

Transportasi Melalui Biomembran

Oleh:

Sri Kadarwati

SARI

Proses transportasi zat melalui biomembran adalah suatu proses fisika-kimia untuk mempertahankan integritas suatu sel. Banyak proses kehidupan yang pada dasarnya berkaitan dengan proses transpor biomembran dan masih belum seluruhnya dipahami. Studi kinetika transpor biomembran berguna untuk menerangkan jalan yang ditempuh suatu zat masuk ke dalam sel dan membantu menjelaskan mekanisme kerjanya. Selain itu dapat diketahui berapa jumlah nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba bagi pertumbuhannya.

ABSTRACT

Transportation process of a matter pass through biomembrane is a physico-chemical process to preserve the cells integrity. There is many life process naturally related to transport process via biomembrane and it still not understanding the whole yet. Kinetics of biomembrane transportation study is useful for explain how the matter can introduce in the cell and what is the mechanisms. Besides that this study is to know the amount of requirement of nutrient for microbial growth.

I. PENDAHULUAN

Proses transpor zat melalui biomembran baik membran sel maupun membran organel adalah suatu proses fisika-kimia yang mendasari berbagai proses kehidupan seperti manusia, hewan, tanaman, bakteri, dan mikroorganisme lainnya.

Membran dapat mengatur secara selektif zat yang dibutuhkan oleh sel. Sebaliknya zat tertentu dan hasil metabolisme dapat pula menerobos secara selektif dari dalam sel ke luar. Demikian pula halnya yang terjadi pada organel. Proses transpor biomembran dapat dihambat dan dapat pula ditingkatkan oleh berbagai zat kimia, bahkan proses tersebut dapat pula terganggu oleh zat-zat yang terkandung dalam zat pengotor, sehingga mengganggu proses transportasi.

Keadaan fluiditas membran sangat berguna untuk memungkinkan protein bergerak atau berputar di

dalam membran. Mekanisme ini penting untuk terjadinya proses transpor membran. Walaupun komponen dasar biomembran adalah lipida, tetapi fungsi transportasi yang spesifik dilaksanakan oleh protein.

Bila ditinjau dari keperluan energi, transportasi melalui biomembran meliputi transpor pasif dan transpor aktif. Perbedaan antara kedua transportasi didasarkan pada kebutuhan energi metabolik. Untuk transpor aktif adalah melawan gradien dan memerlukan energi sedangkan untuk transpor pasif tidak diperlukan energi. Walaupun demikian, energi masih tetap dibutuhkan untuk bergerak, berputar, atau mengubah posisi, tetapi tidak sebesar untuk transportasi melalui biomembran.

Energi dapat diperoleh dari cahaya matahari, sel hidup, atau hasil oksidasi senyawa organik dan kemudian disimpan dalam bentuk adenin tri fosfat (ATP). Energi

tersebut digunakan sebagai sumber tenaga yang dimanfaatkan untuk fungsi lain dari sel. Transportasi pada tipe transpor aktif dapat berlangsung, apabila dibantu oleh energi yang berasal dari metabolisme terutama berasal dari ATP.

Transportasi biomembran ini diteliti untuk memperkirakan kemampuan penetrasi nutrisi atau biosida ke dalam jaringan atau kemampuan sel dalam hal menyempurnanya. Dengan mengetahui jalur lalu lintas nutrisi atau biosida melalui membran sel, akan dapat dipertahankan konsentrasi cairan di luar atau dalam sel sehingga sel tidak pecah. Selain itu membantu mengevaluasi pertumbuhan organisme yang digunakan sebagai indikator untuk menunjukkan adanya pertumbuhan suatu organisme yaitu dengan adanya penambahan massa organisme. Penyerapan nutrisi ke dalam sel ini ditimbun dan kemudian digunakan untuk aktivitas sel.



