk -cis) membentuk struktur yang bengkok. Dengan semakin banyaknya bentuk bengkok di dalam membrane, membrane tidak tersusun rapat dan karenanya lebih fluid.

Deterjen adalah molekul amfifatik. Struktur molekulnya mirip dengan fosfolipid. Deterjen dipakai untuk melarutkan protein membrane. Sisi hidrofobik deterjen berikatan dengan daerah hidrofobik dari protein dan menggantikan ikatan dengan lipid. Gugus polarnya bebas sehingga dapat membawa protein ke dalam larutannya dalam bentuk ikatan deterjen-protein, kebanyakan masih mengandung residu lipid.

4.1 Lipid Membran membentuk lapisan ganda

Sifat amfifatik dari fosfolipid menandakan bahwa kedua bagian dalam molekul fosfolipid (kepala hidrofilik dan ekor hidrofobik) mempunyai sifat kelarutan yang tidak berkesesuaian. Namun demikian

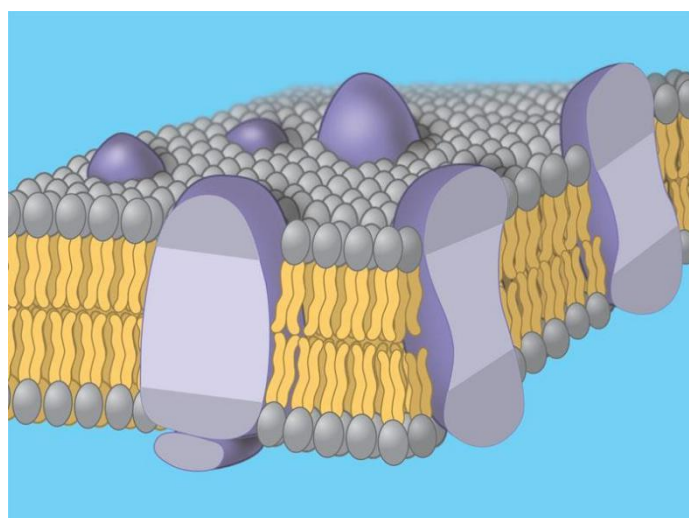
dalam pelarut air, fosfolipid menyusun dirinya secara termodinamika untuk memenuhi sifat kelarutan kedua daerah amfipatik. Misel adalah contoh struktur dimana daerah hidrofobik dilindungi dari air, sementara gugus hidrofilik terendam pada gugus hidrofilik (Gambar 9). Sebagian besar misel berukuran kecil (kurang lebih 200 nm) dan terbatas kemampuannya dalam membentuk membrane.



Gambar 9 Penampang misel: kepala yang bersifat polar bersentuhan dengan lingkungan air.

Rantai hidrokarbon yang bersifat hidrofobik dikelilingi oleh sesama hidrokarbon, sehingga terlindungi dari air. Misel dan berbentuk bola dan berukuran relative kecil dibandingkan dengan lipid bilayer.

Struktur lipid bilayer dapat memenuhi persyaratan termodinamika dari molekul amfipatik dalam lingkungan air. Struktur bilayer adalah struktur yang membentuk membrane biologis dan bukan struktur misel. Bilayer terlihat seperti lembaran dimana sisi hidrofobik dari fosfolipid terlindungi dari lingkungan air, dan sisi hidrofilik berinteraksi dengan air. Hanya bagian sisi terminal (ujung) dari lipid bilayer yang bersentuhan dengan sisi lingkungan yang tidak disukai. Namun bahkan sisi ini pun dapat dihindari dengan jalan menekuk dirinya sehingga menutup. Dengan demikian, tidak ada sisi yang bersentuhan dengan lingkungan yang tidak disukai. Bilayer yang tertutup ini merupakan salah satu sifat penting dari membrane. Membrane tertutup bersifat tidak permeable terhadap molekul-molekul yang tidak larut dalam air, karena mereka tidak larut dalam inti hidrofobik pada bilayer.



Gambar 10 membrane bilayer terbentuk dari molekul-molekul fosfolipid. Asam-asam lemak yang tidak jenuh membentuk struktur yang bengkok dan mengakibatkan terbentuknya ruang antar kepala, sehingga terdapat ruang untuk pergerakan. Hal ini mengakibatkan sifat fluiditas dari membrane.

Lipid bilayer terbentuk sebagai akibat dari efek hidrofobik. Molekul lipid menyusun dirinya, bertemu bersama membentuk lipid bilayer. Pembentukan bilayer mengakibatkan entropi dari lingkungan pelarut naik karena lepasnya molekul air.

Berkaitan dengan struktur lipid bilayer, ada dua pertanyaan yang muncul, yaitu berapa banyak materi biologi yang dapat larut dalam lipid sehingga dapat masuk ke dalam sel? Gas-gas seperti oksigen, CO₂, dan nitrogen, molekul² kecil yang mempunyai interaksi yang rendah dengan pelarut dapat berdifusi melalui daerah hidrofobik dari membrane. Secara umum, koefisien permeabilitas dari molekul-molekul berukuran kecil berkorelasi dengan kelarutannya dalam pelarut nonpolar. Tiga jenis jenis elektrolit yaitu Na⁺, K⁺, dan Cl⁻ dapat melewati bilayer lebih lambat dari pada air. Steroid lebih mudah melewati lipid bilayer dibandingkan dengan elektrolit. Nilai permeabilitas air yang tinggi terhadap lipid bilayer disebabkan oleh ukurannya yang kecil dan tidak adanya muatan. Kebanyakan obat-obatan adalah molekul non polar sehingga dapat melewati membrane dan masuk ke dalam sel.

