

Proses Kehidupan di dalam Sel

Dr. Darmadi Goenarso

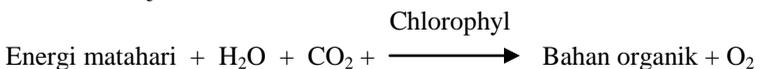


PENDAHULUAN

Setiap organisme hidup melaksanakan proses dasar tertentu yang diperlukan untuk menunjang kehidupannya. Sumber energi diperlukan untuk proses-proses seperti tumbuh, berkembang dan memperbanyak diri. Tanaman mengubah energi sinar matahari, melalui penyerapan oleh klorofil dan melalui serangkaian reaksi kimia yang rumit, menjadi energi kimia. Tanaman menggunakan bahan sederhana (air, karbondioksida dan unsur hara) untuk membentuk molekul organik yang kompleks. Selanjutnya molekul-molekul ini digunakan untuk membangun jaringan-jaringan tumbuhan itu sendiri. Hewan tidak memiliki kemampuan untuk melaksanakan proses fotosintesis, karenanya harus mencerna makanan yang berasal dari tumbuhan atau hewan lain untuk memperoleh bahan-bahan organik yang sudah terbentuk. Berbagai senyawa ini selanjutnya digunakan sebagai bahan untuk membangun tubuh maupun sebagai energi yang diperlukan untuk berbagai aktivitasnya.

Secara umum, proses sintesis pada tumbuhan merupakan reaksi-reaksi kimia (reduksi) yang mengarah pada penyimpanan energi dalam bentuk terikat pada molekul organik. Sedang pada hewan energi digunakan untuk keperluan hidupnya, dengan membalikkan arah proses kimia yang terjadi pada tumbuhan. Serangkaian reaksi oksidasi kimia memecah molekul organik menjadi komponen sederhana sambil melepaskan energi yang terikat. Reaksi keseluruhan dapat disederhanakan seperti berikut:

1. Tumbuhan hijau:



2. Hewan:



Sebenarnya kedua rangkaian reaksi kimia tersebut dapat terjadi pada tumbuhan. Sebagian bahan organik yang telah dibentuknya dipecah lagi untuk memperoleh energi kimia pada saat energi matahari tidak tersedia.

Semua organisme hidup secara tetap mengambil bahan-bahan dari sekelilingnya, menggunakan untuk keperluan hidupnya, dan mengembalikan bahan dalam bentuk lain kembali ke lingkungannya. Proses yang dinamis ini harus terus berlangsung, meskipun tampaknya berbagai organisme tidak mengalami perubahan. Hal ini perlu untuk mempertahankan kehidupan. Karenanya proses hidup sering dikatakan sebagai suatu keadaan mapan yang dinamis (**dynamic steady state**).

Untuk melaksanakan proses hidup yang minim, hewan harus memperoleh oksigen dan bahan organik dan mengembalikan ke lingkungannya berupa senyawa karbondioksida, air dan beberapa senyawa kimia buangan yang tidak dapat lagi dimanfaatkannya.

Tubuh hewan terdiri dari berbagai bagian. Setiap bagiannya melangsungkan fungsi khusus. Bagian yang dapat melangsungkan fungsi khusus ini disebut **organ**. Misalnya lambung adalah organ untuk melaksanakan pencernaan. Organ-organ di dalam tubuh, secara fisiologi bukan merupakan bagian yang terpisah, melainkan membentuk suatu kumpulan organ yang berfungsi secara terkoordinasi (ciri makhluk hidup). Dua atau lebih organ secara bersama-sama melangsungkan satu tujuan tertentu dalam tubuh. Kerja sama antar organ di dalam tubuh untuk mencapai maksud tertentu dinamakan **sistem**. Misalnya mulut, esofagus, lambung, usus dan lainnya termasuk ke dalam sistem pencernaan, karena secara bersama-sama melaksanakan tugas dengan tujuan untuk mencerna; hingga bahan organik yang masuk ke dalam tubuh dapat diserap dan disebarkan dengan bantuan sistem lain (peredaran darah). Selain itu dalam makhluk hidup yang kompleks terdapat juga berbagai sistem, seperti pernapasan, saraf, otot, peredaran darah, ekskretori, endokrin, pengaturan suhu, dan lain sebagainya.

Bila kita ingin memperhatikan sebuah organ lebih rinci, misalnya dengan sebuah mikroskop, ternyata bahwa organ terdiri dari beberapa macam struktur yang masing-masing mempunyai tugas yang berbeda, dinamakan **jaringan**. Misalnya, jaringan otot dan kelenjar terdapat pada saluran pencernaan makanan. Makanan yang berada dalam saluran pencernaan dapat bergerak dengan bantuan aktivitas otot. Selanjutnya kelenjar pencernaan menghasilkan sekretnya untuk lebih meng"halus"kan bahan makanan, menjadi senyawa yang lebih sederhana agar dapat diabsorpsi oleh sel.

Bila kita lihat lebih rinci lagi, misalnya dengan bantuan mikroskop, tampak bahwa jaringan sebenarnya dibangun oleh sejumlah besar sel. Bila kita menggunakan mikroskop yang lebih canggih (mikroskop elektron), atau dalam pengamatan ini menggunakan berbagai peralatan canggih lain, maka dapat diketahui bahwa sel dibangun oleh bahan hidup yang dikenal sebagai **protoplasma** yang berisi berbagai komponen di dalamnya. Pada protoplasma inilah terjadi berbagai proses hidup.

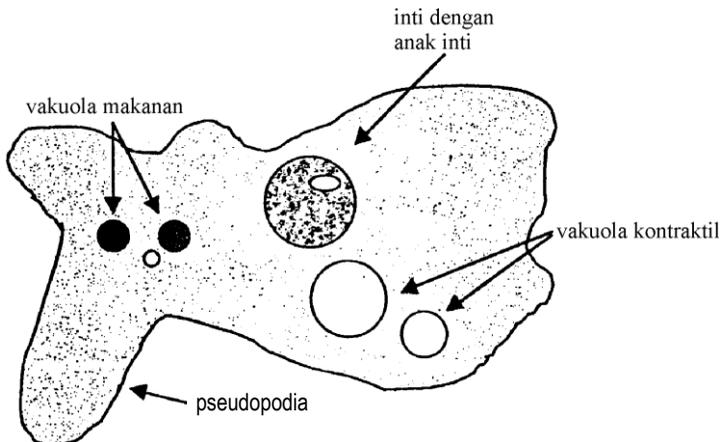
Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat:

1. menjelaskan kepentingan air bagi organisme hidup;
2. menjelaskan berbagai bahan atau senyawa yang terkandung di dalam sel yang diperlukan untuk hidupnya;
3. menjelaskan proses perubahan (penguraian atau pembentukan) senyawa yang terkandung di dalam sel;
4. menjelaskan berbagai ciri pada protoplasma/sel hidup;
5. menjelaskan hukum Termodinamika, berkaitan dengan pertukaran energi.

KEGIATAN BELAJAR 1

Protoplasma

§ erbagai hewan hidup dapat dibangun lebih dari satu sel atau dapat pula terdiri hanya satu sel. Marilah kita perhatikan organisme hidup yang terdiri hanya dari satu sel. Contohnya, seekor *Amoeba*, suatu jasad perairan dengan diameter tubuh sebesar kurang lebih 0,25 mm. Jasad ini terdiri dari bahan yang dinamakan **protoplasma**. Protoplasma, merupakan bahan hidup yang terdiri dari bagian yang lebih cair, dinamakan **sitoplasma**, dan yang mengelilingi bagian yang lebih padat dan berbentuk hampir bulat, dinamakan **inti**. Sitoplasma diliputi selaput halus yang dinamakan **membran plasma**. Di dalam sitoplasma terdapat berbagai bentuk yang lebih halus seperti benang-benang, butiran, rongga, dan lain sebagainya (Gambar 1.1). Protoplasma dibangun oleh sejumlah besar bahan kimia. Unsur-unsur yang sering terdapat dalam protoplasma adalah: karbon, oksigen, nitrogen, hidrogen, fosfor, belerang, natrium, kalium, kalsium, magnesium, klorida, iodium, besi, dan tembaga.



Gambar 1.1
Inti dengan anak inti, vakuola makanan, vakuola kontraktil, dan pseudopodia *Amoeba* (kaki semu)

A. BAHAN YANG MEMBANGUN PROTOPLASMA

1. Air

Air merupakan 50 % hingga 90 % bagian protoplasma. Hampir semua protoplasma akan mati bila kekurangan air. Beberapa sifat khusus air yang menyebabkan cocok untuk kehidupan adalah:

- a. Pada suhu di mana makhluk itu hidup, air dalam fase cair.
- b. Air merupakan pelarut yang baik
- c. Air merupakan penyerap panas yang baik sekali, sehingga dapat berperan dalam pengaturan suhu tubuh.
- d. Air merupakan penyalur panas yang baik, sehingga panas tubuh dapat merata ke seluruh bagian tubuh.
- e. Air memiliki panas penguapan yang tinggi, sehingga dapat menurunkan suhu tubuh bila sedang demam.
- f. Air tidak dapat bercampur dengan lemak, sehingga membran sel dapat menjaga agar isi sel tidak mengalir keluar.
- g. Dissosiasi air sangat rendah sehingga pH air bersifat netral.

2. Bahan Anorganik

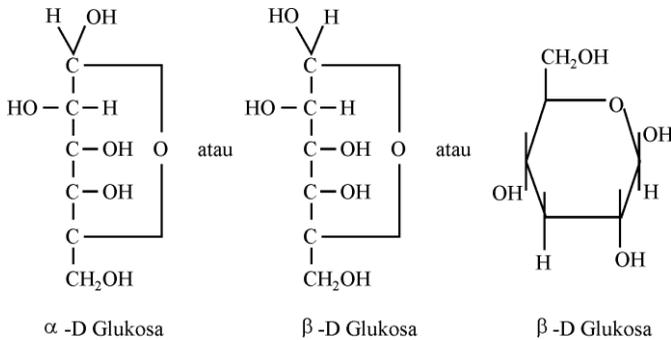
Bahan anorganik terdiri dari senyawa terlarut dan utamanya terbentuk dari unsur klorida, sulfat, fosfat dan karbonat dengan natrium, kalium, kalsium, dan magnesium. Jumlah setiap senyawa di dalam protoplasma dapat bervariasi, bergantung pada jenis sel. Namun seperti halnya air, berbagai senyawa tersebut harus selalu ada karena diperlukan bagi kehidupannya.

