



MODUL BIOLOGI
(KES 102)

Materi Pertemuan 5
Energi dan Proses Metabolisme Sel

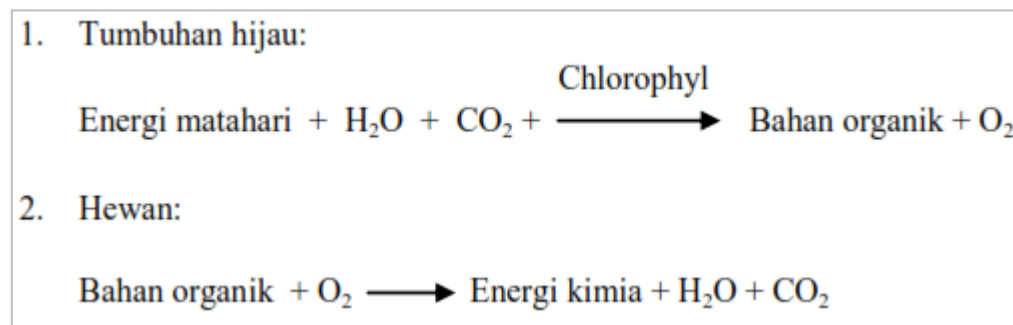
Disusun Oleh:
Reza Fadhillah, S.TP., M.Si

UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2018

Proses Kehidupan di dalam Sel

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:



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 menghaluskan bahan makanan, menjadi senyawa yang lebih sederhana agar dapat diabsorpsi oleh sel.

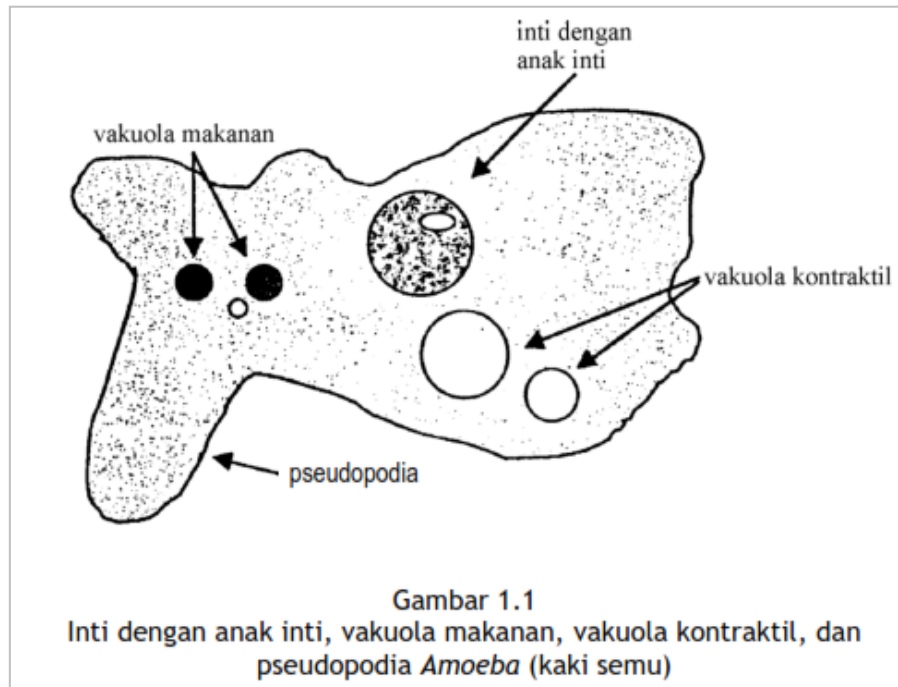
Bila kita lihat lebih rinci lagi, misalnya dengan bantuan mikroskop, tampak bahwa jaringan sebenarnya dibangun oleh sejumlah besar sel. Bila kita menggunakan mikroskop yang lebih canggih (mikroskop elektron), atau dalam pengamatan ini menggunakan berbagai peralatan canggih lain, maka dapat diketahui 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.

Protoplasma

Berbagai 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 benangbenang, 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.



