

Proses Kehidupan di dalam Sel

Dr. Darmadi Goenarso

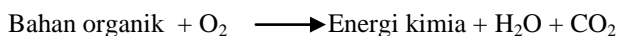


PENDAHULUAN

Setiap organisme hidup melaksanakan proses dasar tertentu yang diperlukan untuk menunjang kehidupannya. Sumber energi diperlukan untuk proses-proses seperti tumbuh, berkembang dan memperbanyak diri. Pembaca modul ini tentunya masih ingat bahwa tanaman mampu mengubah energi sinar matahari, melalui penyerapan oleh klorofil dan melalui serangkaian reaksi kimia yang rumit, menjadi senyawa kimia; menggunakan bahan sederhana (air, karbondioksida, dan unsur hara) untuk membentuk molekul organik (fotosintesis). Selanjutnya, molekul-molekul ini digunakan untuk membangun jaringan-jaringan tumbuhan itu sendiri. Berbeda pada hewan karena tidak memiliki kemampuan untuk melaksanakan proses fotosintesis. Hewan harus memanfaatkan bahan 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.

Uraian pendahuluan ini hanya untuk mengingatkan sekilas pada proses fotosintesis yang merupakan reaksi reduksi, mengarah pada penyimpanan energi dalam bentuk terikat pada molekul organik. 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 yang sebenarnya terjadi pula pada tumbuhan dapat disederhanakan seperti berikut:



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 itu perlu untuk mempertahankan hidupnya. 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 dimanfaatkan.

Modul satu merupakan pengenalan bagaimana aktivitas makhluk hidup sederhana atau makhluk yang terdiri hanya dari satu sel. Modul ini terbagi atas dua kegiatan belajar.

Kegiatan Belajar 1: Ilustrasi yang meliputi aktivitas bagian-bagian yang memiliki fungsi khusus di dalam protoplasma, pengaturan oleh inti sel, perlindungan membran. Berbagai bahan organik yang umum diperlukan setiap makhluk sebagai bahan dasar pangan.

Kegiatan Belajar 2: Mengungkap kemampuan makhluk menerima stimulus dan melaksanakan respons terhadap stimulus; berbagai mekanisme adaptasi atau respons makhluk dalam mempertahankan hidupnya. Transfer bahan atau pengambilan bahan dan pengeluaran bahan yang diperlukan dan yang harus dibuang keluar sel sebagai makhluk hidup yang mandiri.

Bila Anda mencermati kembali “Tinjauan Mata Kuliah”, pada bagan di halaman ini tampak bahwa Modul ini mengait pada semua modul lain. Berarti proses faal yang diuraikan pada modul satu ini akan mengait pada proses faal yang akan dijabarkan pada modul-modul lain.

Kegunaan mempelajari modul awal ini untuk memberi gambaran umum dan menyeluruh berbagai proses faal yang terjadi pada makhluk hidup. Berbagai proses yang tercakup pada modul ini akan diuraikan lebih luas pada modul-modul selanjutnya.

Cara mempelajari modul adalah:

1. bacalah dengan cermat setiap bagian modul;
2. pada modul awal ini anda diminta untuk membaca dengan sabar (tidak tergesa-gesa);
3. sambil membaca, cobalah Anda pikirkan apakah proses yang terjadi terdapat pula pada kita/manusia;
4. jangan melewatkan setiap gambar yang disajikan;
5. cobalah Anda membuat kalimat sendiri, menjelaskan apa yang ditampilkan pada gambar;
6. cobalah dengan sungguh-sungguh mengerjakan latihan, *test* dan *essay* dengan mengikuti arahan yang diberikan.

Setelah mempelajari modul ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan:

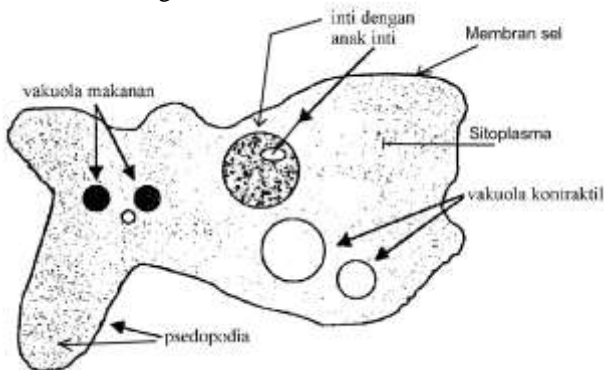
1. kepentingan air bagi organisme hidup;
2. berbagai bahan atau senyawa yang terkandung di dalam sel yang diperlukan untuk hidupnya (bahan-bahan organik);
3. berbagai organel di dalam sel; fungsi masing-masing organel;
4. berbagai ciri pada protoplasma/sel hidup;
5. adaptasi dan homeostasis;
6. berbagai aktivitas sel yang terkoordinasi;
7. hukum termodinamika, berkaitan dengan pertukaran energi;
8. transpor bahan masuk dan keluar sel.

KEGIATAN BELAJAR 1

Protoplasma

Berbagai hewan hidup dapat dibangun oleh lebih dari satu sel atau dapat pula terdiri hanya dari satu sel. Marilah kita perhatikan organisme hidup sel tunggal. Contohnya, seekor *Amoeba*, suatu jasad yang hidup di 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 **nukleoplasma**. Secara keseluruhan, bagian cair ini diliputi selaput yang dinamakan **membran**. Membran sel bersifat **semipermeabel**, artinya mudah dilewati air dan tidak mudah dilewati bahan lain. Di dalam sitoplasma terdapat berbagai bentuk yang lebih halus seperti benang-benang, butiran, rongga, dan lain sebagainya (Gambar 1.1). Badan (**organel**) penting di dalam protoplasma disebut **mitokondria** dengan panjang sekitar 3-4 μm ; fungsinya adalah mengoksidasi bahan pangan hingga menghasilkan energi. Selanjutnya energi ini digunakan untuk berbagai aktivitas sel.

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, yodium, besi, dan tembaga.



Gambar 1.1

Organisme Bersel Tunggal, Amoeba Sel Dilengkapi Inti dan Anak Inti, Bermacam Organel, Vakuola Kontraktil, dan Pseudopodia (Kaki Semu)

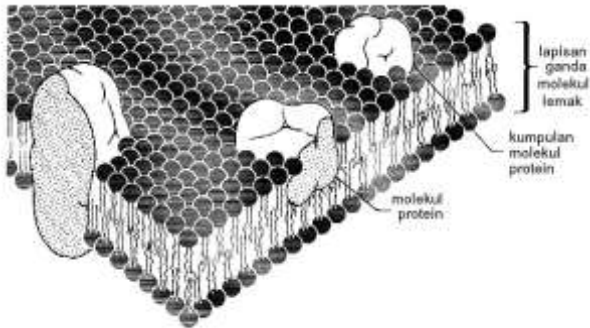
A. STRUKTUR SEL DAN FUNGSI

Secara umum, struktur sel terbentuk dari:

Sistem membran yang meliputi permukaan luar sel dan juga mengelilingi berbagai bentuk lain yang aktif dalam metabolisme; membatasi juga organel-organel di dalam sel. **Sitoplasma** merupakan area yang aktif di dalam sel menyangkut sintesis dan degradasi berbagai substansi di luar inti. **Inti** sel memberikan instruksi pada aktivitas di seluruh bagian sel. Melalui DNA melaksanakan sekresi, sintesis protein, dan produksi ATP.