II. BIOMEMBRAN DAN MEKANISME TRANSPORTASI

A. Biomembran

Sel merupakan unit struktural dan fungsional organisme hidup. Organisme terkecil terdiri atas sel tunggal, sebaliknya, tubuh manusia mengandung sedikitnya 10^{14} sel. Terdapat berbagai jenis sel, yang amat bervariasi dalam ukuran, bentuk, dan fungsi khususnya. Bagaimanapun besar dan kompleksnya organisme tersebut, setiap jenis sel mempertahankan sifat khusus dan kebebasannya.

Meskipun berbeda dalam penampilannya, berbagai jenis sel menunjukkan kesamaan ciri struktur dasar. Tiap sel dikelilingi oleh membran amat tipis berukuran 6 sampai 9 nm yang membuatnya terpisah dan sampai tingkat tertentu mampu mencukupi diri sendiri. Membran sel (biomembran) yang juga disebut membran plasma atau membran sitoplasma, bersifat permeabel selektif. Membran ini mengangkut nutrisi dan garam yang dibutuhkan ke dalam sel, dan produk buangan dari sel ke luar, tetapi biasanya tidak permeabel terhadap senyawa-senyawa yang ada di lingkungan sel yang tidak dibutuhkan. Di dalam tiap sel terdapat sitoplasma tempat berlangsungnya hampir semua reaksi enzimatik dari metabolisme sel.

Untuk semua sel, susunan molekular biomembran umumnya serupa, terdiri atas dua lapis molekul lipida yang mengandung protein khusus, sehingga komponen utama membran adalah lipida polar dan protein. Kedua membran alami dan lapisan ganda lipida polar memiliki ketahanan listrik yang tinggi, dan karenanya, merupakan insulator yang baik. Karena sifat tersebut, membran alami dianggap terdiri atas lapisan ganda lipida polar yang berkesinambungan (matriks lipida) dan seperti lembaran-lembaran, yang mengandung sejumlah protein. Beberapa lipida berikatan dengan pro-

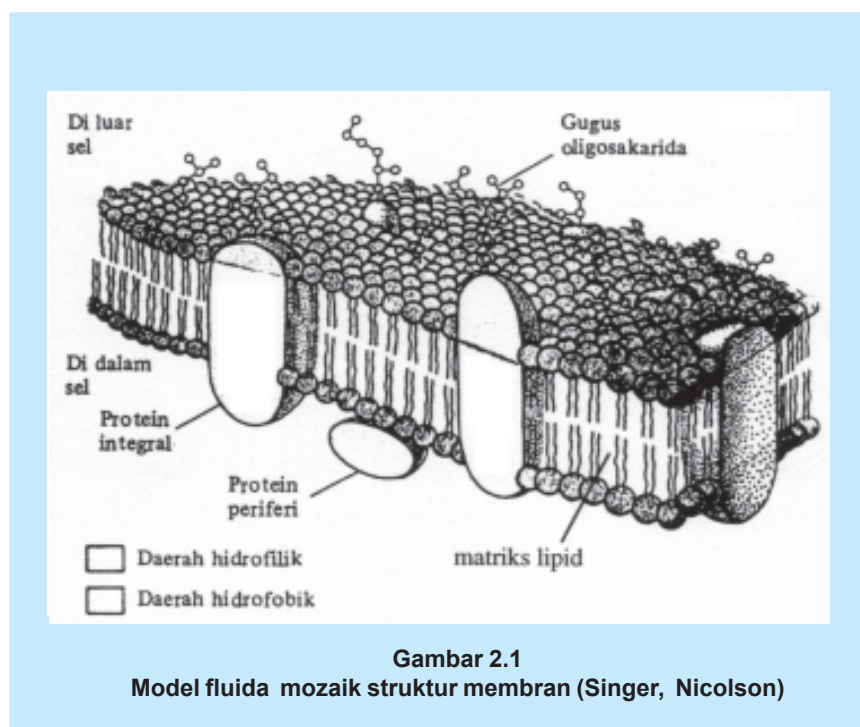
tein spesifik membentuk lipoprotein.