Pertanyaan kedua berkaitan dengan molekul yang tidak larut dalam lipid. Bagaimanakah mempertahankan gradien konsentrasi transmembrane untuk molekul yang tidak larut dalam lemak. Jawabannya adalah karena membrane mengandung protein, yang kebanyakan terselip dalam lipid bilayer dengan orientasi yang unik. Protein ini membentuk saluran untuk pergerakan ion-ion dan molekul kecil dan berperan sebagai alat transport bagi molekul, besar yang tidak bisa menembus lapisan bilayer.

4.2 Protein membrane terikat dalam lipid bilayer

Fosfolipid pada membrane berperan sebagai pelarut bagi protein membrane dan menciptakan lingkungan dimana protein tersebut dapat menjalankan fungsinya. Protein dapat menjadi bagian integral dari membrane karena hal berikut. Protein dapat menyusun dirinya dalam struktur α -heliks. Dengan struktur ini, protein dapat meminimalkan karakter hidrofilik dari ikatan peptide. Daerah hidrofilik dari protein akan mengisi bagian dalam struktur α -heliks, sementara bagian luar α -heliks didominasi oleh asam amino hidrofobik dan akan bersentuhan dengan daerah hidrofobik membrane fosfolipid. Diketahui bahwa bagian protein membrane yang terbentang pada penampang membrane mengandung sejumlah besar asam amino yang bersifat hidrofobik dan mengandung struktur α -heliks yang tinggi. Sebanyak kurang lebih 20 asam amino dalam alfa heliks akan terbentang dalam bilayer.

Terdapat juga interaksi lain antara lipid dan protein. Beberapa protein menempel pada permukaan bilayer melalui pembentukan ikatan kovalen dengan jenis lipid tertentu. Asam lemak palmitat dan miristat dapat berikatan dengan protein tertentu.

4.3 Membrane mempunyai komposisi protein yang berbeda-beda

Jumlah dan jenis protein dalam membrane bervariasi mulai dari 12 jenis seperti pada membrane sarkoplasmik reticulum hingga lebih dari seratus jenis protein seperti yang terdapat dalam membrane plasma. Kebanyakan protein membrane dapat dipisahkan dengan Teknik SDS-PAGE (sodium dodesil sulfat poliakrilamid elektroforesis gel). Teknik ini memisahkan protein berdasarkan massa molekulnya. SDS adalah deterjen yang sangat kuat yang dapat merusak interaksi lipid-protein sehingga melarutkan membrane. SDS juga merusak interaksi protein-protein dan menguraikan protein. Jika tidak terdapat SDS, hanya sedikit protein yang dapat dipisahkan dari membran.

Dari berbagai komponen pembentuk membran, protein adalah molekul utama yang mengemban berbagai fungsi, misalnya fungsi sebagai enzim, pompa dan saluran, komponen pembentuk struktur, antigen dan reseptor dari berbagai molekul. Karena setiap membrane memiliki protein berbeda tidak terdapat membrane yang mempunyai struktur yang sama.

5. Membrane merupakan struktur yang dinamis

Membrane dan komponennya adalah struktur yang dinamis. Lipid dan protein mengalami pergantian posisi. Jenis lipid yang berbeda dapat mengalami pergantian posisi dengan kecepatan tertentu. Pergantian posisi lipid dan protein juga terjadi pada berbagai membrane dari organel sel. Kecepatan pergantian posisi pada membrane plasma lebih cepat dibandingkan kecepatan pada membrane organel. Membrane merupakan bagian sel yang dapat mengalami pergantian molekul dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian lain dalam sel.

Bukti lain dari sifat dinamis membrane adalah terjadinya difusi lateral antara protein dan lipid pada bidang datar membrane. Perlu disebutkan bahwa pergerakan transversal lipid di sepanjang membrane terjadi sangat lambat.

5.1 Membrane memiliki struktur yang asimetrik

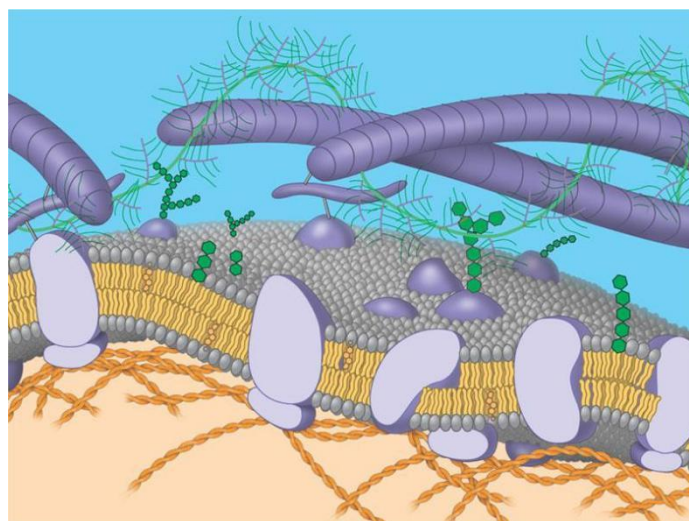
Protein pada membrane mempunyai posisi yang unik sehingga membrane mempunyai permukaan yang berbeda baik pada permukaan membrane bagian dalam ataupun permukaan bagian luar. Struktur yang