1. Sistem Membran Sel

Marilah kita meninjau struktur membran sebelum mengupas pada fungsinya. Pembatas luar sel ini dikatakan sebagai membran plasma. Struktur membran serupa dengan pembatas berbagai organel di dalam sitoplasma, seperti mitokondria (**mitochondria**), retikulum endoplasma (**endoplasmic reticulum**), alat golgi (**golgi apparatus**), lisosoma (**lysosomes**), peroksisoma (**peroxisomes**); serupa pula dengan membran pada inti sel dan vakuola. Dikatakan serupa karena membran ini memiliki protein dan lemak (terutama fosfolipid dan kolesterol). Dengan bantuan mikroskop elektron dan berbagai teknik lain dikenal bahwa membran plasma sel terdiri dari lapisan lemak (lipid) tersusun teratur membentuk lapisan ganda (**bimolecular lipid layer**); molekul-molekul protein muncul sebagian pada beberapa tempat atau menembus ke dua arah membran (Gambar 1.2). Tempat-tempat di mana protein menembus membran plasma, merupakan area yang lebih mudah dilewati -permeabilitas lebih besar- bagi beberapa senyawa tertentu. Membran juga dapat berlipat-lipat hingga luas permukaan sel bertambah agar dapat meningkatkan area absorpsi bahan dan ekskresi (membuang) materi yang tidak lagi diperlukan. Suatu membran, di manapun keberadaannya di dalam sel, mengendalikan “lalu-lintas” (keluar-masuk) bahan yang melewatinya. Fungsi sangat penting bagi membran sel adalah mampu “memilih dan menentukan” bahan yang diperlukan dan senyawa yang harus dikeluarkan dari sel.



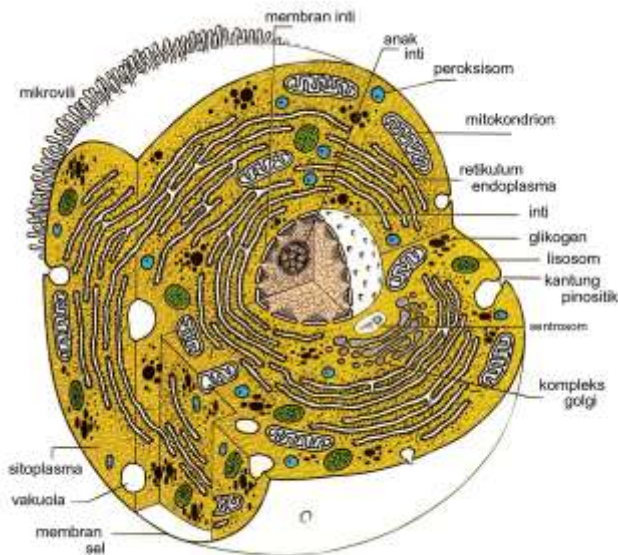
Gambar 1.2
Lapisan Ganda Molekul-Molekul Lemak pada Membran Sel

Berikut ini, beberapa faktor berpengaruh dalam pengaturan keluar-masuk bahan (permeabilitas).

- a. Ketebalan membran. Terhadap membran lebih tebal, waktu yang diperlukan bahan-bahan untuk melewatinya akan lebih lama.
- b. Ukuran bahan yang akan melewati membran. Molekul besar (diameter lebih dari 8 Å dan berat molekul lebih dari 160), sulit untuk bisa melewati membran. Sebaliknya, molekul air dan atom tak bermuatan listrik akan jauh lebih mudah untuk melewatinya.
- c. Kelarutan pada lemak. Membran memiliki kandungan lemak sangat tinggi maka senyawa yang mudah larut di dalam lemak (memiliki kelarutan tinggi pada lemak), dapat melewati membran lebih mudah dan cepat. Tersedianya sistem transpor aktif pada membran. Fungsi sistem ini akan dibahas lebih lanjut pada proses transpor aktif pada membran sel. Selain itu, pada membran sel terdapat situs lokasi/reseptor yang dapat mengikat senyawa dan –mungkin– membantunya untuk melewati membran. Berbagai senyawa kimia seperti hormon, harus segera diikat pada membran agar dapat membantu tugas-tugas sel. Bila tidak memiliki pengikat bagi senyawa tertentu berarti senyawa ini tidak dapat mempengaruhi kerja sel. Bila kita mengambil contoh misalnya membran pada sel yang melapisi usus kecil. Membran ini mengandung enzim yang akan mencerna (mengurai) bahan pangan bila bahan ini menempel pada membran; enzim lainnya terlibat dalam sistem transpor aktif.

2. Sitoplasma

Sitoplasma –materi yang terdapat di antara membran dan inti– berisi terutama dua jenis struktur yang memiliki bentuk. Pertama, yaitu organel (**organelles**) aktif dalam metabolisme, berbentuk khas, mampu memperbanyak diri, mampu menyintesis dan mengurai berbagai macam senyawa kimia (Gambar 1.3). Selanjutnya, bentukan yang disebut inklusi (**inclusions**) tidak aktif dalam metabolisme, termasuk vakuola untuk menampung buangan hasil metabolisme atau bahan dasar untuk aktivitas sel.



Gambar 1.3
Berbagai Organel di Dalam Sel

3. Organel

Retikulum endoplasma (**endoplasmic reticulum**), merupakan rangkaian saluran berisi cairan. Terdapat dua macam RE, yaitu RE kasar –berisi ribosom (**ribosomes**)– dan RE halus yang tidak mengandung ribosom. ER kasar karena mengandung ribosom merupakan tempat sintesis protein bagi sel. ER halus berfungsi dalam sintesis lemak, sterol, dan beberapa jenis karbohidrat. Sebagai tambahan, ER juga mensirkulasikan cairan dari sekeliling sel bersama-sama dengan bahan terlarut hasil aktivitas sel, ke seluruh bagian sel.

Ribosom (**ribosomes**) merupakan partikel kecil pada RNA (dua pertiganya) dan protein (sepertiganya) menempel pada ER kasar sehingga tidak tersebar di sitoplasma. Struktur ini tidak dibatasi oleh membran. Sintesis protein terjadi pada ribosom. Perintah sintesis datang dari inti sel, menyatakan macam protein yang diperlukan; disusun dengan cara menghimpun asam-asam amino tertentu untuk membentuk protein yang diperlukan.