Dari hasil pembuktian kimia dan mikroskop elektron, dan dari analisis persamaan dalam sifat-sifat lapisan ganda fosfolipida dan sifat-sifat membran alami, S. Jonathan Singer dan Garth Nicolson (1972) dalam Lehninger dan Maggy Thenawijaya, Dasar-dasar Biokimia Jilid 1, 1997, menyampaikan suatu postulat suatu teori gabungan dari struktur membran yang disebut model fluida mozaik (Gambar 2.1). Matriks lipida bersifat fluida karena ekor hidrofobik terdiri atas campuran yang seimbang dari asam lemak jenuh dan tidak jenuh pada suhu normal.

Model fluida mozaik ini mengusulkan bahwa protein integral membran memiliki gugus R asam amino yang bersifat hidrofobik pada permukaan protein yang akan menyebabkan protein tersebut meleleh di dalam bagian hidrofobik di tengah-tengah lapisan ganda. Di lain pihak, model ini menyarankan bahwa protein membran perifer atau ekstrinsik (tidak terikat kuat pada permukaan membran tetapi terbenam dalam struktur membran) sesung-

guhnya memiliki gugus R hidrofilik pada permukaannya, yang terikat oleh gaya tarik elektrostatis dengan bagian kepala polar lipida lapisan ganda, yang bersifat hidrofilik dan bermuatan listrik. Protein integral membran, yang meliputi enzim dan sistem transpor, bersifat inaktif kecuali jika protein ini ditempatkan di dalam inti hidrofobik lapisan ganda, yang menghasilkan konformasi tiga dimensi yang sesuai dengan aktivitasnya. Tidak terdapat ikatan kovalen di antara molekul lipida pada lapisan ganda atau di antara komponen protein dan lipida. Protein yang ada di dalam membran ada beberapa macam yaitu ada protein yang membentuk kanal (*channel*), bertindak sebagai pengemban (*carrier*), dan ada yang mempunyai tempat pengikat (*binding sites*).

Hampir semua membran memiliki asimetri spesifik, yang juga dapat dijelaskan melalui model fluida mozaik. Pertama, lipida polar pada permukaan luar dan dalam dari membran plasma bakteri dan sel hewan berbeda komposisinya. Sebagai contoh, lapisan sebelah dalam membran eritrosit manusia mengandung hampir semua jenis



Gambar 2.1
Model fluida mozaik struktur membran (Singer, Nicolson)



fosfoglisericida (fosfatidiletanolamin dan fosfatidilserin), sedangkan lapisan luar mengandung hampir semua fosfatidilkolin (fosfoglisericida yang mengandung alkohol dan kolin) dan spingomielin (spingolipid yang paling sederhana, kelompok terbesar dari lipida membran dan tidak mengandung gliserol). Kedua, beberapa sistem transpor membran berfungsi hanya pada satu arah. Sebagai contoh, sel darah merah mengandung suatu sistem transpor atau pompa pada membran, yang memompakan Na^+ ke luar sel,