3. Bahan Organik

Setiap senyawa yang mengandung karbon, kecuali CO (karbon monoksida), CO₂ (karbondioksida), dan garam-garam karbon dengan logam, dinamakan sebagai senyawa organik. Beberapa kelompok utama bahan organik adalah: karbohidrat, lemak, protein, dan asam inti (asam nukleat). Selanjutnya akan dibahas ciri-ciri beberapa bahan organik utama.

a. Karbohidrat (*hidrat-arang*)

Senyawa ini terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Karbohidrat dapat dibagi ke dalam beberapa kelas : monosakarida, disakarida dan polisakarida.

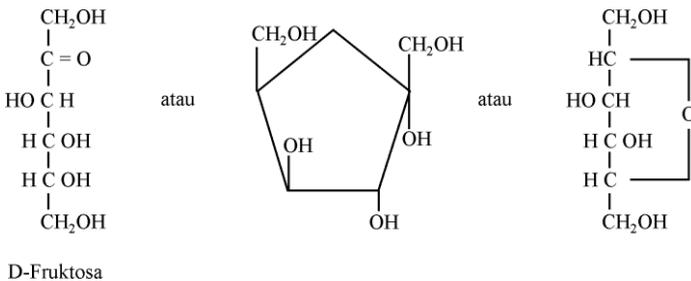


Gambar 1.2

Struktur glukosa dan beberapa cara penampilannya (konfigurasi molekul)

1) Monosakarida

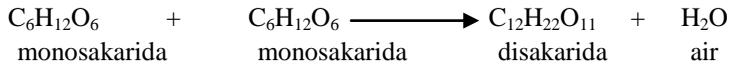
Monosakarida biasanya dinamakan sebagai **gula sederhana** dengan rumus kimia $C_6H_{12}O_6$. Contohnya adalah **glukosa** atau gula anggur (Gambar 1.2), **fruktosa** (Gambar 1.3) atau **levulosa** dan **galaktosa**. Gula ini mempunyai rasa manis, bereaksi netral, dapat dikristalkan, larut dalam air dan mudah terdialisis. Glukosa dan fruktosa dapat diperoleh dari buah-buahan, biji-bijian, akar tanaman dan madu lebah. Glukosa terdapat juga dalam darah ($\pm 0,1\%$), merupakan energi yang terkandung di dalam tubuh yang dapat didistribusikan ke berbagai tempat. Salah satu cara untuk mendeteksi gula dalam urin atau cairan lain, dilakukan dengan uji "**Benedict**".



Gambar 1.3 Struktur fruktosa dan beberapa cara penampilannya

2) Disakarida

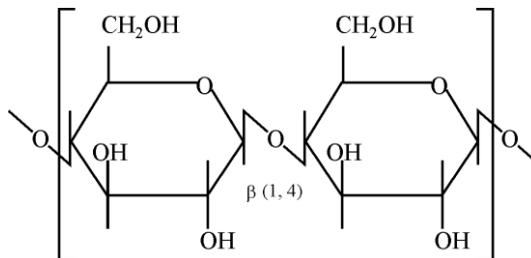
Disakarida merupakan gabungan dua molekul gula sederhana dengan melepas satu molekul air, reaksi kimianya dapat ditulis seperti di bawah ini :



Contoh disakarida adalah : **sukrosa** (gula yang sering digunakan untuk keperluan sehari-hari), dibentuk dari glukosa dengan fruktosa. Contoh lain adalah: **maltosa**, merupakan gabungan dua molekul **glukosa**; dan **laktosa**, atau gabungan glukosa dengan galaktosa. Sukrosa ditemukan pada beberapa tanaman (tebu dan bit), laktosa terbentuk dalam proses peragian tepung gandum; laktosa (**lac, lactis** = susu) sumbernya dari hewan, hanya dijumpai dalam susu. Disakarida juga mempunyai rasa manis, dapat dikristalkan, larut dalam air, dapat terdialisis. Kecuali monosakarida, kehadiran disakarida juga dapat dideteksi dengan larutan Benedict. Laktosa mudah diurai menjadi asam laktat oleh bakteri tertentu. Bila dipanaskan setelah diberi asam atau bila dicampur dengan enzim tertentu misalnya pada peristiwa pencernaan, disakarida akan terurai menjadi monosakarida.

3) Polisakarida

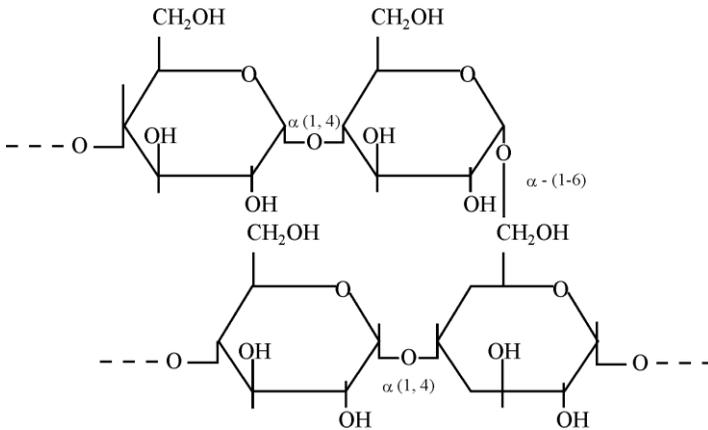
Polisakarida merupakan hasil penggabungan sejumlah monosakarida dan tidak mengandung air, mempunyai rumus umum $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Contohnya adalah: **tepung** atau **amilum**, **dextrin**, dan **selulosa** yang merupakan cadangan karbohidrat tanaman (Gambar 1.4), sedangkan glikogen (Gambar 1.5) merupakan cadangan “gula” bagi hewan.



Gambar 1.4 Struktur tepung atau amilum

Bila polisakarida dididihkan setelah dicampur dengan asam kuat atau bila polisakarida dicampur dengan enzim yang sesuai, molekul yang besar ini akan terurai menjadi sejumlah monosakarida. Pada proses ini, satu molekul air akan terikat pada setiap molekul monosakarida yang terbentuk. Reaksi kimia ini dikenal sebagai **hidrolisis**.

Kita mengenal berbagai macam polisakarida yang masing-masing mempunyai sifat sangat berlainan. Secara umum polisakarida tidak dapat dikristalkan dan tidak mempunyai rasa tertentu. Tidak dapat membentuk larutan yang baik dan karenanya tidak terdialisis. Selain dekstrin, polisakarida tidak dapat mereduksi larutan Benedict. Bila direaksikan dengan larutan yodium, memberikan warna spesifik, tepung memberikan warna biru, glikogen menjadi merah gelap, dekstrin (eritrodekstrin) memberikan warna merah. Reaksi warna ini digunakan sebagai pengujian terhadap berbagai jenis polisakarida.



Gambar 1.5

Struktur glikogen, suatu polimer besar dari glukosa, merupakan karbohidrat utama dalam bentuk tersimpan dalam sel hewan

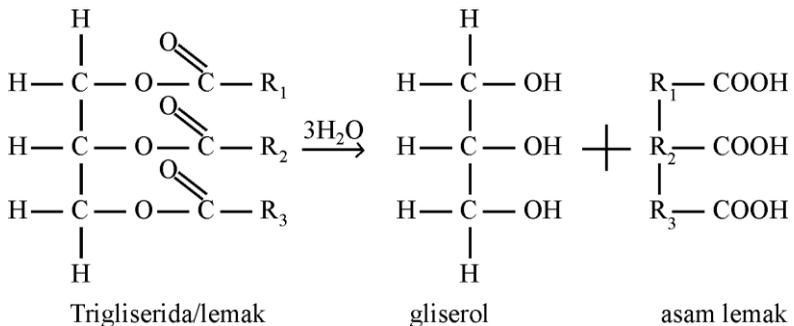
b. Lipid (Lemak)

Lipid merupakan kelompok senyawa yang terdiri dari karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Di dalam lipid terdapat asam-asam lemak atau turunannya. Ciri lain lipid, dapat larut dalam beberapa pelarut seperti aseton, alkohol, eter, dan kloroform. Selain itu oksidasi lipid menimbulkan panas lebih tinggi dan membutuhkan oksigen lebih banyak dibandingkan dengan oksidasi karbohidrat.

Lemak dibutuhkan di dalam makanan untuk

- 1) memperoleh asam-asam lemak utama yang **tidak jenuh**, seperti linoleat, linolenat, dan arakhidonat;
- 2) mendapatkan energi.

Lemak merupakan ester dari asam lemak dengan gliserol, merupakan suatu trigliserida (Gambar 1.6). **Fosfolipid**, terdiri dari asam lemak, gliserol dan asam fosfat, senyawa nitrogen dan komponen lain. Fosfolipid merupakan komponen sangat penting pembangun mitokondria dan jaringan saraf. **Glikolipid** adalah senyawa yang mengandung asam lemak, karbohidrat, dan kompleks alkohol-amin. **Sterol** adalah senyawa alkohol siklik yang mempunyai berat molekul besar, contohnya adalah kolesterol. Lipid lain yang penting adalah sphingolipid dan lipoprotein. **Lipoprotein**, suatu lemak yang bergabung dengan protein yang terdapat dalam serum dan jaringan otak. **Lipid** merupakan bagian penting pada membran sel. Bagian terbesar energi yang dibutuhkan oleh jaringan hidup diperoleh dari lipid. Biasanya, energi akan dihasilkan dari oksidasi campuran senyawa lipid dengan karbohidrat dalam perbandingan yang sesuai. Sebenarnya metabolisme lipid berkaitan dengan metabolisme karbohidrat.



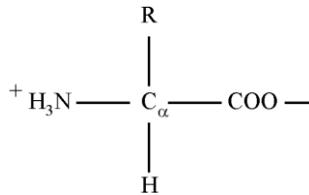
Gambar 1.6 Struktur gliserol dan lemak atau trigliserida

c. Protein

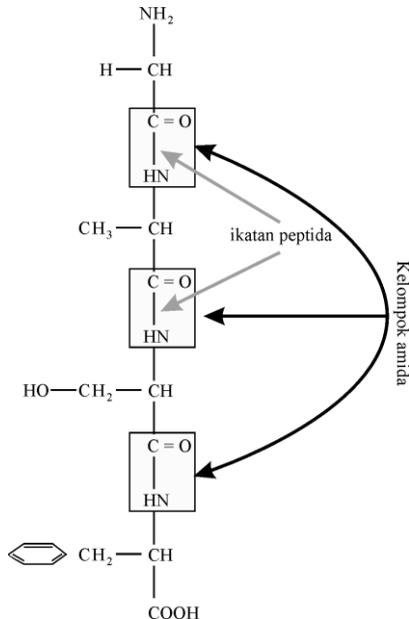
Protein merupakan salah satu senyawa yang paling kompleks. Kompleksitasnya disebabkan oleh jumlah unsur yang membangunnya paling sedikit lima bahkan seringkali lebih dari lima dan molekulnya sangat besar.