Kompleks **Golgi** biasanya berada di sitoplasma dekat inti. Fungsinya menyintesis **glikoprotein**, **glikolipids**, polisakarida protein, dan lendir (**mucus**). Selain itu juga bertugas dalam sekresi, melepaskan senyawa keluar sel atau ke cairan tubuh melalui proses yang dikenal sebagai **eksositosis** (dibahas pada Kegiatan Belajar 2).

Lisosom (**lysosomes**) merupakan pada sitoplasma organel, berisi berbagai enzim yang kuat, mampu mencerna molekul-molekul besar protein, karbohidrat, dan lemak. Bila sebuah sel terluka, lisosom terlepas dan menghancurkan sel itu sendiri; sel mampu untuk bunuh diri berkat lisosom. Sebaliknya, lisosom juga berperan dalam pertahanan diri. Enzim-enzim lisosom menghancurkan bakteri dan kotoran yang masuk ke organel.

Mitokondria (**mitochondria**; tunggal=mitochondrion), diliputi oleh membran ganda. Membran lapis luar tidak berlipat dan mengandung enzim mampu mengurai molekul-molekul besar (seperti: glukosa; enam atom karbon) menjadi molekul lebih kecil (seperti: asam piruvat, tiga atom karbon). Lapisan membran bagian dalam terlipat-lipat hingga sangat memperbesar luas permukaan bagian dalam mitokondria. Pada lipatan-lipatan (*cristae*) ini tersusun enzim untuk melanjutkan penguraian asam piruvat menjadi CO_2 , H_2O , dan energi yang diperlukan untuk menyintesis ATP. Oleh karenanya, mitokondria kadang dikatakan sebagai sumber tenaga bagi sel.

Peroksisom (**peroxisomes** atau **microbodies**), organel berbentuk bulat diliputi membran berisi enzim **oksidase** dan **katalase**. Fungsi organel ini tampaknya berperan dalam metabolisme hidrogen peroksida (H_2O_2). H_2O_2 merupakan bahan antiseptik kuat. Senyawa ini merupakan hasil metabolisme yang umum dijumpai pada sel darah putih; membantu dalam penghancuran bakteri. Sel-sel lain, memiliki organel untuk melindungi sel terhadap kelebihan H_2O_2 dengan memecah peroksida menjadi air.

Struktur sitoplasma merupakan bagian yang kompleks dan terorganisasi sangat indah. Melalui kerja sama antarfungsi di dalam sitoplasma, sel mampu melaksanakan berbagai reaksi dalam berinteraksi dengan sel-sel lain.

B. 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. disosiasi air sangat rendah sehingga pH air bersifat netral.

2. Bahan Anorganik

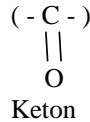
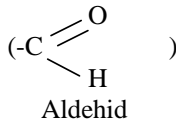
Bahan anorganik terdiri dari senyawa terlarut dan utamanya terbentuk dari unsur klorida, sulfat, fosfat dan karbonat dengan natrium, kalium, kalsium, dan magnesium. Jumlah setiap senyawa di dalam protoplasma dapat bervariasi, bergantung pada jenis sel. Namun, seperti halnya air, berbagai senyawa tersebut 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. Di dalam senyawa organik, atom-atom suatu molekul berkelompok di sekeliling atom karbon. Karbon dianggap sebagai inti molekul. Ciri atom karbon memiliki empat valensi, karenanya mampu mengikat empat atom lain yang bervalensi satu (hidrogen), atau bergabung dengan dua atom lain yang masing-masing bervalensi dua (oksigen). Beberapa kelompok utama bahan organik adalah: karbohidrat, lemak, protein dan asam inti (asam nukleat). Selanjutnya, akan dibahas ciri-ciri beberapa bahan organik utama.

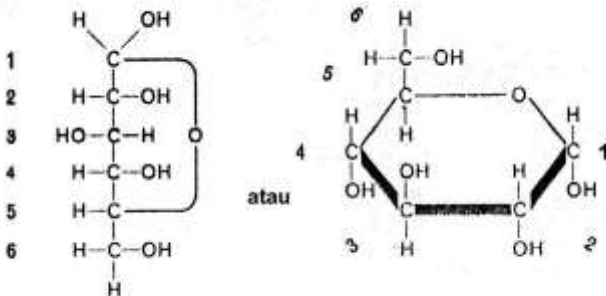
a. *Karbohidrat (hidrat-arang)*

Senyawa ini terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Karbohidrat merupakan hidrokarbon dengan hampir setengah jumlah atom hidrogen yang telah diganti dengan oleh gugus **hidroksil (-OH)** dan berisi pula gugus **aldehid** atau gugus **keton** pada molekulnya. Rantai tengah dapat terdiri dari tiga atau empat atau lebih atom karbon.



Karbohidrat dapat diklasifikasikan ke dalam **triosa** (3 atom C), **tetrosa** (4 atom C), **pentosa** (5 atom C) dan **heksosa** (6 atom C). Karbohidrat dengan lima atom C atau pentosa (**ribosa** dan **deoksiribosa**) ditemukan masing-masing pada **RNA** dan **DNA**. Karbohidrat dengan 6 atom karbon (heksosa) atau lebih merupakan **nutrisi** utama bagi hewan. Selanjutnya heksosa dapat berada sebagai molekul tunggal atau **monosakarida** (contoh: glukosa, fruktosa, galktosa), atau juga saling terikat dengan molekul sakarida lain, menjadi: **disakarida**, oligosakarida, atau **polisakarida**.

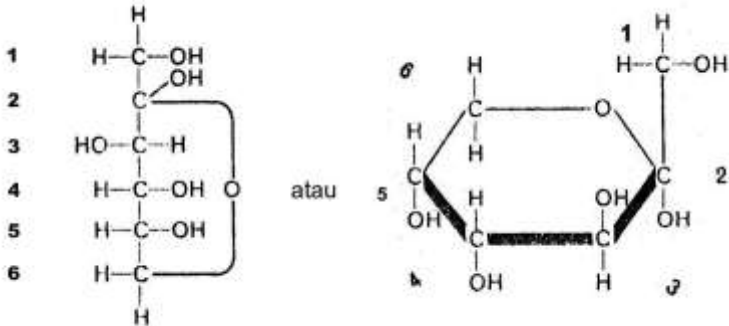
1) Monosakarida



Gambar 1.4

Struktur Glukosa (monosakarida) dan Dua Cara Penampilan (Angka Menunjukkan Nomor Atom c yang Membangun Glukosa)

Monosakarida biasanya dinamakan sebagai **gula sederhana** dengan rumus kimia $C_6H_{12}O_6$. Contoh monosakarida penting adalah **glukosa** atau gula anggur (Gambar 1.2), **fruktosa** atau **levulosa** (Gambar 1.3) dan **galaktosa**.