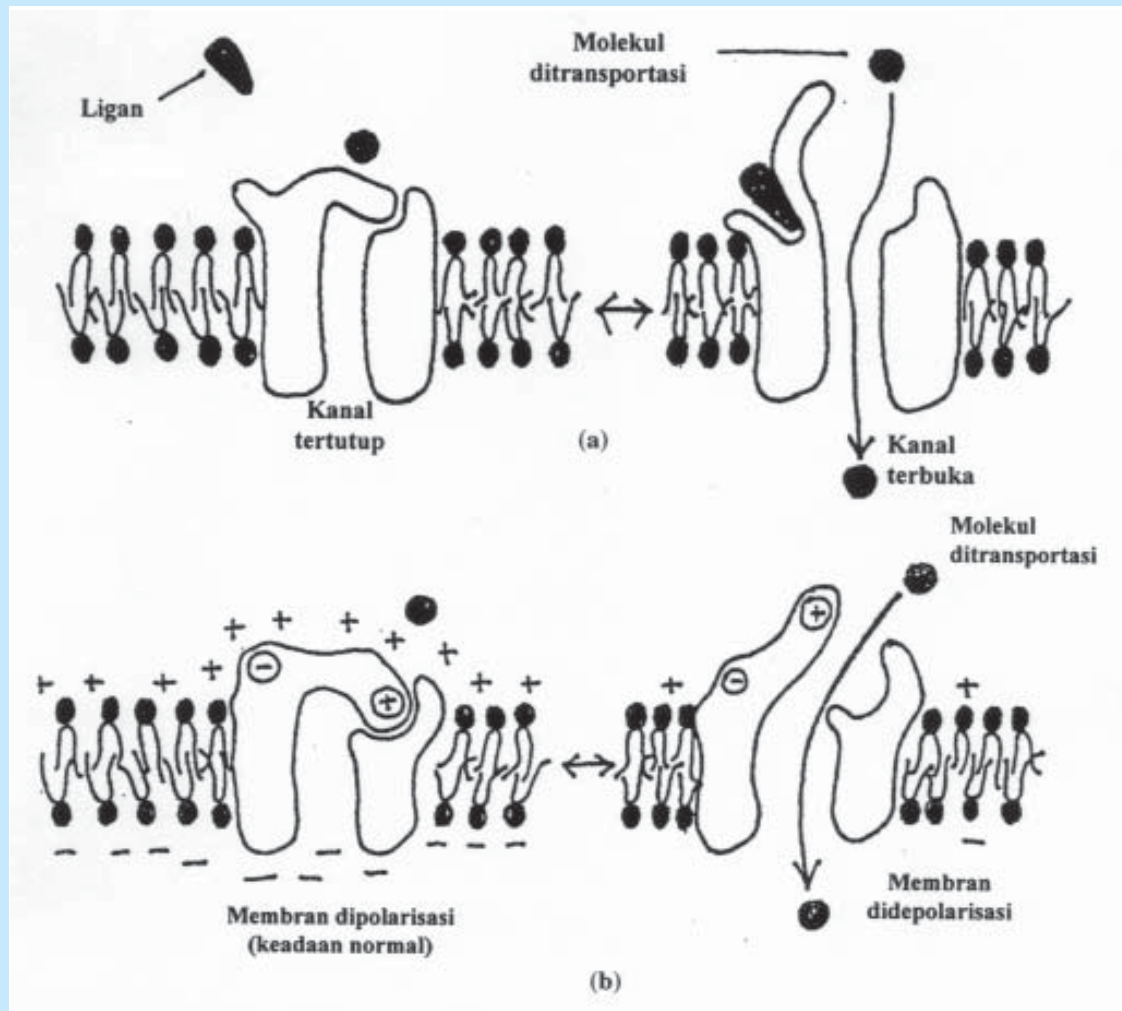
menuju medium lingkungannya dan K^+ ke dalam dengan menggunakan energi yang diberikan oleh hidrolisis ATP di dalam sel. Pompa ini, yang disebut ATPase pengangkut Na^+K^+ tidak pernah memompa ion Na^+ dan K^+ ke arah yang berlawanan. Ketiga, permukaan membran plasma sebelah luar kaya akan golongan oligosakarida yang berasal dari bagian kepala glikolipid dan rantai samping oligosakarida dari glikoprotein membran, sedangkan permukaan dalam membran plasma hampir tidak berisi gugus oligosakarida seperti itu.

B. Mekanisme Transportasi

Transportasi biomembran berdasarkan mekanismenya terbagi atas adanya kebutuhan energi, morfologi, dan fisika-kimia.

a. Kebutuhan Energi

Pada hakekatnya biomembran bersifat permeabel terhadap senyawa-senyawa polar. Di lain pihak, sel hidup harus mendapatkan nutrisi tertentu yang bersifat polar seperti glukosa dan asam amino dari lingkungan sekitar, selain itu juga harus mensekresi berbagai ion atau molekul polar.