Bila suatu protein, misalnya albumin telur, dididihkan bersama dengan suatu asam atau bila protein dicerna oleh enzim, akan terurai menjadi sejumlah molekul-molekul sederhana dinamakan **asam amino**. Dari proses kimia tersebut dapat disimpulkan bahwa molekul protein dibangun oleh sejumlah besar molekul -molekul **asam amino** (Gambar 1.7).

Beberapa molekul asam amino saling terikat dengan **ikatan peptida** (Gambar 1.8) membentuk polipeptida, suatu rantai yang tidak terlalu panjang. Bila rantai yang terbentuk sangat panjang (berat molekulnya lebih dari 4000), struktur molekul tersebut dinamakan **protein**.



Gambar 1.7. Rumus umum asam amino



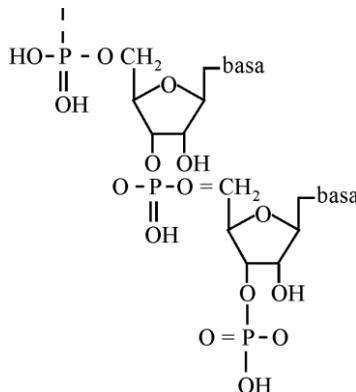
Gambar 1.8 Asam amino terikat dengan ikatan peptida

Berbagai macam protein dapat dijumpai dan masing-masing berbeda satu dengan lainnya dalam komposisi, kelarutan, dan reaksi kimianya. Beberapa protein dapat larut dalam larutan garam yang encer misalnya susu, darah dan lymph, hanya sedikit yang dapat larut dalam air. Hampir semua protein tidak terdialisis, dengan perkataan lain, protein tidak dapat melewati membran baik pada jaringan tumbuhan maupun hewan, seperti pada kantung kemih, paru-paru ataupun perikardium; karenanya protein termasuk ke dalam kelompok senyawa yang sering disebut **koloid**.

Protein dapat dibagi ke dalam dua kelompok besar atas dasar komposisi yang membangunnya: **protein sederhana** dan **protein terkonjugasi**. Protein sederhana bila dihidrolisis hanya akan menghasilkan asam-asam amino. Protein terkonjugasi dibangun oleh protein sederhana dan senyawa lain misalnya: **kromoprotein**, seperti hemoglobin, sitokrom dan flavoprotein, merupakan protein sederhana yang bergabung dengan senyawa pigmen.

Nukleoprotein (protein inti) merupakan kombinasi asam inti dengan protein. Senyawa ini yang menentukan karakteristik setiap jasad hidup. Glikoprotein adalah musin (bagian lendir) yang terdapat pada ludah (saliva) dan juga merupakan hasil sekresi membran mukosa. Senyawa ini merupakan gabungan antara karbohidrat dengan protein. **Fosfoprotein** merupakan gabungan antara asam fosfat dengan protein.

Senyawa protein dapat dideteksi dengan berbagai reaksi warna seperti : **biuret, ninhydrin, xanthoprotein** dan **Millon**.



Gambar 1.9 Struktur nucleotida dan asam inti

d. Asam Inti

Fungsi utama asam inti

- 1) menyangkut pengendalian dalam pertumbuhan sel, reproduksi, diferensiasi.
- 2) berperan dalam proses penerusan sifat ke generasi berikutnya (**hereditas**).

Secara struktur, asam inti merupakan rangkaian (polimer) nukleotida (Gambar 1.9) yang terdiri dari basa purin atau pirimidin, gula pentosa, dan bagian dari asam fosfat. Antar nukleotida membentuk ikatan fosfodiester. Asam inti merupakan senyawa kompleks yang pertama diisolasi dalam bentuk DNA (**Deoxyribonucleic acid**) dari sel darah putih dan sperma ikan oleh Friedrich Miescher pada tahun 1869. Kelompok kedua asam inti adalah RNA (**Ribonucleic acid**) yang bertugas dalam menjabarkan pesan dari DNA dalam mensintesis protein.

B. CIRI PROTOPLASMA

1. Sifat fisiologis protoplasma

Beberapa sifat fisiologis protoplasma diantaranya adalah iritabilitas, konduktivitas, kontraktilitas, metabolisme, ekskresi, tumbuh dan reproduksi.

Suatu struktur yang hidup dalam kondisi yang cocok akan tampak seperti suatu kesehatan yang utuh (**permanent**) dan stabil (**constant**). Walaupun dalam keadaan “istirahat” protoplasma tetap melakukan berbagai aktivitas.

Suatu sel hidup atau organisme tidak dapat disamakan sebagai sebuah mesin yang terdiri dari bahan-bahan yang permanen, juga merupakan tempat untuk mengurai bahan yang mengandung energi dan menyediakan energi yang dibutuhkan untuk proses-proses hidup. Pada sel hidup terjadi proses proses yang berkelanjutan, penguraian dan pembentukan kembali bahan yang kaya akan energi. Proses yang terjadi antara penghancuran dan sintesis ini saling mengisi secara teratur, hingga sel atau organisme tampak seolah-olah tidak mengalami perubahan, atau sel dikatakan dalam keadaan **fisiologis seimbang**. Penamaan ini kurang sesuai, karena sebenarnya yang terjadi di dalam protoplasma bukan dalam keadaan seimbang, lebih tepat bila dikatakan dalam “keadaan mapan yang dinamis” (**steady state**).

a. *Iritabilitas atau Eksitabilitas*

Perubahan sedikit di suatu lingkungan dapat menyebabkan perubahan aktivitas makhluk hidup. Bila seekor *Amoeba* yang sedang diam diganggu dengan meneteskan larutan asam encer di dekatnya, dengan segera akan menampakkan perubahan bentuk selnya.

Iritabilitas didefinisikan sebagai ciri protoplasma atau ciri organisme hidup yang mampu untuk bereaksi terhadap rangsangan. Perubahan yang terjadi di lingkungan luar atau di dalam tubuh makhluk itu sendiri, dapat merupakan rangsangan (**stimulus**) yang dapat menimbulkan suatu aktivitas atau perubahan. Diantara perubahan-perubahan di alam yang dapat menimbulkan rangsangan, misalnya: suhu (panas dan dingin), sinar (cahaya), akustik (suara), senyawa kimia dan tekanan fisik (tumbukan, tarikan).

Penamaan **eksitabilitas** seringkali menggantikan iritabilitas. Bila suatu stimulus menyebabkan perubahan di dalam protoplasma, dikatakan protoplasma tersebut dalam keadaan “**eksitatori**” (**excite** = bangkit). Dan berlanjut dengan adanya suatu aktivitas pada protoplasma. Aktivitas dapat berbentuk kontraksi pada sel otot, atau terbentuk air mata pada kelenjar air mata. Eksitabilitas merupakan sifat dasar yang umum pada semua protoplasma dan karenanya hal ini digunakan sebagai ciri untuk membedakan antara sel yang hidup dengan yang mati.

Istilah **otomatisitas** telah lazim diberikan pada organ, yang masih dapat melakukan aktivitas yang wajar tanpa bantuan rangsangan dari luar, meskipun telah dikeluarkan dari tubuh asalnya. Keadaan otomatis ini merupakan hasil rangsang dari dalam organ tersebut. Bila suatu rangsang dapat menimbulkan perubahan pada protoplasma, suatu saat terhenti, protoplasma akan dapat kembali ke keadaan awalnya. Ini membuktikan bahwa protoplasma mampu melakukan pemulihan ke bentuk awal.

b. *Konduktivitas*

Pemberian rangsangan pada bagian tubuh tertentu dapat menimbulkan aktivitas di tempat lain. Contohnya rangsangan terhadap organ penciuman melalui aroma makanan, akan menyebabkan kelenjar ludah menjadi lebih aktif. Organ penciuman dihubungkan melalui sistem saraf dengan kelenjar ludah. Aroma (rangsangan) yang sampai pada reseptor pencium diteruskan melalui sel saraf ke kelenjar ludah, hingga kelenjar menjadi aktif.

Kemampuan protoplasma untuk meneruskan rangsang dikenal sebagai **konduktivitas**. Konduktivitas di dalam sel dapat diartikan sebagai

kemampuan untuk menyampaikan berita atau informasi dari satu tempat ke bagian lain dalam protoplasma. Seperti halnya eksitabilitas, konduktivitas juga terdapat pada setiap sel, tetapi kedua sifat ini berada dalam keadaan yang terbaik pada sel-sel saraf. Aliran yang dapat membangunkan (**to excite**) sel saraf harus berasal dari sumber rangsang yang cukup kuat.

c. *Kontraktilitas*

Salah satu ciri yang paling menarik pada hewan adalah kemampuan untuk menggerakkan beberapa bagian tubuhnya atau mengubah posisinya. Gerakan itu merupakan reaksi terhadap rangsang dari sekelilingnya. Ini merupakan keadaan yang kontras bila dibandingkan dengan benda mati yang tidak dapat bergerak. Bila seekor *Amoeba* diamati, pada suatu saat dapat menampakkan tonjolan pada satu sisi yang disebut sebagai **pseudopoda** (kaki semua atau palsu). Pada saat yang sama, protoplasma pada sisi lainnya bergerak ke arah terbentuknya tonjolan tadi. Dengan mengubah bentuknya, *Amoeba* dapat bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Perubahan bentuk sel seperti diuraikan diatas dinamakan **kontraktilitas**.

Tidak semua sel di dalam tubuh hewan yang kompleks mampu untuk menjalankan sifat kontraktilitas ini. Di dalam tubuh manusia ada dua struktur yang mampu untuk melakukannya, yaitu: **otot** dan **leukosit** (sel darah putih). Dengan kontraksi sejumlah sel otot secara serentak, sebuah otot dapat memendek dan menambah ketebalannya. Leukosit menunjukkan sifat kontraktilitasnya dengan pembentukan dan penarikan pseudopoda seperti halnya pada *Amoeba*.

d. *Metabolisme*

Sifat-sifat fisiologi protoplasma ditunjang dengan penggunaan energi. Penggunaan energi yang terus menerus oleh protoplasma pada sebuah sel, mengakibatkan kebutuhan energi yang sesuai untuk pemulihannya. Aktivitas yang menyangkut kebutuhan dan penggunaan energi ini dikelompokkan ke dalam aktivitas metabolisme. Metabolisme, termasuk seluruh perubahan materi dan energi yang terjadi di dalam tubuh, dalam makna yang luas aktivitas ini menyangkut pengertian hidup.

Sebelum diuraikan lebih lanjut tentang berbagai aktivitas yang menyangkut proses metabolisme, kita telaah dahulu secara singkat tentang energi.