asimetris juga ditambah dengan karbohidrat yang terikat pada protein membrane pada permukaan bagian luar. Hal lain yang menambah ketidaksimetrisan membrane adalah adanya beberapa jenis protein yang berada khusus pada membrane tertentu, misalnya membrane mitokondria yang memiliki protein khusus yang berperan dalam transfer electron.

Terdapat juga asimetri bagian dalam dan luar pada posisi transversal membran. Fosfolipid yang mengandung kolin (fosfatidil kolin dan sphingomyelin) berada terutama pada lapisan bagian luar, sementara aminofosfolipid (fosfatidil serin dan fosfatidiletanolamin) memilih lokasi di lapisan bagian dalam permukaan membrane. Untuk mempertahankan kondisi asimetri ini, mobilitas transversal harus dibatasi. Model membrane sintetik memperlihatkan flip flop yang sangat lambat. Waktu paruh bentuk asimetri dapat bertahan selama beberapa minggu.

5.2 Membrane mengandung protein integral dan perferal

Protein yang terdapat pada membran dapat diklasifikasikan sebagai protein integral dan perifer. Kebanyakan protein membrane merupakan protein integral, yang berarti protein tersebut berinteraksi kuat dengan fosfolipid. Untuk menguraikan protein dari lipid bilayer dibutuhkan deterjen. Posisi protein integral berada memanjang sepanjang lipid bilayer. Protein integral umumnya adalah protein globular dan karenanya bersifat amfipatik. Gugus-gugus hidrofilik berada di masing-masing ujung membran, sedangkan bagian hidrofobik berada memanjang sepanjang bilayer. Elucidasi struktur protein integral memperlihatkan bahwa beberapa jenis protein tersusun secara berulang, contohnya molekul transporter (pengangkut), saluran ion, dan berbagai reseptor. Sementara ada protein yang hanya muncul sekali. Protein integral terdistribusi secara asimetris sepanjang lipid bilayer.



Gambar 11 Model struktur mosaik fluid dari struktur membrane.

Membrane terdiri dari lipid bilayer dimana di antaranya terselip protein integral yang tertanam dalam lipid bilayer. Beberapa protein memanjang sepanjang penampang membrane sehingga disebut protein transmembrane. Sementara beberapa protein lain menempel pada bagian permukaan sebelah luar (mengarah ke ekstra selular) atau permukaan sebelah dalam (intraselular), disebut protein peripheral.

Jenis protein lain dalam membrane adalah protein peripheral. Protein ini tidak berinteraksi langsung dengan bagian hidrofobik pada fosfolipid bilayer. Karena tidak terikat kuat, untuk menguraikan protein peripheral dari membrane tidak dibutuhkan deterjen. Protein peripheral terikat pada sisi hidrofilik dari gugus kepala pada fosfolipid. Interaksi ini dapat dilepaskan dengan memberikan larutan garam dengan kekuatan ionic tinggi. Ankyrin adalah contoh protein peripheral yang menempel pada permukaan bagian dalam protein integral pada membrane eritrosit. Spektrin, struktur sitoskeletal pada eritrosit, berikatan dengan ankyrin dan berperan penting dalam mempertahankan bentuk bikonkaf dari eritrosit.

5.3 Model fluid mosaic

Model mosaic fluid pertama kali diusulkan pada tahun 1972 oleh Singer dan Nicolson. Model ini dianalogikan seperti gunung-gunung es (protein integral) yang mengapung pada lautan molekul fosfolipid. Bukti yang mendukung model ini adalah terdeteksinya beberapa protein integral (terdeteksi melalui pe-labelan fluoresens) yang mengalami redistribusi secara cepat dan acak dalam membrane plasma. Studi biofisika menunjukkan bahwa protein integral terletak memanjang sepanjang membrane dan merupakan protein globular. Beberapa bukti juga memperlihatkan bahwa fosfolipid pada permukaan membrane mengalami redistribusi secara cepat, dimana terjadi difusi fosfolipid pada permukaan membrane. Difusi ini disebut sebagai difusi lateral dan dapat terjadi sangat cepat. Satu molekul fosfolipid dapat bergerak beberapa mikrometer per detik.