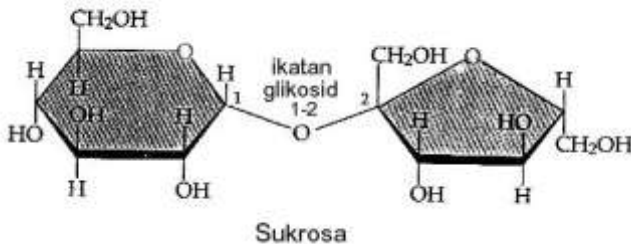
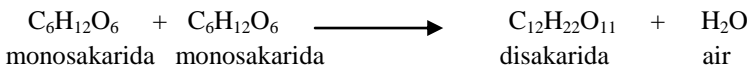


Gambar 1.5

Struktur Fruktosa (Monosakarida) dengan Beberapa Bentuk Penampilan (Angka 1 Hingga 6 Menunjukkan Penomoran Atom C)

2) Disakarida

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



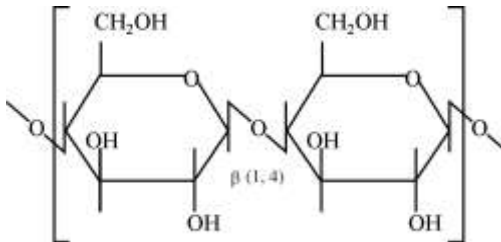
Gambar 1.6

Struktur Sukrosa (Disakarida) Terbentuk dari Glukosa dengan Fruktosa Melalui Ikatan Glikosid 1-2

Contoh disakarida adalah **sukrosa** (Gambar 1.4), dibentuk dari glukosa dengan fruktosa. Contoh lain adalah **maltosa**, merupakan ikatan dua molekul **glukosa**; **laktosa**, ikatan glukosa dengan galaktosa.

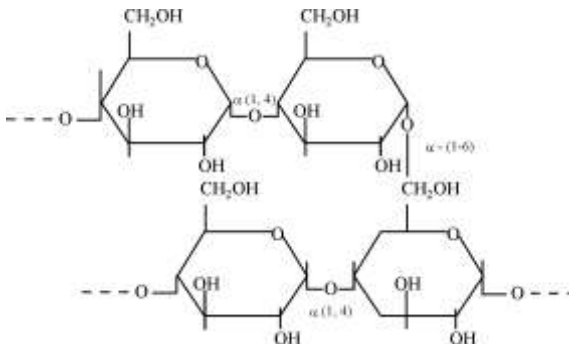
3) Polisakarida

Polisakarida merupakan hasil penggabungan sejumlah monosakarida dan tidak mengandung air, mempunyai rumus umum $(C_6H_{10}O_5)_n$. Contohnya adalah **tepung** atau **amilum**, **dextrin**, dan **selulosa** yang merupakan cadangan karbohidrat tanaman (Gambar 1.5), sedangkan glikogen (Gambar 1.6) merupakan cadangan “gula” bagi hewan.



Gambar 1.7
Struktur Tepung atau Amilum

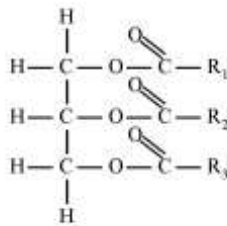
Polisakarida dapat diurai kembali dengan pemanasan dan penambahan asam hingga terbentuk gula sederhana. Kita mengenal berbagai macam polisakarida yang masing-masing mempunyai sifat sangat berlainan.



Gambar 1.8
Struktur Glikogen, suatu Polimer Besar dari Glukosa, Merupakan Karbohidrat Utama dalam Bentuk Tersimpan di Dalam Sel Hewan

b. *Lipid (Lemak)*

Lipid adalah kelompok senyawa yang terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Terdapat pada protoplasma sebagai senyawa sederhana atau dalam bentuk senyawa kompleks bergabung dengan senyawa lain seperti lipoprotein. Merupakan bagian penting pada membran sel. Energi yang diperlukan bagi jaringan hidup terutama diperoleh dari lemak. Biasanya produksi energi melibatkan oksidasi campuran karbohidrat dengan lemak. Sebenarnya metabolisme lipid terkait pada metabolisme karbohidrat. Secara umum lipid atau lemak merupakan gabungan gliserol dengan asam lemak, dengan ikatan ester, dikenal sebagai **trigliserida** (Gambar 1.7).



Gambar 1.9

Struktur Trigliserida Terdiri dari Gliserol dan Tiga Molekul Asam Lemak (R_1 , R_2 , dan R_3 Merupakan Rantai C Asam Lemak)

c. *Protein*

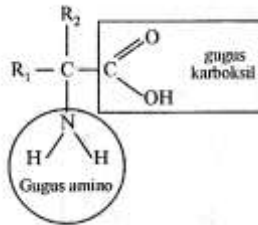
Molekul protein dibangun oleh sejumlah besar molekul-molekul **asam amino** (Gambar 1.8). Beberapa molekul asam amino saling terikat dalam **ikatan peptida** (Gambar 1.9) membentuk **polipeptida**, suatu rantai molekul sama-asam amino yang tidak terlalu panjang. Bila rantai yang terbentuk sangat panjang (berat molekulnya lebih dari 4000), struktur molekul tersebut dinamakan **protein**.

Menurut para ahli biokimia protein merupakan salah satu senyawa yang paling kompleks. Kompleksitasnya disebabkan oleh jumlah unsur yang membangun terdiri sedikitnya dari lima, bahkan sering kali lebih dari lima dan molekulnya sangat besar.

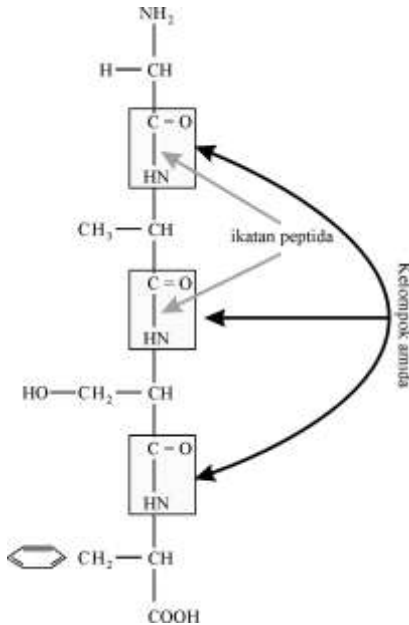
Terdapat banyak macam protein yang berbeda satu dengan lainnya dalam hal komposisi, kelarutan dan reaksi kimianya. Beberapa protein dapat larut di dalam larutan garam encer (misal: larut di dalam susu, darah, dan cairan **limf**); hanya sedikit yang bisa larut di air. Hampir semua protein tidak

terdialisis, jadi tidak bisa melewati membran jaringan atau sel tumbuhan maupun hewan. Oleh karenanya, protein termasuk ke dalam kelompok senyawa yang sering dikatakan sebagai **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.