Terdapat berbagai bentuk energi, seperti panas, cahaya, bunyi, mekanis, listrik, kimia, dan atom. Ada dua macam energi yang dikenal, yaitu energi kinetis (bergerak) dan energi potensial (setempat).

Energi kinetis merupakan energi gerak, yang bentuknya dapat berupa energi mekanis pada benda bergerak. Misalnya energi yang dimiliki oleh angin, arus air, aliran darah. Selain itu setiap molekul yang bergerak akan menimbulkan energi panas.

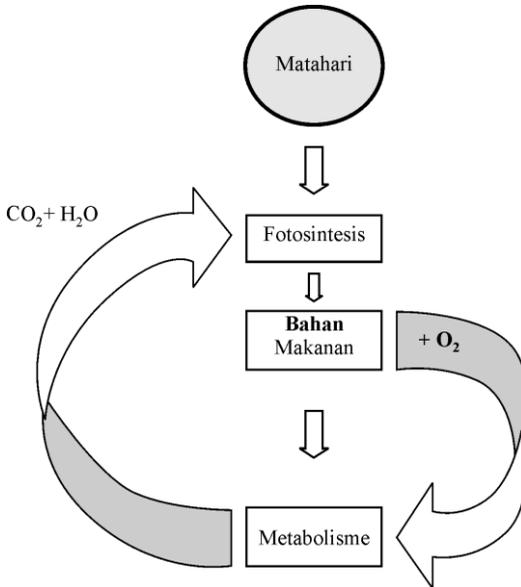
Energi potensial, dapat dianggap sebagai energi tersimpan. Energi dalam bentuk demikian belum menghasilkan suatu perubahan, tetapi ada kekuatan yang tersembunyi; bila dikeluarkan dalam kondisi yang cocok akan mampu melakukan kerja. Misalnya pada per spiral, bahan pemberat timbangan atau molekul glukosa, memiliki energi potensial.

Energi potensial kimia. Bila kita mengalirkan arus listrik di dalam air, akan terjadi penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Energi dari arus listrik menghilang. Ternyata energi ini bergabung dengan atom hidrogen dan atom oksigen. Karena terdapat daya tarik antara atom-atom yang terpisah tadi, timbulah energi potensial karena pemisahan yang dikenal sebagai **energi potensial kimia**. Energi potensial kimia menyatakan kemampuan suatu senyawa untuk melaksanakan kerja dengan mengalami perubahan. Unsur C (karbon) dan O (oksigen) mengandung energi potensial kimia. Pada suhu tertentu keduanya bergabung dan energinya menjadi energi kinetis dalam bentuk panas dan cahaya. Gabungan unsur oksigen dengan unsur lain atau dengan suatu senyawa dinamakan **oksidasi** atau istilah sehari-hari adalah pembakaran. Semua senyawa organik (mengandung C dan O atau C, H, dan O) mudah teroksidasi, yaitu mempunyai kemampuan untuk mengikat oksigen lebih banyak. Akibatnya memiliki energi potensial lebih besar lagi. Senyawa-senyawa jenis ini terdapat dalam bentuk makanan, seperti lemak, karbohidrat atau protein.

Sumber energi untuk kehidupan hewan. Berasal dari pakan (energi potensial), yang dimakan hewan, langsung atau tidak langsung berasal dari tumbuh-tumbuhan. Tumbuhan mampu membuat atau membangun berbagai senyawa dari senyawa anorganik sederhana, seperti air, CO₂, nitrat, sulfat dan fosfat menjadi senyawa organik yang kompleks misalnya: gula, tepung, lipid dan protein.

Senyawa - senyawa organik ini berisi energi potensial yang besar, terbentuk dari senyawa berenergi rendah; karenanya dalam pembentukannya diperlukan sumber energi dari luar. Di dalam klorofil (pigmen hijau daun

pada tumbuhan), energi cahaya dapat menimbulkan serangkaian perubahan kimia yaitu, mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik, misalnya glukosa. Energi cahaya dapat diubah menjadi energi potensial kimia dan tersimpan di dalam senyawa yang terbentuk (Gambar 1.10).



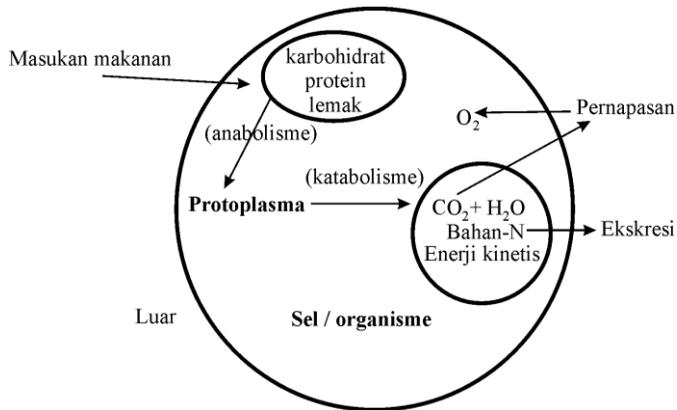
Gambar 1.10. Siklus energi yang menyokong berbagai proses kehidupan.

Proses ini disebut **fotosintesis** yang dapat diekspresikan dengan rumus persamaan seperti berikut:



Beberapa molekul CH_2O bergabung membentuk $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ yaitu glukosa. Gula sederhana ini merupakan bahan dasar untuk membangun karbohidrat lain, lemak, dan protein. Dengan adanya penyerapan atau penyimpanan energi maka proses fotosintesis dikatakan sebagai proses dasar yang merupakan sumber ketergantungan kehidupan hewan. Hewan tidak dapat melakukan proses tersebut, karena mereka memakai tumbuhan secara langsung (pada kelompok hewan herbivor) atau tidak langsung (pada

kelompok hewan karnivor). Tumbuhan yang dapat membuat energi sendiri dan kaya akan energi dalam bentuk karbohidrat, lemak, dan protein (Gambar 1.11). Sehingga semua hewan dapat dianggap sebagai predator.



Gambar 1.11. Masukan dan keluaran bahan ke/dari sel atau organisme.

C. TERMODINAMIKA DALAM PROSES BIOLOGI

Selanjutnya akan dibahas sedikit beberapa teori termodinamika yang menyangkut pertukaran energi yang berlangsung antara makhluk hidup dengan sekitarnya.

Termodinamika adalah studi tentang hubungan kuantitatif antara panas dengan energi bentuk lain. Dalam termodinamika terkandung pengertian teori dasar tentang perubahan energi dan proses pengangkutannya, termasuk difusi, osmosis, mengalirnya suatu cairan melalui saluran, pembentukan potensial listrik pada membran, pertukaran panas, arah dan laju reaksi kimia, dan berbagai proses lain yang berada dalam fisiologi hewan. Berbagai bentuk energi yang sering berada di sekitar kita, telah disebutkan di atas seperti: kinetis, potensial, gaya tarik bumi (gravitasi), listrik, kimia, panas dan energi cahaya. Energi harus dijaga agar tidak hilang; energi tidak dapat diciptakan atau dirusak tetapi dapat berubah dari bentuk satu menjadi bentuk lainnya.

Hubungan antara energi kinetis dengan energi potensial dinyatakan dalam hukum termodinamika. Terdapat dua cabang yang menyangkut pengertian termodinamika :

1. Termodinamika yang “**reversibel**” (klasik atau seimbang), terjadi pada sistem yang terisolasi dan tertutup hingga dapat mencapai keseimbangan.
2. Termodinamika yang “**irreversibel**” (tidak seimbang), terjadi pada sistem terbuka yang mampu mencapai keadaan “**steady state**” (mapan yang dinamis), bukan keadaan seimbang.

1. Sistem Terisolasi, Tertutup dan Terbuka

Pengertian sistem disini diterapkan pada bahan dan energi secara bersama-sama yang merupakan subjek termodinamika. Terdapat tiga tipe sistem:

- a. Sistem terisolasi, berarti terisolasi dari sekelilingnya. Dalam suatu sistem yang benar-benar terisolasi, tidak terjadi penambahan atau penyusutan bahan dan energi, karena tidak terjadi pertukaran dengan sistem lain di sekelilingnya. Bagaimanapun juga di dalam sistem tersebut, suatu bahan dapat diubah menjadi energi dan energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Misalnya, energi potensial listrik dapat diubah menjadi panas, cahaya atau suara. Energi kinetis dapat diubah menjadi energi potensial. Misalnya bila sebuah beban diangkat dari tanah ke tempat yang lebih tinggi dan diletakkan pada sebuah penyangga. Pada kejadian tersebut terjadi pengubahan energi kinetis (yang digunakan untuk mengangkat beban) menjadi energi potensial yang dimiliki beban pada posisi yang baru.
- b. Sistem “tertutup”, dapat membentuk sendiri bahan yang diperlukan dan energi yang diperlukan dapat diperoleh dari sekelilingnya. Sistem tertutup dengan lingkungannya merupakan bagian dari suatu sistem terisolasi yang besar.
- c. Sistem terbuka, dapat terjadi pertukaran bahan dan energi dengan sekelilingnya, secara bebas. Organisme hidup benar-benar merupakan sistem terbuka, memperoleh nutrisi (bahan dan energi) dari sekelilingnya dan dapat pula mengeluarkan bahan buangan dan bahan lain ke sekelilingnya. Selama hidupnya organisme tidak pernah mengalami keseimbangan termodinamika, melainkan dapat mencapai keadaan mapan yang dinamis atau suatu keseimbangan fisiologis yang dinamis.

1. Hukum Termodinamika

Organisme hidup merupakan suatu sistem terbuka berlaku suatu keadaan yang irreversibel (tidak seimbang) keadaan yang sangat kompleks meskipun pada organisme yang sangat sederhana sekalipun.

Para ahli biologi mempelajari proses metabolisme yang berlangsung dalam suatu organisme sebagai suatu sistem yang tertutup. Meskipun dengan berbagai keterbatasan namun banyak informasi yang dapat diperoleh melalui pendekatan ini.

Hukum I Termodinamika (hukum kekekalan energi): menyatakan bahwa total energi di dalam sistem yang terisolasi (jagat raya) akan konstan. Energi tidak dapat diciptakan maupun dihilangkan, tetapi dapat diubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lain. Di dalam suatu sistem tertutup (suatu ruang tanpa adanya pertukaran energi melalui pembatas ruang tersebut) berisi sejumlah energi (E). Kandungan energi di dalam ruang ini tetap.

$$\Delta E = 0 \text{ (persamaan energi di dalam sistem tertutup)}$$

Pada sistem terbuka, dapat terjadi pertukaran energi, yang diserap sebagai panas (Q) atau dalam bentuk kerja (W).

$$\Delta E = Q - W \text{ (persamaan energi di dalam sistem terbuka)}$$

Setiap perubahan energi pada sistem terbuka (hewan) harus diikuti dengan perubahan energi dalam jumlah yang sama di lingkungannya, tetapi dengan arah yang berlawanan. Hukum termodinamika pertama menunjukkan hubungan kuantitatif antara perubahan energi (E), kerja yang dilakukan (W) dan panas yang diserap (Q), tetapi tidak menunjukkan arah perubahan energi antara kerja dengan panas.