Perubahan fase pada membrane berkaitan dengan sifat fluiditas membrane dan bergantung pada komposisi lipid pada membrane. Dalam lipid bilayer, rantai hidrofobik pada asam lemak dapat tersusun sangat rapat sehingga menghasilkan struktur yang kaku. Jika temperature naik, rantai hidrofobik dari asam-asam lemak mengalami perubahan bentuk (transisi) dari bentuk yang teratur menjadi lebih acak, sehingga menyerupai bentuk fluid. Temperatur dimana keadaan ini terjadi disebut temperatur transisi (T_m). Jika lipid bilayer dari membrane mengandung rantai asam lemak jenuh dan Panjang, maka dapat berinteraksi lebih kuat satu sama lain sehingga temperature transisinya lebih tinggi. Sebaliknya, rantai asam lemak tidak jenuh yang berada pada konformasi *-cis* cenderung meningkatkan fluiditas karena konformasi *cis* mengurangi kerapatan susunan antar rantai asam lemak. Fosfolipid dari membrane sel biasanya mengandung satu atau lebih asam lemak dengan ikatan tidak jenuh.

Kolesterol mempengaruhi fluiditas membrane. Pada temperature di bawah temperature transisi, kolesterol mengganggu interaksi antar rantai asam lemak, sehingga meningkatkan fluiditas membrane. Namun pada temperature di atas temperature transisi, kolesterol bersifat lebih kaku dibandingkan dengan asam-asam lemak dan tidak dapat bergerak secepat rantai asam lemak dalam membrane. Keadaan ini mengurangi fluiditas membrane. Jika membrane mengandung fosfolipid dan kolesterol pada rasio yang sama, maka efek di atas tidak dapat dibedakan lagi.

Fluiditas membrane mempengaruhi fungsi membrane. Jika fluiditas meningkat, sifat permeabilitas membrane meningkat, yaitu terhadap air dan molekul hidrofilik kecil. Pergerakan lateral dari protein integral meningkat seiring dengan meningkatnya fluiditas membrane. Jika suatu protein integral memiliki sisi aktif hanya pada sisi hidrofilik dari protein tersebut, perubahan fluiditas lipid kemungkinan tidak banyak merubah aktivitas protein tersebut. Namun demikian jika protein yang terlibat adalah protein transport yang menjadi saluran pergerakan berbagai komponen, perubahan fluiditas fase lipid dapat secara signifikan mengubah kecepatan transport. Reseptor insulin adalah contoh yang memperlihatkan bagaimana perubahan fluiditas membrane mempengaruhi fungsi . terpengaruh oleh perubahan fluiditas membrane. Jika konsentrasi asam lemak tidak jenuh bertambah, fluiditas membrane akan meningkat. Keadaan ini akan membuat reseptor mengikat lebih banyak insulin. Pada temperature tubuh normal (37 °C), lipid bilayer berada pada keadaan fluid.

Pengaturan komposisi dan fungsi sel dipengaruhi oleh selektivitas membran

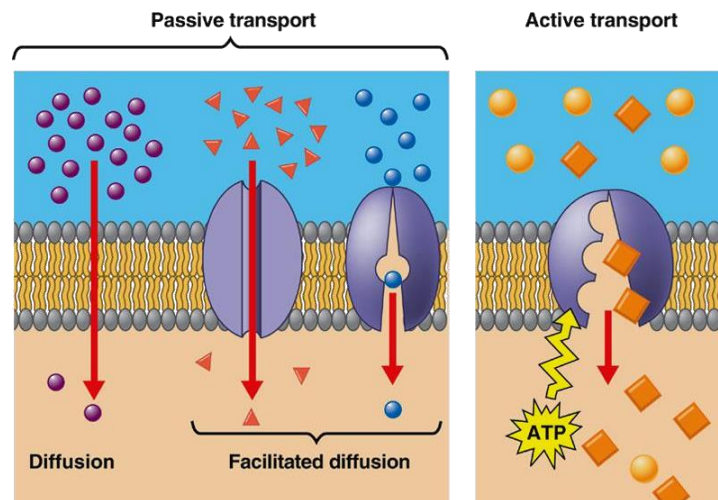
Jika membrane plasma relative tidak permeabel, bagaimanakah molekul-molekul dapat masuk ke dalam sel? Bagaimanakah pengaturan permeabilitas membrane plasma? Bagaimanakah selektivitas membrane dibentuk? Jawaban atas pertanyaan tersebut penting untuk memahami bagaimana sel mengatur dirinya dalam lingkungan ekstraselular yang selalu berubah.

6. Difusi pasif dan aktif

Difusi pasif melibatkan berbagai transporter dan saluran ion yang melewatkan banyak molekul kecil melewati membrane.

Molekul dapat secara pasif melewati bilayer mengikuti gradien elektrokimia, melalui proses difusi sederhana ataupun melalui difusi terfasilitasi. Pergerakan ini terjadi secara spontan untuk menuju kesetimbangan. Transport pasif ini berlawanan dengan transport aktif dimana dalam prosesnya

membutuhkan energi karena pergerakannya melawan gradien elektrokimia. Gambar 12 menggambarkan secara skematik mekanismenya.



Gambar 12 transport pasif dan transport aktif.

Gambar 12 molekul yang kecil dan tidak bermuatan dapat melewati lipid bilayer melalui difusi sederhana. Molekul yang lebih besar namun tidak bermuatan dan molekul bermuatan berukuran kecil dapat bergerak melewati membrane dengan bantuan protein pembawa (disebut transporter) atau melalui saluran atau pori-pori. Transport pasif selalu berjalan searah dengan gradien elektrokimia untuk menuju keadaan kesetimbangan, dan karenanya tidak membutuhkan energi. Sementara transport aktif terjadi melawan gradien elektrokimia dan karenanya membutuhkan energi.