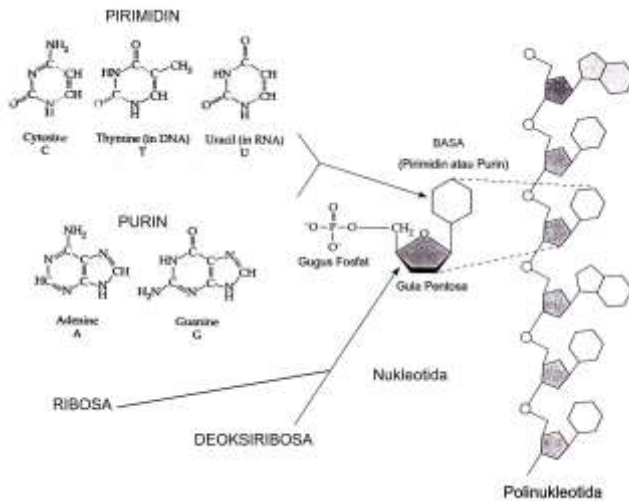
Gambar 1.10
Rumus Umum Asam Amino



Gambar 1.11
Asam-Asam Amino Terikat dengan Ikatan Peptida (Gugus Karboksil dengan Gugus Amino), Membentuk Protein

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.



Gambar 1.12
Struktur Asam Inti (Polinukleotida), DNA (Mengandung Gula Deoksiribosa) dan RNA (Mengandung Gula Ribosa)

d. Asam inti

Fungsi utama asam inti, adalah

- 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 1.10) yang terdiri dari basa purin atau pirimidin, gula pentosa

(ribosa atau deoksiribosa) dan asam fosfat (H_3PO_4). Antara 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 menyintesis protein.

DNA terdiri dari basa-basa adenin (A), guanin (G), sitosin (C), dan timin (T); juga gula (**deoksiribosa**); ditemukan di dalam inti sel. Fungsinya semata-mata mengatur produksi protein tubuh. Gen (**gene**) merupakan rangkaian molekul-molekul asam inti ini.

RNA terdiri dari *adenin* (A), **guanin** (G), dan **sitosin** (C), seperti halnya DNA, tetapi mengandung pula *urasil* (U) menggantikan *timin* (T). Gula pentosa pada RNA berupa **ribosa**. RNA terdapat terutama di luar inti sel (di dalam sitoplasma sel). Tugasnya melaksanakan instruksi DNA, membentuk asam-asam amino dan menyintesis protein dari asam-asam amino tersebut.

Kedua tipe asam inti memiliki **nukleotida** sebagai unit struktur dasar. Unit ini terdiri atas basa, gula, dan asam fosfat. **Nukleosida** merupakan unit **nukleotida** tanpa fosfat.

Polimerisasi dari **nukleotida** dengan ikatan-ikatan gula-fosfat membentuk molekul asam inti.

C. CIRI PROTOPLASMA

1. Sifat Fisiologis Protoplasma

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

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 berbagai macam proses selama hidupnya. Pada sel hidup terjadi bermacam 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**. Namun, 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 berdiam diri kita usik, misalnya dengan meneteskan larutan asam encer di sampingnya, dengan segera akan tampak respons yaitu dalam perubahan bentuk sel.

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. Di antara 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 sering menggantikan iritabilitas. Bila suatu stimulus menyebabkan perubahan di dalam protoplasma, dikatakan protoplasma tersebut dalam keadaan “**eksitatori**” (**excite** = bangkit). Pada protoplasma timbul suatu aktivitas; dapat berbentuk kontraksi, seperti 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 itu sendiri. Bila suatu rangsang dapat menimbulkan perubahan pada protoplasma, sesaat kemudian rangsang terhenti, selanjutnya protoplasma 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 di dalam protoplasma. Seperti halnya eksitabilitas, konduktivitas juga terdapat pada setiap sel, tetapi kedua sifat ini berada dalam keadaan terbaik pada sel-sel saraf. Aliran yang dapat membangunkan (*to excite*) sel saraf harus berasal dari sumber rangsang yang cukup kuat.

c. *Kontraktilitas*

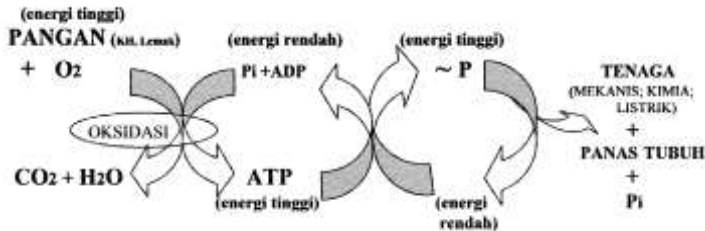
Salah satu ciri yang paling menarik pada hewan adalah kemampuan untuk menggerakkan beberapa bagian tubuhnya atau mengubah posisinya. Gerakan itu merupakan reaksi terhadap rangsang dari sekelilingnya. Ini merupakan keadaan yang kontras bila dibandingkan dengan benda mati yang tidak dapat bergerak. Bila seekor **Amoeba** diamati, pada suatu saat dapat menampakkan tonjolan pada satu sisi yang disebut sebagai **pseudopoda** (kaki semu atau kaki palsu). Pada saat yang sama, protoplasma pada sisi lainnya bergerak ke arah terbentuknya tonjolan tadi. Dengan mengubah bentuk, **Amoeba** dapat bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Perubahan bentuk sel seperti diuraikan di atas 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). Kontraksi sejumlah sel otot yang membentuk sebuah otot menyebabkan otot tersebut memendek dan menambah ketebalannya. Leukosit menunjukkan sifat kontraktilitasnya dengan pembentukan dan penarikan pseudopoda seperti halnya pada **Amoeba**.

d. *Metabolisme*

Sifat-sifat fisiologis protoplasma berlangsung bila tersedia energi. Sel memerlukan dan harus mampu membentuk kembali energi yang diperlukan. Bahan pangan masuk ke sel; di mitokondria di oksidasi. Energi hasil oksidasi, disimpan dalam bentuk ikatan kaya-energi atau ATP (**adenosin trifosfat**). Sel memerlukan ATP untuk berbagai keperluan (tenaga listrik, mekanis, kimia); misalnya untuk transportasi macam-macam materi, melakukan kontraksi dan berbagai aktivitas hidupnya (Gambar 1.11; 1.12).