Hukum II Termodinamika, menyatakan bahwa terjadinya degradasi energi (energi yang dapat dimanfaatkan untuk kerja), tidak dapat dihindarkan, energi berubah menjadi panas. Energi panas dapat diubah menjadi energi bentuk lain yang dapat menghasilkan kerja, namun dengan efisiensi kurang dari 100 %. Bagaimanapun juga energi dalam bentuk tertentu dapat diubah menjadi panas dengan efisiensi kurang dari 100 %. Hukum termodinamika kedua menunjukkan terjadinya peningkatan panas dalam sistem

manapun. Energi “berkualitas lebih tinggi” akan mengalami penyusutan menjadi energi panas (“berkualitas rendah”).

Dari satu molekul glukosa yang dioksidasi di dalam sebuah kalorimeter akan terbentuk CO_2 dan H_2O , dan tidak ada kerja yang dihasilkan. Energi potensial bahan kimia (glukosa) diubah menjadi 673 kcal panas, pada suhu dan tekanan baku.

2. Organisme Hidup dan Sistem Terbuka

Organisme hidup bagaimanapun juga merupakan sistem terbuka (merupakan bagian dari sistem terisolasi jagat raya) yang harus mengikuti hukum termodinamika. Organisme hidup menyerap berbagai molekul kompleks yang memiliki energi bebas berkualitas tinggi, hingga dapat menjaga dirinya dalam keadaan mantap yang dinamis (**steady state**) dan menghindari penghamburan energi. Dalam hidupnya organisme ini perlu melaksanakan tahapan pertumbuhan dan perbanyakan (reproduksi), suatu proses yang sangat terkoordinasi dalam menggunakan energi yang berasal dari makanan.

Organisme hidup dapat bertahan dengan memanfaatkan sisa energi di alam. Bila hubungan dengan sumber energi terputus, organisme akan segera mengalami peluruhan hingga terjadi kematian. Secara mutlak, semua proses biologi bergantung pada penyerapan energi cahaya dari matahari dan energi radiasi panas dari bumi ke angkasa luar.

a. Katabolisme

Protoplasma selalu menunjukkan aktivitas. Aktivitas ini bukan saja mengakibatkan perubahan dari bentuk asal, tetapi juga dalam bentuk produksi panas dan potensial listrik dan juga dalam perubahan secara kimia. Aktivitas tersebut **bukan** menciptakan energi tetapi merupakan mekanisme perubahan energi di dalam protoplasma. Karenanya untuk dapat aktif, kebutuhan akan energi harus dicukupi.

Sumbernya diambil dari energi potensial kimia yang terdapat pada karbohidrat, lipid, dan protein. Senyawa-senyawa ini bukan saja dijumpai dalam makanan, tetapi juga merupakan bagian protoplasma. Agar dapat digunakan dalam proses penting (misal untuk kontraksi otot), maka energi potensial kimia di dalam makanan atau protoplasma harus dilepaskan. Pelepasan energi potensial dikenal sebagai **katabolisme**.

Pengeluaran energi. Bila molekul organik yang besar dipecah menjadi dua atau lebih molekul lebih kecil, molekul yang terbentuk memiliki energi potensial lebih kecil daripada energi yang terkandung di dalam molekul asalnya. Sejumlah energi telah terlepas. Sebagai contoh pada fermentasi glukosa oleh ragi; glukosa diurai menjadi dua molekul karbondioksida (CO_2) dan dua molekul etil alkohol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Proses ini diikuti oleh produksi panas, sebagian dari energi potensial yang terkandung dalam glukosa telah dilepaskan. Hal yang sama terjadi pula di dalam tubuh hewan, bila molekul glukosa dipecah menjadi dua molekul asam laktat ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$). Tetapi bila glukosa mengalami oksidasi sempurna, seluruh energi yang terkandung di dalamnya berubah menjadi energi kinetis.



1) Penggunaan energi yang terlepas

Energi yang dikeluarkan selama katabolisme dapat digunakan oleh protoplasma untuk berbagai keperluan. Dalam protoplasma otot, sejumlah energi yang terlepas, muncul sebagai energi mekanis. Energi mekanis dapat digunakan untuk menggerakkan sebagian atau seluruh tubuh, atau untuk mengalirkan berbagai bahan (darah, makanan) dari satu tempat ke tempat lain dalam tubuh. Di dalam suatu kelenjar, pengeluaran energi digunakan untuk pembuatan bahan (sekret). Di dalam tubuh Mamalia sebagian besar energi yang terlepas (sampai 80%) berada dalam bentuk panas yang dapat digunakan untuk mempertahankan suhu tubuhnya yang sesuai.

Katabolisme terjadi di dalam setiap sel tanpa kecuali, tetapi jumlah katabolisme bervariasi dari satu jenis jaringan atau organ ke jenis lain dan bergantung pada kebutuhannya akan energi. Otot dan beberapa organ lain (seperti: hati) merupakan bagian di dalam tubuh yang paling aktif. Di dalam jaringan ikat, seperti contohnya pada tulang, katabolisme berlangsung kurang aktif.

2) Proses permintaan (kebutuhan) dan pengaturan

Energi yang dilepas akan bermanfaat bila dapat ditangkap dengan baik dan dapat diatur penggunaannya. Misalnya saja terjadi perbedaan manfaat pada pembakaran bensin yang dilakukan secara asal membakar dibandingkan dengan cara pembakaran yang diatur, dalam sistem pembakaran kendaraan bermotor (di dalam karburator kendaraan bermotor terjadi pencampuran

antara bensin dengan oksigen; proses selanjutnya adalah pembakaran; gas yang timbul sebagai hasil pembakaran akan mendorong pompa silinder; akibatnya terjadi putaran mesin atau gerakan kendaraan). Disini dapat dimengerti bahwa sebagian energi kinetis yang terbentuk dapat diubah menjadi energi mekanis yang dapat dipakai dalam menjalankan mesin atau menggerakkan kendaraan bermotor. Dalam hal yang sama tetapi tidak identik, energi kinetis di dalam tubuh juga diperlukan, disebarkan, dikendalikan dan dirangkaikan hingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas tubuh makhluk hidup.

Dalam oksidasi biologis, sebagian besar energi potensial di berbagai senyawa yang dipecah (katabolis) juga diubah menjadi panas. Panas ini digunakan untuk mempertahankan suhu tubuh dan melaksanakan berbagai fungsi metabolisme. Jumlah panas yang terlepas dan tidak dapat digunakan untuk kerja merupakan ukuran dari keadaan yang tidak efisien pada organisme tertentu. Sebagai akibatnya, energi dari luar harus terus dimasukkan, agar tubuh berada dalam keadaan mantap atau “**steady**”. Keadaan ini menggambarkan “keseimbangan” antara energi dari dalam yang terlepas dengan energi dari luar tubuh yang harus dimasukkan; pertukaran ini harus terus berlangsung selama makhluk itu hidup.

b. Anabolisme

Untuk berbagai aktivitas, organisme hidup memerlukan pula energi yang berasal dari penguraian makanan (katabolisme). Selanjutnya untuk mempertahankan eksistensi dan kelangsungan fungsinya maka pada setiap perombakan (katabolisme) harus diikuti mekanisme perbaikan (penyusunan) yang dikatakan sebagai anabolisme.

1) “Menelan”

Langkah awal anabolisme adalah memasukkan berbagai bahan ke dalam tubuh untuk mengganti bagian-bagian yang rusak atau yang telah digunakan. Misalnya seekor **Amoeba** “menelan” bahan makanannya dengan bantuan pseudopoda. Protoplasma sel (tanpa dinding) mengelilingi bahan yang akan ditelan; dan ini disebut **fagositosis**, organismenya disebut **fagosit**. Beberapa jenis sel darah putih (limfosit, monosit) berlaku sebagai fagosit, yaitu dapat menelan bakteri. Pada hewan multisel, menelan makanan berarti memasukkan makanannya ke dalam saluran makanan atau saluran pencernaan.

2) Pencernaan

Molekul-molekul karbohidrat, lemak, dan protein yang berada dalam makanan yang tertelan masih terlalu besar untuk dapat langsung dimanfaatkan dalam pembentukan protoplasma. Tambahan lagi, makanan yang masuk umumnya tidak larut; karbohidrat, lemak dan protein tidak larut dalam air. Pada hewan multisel, sel-sel yang membangun tubuhnya sebagian besar tidak mempunyai kemampuan sebagai fagosit terhadap bahan makanan. Hal ini disebabkan sel-selnya telah terdiferensiasi dan terspesialisasi hingga mempunyai fungsi khusus. Jadi harus melakukan persiapan terlebih dahulu agar bahan makanan ini dapat dimanfaatkan oleh setiap sel yang membangun tubuhnya.

Bila kita perhatikan seekor *Amoeba* yang menelan makanannya, ternyata makanan tadi dihancurkan hingga larut. Proses ini dapat terjadi dengan bantuan senyawa kimia yang dikenal sebagai **enzim**, yang dapat mempercepat proses penguraian molekul makanan besar menjadi molekul lebih kecil. Molekul-molekul yang dihasilkannya dapat lebih mudah larut sehingga dapat dimanfaatkan oleh protoplasma. Proses tersebut tergolong ke dalam **pencernaan**.

3) Penyerapan

Di dalam tubuh manusia penyerapan dilakukan di saluran pencernaan, suatu saluran panjang dan sempit. Hasil pencernaan akan “mengalir” (menembus atau melewati) dinding saluran pencernaan hingga mencapai pembuluh kapiler dan akhirnya masuk ke peredaran darah. Peristiwa ini dinamakan penyerapan (**absorpsi**). Selanjutnya zat makanan akan diedarkan ke seluruh jaringan dan masuk ke setiap sel yang memerlukan, setelah berada dalam cairan jaringan. Perpindahan zat makanan dari satu tempat ke bagian lain hingga berada dalam sel dilakukan melalui **transpor aktif**. Organisme satu sel tidak memiliki saluran pencernaan seperti yang dimiliki hewan multisel. Jadi bahan makanan langsung “diserap” melewati membran selnya. Mekanisme yang berlangsung dapat terjadi melalui transport pasif maupun aktif. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian “transportasi bahan melalui membran”.

c. *Ekskresi*

Oksidasi makanan menghasilkan dua hal:

- 1) pengubahan energi kimia menjadi energi kinetis,
- 2) Pengubahan materi makanan menjadi senyawa lebih sederhana, termasuk bahan-bahan sisa yang harus dibuang.