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:

- Pada suhu di mana makhluk itu hidup, air dalam fase cair.
- Air merupakan pelarut yang baik
- Air merupakan penyerap panas yang baik sekali, sehingga dapat berperan dalam pengaturan suhu tubuh.
- Air merupakan penyalur panas yang baik, sehingga panas tubuh dapat merata ke seluruh bagian tubuh.
- Air memiliki panas penguapan yang tinggi, sehingga dapat menurunkan suhu tubuh bila sedang demam
- Air tidak dapat bercampur dengan lemak, sehingga membran sel dapat menjaga agar isi sel tidak mengalir keluar.
- 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,

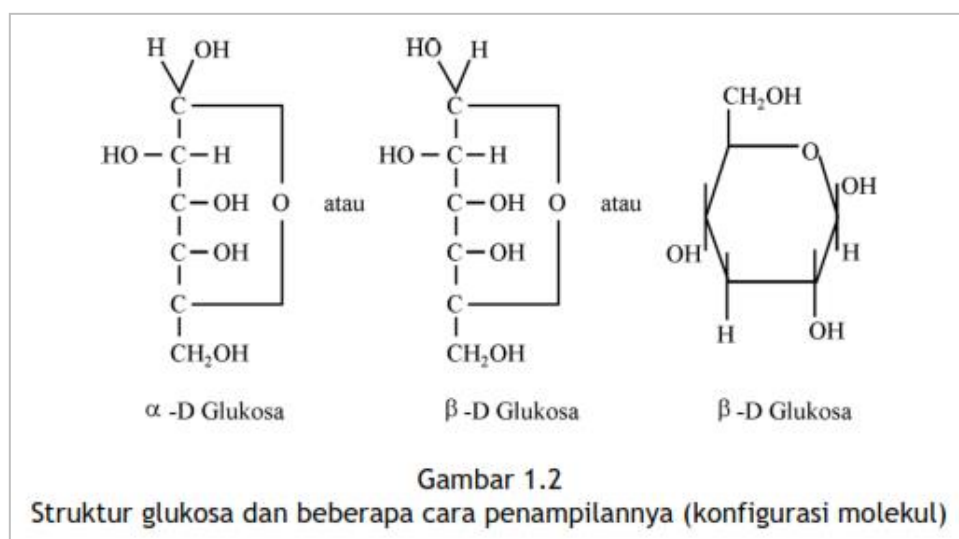
berbagai senyawa tersebut harus selalu ada karena diperlukan bagi kehidupannya.

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

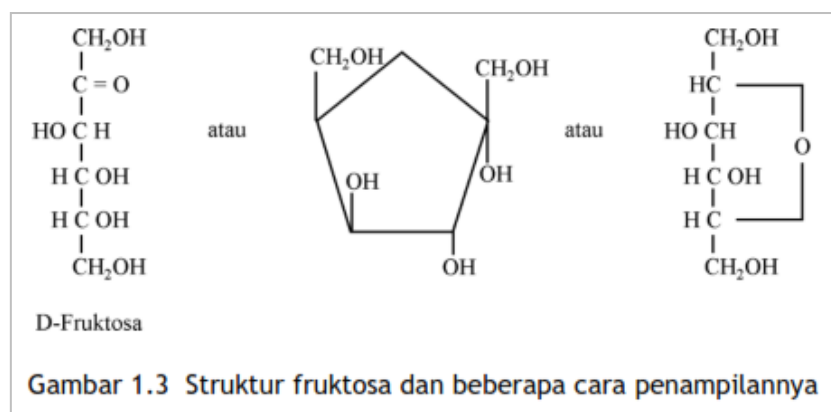
a. Karbohidrat (hidrat-arang)

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



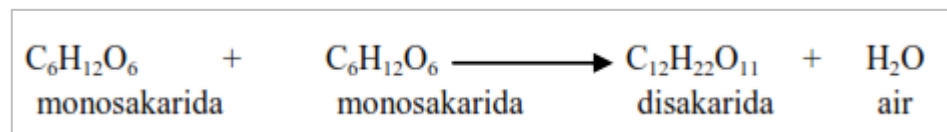
1) Monosakarida

Monosakarida biasanya dinamakan sebagai gula sederhana dengan rumus kimia C₆H₁₂O₆. 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 (\square 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".