Fungsi mitokondria sangat penting dalam menghasilkan energi, karenanya disebut sebagai pembangkit tenaga bagi sebuah sel.



Gambar 1.13

Metabolisme Memerlukan Oksidasi Bahan, Terjadi di Mitokondria, Hingga Menghasilkan Energi untuk Aktivitas Hidup

Penggunaan energi yang terus menerus oleh protoplasma pada sebuah sel, mengakibatkan kebutuhan energi yang sepadan 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 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).

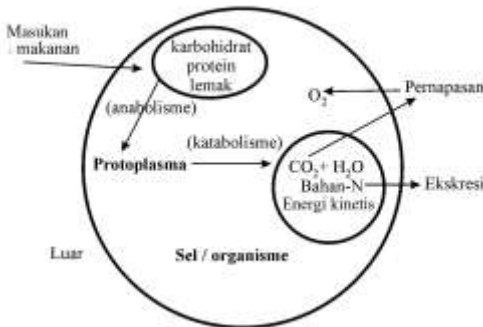
Energi kinetis merupakan energi gerak, yang bentuknya dapat berupa energi mekanis pada benda bergerak. Misalnya energi yang dimiliki oleh angin, arus air, aliran darah. Selain itu, setiap molekul yang bergerak akan menimbulkan energi panas.

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 yang banyak kita jumpai pada kendaraan bermotor, bahan pemberat timbangan, senyawa kimia seperti 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. Oleh karena terdapat daya tarik antara atom-atom yang terpisah tadi, timbullah 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 potensial 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, CO_2 , nitrat, sulfat, dan fosfat menjadi senyawa organik yang kompleks, misalnya gula, tepung, protein, dan berbagai bahan kimia lainnya.



Gambar 1.14
Masukan dan Keluaran Bahan ke/dari Sel atau Organisme

D. TERMODINAMIKA DALAM PROSES BIOLOGI

Selanjutnya akan dibahas secara singkat 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, listrik, kimia, panas, dan cahaya; termasuk pula energi gaya tarik bumi (gravitasi). Energi harus dijaga agar tidak hilang. Energi tidak dapat diciptakan atau dirusak, tetapi dapat berubah bentuk menjadi bentuk lain.

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

1. “**reversibel**” (klasik atau seimbang), terjadi pada sistem yang terisolasi dan tertutup hingga dapat mencapai keseimbangan;
2. “**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 di sini diterapkan pada bahan dan energi secara bersama-sama yang merupakan subjek termodinamika. Berikut ini, 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 perubahan 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.

a. *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.

b. *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.

c. *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.

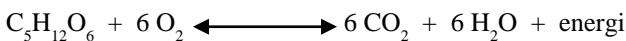
Organisme hidup dapat bertahan dengan memanfaatkan sisa energi di alam. Bila hubungan dengan sumber energi terputus, organisme akan segera mengalami peluruhan hingga terjadi kematian. Secara mutlak, semua proses biologi bergantung pada penyerapan energi cahaya dari matahari dan energi radiasi panas dari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

Pelepasan 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, terjadi pada **fermentasi** (penguraian tanpa oksigen) 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). Di sini 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 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 transpor pasif maupun aktif. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian “transportasi bahan melalui membran”.

c. Ekskresi

Oksidasi makanan menghasilkan dua hal, yaitu perubahan:

- 1) energi kimia menjadi energi kinetis;
- 2) 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. di antaranya 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) pemasukan oksigen dari udara ke darah;
- 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. Protein juga terbentuk dari molekul-molekul sederhana.
- 4) Kemampuan protoplasma hidup dalam menerima informasi dari luar, juga mengenai sifat fisiologinya.
- 5) Menyangkut perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lain. Perubahan energi mengakibatkan terlepas sebagian dari padanya.



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 inipun dapat disusun kembali sesuai dengan keperluannya (anabolisme). Penguraian suatu molekul menjadi bentuk lebih sederhana maupun pembentukan suatu molekul besar diperlukan untuk membentuk struktur sel, untuk mempertahankan diri atau untuk berbiak. Protoplasma di dalam sel hidup mampu menerima informasi dari luar yang selanjutnya disebarkan ke setiap penjuru sel.

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



TES FORMATIF 1

Petunjuk:

Pilihlah A, B, C, atau D sebagai jawaban yang paling tepat.

- 1) Karbohidrat yang umum untuk pemanis pangan tergolong ke dalam disakarida seperti
 - A. fruktosa
 - B. glukosa
 - C. galaktosa
 - D. sukrosa

- 2) Disakarida terbentuk dari dua molekul monosakarida seperti
 - A. fruktosa dan sukrosa
 - B. galaktosa dan maltosa
 - C. glukosa dan fruktosa
 - D. sukrosa dan maltosa

- 3) Air sangat berperan dalam pengaturan suhu tubuh karena
 - A. penyerap panas sangat baik
 - B. merupakan pelarut yang baik
 - C. dapat menurun-naikkan panas badan
 - D. dapat menurunkan suhu tubuh

- 4) Trigliserida merupakan kelompok senyawa yang terbentuk dari
 - A. hanya asam lemak
 - B. gliserol dengan 3 molekul asam lemak
 - C. satu mol alkohol dengan 3 molekul kolesterol
 - D. 3 molekul alkohol dengan 1 mol asam lemak

- 5) Protein merupakan kumpulan molekul-molekul sederhana yang saling terikat pada ikatan
 - A. karboksilat
 - B. peptida
 - C. ester
 - D. kompleks

- 6) Protein bila dihidrolisis akan menghasilkan molekul-molekul utama lebih kecil berupa
 - A. peptida
 - B. nitrogen
 - C. asam amino
 - D. air (HOH)

- 7) Beras ketan mengandung banyak karbohidrat; melalui proses tertentu karbohidrat diurai dan menghasilkan jenis pangan yang terasa agak manis karena mengandung
 - A. dipeptida dan karbondioksida
 - B. gliserol dan oksigen
 - C. asam amino dan NH_2
 - D. sakarida

- 8) Contoh polisakarida yang umum dijumpai dan banyak digunakan untuk pangan manusia adalah
 - A. lemak gajih
 - B. daging
 - C. glikogen
 - D. tepung singkong

- 9) Sel memerlukan energi untuk aktivitas hidupnya; memperolehnya melalui oksidasi bahan pangan yang dilakukan di
- A. membran sel
 - B. inti sel
 - C. ribosom
 - D. mitokondria
- 10) Asam inti merupakan polimerisasi dari
- A. nukleosida
 - B. nukleotida
 - C. "nucleic acid"
 - D. basa purin dan pirimidin

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.

ESAI (Modul 1.1)

- 1) Bagaimanakah perbedaan hewan dari tumbuhan dalam hal menangkap dan menghasilkan energi.