Ekskresi merupakan usaha sel atau organisme untuk membuang senyawa hasil metabolisme yang tidak dapat dimanfaatkan. Diantaranya adalah air, karbondioksida, urea, dan asam urat. Sebagian akan dibuang melalui proses **ekskresi**. Tubuh manusia memiliki organ khusus untuk melaksanakan proses ini. Bersama senyawa lain, air, urea, dan asam urat dikeluarkan melalui ginjal dan selanjutnya dikeluarkan dari tubuh sebagai urine (air kemih). Sedangkan karbondioksida dan air dikeluarkan lewat paru-paru dan selanjutnya dikeluarkan sebagai uap air di saat mengeluarkan nafas. Sejumlah bahan lain lagi dikeluarkan bersama sisa makanan yang tidak tercerna lewat saluran pencernaan. Organisme sederhana yang terdiri dari satu sel tidak memiliki sistem ekskretori seperti pada hewan yang kompleks. Namun proses ekskresi tetap berlangsung (lihat bagian “transportasi bahan melalui membran”).

d. *Respirasi atau Pernapasan*

Karena bagian terbesar energi potensial kimia dalam makanan dapat dimanfaatkan melalui proses oksidasi, maka masukan oksigen harus terus menerus dilakukan. Dari oksidasi akan dihasilkan gas karbondioksida, yang harus dikeluarkan. Karenanya diperlukan mekanisme pertukaran gas dari dan ke dalam suatu organisme, proses ini dinamakan **respirasi** atau **pernapasan**. Pada beberapa hewan, proses ini berlangsung di paru-paru, yang mempunyai dua fungsi, yaitu:

- 1) Pemasukkan oksigen dari udara ke darah, dan
- 2) Pengeluaran karbondioksida (dan sejumlah kecil air) dari darah ke udara.

Pada organisme satu sel proses pertukaran oksigen dengan karbondioksida berlangsung dengan difusi. Proses terjadi karena terdapat perbedaan konsentrasi antara satu bagian di dalam sel dengan bagian di luar sel.



LATIHAN

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

- 1) Mengapa air sangat diperlukan bagi organisme hidup!
- 2) Uraikan jenis-jenis bahan organik yang tergolong karbohidrat yang terdapat pada sel hidup!
- 3) Apakah yang dimaksud dengan protein?
- 4) Uraikan ciri-ciri protoplasma pada sel hidup!
- 5) Apakah yang dimaksudkan dengan hukum Termodinamika I?

Petunjuk Jawaban Latihan

Pelajarilah bagian yang relevan dengan memusatkan pada topik yang berkaitan seperti berikut:

- 1) Perhatikan pembahasan sebagai bahan yang membangun protoplasma.
- 2) Karbohidrat salah satu senyawa organik, terdiri dari berbagai kelompok.
- 3) Protein seperti juga Karbohidrat dan Lemak merupakan bagian dari sel.
- 4) Kemampuan protoplasma hidup dalam menerima informasi dari luar, juga mengenai sifat fisiologinya.
- 5) Menyangkut perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lain.



RANGKUMAN

Sel secara mandiri, sebagai makhluk sel tunggal maupun sebagai bagian dari makhluk yang terdiri dari sejumlah besar sel (organisme multiseluler) harus ditunjang berbagai bahan untuk dapat mempertahankan hidupnya. Bahan dasar terpenting adalah air; selanjutnya diperlukan juga bahan lain yang berada dalam bentuk terlarut, koloid ataupun suspensi. Berbagai bahan dapat diurai menjadi molekul-molekul sederhana (katabolisme) dengan melepaskan energi potensial. Sebaliknya molekul-molekul ini pun dapat disusun kembali sesuai dengan keperluannya (anabolisme). Penguraian maupun pembentukan menjadi molekul besar diperlukan untuk membentuk struktur sel, untuk mempertahankan diri maupun untuk berbiak.

Protoplasma di dalam sel hidup mampu menerima informasi dari luar yang selanjutnya disebarkan ke setiap penjuru sel.

Berbagai aktivitas dalam sel selain memerlukan masukan bahan anorganik dan organik, juga energi. Energi dapat terbentuk dalam sel dapat pula diperoleh dari luar. Energi yang dimiliki makhluk hidup tidak kekal; tidak dapat dimanfaatkan sepenuhnya karena sebagian akan menjadi energi panas.



TES FORMATIF 1 _____

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

Pilihlah:

- A. jika pernyataan betul, alasan betul, dan keduanya menunjukkan hubungan sebab akibat
 - B. jika pernyataan betul dan alasan betul, tetapi keduanya tidak menunjukkan hubungan sebab akibat
 - C. jika pernyataan betul dan alasan salah atau sebaliknya
 - D. jika pernyataan dan alasan, keduanya salah
- 1) Air sangat bermanfaat bagi setiap makhluk hidup
sebab
Air dapat menghilangkan dahaga setiap hewan
 - 2) Air dapat membantu mengatur suhu tubuh
sebab
Air dapat menyerap panas dengan baik
 - 3) Terhadap organisme hidup seperti Amoeba, yang berada di dalam saluran pencernaan hewan tertentu tidak berlaku hukum Termodinamika.
sebab
Amoeba dalam saluran pencernaan berada dalam keadaan tertutup atau terisolasi
 - 4) Bagi seekor *Amoeba* yang berada di dalam saluran pencernaan hewan mamalia akan berlaku kondisi termodinamika yang seimbang
sebab
Saluran pencernaan hewan mamalia bukan merupakan tempat yang benar-benar terisolasi

**Petunjuk: Untuk nomor 5 sampai dengan 7;
Pilihlah A, B, C, atau D sebagai jawaban yang paling tepat.**

- 5) Senyawa dalam sel yang tergolong ke dalam karbohidrat dapat berbentuk disakarida seperti
 - A. glukosa
 - B. sukrosa
 - C. fruktosa
 - D. galaktosa

- 6) Lemak merupakan kelompok senyawa yang terbentuk dari
 - A. gliserol dengan asam lemak
 - B. satu mol. Alkohol dengan 3 mol asam lemak
 - C. gliserol dengan 3 mol asam lemak
 - D. 3 mol Alkohol dengan 1 mol asam lemak

- 7) Protein bila dihidrolisis akan menghasilkan molekul-molekul lebih kecil berupa
 - A. peptida
 - B. amida
 - C. asam amino
 - D. koloid

Petunjuk: Untuk nomor 8 sampai dengan 10, pilihlah;

- A. jika 1 dan 2 yang betul
 - B. jika 1 dan 3 yang betul
 - C. jika 2 dan 3 yang betul
 - D. jika semuanya betul
-
- 8) Lipid atau lemak hanya dapat larut dalam pelarut lemak seperti
 - 1) aseton
 - 2) gliserol
 - 3) alkohol

 - 9) Untuk pembentukan protein di dalam sel hidup diperlukan
 - 1) Polipeptida
 - 2) Asam Amino
 - 3) DNA

- 10) Sel yang hidup berbeda dari sel mati karena sel hidup mampu melaksanakan
- 1) konduktivitas
 - 2) kontraktilitas
 - 3) Iritabilitas

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

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

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

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

KEGIATAN BELAJAR 2

Stimulus dan Respons

Apakah yang dimaksud hidup? Jawaban terhadap pertanyaan ini belum pernah ada jawaban yang memuaskan semua pihak. Aktivitas yang kompleks dan bervariasi antara satu organ dengan organ lain merupakan salah satu alasan bagaimana sulitnya untuk mengekspresikan dengan pernyataan yang singkat apa yang dimaksud dengan perkataan *hidup*. Herbert Spencer pernah menyatakan bahwa: “*Life is the continuous adjustment of internal relations to external relations*”. Pengamatan menunjukkan bahwa penyesuaian di dalam tubuh terhadap perubahan di luar hanya dapat dilakukan dalam batas yang sempit saja. Ada pula yang menyatakan bahwa : Hidup merupakan fenomena suatu jawaban (**respons**) terhadap rangsangan (**stimulus**).

A. ADAPTASI DAN HOMEOSTASIS

1. Adaptasi

Adaptasi, adalah suatu kemampuan yang dimiliki makhluk hidup untuk mempertahankan diri, secara individu maupun pada semua keturunannya.

Reaksi adaptasi mungkin bersifat:

- Perlindungan (**protection**) - usaha organisme untuk melindungi diri terhadap kerusakan (reaksi pertahanan diri, menghindar, atau lari);
- Pemeliharaan (**maintenance**) - usaha memperoleh bahan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan keadaan protoplasma; mencukupi kebutuhan energi;
- Berbiak (**reproduction**) - bertujuan untuk mengkekalkan spesies.

Makhluk hidup tidak selamanya dapat mengadaptasi diri terhadap perubahan lingkungan atau adaptasinya kurang/tidak sempurna. Hal ini mungkin karena:

- dihadapkan pada perubahan yang tiba-tiba atau sangat kuat/tajam;
- tidak mempunyai alat untuk menghadapi perubahan tertentu (Mamalia darat tenggelam, ikan dibiarkan di darat); atau

- c. ada kerusakan atau cacat pada tubuh organisme. Cacat ini seringkali diturunkan misal: buta warna pada manusia) pada suatu keadaan, secara alam suatu organisme tidak dapat menghadapi penyakit tertentu. Tetapi setelah diberi kekebalan (immunisasi), organisme tersebut mampu bertahan terhadap wabah penyakit.

2. Homeostasis

Meskipun tampaknya hewan berada dalam keadaan nyaman dan serasi dengan lingkungannya, namun berbagai habitat di sekeliling hewan ternyata dapat membahayakan bagi hidupnya. Misalnya untuk sejumlah hewan air, air di sekelilingnya lebih tawar (air tawar) atau lebih asin (air laut) dibandingkan dengan cairan tubuhnya sendiri. Hewan darat maupun hewan perairan mungkin hidup pada suhu sekeliling yang terlalu dingin atau terlalu panas. Kondisi di luar tubuh dapat berubah setiap saat. Perubahan ini dapat merupakan tekanan besar yang merusak fungsi sel, jaringan maupun organ dalam tubuh. Karenanya hewan harus memiliki sistem yang mampu mengendalikan kondisi di dalam jaringan tubuh agar relatif mantap. Kecenderungan organisme untuk mempertahankan kondisi yang relatif mantap ini, (meskipun terjadi perubahan yang nyata di luar tubuh) disebut **homeostasis**.