Gambar 2.2
Skema transpor biomembran melalui kanal, kanal terbuka bila ada ligan (a) dan terbuka bila terjadi depolarisasi (b)



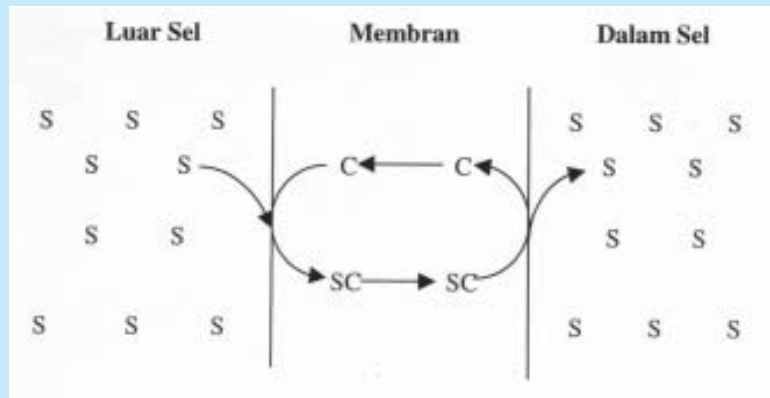
Sistem membran transpor tidak hanya membawa nutrisi yang dibutuhkan sel dengan melewati membran secara pasif, tetapi kadang-kadang diperlukan energi untuk melawan gradien yang disebut dengan transpor aktif. Sebagai contoh untuk mempertahankan integritas sel darah merah diperlukan energi.

Energi diperoleh dari proses-proses penghasil energi (Adenin Tri Fosfat, ATP) dari luar sel seperti glikolisis, oksidasi asam lemak, siklus Krebs, respirasi, dan lain-lain, sehingga apabila proses ini terhambat, energi tidak dihasilkan dan transpor aktif tidak dapat berlangsung, dan terjadi kelainan atau sakit atau kebutuhan sel tidak terpenuhi. Oleh karena itu proses transpor aktif disebut dengan ketergantungan suplai energi.

Transpor pasif atau difusi sederhana terdiri atas transpor yang langsung melalui/menembus matriks lipida dan transpor yang melalui kanal. Kanal ini dapat terbuka dan tertutup pada keadaan tertentu seperti disajikan pada Gambar 2.2.a (terbuka bila ada ligan) dan 2.2.b (terbuka bila terjadi depolarisasi).

Bila diperhatikan baik transpor pengemban pasif maupun transpor pengemban aktif, pada dasarnya kedua proses tersebut terdapat interaksi antar zat yang ditranspor (substrat) dengan pengemban. Di samping itu perlu diketahui pula bahwa jumlah pengemban ini terbatas, maka secara kinetika transpor pengemban memperlihatkan gejala "kejenuhan". Sifat lain yang dimiliki transpor pengemban adalah "spesifik" terhadap zat yang ditranspor dan dapat dihambat oleh zat yang spesifik pula.

Sebagai contoh difusi substrat-carrier (SC) kompleks disajikan pada Gambar 2.3. Dalam difusi SC ini, molekul carrier (C, pengemban) yang berada di dalam membran menangkap substrat (S) dari luar sel dan terbentuk



Gambar 2.3
Model difusi SCC kompleks

Tabel 4.1
Volume tiosulfat sebelum dan setelah inversi, inkubasi 3 hari

Sampel	Sebelum inversi (mL)	Setelah inversi (mL)
Sampel 1a	24,12	24,78
Sampel 1b	24,06	24,74
Sampel 2a	24,34	24,78
Sampel 2b	24,44	24,79
Blanko 1	24,87	24,86
Blanko 2	24,88	24,81

SC, kemudian C mempunyai afinitas kecil terhadap S dan bergerak dengan melepaskan S ke dalam sel.

Bila ditinjau dari perubahan energi pada transpor pasif dan aktif dapat digambarkan pada Gambar 2.4.