Arahan:

Tumbuhan mampu menangkap energi matahari dan selanjutnya menyintesis bahan organik (fotosintesis).

Tumbuhan mampu mengubah bahan organik menjadi energi lagi.

Hewan tidak mampu menangkap energi matahari.

Hewan memerlukan bahan organik untuk menghasilkan energi.

- 2) Jelaskan bahan-bahan organik utama yang diperlukan hewan.

Arahan:

Tiga kelompok bahan organik: Karbohidrat, Lemak, Protein.

Masing-masing bahan memiliki ciri khas.

- 3) Jelaskan siklus energi yang terjadi dan diperlukan pada proses kehidupan.

Arahan:

Sinar matahari (energi) + klorofil menjadi pangan

Bahan pangan dioksidasi, berlangsung metabolisme, terbentuk Energi, CO₂ dan air.

KEGIATAN BELAJAR 2

Stimulus dan Respons

Apakah yang dimaksud hidup? Belum pernah ada jawaban terhadap pertanyaan ini yang memuaskan semua pihak. Aktivitas yang kompleks dan bervariasi antara satu organ dengan organ lain merupakan salah satu alasan bagaimana sulitnya untuk mengekspresikan dengan ungkapan yang singkat apa yang dimaksud dengan **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 mengekalkan 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
- ada kerusakan atau cacat pada tubuh organisme, cacat ini sering kali diturunkan, misal buta warna pada manusia, pada suatu keadaan, secara

alam suatu organisme tidak dapat menghadapi penyakit tertentu, tetapi setelah diberi kekebalan (imunisasi), 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. Oleh 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 di atas 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**”. Mekanisme ini akan diuraikan lagi pada modul selanjutnya. Tampak pada halaman ini kaitan modul ini dengan modul lainnya. Artinya, suatu proses tidak dapat dipisahkan dari proses-proses lain di dalam satu organisme.

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 sebagainya, keadaan ini disebut **organisasi**. sering kali 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.

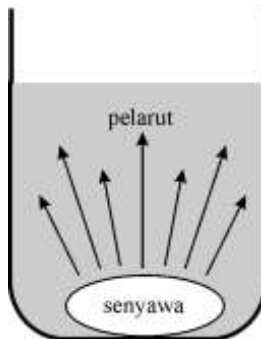
Ciri umum dan penting pada sel hidup, mampu secara selektif mengumpulkan dari atau mengeluarkan ke lingkungannya beberapa senyawa

tertentu. Kejadian ini dinamakan **transpor 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 atau tumbukan antara molekul dengan membran (Gambar 1.13).



Gambar 1.15
Proses Difusi

Molekul Senyawa Terlarut Bergerak dari Daerah dengan Konsentrasi Lebih Tinggi ke Daerah dengan Konsentrasi Lebih Rendah

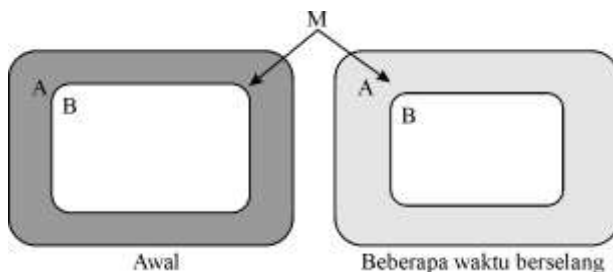
Bila pada satu bagian di dalam suatu larutan terdapat kandungan zat lebih banyak (lebih pekat) maka frekuensi tumbukan di bagian tersebut akan lebih tinggi. Akibatnya, zat terlarut tersebut akan terlempar dan tersebar ke bagian yang kurang pekat konsentrasinya, hingga pada satu saat, di setiap bagian larutan tersebut terkandung zat dalam kadar 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 atau memerlukan cara khusus untuk melewatinya. 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 1.14.)



Gambar 1.16

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

Osmosis dapat digambarkan sebagai difusi air melalui membran – antara A dengan B -, sehingga air menyusut di satu lokasi (B) dan bertambah di lokasi sebelahnya (A).

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 menggebang 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 di antara 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 (gambar 1.15) di dalam sel, akan menyebabkan proses perpindahan terhenti.

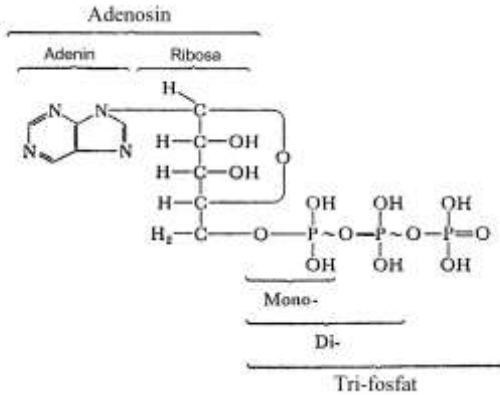
Pengiriman senyawa dapat terjadi pada kecepatan yang tetap, bila tersedia cukup bahan yang akan dipindahkan. Reaksi pembatas pada kecepatan pengiriman zat terdapat pada sistem pengawas kerja enzim.

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 sering kali 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.



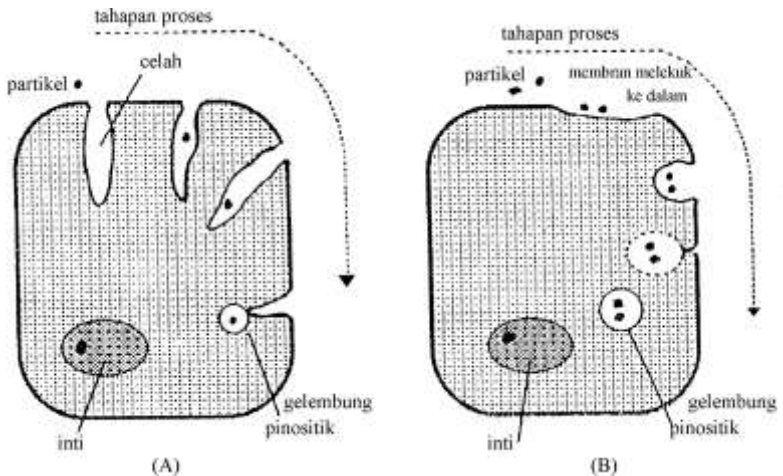
Gambar 1.17
Gugus Fosfat Terikat ,pada Adenosin (Adenin + Ribosa),
Membentuk AMP, ADP, atau ATP (Energi Diperlukan Untuk
Berbagai Aktivitas Metabolisme); Dua Gugus Fosfat di Ujung
Terikat dengan Ikatan Berenergi Tinggi, Bila Terurai Akan
Melepaskan Energi Hingga 6 Kali Lebih Besar Dibanding
Ikatan Fosfat Biasa

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**.

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 1.16.).