Pengaturan lingkungan di dalam tubuh terhadap perubahan di lingkungan luar tubuh, menyangkut pengaturan secara fisiologi, misalnya suhu tubuh, kadar gula dalam darah, tekanan darah dan sebagainya, dengan sistem pengendalian. Parameter diatas dapat dikatakan diatur bila tubuh dengan mekanisme pengawasannya berusaha untuk mempertahankan pada nilai yang relatif tetap (“**konstan**”). Pengaturan biasanya melibatkan mekanisme kerja saraf dan hormon. Pengendalian dapat dicapai dengan mekanisme umpan balik atau “**negative feedback**”.

Timbulnya kejadian tertentu di luar tubuh dapat menghambat atau bahkan menghentikan aktivitas yang sedang berlangsung. Seekor kucing sedang mengendap-endap akan menerkam burung. Tiba-tiba datang seekor anjing, maka mangsanya akan terbang karena terkejut, kucing dengan segera menghentikan niatnya. Aktivitas berikutnya adalah usaha lain, yaitu pertahanan diri.

B. DIFERENSIASI, ORGANISASI, DAN INTEGRASI

Dalam organisme satu sel (*Amoeba*) sejumlah kegiatan yang harus dilaksanakan, seperti menelan makanan dan mencernanya, memasukkan oksigen untuk katabolisme, penggunaan energi yang terbentuk untuk berbagai keperluan, ekskresi zat sisa yang harus dibuang, keseluruhannya terjadi di dalam satu masa protoplasma yang kecil. Sel tunggal ini juga menampakkan ciri **iritabilitas**, **konduktivitas**, **kontraktilitas**, dan mampu untuk melakukan **reproduksi**.

Pada hewan tingkat multiseluler yang lebih tinggi, misalnya Mamalia dan manusia, berbagai fungsi tersebut di atas masing-masing dilakukan oleh struktur yang terpisah. Struktur ini sangat berbeda, bukan hanya pada konstruksi fisik, tetapi juga pada komposisi kimianya. **Diferensiasi** ini berkenaan dengan fungsinya yang khusus. Sehingga secara keseluruhan terdapat pembagian pekerjaan pada setiap bagian tubuh.

Pengalaman menunjukkan bahwa dalam menjalankan fungsinya, setiap bagian tidak berjalan sendiri-sendiri secara acak. Melainkan sangat terkoordinasi antara tugas satu bagian dengan lainnya, seperti frekuensi, lama waktu kerja, intensitas, dan lain sebagainya, keadaan ini disebut **organisasi**. Seringkali peningkatan aktivitas di suatu bagian akan menyebabkan penurunan aktivitas di bagian lain, atau bahkan akan menghentikan kerja di berbagai bagian lainnya. Dengan cara ini akan terjadi urutan kerja yang tepat antara setiap bagian di dalam tubuh. Sebagai hasil koordinasi, berbagai bagian dalam tubuh dapat membentuk satu kesatuan atau **terintegrasi**.

C. TRANSPORTASI MELALUI MEMBRAN

Sel-sel dan bagian-bagiannya memperoleh bahan-bahan yang diperlukan dan mengirimkan berbagai bahan hasil sintesisnya, melalui membran dan sistem cairan sel. Bila suatu senyawa masuk atau keluar sel (melalui membran) tanpa memerlukan energi secara khusus, maka proses ini dikatakan sebagai **proses pasif**. Bila untuk perpindahan senyawa tersebut diperlukan energi atau usaha khusus, hal ini dikatakan sebagai **proses aktif**. Proses ini dapat berlangsung dengan penggunaan energi di dalam sel hingga dapat menggerakkan senyawa tertentu melewati membran.

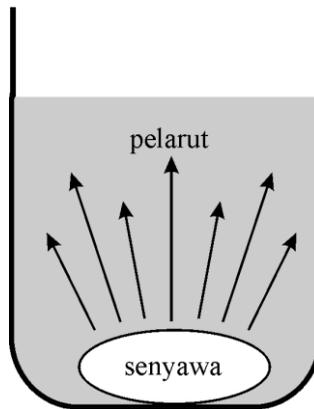
Ciri umum dan penting pada sel hidup, mampu secara selektif mengumpulkan dari atau mengeluarkan ke lingkungannya beberapa senyawa

tertentu. Kejadian ini dinamakan **transport aktif**. Di dalam suatu organisme kemampuan ini merupakan fungsi khusus sekelompok sel atau organ tertentu, di mana sejumlah bahan diserap atau dikeluarkan untuk menjamin keadaan di dalam tubuh agar tetap baik bagi kelangsungan hidup organisme itu sendiri.

1. Proses transportasi pasif

Transportasi pasif dapat terjadi karena terdapat perbedaan kadar zat atau energi antara kedua bagian yang bersebelahan pada membran atau dalam bagian-bagian yang berbeda di dalam suatu larutan. Misalnya:

Difusi adalah suatu proses yang dapat terjadi dengan atau tanpa membran. Tenaga utama dalam proses difusi berasal dari keadaan molekul-molekul yang selalu bergerak, hingga terjadi tumbukan antara molekul aatau tumbukan antara molekul dengan membran (Gambar 1.12)



Gambar 1.12.

Proses difusi. Molekul senyawa terlarut bergerak dari daerah dengan konsentrasi lebih tinggi ke daerah dengan konsentrasi lebih rendah

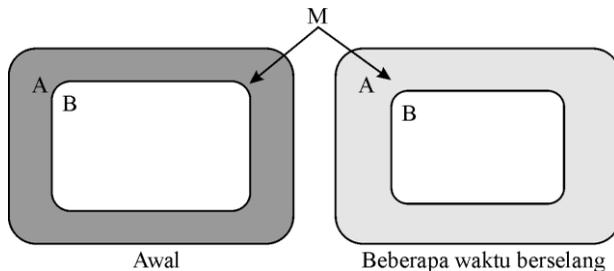
Bila di satu bagian dalam suatu larutan terdapat zat lebih banyak (lebih pekat) maka frekuensi tumbukan di bagian tersebut akan lebih tinggi. Akibatnya, zat terlarut tersebut akan terlempar dan tersebar ke bagian yang kurang pekat konsentrasinya, hingga pada satu saat, di setiap bagian larutan tersebut terkandung kadar zat yang sama (larutan homogen). Pada larutan yang telah homogen, tumbukan atau gerakan partikel di setiap bagian akan sama ke setiap arah.

Misalkan terdapat membran yang membatasi daerah lebih pekat dengan daerah kurang pekat. Membran dapat dilewati zat terlarut. Tumbukan molekul-molekul zat terlarut akan lebih banyak di daerah yang lebih pekat. Karena membran dapat dilewati zat terlarut, maka gerakan molekul dapat melewati membran ke arah daerah yang kurang pekat. Dikatakan zat tersebut berdifusi melewati membran ke arah bagian larutan dengan konsentrasi yang lebih rendah. Bila konsentrasi larutan di kedua sisi membran telah sama, maka gerakan zat ke setiap arah akan seimbang.

Bila ukuran molekul-molekul zat yang berdifusi lebih kecil maka difusi akan berlangsung lebih cepat, karena molekul demikian bergerak lebih cepat dan terlempar lebih jauh akibat dari tumbukan. Contoh difusi terbaik adalah pertukaran gas O_2 dan CO_2 di paru-paru.

a. *Osmosis*

Proses ini serupa dengan difusi tetapi yang bergerak melalui membran hanya air, sedangkan zat lain tidak dapat melewati membran. Membran demikian dikatakan sebagai membran yang **semipermeabel**, hanya dapat dilewati air saja, sedang molekul lain tidak dapat lewat. Gerakan air berasal dari daerah yang mengandung kadar air lebih tinggi ke daerah yang mengandung kadar air lebih rendah. Di sini terdapat perbedaan kadar air karena perbedaan kadar zat yang terlarut. Pada suatu larutan yang mengandung senyawa terlarut lebih banyak, dikatakan memiliki kandungan air lebih rendah di dalam volume tertentu. (Gambar 1.13.)



Gambar 1.13.

Proses osmosis. Pada keadaan awal, konsentrasi senyawa x di A lebih tinggi daripada di B, air akan ditarik dari A ke B. Sehingga konsentrasi senyawa x di A menurun. Volume B akan menyusut karena kehilangan air. M = membran semi permeabel

Sel menganut sistem osmotik karena membran sel bersifat semi-permeabilitas. Bila sebuah sel diletakkan di dalam larutan tertentu, sehingga molekul-molekul air akan bergerak melalui membran dan gerakannya dapat keluar maupun ke dalam sel dalam kecepatan yang sama. Hal ini berarti, sel ditempatkan di dalam larutan yang **isotonis** atau **isosmotis** (iso=sama). Bila sel berada di dalam larutan yang mempunyai kadar zat terlarut lebih rendah dibandingkan dengan kadar di dalam sel, sel berada di dalam larutan yang hipotonis (hipo-osmotis). Dalam keadaan ini molekul-molekul air bergerak lebih cepat ke dalam sel daripada keluar sel, karena kadar air di luar sel lebih besar. Sel tersebut akan **mengembang** dan mungkin pecah, bila kekuatan membran terlampaui. Keadaan sebaliknya terjadi bila sebuah sel berada dalam larutan yang **hipertonis** (hiper-osmotis). Dalam keadaan demikian, kadar air di dalam sel lebih tinggi daripada di luar sel, sehingga terjadi aliran air keluar sel, menyebabkan sel **berkerut**. Dari kejadian-kejadian tersebut di atas jelaslah bahwa sangat diperlukan adanya mekanisme pengaturan di dalam tubuh, meliputi pengaturan zat terlarut di dalam cairan tubuh agar sel-sel tidak mengembang maupun mengerut, sebagai akibat dari masuk atau keluarnya air yang berlebihan ke dan dari sel.

b. Dialisis

Di dalam suatu larutan yang dibatasi oleh membran terdapat beberapa zat terlarut. Membran pembatasnya bersifat **permeabel** hanya terhadap zat-zat tertentu saja. Bila terdapat perbedaan kadar zat di antara kedua sisi membran, maka akan terjadi aliran zat tersebut melalui membran, dari larutan berkadar lebih tinggi ke bagian larutan berkadar lebih rendah. Sehingga zat ini akan terpisah dari zat-zat terlarut lain yang tidak dapat melewati membran. Prinsip dialisis digunakan dalam ginjal buatan. Darah pasien dialirkan ke tabung-tabung dialisis hingga terjadi pemisahan zat-zat toksik terlarut (urea). Proses ini dikenal sebagai **hemodialisis**.

c. Filtrasi

Proses ini terjadi bila terdapat perbedaan tekanan cairan diantara kedua membran. Membran berlaku sebagai saringan yang dapat melewatkan molekul-molekul atas dasar ukurannya dengan bantuan tekanan terhadap membran. Aliran pelarut dan zat-zat terlarut dari kapiler-kapiler darah ke jaringan lain dengan bantuan tekanan darah adalah contoh yang sering terjadi di dalam tubuh manusia.