Berikut ini adalah beberapa istilah yang sering dikaitkan dengan transport pasif. *Difusi sederhana* adalah aliran zat terlarut dari konsentrasi yang lebih tinggi ke konsentrasi rendah karena pergerakan termal acak. *Difusi terfasilitasi* adalah transport pasif zat terlarut dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah yang dimediasi oleh protein transporter tertentu. *Transport aktif* adalah transport zat terlarut melewati membrane dengan melawan gradien konsentrasi, karenanya transport aktif membutuhkan energi yang didapat dari hidrolisis ATP. Transport aktif membutuhkan transporter khusus.

Zat terlarut berupa gas dapat masuk ke dalam sel dengan cara difusi sederhana tanpa membutuhkan energi. Difusi sederhana melewati membrane dapat terjadi karena adanya gradien konsentrasi, agitasi termal dan kelarutan zat tersebut dalam membrane hidrofobik. Kelarutan zat terlarut dalam lipid bilayer berbanding terbalik dengan jumlah ikatan hydrogen yang harus diputuskan karena interaksi zat terlarut dengan cairan ekstraselular. Elektrolit tidak membentuk jembatan hydrogen, namun membentuk lapisan air akibat interaksi elektrostatis. Ukuran hidrasi ion berbanding lurus dengan kerapatan muatan ion tersebut. Semakin besar kerapatan muatan suatu ion akan semakin besar jari-jari hidrasi, dan semakin

rendah kecepatan difusi. Contohnya adalah ion Na^+ yang mempunyai kerapatan muatan lebih tinggi daripada ion K^+ , karenanya Na^+ akan terhidrasi lebih besar dibandingkan K^+ sehingga Na^+ lebih lambat berdifusi dibandingkan ion K^+ .

Faktor-faktor berikut mempengaruhi difusi zat:

1. Gradien konsentrasi di sepanjang membrane. Zat terlarut bergerak dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah.
2. Potensial listrik di sepanjang membrane. Zat terlarut bergerak ke larutan yang mengandung muatan listrik berlawanan. Bagian dalam sel biasanya bermuatan negative.
3. Koefisien permeabilitas zat terlarut terhadap membrane.
4. Gradien tekanan hidrostatik di sepanjang membrane. Tekanan yang semakin meningkat akan meningkatkan kecepatan dan tumbukan antara partikel zat terlarut dan membrane.
5. Temperatur. Temperatur yang semakin tinggi akan meningkatkan gerakan partikel, karenanya akan meningkatkan frekuensi tumbukan antara partikel zat terlarut dan membrane.

Difusi terfasilitasi melibatkan transporter atau saluran ion. Transport aktif membutuhkan transporter yang dalam menjalankan perannya membutuhkan energi (ATP). Dalam membrane biologis terdapat berbagai jenis transporter dan saluran ion yang menjadi jalan keluar masuk ke sel.

Kecepatan zat terlarut masuk ke dalam sel melalui difusi terfasilitasi ditentukan oleh factor berikut:

1. Jumlah molekul pembawa yang tersedia (merupakan faktor kunci).
2. Afinitas zat terlarut terhadap molekul pembawa.
3. Kecepatan perubahan konformasi dari molekul pembawa dalam bentuk 'loaded' dan 'unloaded'.

Hormone mengatur difusi terfasilitasi dengan jalan merubah jumlah transporter yang tersedia. Insulin dengan bantuan jalur sinyal yang rumit meningkatkan transport glukosa dalam lemak dan otot dengan jalan memakai transporter dari reservoir intra selular. Insulin juga mengikatkan transport asam amino dalam hati dan jaringan lain. Salah satu fungsi hormone glucocorticoid adalah meningkatkan transport asam amino ke dalam hati dimana asam amino tersebut akan berperan sebagai substrat untuk gluconeogenesis.

Growth hormone meningkatkan transport asam amino dalam semua sel dan estrogen melakukan fungsi ini pada uterus. Paling tidak terdapat lima jenis molekul pembawa yang berbeda untuk asam amino pada sel hewan. Masing-masing spesifik untuk kelompok asam amino yang mirip sifatnya dan sebanayak beroperasi sebagai system simport Na^+ .

6.1 Saluran ion

Saluran ion merupakan protein transmembrane yang secara selektif mengizinkan masuknya berbagai ion

Membrane alami mengandung protein transmembrane yang berperan sebagai saluran ion selektif. Pada dasarnya, protein transmembrane ini terbentuk dari beberapa subunit protein yang bergabung bersama membentuk pori-pori yang dapat melewatkan ion. Saluran kation mempunyai diameter sekitar 5 – 8 nm. Permeabilitas saluran bergantung pada ukuran saluran serta tingkat hidrasi dan kerapatan muatan dari ion. Saat ini telah dapat teridentifikasi saluran khusus untuk Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Cl^- . Protein dari saluran ion Na^+ terdiri dari empat subunit, setiap unit terdiri dari 6 α -helical yang tertanam transmembran. Gugus amino dan karbonil terminal mengarah pada sitoplasma.