2) Disakarida

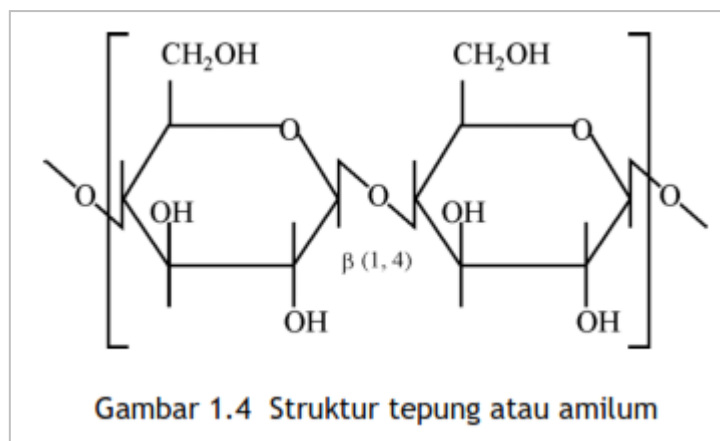
Disakarida merupakan gabungan dua molekul gula sederhana dengan melepas satu molekul air, reaksi kimianya dapat ditulis seperti di bawah ini:



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.

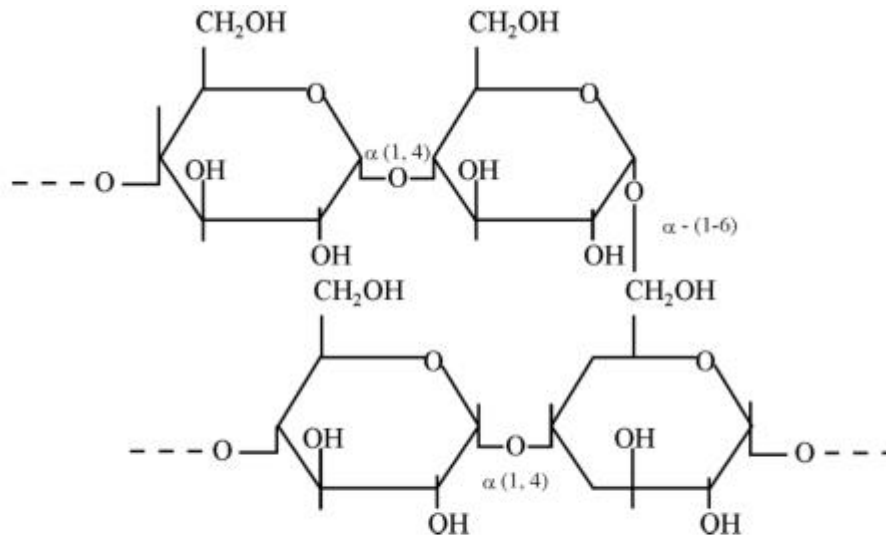
3) Polisakarida

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.



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

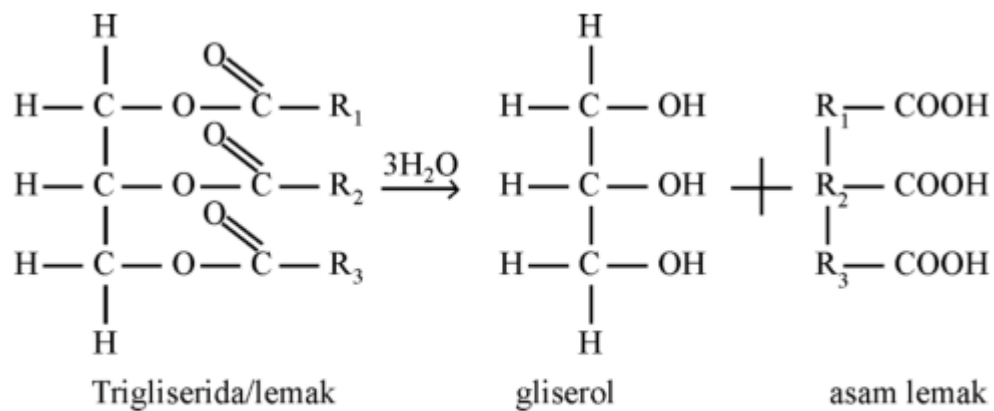
b. Lipid (Lemak)

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.