2. Proses Transportasi Aktif

Tipe-tipe molekul tertentu dapat dipindahkan dengan cara “melekat” pada semacam “molekul pengangkut” (**carrier molecule**). Senyawa glukosa, asam-asam amino dan ion-ion anorganik, ditransportasikan dengan cara yang berlainan. Karenanya setiap senyawa bergerak pada kecepatannya sendiri, tidak bergantung pada kecepatan gerak senyawa lainnya. Berbagai inhibitor (penghambat) yang mencegah atau mengganggu sintesis ATP dalam sel, akan menyebabkan proses perpindahan terhenti.

Pengiriman senyawa dapat terjadi pada kecepatan yang tetap, bila tersedia cukup bahan yang akan dipindahkan. Reaksi pembatas pada kecepatan pengiriman zat terdapat pada sistem pengawas kerja enzim.

Persaingan dapat pula terjadi, bila suatu komponen pengikat (**carrier**) dapat membawa lebih dari satu macam senyawa, yaitu bila senyawa-senyawa memiliki struktur yang hampir bersamaan. Bila “carrier” lebih mudah terikat pada senyawa tertentu, maka perpindahan senyawa lainnya akan terhambat atau berkurang.

Transport aktif seringkali merupakan pengiriman bahan-bahan ke tempat lain yang mengandung bahan tersebut dengan kadar lebih tinggi; dengan syarat tersedia cukup energi untuk proses tersebut. Karenanya sistem transport aktif ini sering disebut sebagai “pompa”.

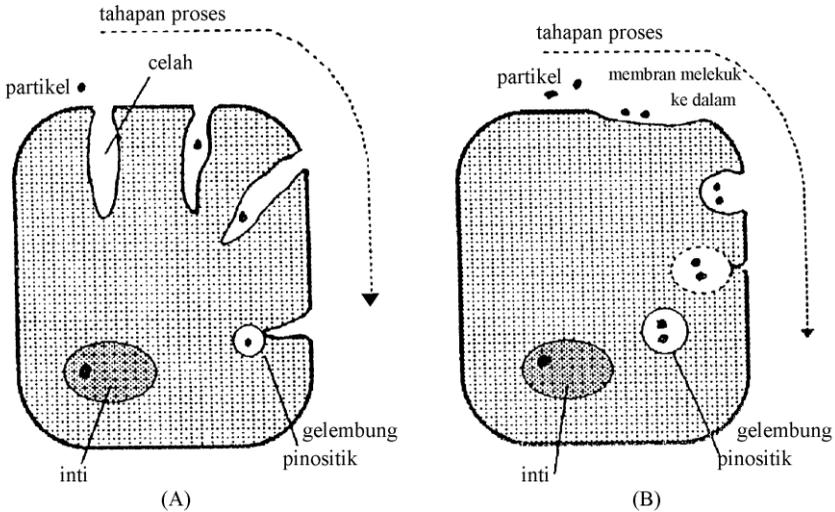
Dari kenyataan tersebut di atas maka dapat disimpulkan bahwa, sel dilibatkan dalam transpor aktif pada tiga hal:

- a. sintesis molekul pengikat (carrier);
- b. pembentukan ATP; dan
- c. sintesis enzim.

a. *Endositosis*

Sel dapat memperoleh molekul atau bahan lain dari luar, seperti virus, asam inti, bakteri, dan lain-lain. Nama yang umum untuk usaha tersebut dikenal sebagai endositosis. Terdapat dua macam endositosis: **pinositosis** dan **fagositosis**.

- 1) Pinositosis terjadi bila membran sel membentuk cekungan sebagai akibat adanya kontak antara molekul asing dengan permukaan membran sel. Akhirnya terbentuk vakuola di dalam sel yang berisi molekul-molekul asing tadi. (Gambar 1.14.).



Gambar 1.14

Pinositosis. (A) Partikel masuk ke celah dan akhirnya terbungkus di dalam gelembung pinositik. (B) Partikel terserap pada permukaan membran sel dan akhirnya terbungkus pula dalam gelembung yang serupa.

- 2) **Fagositosis** terjadi bila sel “menelan” atau melingkari suatu partikel dengan pembentukan pseudopoda hingga akhirnya partikel tadi terdapat di dalam vakuola. Hal ini dapat dilakukan oleh sel darah putih (leukosit).

b. Eksositosis

Peristiwa ini merupakan kebalikan dari pinositosis; terjadi bila vakuola di dalam sel bergerak ke arah membran, melekat, terbuka dan mengeluarkan isinya. Proses ini untuk membuang bahan yang tidak diperlukan, bahan beracun atau hasil metabolisme sel itu sendiri atau untuk mengirimkan bahan tertentu seperti lemak ke tempat lain.

Dengan terjadinya proses-proses aktif ini, berarti sel dapat mengatur setiap bahan yang melewati membran. Dengan pengaturan ini sel dapat mempertahankan keadaan lingkungan dalamnya hingga dapat melaksanakan fungsinya dengan baik.



LATIHAN

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

- 1) Apakah yang dimaksudkan dengan adaptasi makhluk hidup?
- 2) Apakah yang dimaksudkan dengan homeostasis?
- 3) Apakah yang dimaksudkan dengan difusi?
- 4) Apakah yang dimaksudkan dengan osmosis?
- 5) Uraikan transpor bahan lewat membran secara aktif!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Adaptasi dapat menyangkut tiga hal utama; makhluk mungkin tidak mampu beradaptasi, dan akan berakibat buruk.
- 2) Cara makhluk menghadapi perubahan di luar.
- 3) Suatu cara penyebaran senyawa lewat atau tidak lewat membran.
- 4) Perpindahan air melalui membran semipermeabel.
- 5) Beberapa cara transpor lewat membran.



RANGKUMAN

Kondisi di luar sel (fisik, kimia, energi dan lain-lain) akan mempengaruhi keadaan atau aktivitas di dalam sel. Sel harus dapat mempertahankan diri atau beradaptasi dengan mengatur aktivitasnya melalui proses homeostasis. Untuk usaha tersebut sel atau organisme hidup memerlukan bahan atau senyawa tertentu. Selanjutnya sebagai hasil usaha atau metabolisme dalam sel, akan terbentuk berbagai senyawa yang harus dibuang karena tidak dapat dimanfaatkan atau bahkan meracuni sel itu sendiri. Perlu terjadi tukar-menukar bahan melewati membran sel. Proses pengangkutan bahan lewat membran sel dapat dilakukan secara aktif maupun pasif.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

Pilihlah:

- A. jika pernyataan betul, alasan betul, dan keduanya menunjukkan hubungan sebab akibat
- B. jika pernyataan betul dan alasan betul, tetapi keduanya tidak menunjukkan hubungan sebab akibat
- C. jika pernyataan betul dan alasan salah, atau sebaliknya
- D. jika pernyataan dan alasan, keduanya salah

- 1) Proses difusi gula di air akan cepat berlangsung bila air dalam gelas diaduk

sebab

Melarutnya gula dalam air merupakan proses aktif

- 2) Bila serbuk teh dalam kantong (teh celup) dimasukkan ke dalam air, warna air akan menjadi merah-kecoklatan; terjadi proses osmosis

sebab

Senyawa yang terkandung dalam serbuk teh dapat larut tanpa energi tambahan (benar)

- 3) Untuk menghadapi berbagai perubahan di luar tubuh, organisme hidup harus selalu berusaha untuk mencukupi kebutuhan akan energinya

sebab

Untuk melaksanakan homeostasis organisme hidup memerlukan energi.

Petunjuk untuk nomor 4 sampai 6, pilih satu jawaban yang paling tepat

- 4) Transportasi bahan melalui membran dapat dilakukan secara pasif atau aktif. Termasuk pengangkutan senyawa secara pasif adalah
 - A. endositosis
 - B. pinositosis
 - C. osmosis
 - D. difusi

- 5) Pengangkutan oksigen dan karbondioksida dari luar ke dalam tubuh organisme atau dengan arah sebaliknya, berlangsung secara
- A. Osmosis
 - B. Difusi
 - C. Proses aktif
 - D. Dialisis
- 6) Pengangkutan air dari konsentrasi larutan garam encer ke konsentrasi larutan garam pekat melalui membran semipermeabel disebut proses
- A. Difusi
 - B. Dialisis
 - C. Osmosis
 - D. Transpor aktif

Petunjuk untuk nomor 7 sampai dengan 10 pilihlah:

- A. jika 1 dan 2 yang benar
 - B. jika 1 dan 3 yang benar
 - C. jika 2 dan 3 yang benar
 - D. jika semuanya benar
- 7) Transportasi aktif melalui membran, dari luar ke dalam sel, dapat berlangsung dengan proses
- (1) osmosis
 - (2) fagositosis
 - (3) endositosis
- 8) Bila seorang hendak menyeberang jalan dan kaki sudah dilangkahkan dari trotoar, tiba-tiba terdengar bunyi klakson mobil yang sedang mendekat, orang tersebut segera mengurungkan niatnya; tindakan ini termasuk
- (1) reaksi adaptasi
 - (2) proses transportasi aktif
 - (3) homeostasis
- 9) Adaptasi merupakan perilaku hewan yang bertujuan untuk mempertahankan diri dengan cara
- (1) menangkap energi
 - (2) memperbanyak diri
 - (3) makan

10) Pada seekor *Amoeba*, organisme satu sel, tidak terdapat organ-organ yang berfungsi khusus seperti halnya pada Mamalia, melainkan berbagai bagian dalam protoplasmanya melakukan aktivitas yang

- (1) terjadwal
- (2) terintegrasi
- (3) terurut

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

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

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

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

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) C
- 2) A
- 3) D
- 4) C
- 5) B
- 6) C
- 7) C
- 8) B
- 9) C
- 10) D

Tes Formatif 2

- 1) C
- 2) C
- 3) A
- 4) D
- 5) B
- 6) C
- 7) C
- 8) B
- 9) D
- 10) C

Daftar Pustaka

- Mc. Cauley, W. J. (1971) "*Vertebrate Physiology*". W.B. Saunders Company. P. 181-213
- Mc. Clintic, J.R. (1980) "*Basic Anatomy and Physiology of the Human Body*". 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. P. 566 - 612.
- Schottelius, B.A. and D.D., Schottelius, (1978). "*Textbook of Physiology*". 18th Ed. The C. V. Mosby Company. p. 372-387.
- Sturkie, P.D., (Ed.), (1976). "*Avian Physiology*" Springer Verlag, New York. p 185-195.
- Watetman., A.J. (Ed.), (1974) "*Chordate Structure and Function*" The Macmillan Company. New York. p. 271.