Bagian pori terdapat pada bagian tengah dengan diameter antara 5-8 nm. Strukturnya tersusun karena aposisi dari masing-masing subunit. Saluran ion sangat selektif. Pada kebanyakan kasus hanya melewatkan satu jenis ion (misalnya Na^+ , Ca^{2+} , etc). Saluran K^+ dibentuk oleh cincin dari gugus karbonil masing-masing subunit. Gugus-gugus karbonil ini menarik molekul air yang terhidrasi di sekitar ion K^+ , sehingga membuat ukuran ion K^+ sesuai untuk dapat melewati saluran.

Beberapa sifat dari saluran ion seperti di bawah ini:

1. Dibentuk dari subunit protein transmembrane
2. Kebanyakan sangat selektif terhadap satu jenis ion saja; beberapa saluran tidak bersifat selektif.
3. Saluran mengizinkan ion-ion melewati membrane dengan kecepatan mendekati kecepatan difusi.
4. Dapat melewatkan aliran ion dengan kecepatan $10^6 - 10^7/\text{s}$.
5. Aktivitas saluran diatur.
6. Jenis utama saluran adalah voltage-gated, ligand-gated, dan gated mekanis.
7. Kebanyakan sel mempunyai saluran Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Cl^- yang beragam.
8. Mutasi dalam pengkodean gen dapat mengakibatkan penyakit.
9. Aktivitasnya dapat dipengaruhi oleh obat tertentu.

6.2 Ionofor

Ionofor adalah molekul yang bertindak sebagai shuttle membrane untuk berbagai jenis ion

Beberapa jenis mikroba dapat mensintesis molekul organik siklik berukuran kecil (disebut ionofor) yang berfungsi sebagai shuttle bagi pergerakan ion sepanjang membrane. Sebagai contoh adalah valinomycin

yang menjadi ionofor bagi ion K^+ . Ionofor ini mengandung sisi hidrofilik yang dapat berikatan dengan ion-ion tertentu dan dikelilingi oleh daerah hidrofobik secara perifer. Pengaturan ini memungkinkan molekul dapat larut dalam membran dan berdifusi secara transersal masuk ke dalam sel. Sementara ionofor lain seperti gramicidin (sejenis antibiotic) dapat membentuk saluran bagi pergerakan ion.

Toksin mikroba seperti toksin difteri dapat mengakibatkan terbentuknya pori-pori yang besar pada membrane sehingga makromolekul dapat masuk ke dalam sel. Toksin α -hemolysin yang dihasilkan oleh streptococcus, terdiri dari 7 subunit yang secara bersama membentuk β -barrel yang memungkinkan metabolit ke luar dari sel, sehingga mengakibatkan terjadinya lisis.

6.3 Aquaporin

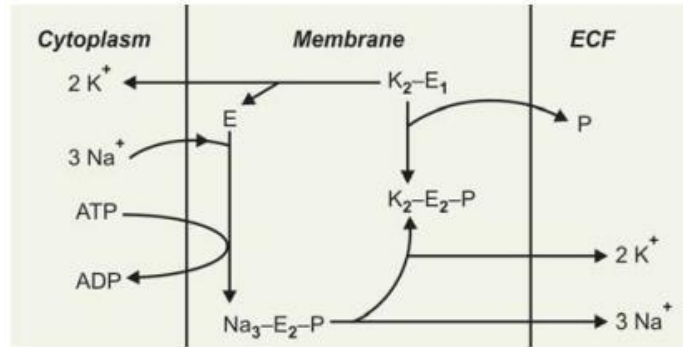
Aquaporin adalah protein yang membentuk saluran untuk molekul air

Pada beberapa jenis sel (seperti sel darah merah, sel duktul pada ginjal) pergerakan air karena difusi diperkuat dengan adanya pergerakan air melalui saluran air. Saluran ini disebut aquaporin dan terbentuk dari protein transmembrane tetrameric. Saat ini telah teridentifikasi 10 jenis aquaporin (AP-1 sampai AP-10). Aquaporin dapat melewati molekul air tetapi tidak dapat melewati ion-ion dan proton. Saluran air aquaporin mempunyai pori-pori yang sangat kecil sehingga hanya akan melewati molekul air tetapi tidak dapat melewati ion-ion lain. Proton tidak dapat melewati aquaporin karena di sepanjang saluran terdapat residu asparagin tempat menempelnya atom-atom oksigen dari molekul air, dan karenanya H_2O tidak dapat berpartisipasi dalam pergerakan H^+ . Mutasi gen yang mengkode AP-2 menyebabkan salah satu jenis nefrogenik diabetes insipidus.