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). Materi yang tertangkap dihancurkan oleh enzim-enzim lisosom.



Gambar 1.18

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

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) Menyangkut tiga hal utama; suatu kemampuan dengan tujuan mempertahankan hidup.
- 2) Cara makhluk menghadapi perubahan di luar dengan pengendalian fisiologis di dalam tubuhnya.
- 3) Penyebaran senyawa lewat atau tidak lewat membran.
- 4) Perpindahan air lewat membran semipermeabel, dipengaruhi oleh kadar senyawa terlarut.
- 5) Transpor memerlukan energi, senyawa pengikat, dan enzim.



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 di 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!

- 1) Transportasi bahan masuk sel melalui membran dapat dilakukan secara pasif atau aktif. Termasuk pengangkutan senyawa secara **pasif** adalah
 - A. difusi
 - B. pinositosis
 - C. osmosis
 - D. fagositosis

- 2) Proses transportasi bahan masuk sel melalui membran yang dilakukan secara **aktif** adalah
 - A. osmosis
 - B. difusi
 - C. fagositosis
 - D. dialisis

- 3) Bila terjadi **osmosis** dari dalam keluar sel, maka sel akan mengalami
 - A. pengelembungan
 - B. penyusutan volume
 - C. kerusakan
 - D. pelepasan bahan hasil metabolisme

- 4) Proses **masuknya** air melewati membran semipermeabel sel hewan dari area berkadar garam rendah ke area berkadar garam tinggi, yaitu
 - A. endositosis
 - B. transpor aktif
 - C. homeostasis
 - D. osmosis

- 5) Transport aktif suatu senyawa yang diperlukan sel, dari luar ke dalam melalui membran, dapat berlangsung dengan proses
 - A. osmosis
 - B. sintesis
 - C. pinositosis
 - D. eksositosis

- 6) Hasil metabolisme di dalam sel yang merupakan bahan buangan (tidak diperlukan lagi) perlu dikeluarkan melalui proses
 - A. eksositosis
 - B. transpor aktif
 - C. endositosis
 - D. fagositosis

- 7) Hewan harus mampu beradaptasi untuk mempertahankan hidupnya melalui salah satu cara, yaitu dengan
 - A. menyerang setiap musuh
 - B. bersembunyi terus menerus
 - C. berpindah-pindah tempat
 - D. memperbanyak diri (berbiak)

- 8) *Amoeba* adalah hewan bersel tunggal, tetapi mampu hidup atau melaksanakan metabolisme “tubuh” layaknya hewan multiseluler; berarti di dalam sel terjadi
- integrasi antarbagian
 - proteksi
 - reproduksi
 - pembentukan organ
- 9) Molekul berenergi tinggi terbentuk bila terjadi ikatan berenergi antara fosfat dengan
- adenin
 - adenosin
 - nukleosida
 - basa bernitrogen
- 10) Dalam transportasi aktif, proses yang **tidak langsung** terlibat di dalam sel berupa sintesis....
- enzim
 - molekul pengikat
 - ATP
 - DNA

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.

ESAI (Modul 1.2)

- 1) Anabolisme dan katabolisme terjadi terus menerus pada setiap organisme hidup. Berikan contoh dan jelaskan proses itu yang berlangsung pada organisme sederhana berklorofil.

Arahan:

Kemampuan organisme berklorofil menyintesis karbohidrat.

Apakah manfaat proses ini.

Bagaimana proses dapat terus berlangsung.

- 2) Jelaskan pula bila organisme pada kasus di atas (No.1) berada pada botol tidak tembus cahaya.

Arahan:

Bagaimana syarat terjadi sintesis karbohidrat.

Bila syarat tersebut tidak terpenuhi, bagaimana proses selanjutnya yang memerlukan energi.

Apa akibat pada kehidupan organisme ini.

- 3) Organisme hidup juga tidak dapat bertahan lama bila mengalami gangguan pada sistem ekskresinya, meskipun proses anabolisme dan katabolisme tidak terganggu. Jelaskan alasannya.

Arahan:

Metabolisme menghasilkan produk berguna, termasuk energi; juga menghasilkan produk “buangan”, terdiri dari berbagai senyawa yang **harus** dikeluarkan dari sel tubuh.

Senyawa apa saja yang bersifat racun bila tetap berada di dalam sel.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) D. Benar, disakarida; glukosa berikatan dengan fruktosa; A, B, dan C = monosakarida
- 2) C. Benar, glukosa dan fruktosa keduanya monosakarida.
- 3) A. Benar, air penyerap panas.
- 4) B. Benar, trigliserida mengandung tiga molekul asam lemak.
- 5) B. Benar, peptida ikatan antar gugus karboksil dengan amino pada asam-asam amino membentuk protein.
- 6) C. Benar, protein terbentuk dari asam-asam amino saling terikat pada ikatan peptida.
- 7) D. Benar, sakarida merupakan turunan karbohidrat.
- 8) D. Benar, A= bukan polisakarida; B= protein C= karbohidrat pada otot.
- 9) D Benar, sumber pembangkit tenaga bagi sel.
- 10) B Benar; A, C dan D = lihat Gambar 1,9.

Tes Formatif 2

- 1) A. Benar, C= hanya transpor air; B dan D = transpor aktif.
- 2) C. Benar, A dan B = transpor pasif; D = penyaringan, pasif.
- 3) B. Benar, air keluar, hingga sel mengempis.
- 4) D. Benar, air lewat membran ke arah area garam lebih pekat.
- 5) C. Benar, A = transfer air; B = bukan transportasi; D = keluar sel.
- 6) A. Benar, B = arah tidak spesifik; C & D = arah masuk ke dalam sel.
- 7) D. Benar, paling tepat; A = tidak bisa selalu menang; B, C = sulit melaksanakannya.
- 8) A. Tepat benar.
- 9) B. Benar, lihat Gambar 1.15.
- 10) D. Benar, A, B, dan C = terlibat pada transpor aktif.

Daftar Pustaka

- Campbell, N. A., Reece J. B., and Mitchell L. G. 1999. *BIOLOGY*. 5th Ed. USA: Addison Wesley Longman, Inc.
- Mc. Cauley, W. J. 1971. "*Vertebrate Physiology*". W. B. Saunders Company.
- Mc. Clintic, J. R. 1980. "*Basic Anatomy and Physiology of the Human Body*". 2nd. Ed. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Schottelius, B. A. and D. D., Schottelius. 1978. "*Textbook of Physiology*". 18th Ed. The C. V. Mosby Company. p. 372-387.
- Tortora, G. J. and N. P. Anagnostakos. 1984. *Principles of Anatomy and Physiology*. 4th Ed. Harper International Edition.
- Wilson, C. M. (Ed). 1987. *The Physiology Coloring Book*. NewYork: Harper Collins Publ.