Pada keadaan awal konsentrasi C_1 lebih besar daripada C_2 , sehingga pada transpor pasif dan aktif pergerakannya masih sama yaitu dari kompartemen C_1 ke kompartemen C_2 . Kemudian pada transpor pasif, proses menuju ke keseimbangan sehingga $\Delta G = \text{negatif}$ dan pada akhirnya $\Delta G = \text{nol}$. Akan tetapi pada transpor aktif

diperoleh) $\Delta G = \text{positif}$, hal ini disebabkan karena adanya penggabungan dengan proses lain yang mempunyai ΔG negatif lebih besar, misalnya pada penguraian atau pelepasan satu fosfor (Pi) dari ATP dan terbentuk adenin difosfat (ADP) + Pi. Oleh karena itu pada keadaan tersebut $C_1 < C_2$ dan pergerakan atau transportasi terjadi dari kompartemen 1 dengan konsentrasi C_1 ke kompartemen 2 dengan konsentrasi C_2 yang memerlukan energi karena harus melawan gradien yang disebut sebagai transpor aktif.



b. Morfologi

Sesuai dengan morfologi, proses transpor biomembran dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu:

- Transpor homoselular

Transpor homoselular adalah semua proses transpor pada membran sel, baik dari luar ke dalam maupun dari dalam ke luar sel.

- Transpor intraselular

Transpor intraselular adalah semua proses transpor yang terjadi di dalam sel, yaitu pada membran organel.

- Transpor trans-selular

Transpor trans-selular adalah transpor homoselular yang khusus, yang mana sistem transpornya terletak pada tempat tertentu sehingga zat dapat melintasi keseluruhan sel, misalnya zat melalui epitel, seperti; mukosa sistem pencernaan, tubulus ginjal, dan tempat lain. Di sini zat yang ditranspor diserap dari satu sisi kemudian dikeluarkan lagi dari sisi yang lain.

c. Fisiko-Kimia

Secara fisiko-kimia transpor biomembran dapat dibagi menjadi empat macam, yaitu:

- Difusi sederhana (transpor tanpa pengemban).

Difusi sederhana adalah zat yang kelarutannya di dalam biomembran cukup baik, dengan mudah dapat menembus membran lewat matriks lipid. Apabila zat walaupun bermolekul kecil yang tidak dapat melewati jalur matriks lipid, dapat ditranspor melalui kanal.

- Transpor pengemban yang mencakup transpor pengemban pasif dan transpor pengemban aktif (kadang-kadang hanya disebut transpor aktif).

Untuk terjadinya transpor pengemban, zat yang ditranspor harus berinteraksi terlebih dahulu

dengan komponen membran. Komponen membran tersebut dinamakan pengemban (*carrier*). Perlu diketahui pula bahwa transpor biomembran dapat pula terjadi dari dalam ke luar sel.

- Transpor campuran

Transpor campuran adalah campuran dari difusi sederhana dan transpor pengemban. Adanya transpor campuran telah dibuktikan dengan menggunakan eritrosit manusia yang kemudian hasil percobaan dianalisis secara kinetika (Winter dan Christensen, 1964, dan Nurhalim 1985). Pada transpor campuran menunjukkan hasil yang menyerupai transpor pengemban akan tetapi tidak menunjukkan gejala kejenuhan, sehingga laju maksimum tidak tercapai.

- Transpor dengan vesikel (kantong/gelembung).