6.4 $Na^+-K^+-ATPase$

$Na^+-K^+-ATPase$ pada membrane plasma adalah enzim-enzim yang berperan dalam pengaturan konsentrasi Na^+ dan K^+ intraselular

Secara umum, sel mempertahankan keadaan intraselular dimana konsentrasi Na^+ rendah dan K^+ tinggi, serta mempertahankan potensial listrik negatif di dalam sel. Pompa yang mengatur gradien ion ini adalah $ATPase$ yang diaktifkan oleh Na^+ dan K^+ ($Na^+-K^+-ATPase$). Pompa ini memompa Na^+ ke luar dan memasukan ion K^+ ke dalam sel. $ATPase$ adalah protein integral pada membrane. $ATPase$ mempunyai bagian yang tertanam pada membrane (transmembrane), yang menjadi jalur bagi keluar masuk ion, dan bagian yang mengarah pada sitosol. yang menjadi tempat hidrolisis ATP menjadi ADP , sebagai sumber energi untuk pergerakan ion.



Gambar 13 Pompa $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}^2$

Gambar 13 Stoikiometri dari pompa $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$. Pompa ini mengeluarkan 3 ion Na^+ dari dalam sel dan membawa masuk dua ion K^+ masuk ke dalam sel dengan memakai energi yang berasal dari hasil hidrolisis 1 molekul ATP menjadi ADP. Oubain dan obat jantung lain bekerja dengan jalan menghambat enzim ATPase dengan jalan berikatan dengan permukaan membrane bagian ekstraselular.

ATPase mempunyai pusat katalitik baik untuk ATP maupun Na^+ yaitu pada bagian sitoplasma (bagian dalam) dari membrane plasma. Sedangkan K^+ menempel pada sisi ekstraselular pada membrane. Fosforilasi ATP pada ke 3 sisi pengikatan Na^+ mengubah konformasi protein sehingga memungkinkan terjadinya transfer 3 ion Na^+ dari dalam ke luar membrane plasma. Dua sisi aktif mengikat K^+ pada bagian luar membrane menyebabkan defosforilasi protein dan transfer ion K^+ ke dalam sel. Jadi, untuk setiap tiga ion Na^+ yang keluar, diikuti dengan dua ion K^+ yang masuk. Pergerakan ini mengakibatkan ketidakseimbangan muatan, dimana di bagian dalam sel bermuatan lebih negative daripada di luar. Oubain dan digitalis, dua jenis obat jantung, bekerja dengan jalan menghambat ATPase, yaitu dengan jalan berikatan dengan bagian ekstraselular. ATPase menghabiskan sebanyak 30% bagian dari energi selular. $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ dapat digandengkan dengan jenis transporter lain seperti yang terjadi pada transport glukosa.

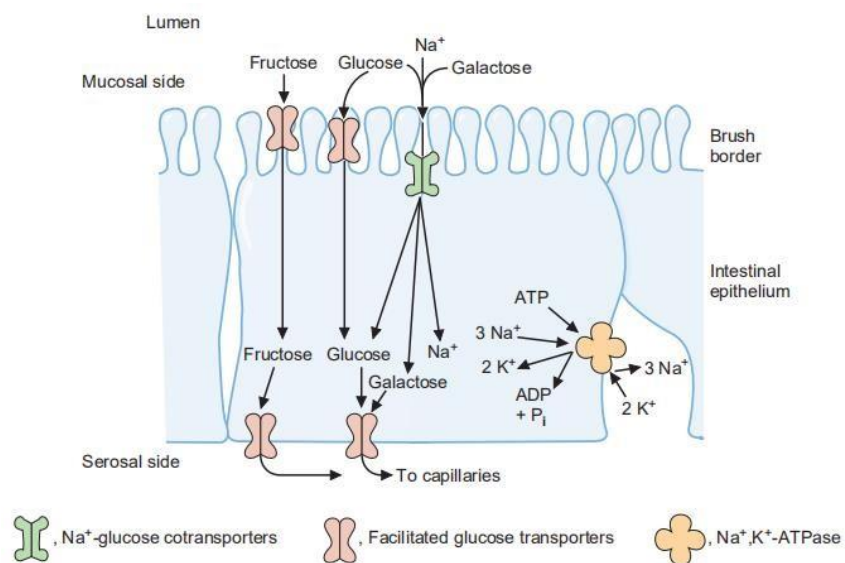
6.5 Transport glukosa

Glukosa harus masuk ke dalam sel agar dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi. Sejumlah transporter glukosa terlibat dalam menghantarkan glukosa ke dalam sel. Jenis transporter yang terlibat bergantung pada jenis jaringan tubuh. Pada otot rangka dan jaringan adiposit, glukosa masuk dengan bantuan system transport yang diatur oleh insulin. Perubahan transport dipengaruhi oleh perubahan V_{maks} atau K_m . Transport glukosa di usus halus melibatkan berbagai aspek transport seperti yang dijelaskan di atas. Glukosa dan Na^+ berikatan pada berbagai sisi dari $\text{Na}^+\text{-glukosa}$ simporter yang terdapat pada permukaan apical. Na^+ bergerak ke dalam sel searah dengan gradien listrik (elektrokimia)

dan glukosa terikut dalam pergerakan ini bersama ion Na^+ (Gambar 14). Karenanya, semakin tinggi gradien Na^+ , semakin banyak glukosa yang masuk, dan apabila konsentrasi Na^+ dalam cairan ekstraselular turun, pergerakan glukosa pun berhenti. Untuk mempertahankan gradien Na^+ yang tinggi, simporter Na^+ -glukosa bergantung pada gradient yang dibentuk oleh Na^+ - K^+ -ATPase yang mempertahankan konsentrasi Na^+ yang rendah di intrasel.