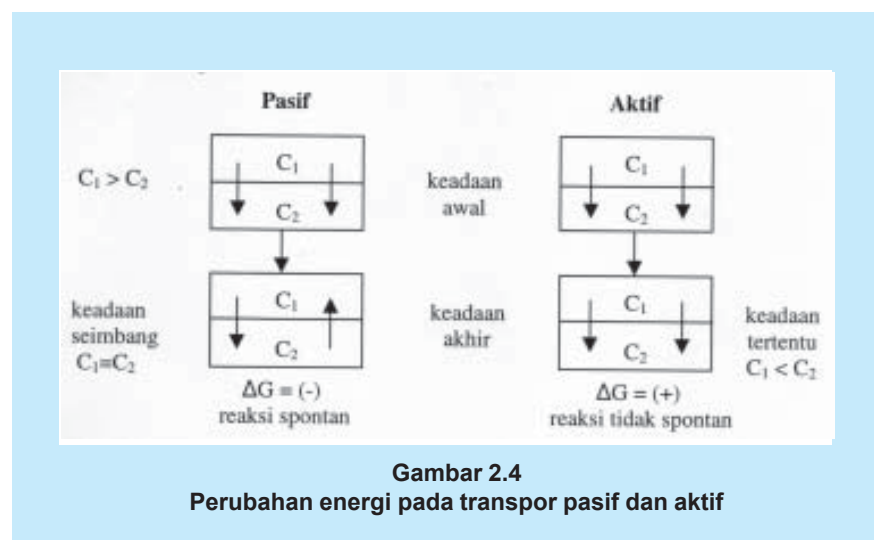
Zat yang ditranspor dengan kantong kebanyakan adalah zat yang bermolekul besar, di antaranya beberapa protein dan polinukleotida ataupun polisakarida. Kantong terbentuk dari membran sebelah dalam mitokondria yang keluar dari mitokondria (submitokondria). Kemudian zat yang akan ditranspor menempel pada kantong-kantong tersebut

dan ditranspor ke luar sel, proses ini disebut eksositosis. Sedangkan proses endositosis adalah proses mentranspor zat-zat dari luar sel ke dalam sel dengan zat tersebut menempel pada kantong-kantong yang telah bebas dari tempelan zat dari proses eksositosis.

Jelaslah sekarang, bahwa membran bukan hanya sekedar kulit inert yang membungkus sel, dan bukan pula sekedar struktur statis yang tetap, karena membran menjalankan banyak fungsi dinamis yang kompleks dan memiliki sifat-sifat biologi yang agak menonjol. Hampir semua membran mengandung enzim, beberapa bekerja pada substrat di luar membran, dan yang lain, pada substrat di dalam kompartemen yang terbungkus membran. Hampir semua membran juga mengandung sistem transpor, yang memindahkan molekul organik nutrisi tertentu, seperti glukosa, atau membiarkan ion organik spesifik untuk masuk ke dalam dan produk-produk tertentu ke luar dari sel.

III. PENGUJIAN GLUKOSA REDUKSI

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa banyak glukosa yang dibutuhkan oleh kapang *Paecilomyces* sp. bagi pertumbuhannya dalam avtur selama waktu



Gambar 2.4
Perubahan energi pada transpor pasif dan aktif



Tabel 4.2
Kadar gula reduksi dalam sampel

Sampel	Sebelum inversi		Setelah inversi	
	Bobot gula (mg)	% gula	Bobot gula (mg)	% gula
Sampel 1a	1,80	4,50	0,19	0,95
Sampel 1b	2,00	5,00	0,29	1,45
Sampel 2a	1,30	3,25	0,07	0,35
Sampel 2b	1,10	2,75	0,05	0,25

inkubasi 3x24 jam. Penghitungan glukosa reduksi ini menggunakan metode Luff Schoorl dengan prinsip titrimetri.

Paecilomyces sp. ditanam dalam media cair Czapek Dox dengan ditambah avtur sebagai sumber karbon dalam labu erlenmeyer 250 mL. Pengujian dilakukan dua kali ulangan dengan dua variasi konsentrasi dan diamati pada jam ke nol dan pada hari ke-3. Glukosa reduksi ini diamati hanya secara ekstraseluler.

Untuk menghitung kadar glukosa tereduksi dalam sampel sebelum dan setelah inversi dihitung terlebih dahulu volume tiosulfat (pentiter) yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$(\text{Vol blanko} - \text{Vol sampel}) \times \text{Normalitas tiosulfat} \times 10 = a \text{ mL tio}$

Kemudian bobot gula reduksi (mg) ditentukan dengan bantuan tabel Luff Schoorl yang menyatakan hubungan antara volume titran tiosulfat dengan bobot masing-masing gula reduksi. Kadar gula reduksi dalam sampel adalah: $(\text{bobot gula reduksi} \times \text{faktor pengenceran} \times 100\%) / \text{bobot sampel (mg)}$ catatan, faktor pengenceran pada analisis sebelum inversi adalah 25 dan setelah inversi adalah 50.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil titrasi sampel pada penentuan gula reduksi dengan metode Luff Schoorl baik sebelum inversi maupun setelah inversi disajikan pada Tabel 4.1.

Titrasi dilakukan terus sehingga sampel yang berwarna biru tua menjadi putih susu. Dari hasil titrasi dapat dihitung bobot gula reduksi dengan menggunakan rumus penentuan gula reduksi dan diperoleh hasil akhir kadar gula reduksi dalam sampel yaitu larutan yang mengandung *Paecilomyces* sp. seperti disajikan pada Tabel 4.2.

Hasil yang tertera pada Tabel 4.2 tersebut di atas merupakan kadar gula reduksi berupa glukosa dan fruktosa dalam sampel. Asumsi ini dibuat berdasarkan perkiraan bahwa glukosa dan fruktosa adalah yang paling dominan dalam sampel.

Kadar gula reduksi sebelum inversi untuk sampel 1 rata-rata = $\frac{1}{2}(4,5 + 5,0) = 4,75\%$ dan untuk sampel 2 rata-rata = $\frac{1}{2}(3,25 + 2,75) = 3\%$. Sedangkan kadar gula reduksi setelah inversi untuk sampel 1 rata-rata = $\frac{1}{2}(0,95 + 1,45) = 1,2\%$ dan untuk sampel 2 rata-rata = $\frac{1}{2}(0,35 + 0,25) = 0,3\%$. Hal ini berarti bahwa kapang *Paecilomyces* sp. meman-

faatkan glukosa tersebut belum seluruhnya dalam waktu tiga hari, masih ada sisa atau belum perlu adanya penambahan. Akan tetapi untuk sampel 2 hampir keseluruhannya terpakai karena banyaknya glukosa hampir setengahnya dari sampel 1, sedangkan populasinya hampir sama. Hal ini dapat dilihat dari besarnya penurunan kandungan glukosa dalam media, untuk sampel 1 penurunan dari sebelum inversi dan setelah inversi sebesar 74,7%, sedangkan untuk sampel 2 sebesar 90,0%. Glukosa merupakan sumber karbon yang sangat baik bagi pertumbuhan kapang *Paecilomyces* sp.

Ketepatan dalam analisis gula reduksi juga dipengaruhi oleh kemurnian sampel. Senyawa pengotor seperti asam amino dan asam askorbat juga memiliki kemampuan sebagai reduktor sehingga dapat mengganggu jalannya analisis. Zat-zat tersebut sebaiknya dihilangkan terlebih dahulu.

V. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa:

- Glukosa merupakan sumber karbon yang sangat baik bagi pertumbuhan kapang *Paecilomyces* sp.



- Penurunan glukosa dalam media untuk sampel 1 sebesar 74,7%, sedangkan untuk sampel 2 sebesar 90,0%.
- Glukosa yang terdapat dalam media dengan waktu inkubasi tiga hari masih tersisa.

KEPUSTAKAAN

1. Domsch, K.H., W. Gams & T.H. Anderson, 1980, *Compendium of Soil Fungi*, Vol 1. Academic Press, Toronto.
2. Giese, A.C., 1973, *Cell Physiology*, 4th Ed., W.B. Saunders Company.
3. Griffin, D.H., 1981, *Fungal Physiology*, John Wiley & Sons, London.
4. Hinkle, P.C. dan R.E. McCarty, 1978, *Membrane Structure and Cellular Energetics*, Chapter III.
5. Lehninger, A.L., 1975, *Biochemistry*, 2nd Ed., Worth Publishers, 1975.
6. Lehninger dan Maggy Thenawijaya, 1997, *Dasar-Dasar Biokimia*, Gramedia.
7. Nur Halim, 1986, "Kegunaan dan Prospek Studi Transpor Biomembran", *Proceedings Simposium Nasional Biomembran*, Bandung. •