Mekanisme yang mirip juga terjadi dalam transport gula-gula yang lain dan asam-asam amino melewati lumen apical pada sel yang terpolarisasi, seperti usus halus dan ginjal. Pergerakan transelular glukosa membutuhkan satu komponen tambahan yaitu uniport yang membuat glukosa terakumulasi di dalam sel dan dapat bergerak melewati membrane basolateral dan melibatkan uniporter GLUT2.

Penatalaksanaan diare pada penyakit kolera didasarkan pada prinsip di atas. Pada kolera terjadi kehilangan cairan yang sangat banyak dalam waktu singkat melalui BAB yang cair. Keadaan ini mengakibatkan dehidrasi berat dan dapat mengakibatkan kematian. WHO merekomendasikan terapi rehidrasi oral memakai NaCl dan glukosa. Transport glukosa dan Na^+ melewati membrane epitel usus (via osmosis) akan mendorong pergerakan air dari lumen usus ke sel-sel usus, sehingga terjadi rehidrasi. Terapi oral glukosa saja atau NaCl saja tidak efektif.



Gambar 14 Skema pergerakan glukosa pada sel usus halus.

Glukosa mengikuti Na^+ melewati epithelial luminal dari usus. Gradien Na^+ menjadi pendorong terjadinya pergerakan pada simport ini. Gradien Na^+ terbentuk karena pertukaran Na^+ - K^+ oleh Na^+ - K^+ -ATPase yang terjadi pada permukaan membrane yang mengarah pada compartment cairan ekstraselular. Glukosa pada konsentrasi tinggi di dalam sel bergerak menuju ekstraselular dengan cara difusi terfasilitasi via GLUT2 (yaitu sutau transporter glukosa). Simport glukosa- Na^+ biasanya membawa 2 ion Na^+ untuk setiap 1 molekul glukosa.

Sel dapat mentransport makromolekul melewati membrane plasma melalui mekanisme endositosis dan eksositosis

Proses dimana sel memasukkan molekul besar ke dalam sel disebut endositosis. Molekul-molekul ini seperti polisakarida, protein, dan polinukleotida jika dihidrolisis di dalam sel akan menghasilkan nutrient. Endositosis juga merupakan mekanisme pengaturan komponen membrane tertentu, contohnya pengaturan komponen reseptor hormone. Terdapat dua jenis endositosis yaitu fagositosis dan pinositosis. Fagositosis hanya terjadi pada sel-sel tertentu, misalnya makrofage dan granulosit. Pada fagositosis partikel besar seperti virus, bakteri, sel, dan kotoran lain dimakan oleh sel. Sel makrofage sangat aktif dalam memakan partikel di atas hingga dengan 25% dari volume dirinya dalam sejam. Pinositosis adalah mekanisme sel dalam mengambil cairan atau zat yang terkandung dalam cairan. Eksositosis melepaskan makromolekul tertentu dari dalam sel.

7. Ringkasan

- Membran merupakan struktur yang kompleks dibentuk oleh lipid, protein, dan karbohidrat.
- Struktur dasar membrane adalah lipid bilayer. Terdiri dari dua lapisan fosfolipid, dimana kepala yang hidrofilik menjauh dari sisi hidrofobik dan mengarah ke lingkungan air baik pada bagian luar sel maupun bagian dalam sel. Ekor (rantai asam lemak) yang hidrofobik akan mengarahkan dirinya berdekatan satu sama lain dan menjauh dari lingkungan air.
- Membrane merupakan struktur yang dinamis. Lipid dan protein tertentu mengalami difusi lateral yang cepat.
- Model mosaik fluid adalah model sel yang dipakai saat ini.
- Protein membrane diklasifikasikan sebagai protein integral karena terikat kuat dalam membrane, dan protein peripheral yang menempel pada bagian permukaan membrane.
- Beberapa molekul hidrofobik dapat bebas berdifusi melewati membrane, namun pergerakan molekul-molekul yang lain dibatasi oleh ukuran dan muatan.
- Transport pasif dan aktif (membutuhkan ATP) terjadi untuk mempertahankan gradien di sepanjang membrane.
- Zat-zat tertentu seperti glukosa masuk ke dalam sel melalui difusi terfasilitasi searah dengan gradien konsentrasi (dari konsentrasi tinggi ke rendah) dengan memanfaatkan protein pembawa (transporter).

Daftar pustaka

1. Nelson DL, Lehninger AL, Cox MM. Lehninger principles of biochemistry. New York: Macmillan; 2008.
2. Chatterjea M, Shinde R. Textbook of medical biochemistry. 8th ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2011.
3. Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L. Biochemistry. New York: WH Freeman; 2012.
4. Gaw A, Murphy M, Srivastava R, Cowan RA, O'Reilly DSJ. Clinical Biochemistry E-Book: An Illustrated Colour Text. 5th ed. New York: Elsevier Health Sciences; 2013.
5. Puri D. Textbook of Medical Biochemistry 3rd ed. Chennai: Elsevier Health Sciences; 2018.