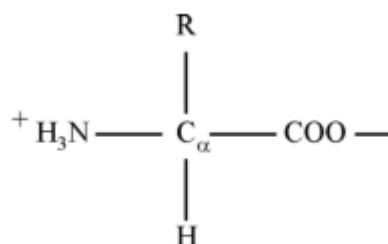


Gambar 1.6 Struktur gliserol dan lemak atau trigliserida

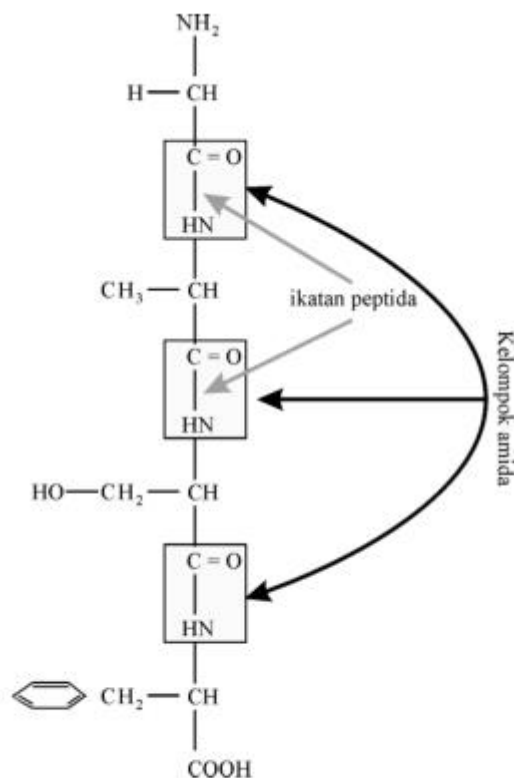
c. Protein

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.



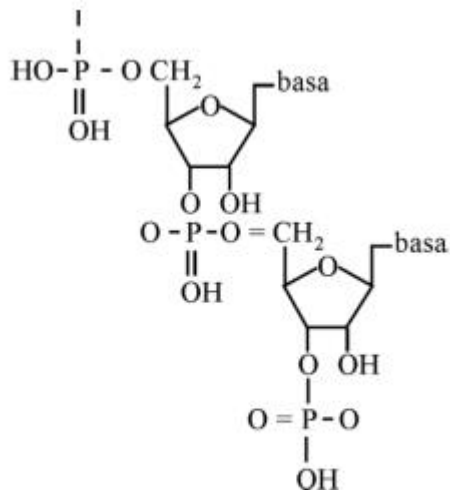
Gambar 1.7. Rumus umum asam amino



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 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). 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.

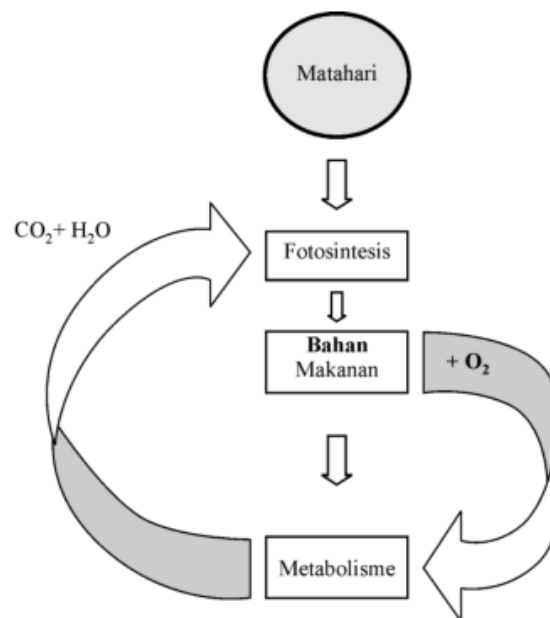
Energi potensial, dapat dianggap sebagai energi tersimpan. Energi dalam bentuk demikian belum menghasilkan suatu perubahan, tetapi ada kekuatan yang tersembunyi; bila dikeluarkan dalam kondisi yang cocok akan mampu melakukan kerja. Misalnya pada per spiral, bahan pemberat timbangan atau molekul glukosa,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

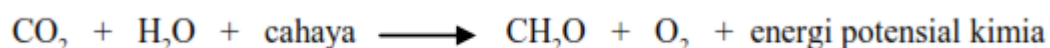
Sumber energi untuk kehidupan hewan. Berasal dari pakan (energi potensial), yang dimakan hewan, langsung atau tidak langsung berasal dari tumbuh-tumbuhan. Tumbuhan mampu membuat atau membangun berbagai senyawa dari senyawa anorganik sederhana, seperti air, CO₂, nitrat, sulfat dan fosfat menjadi senyawa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



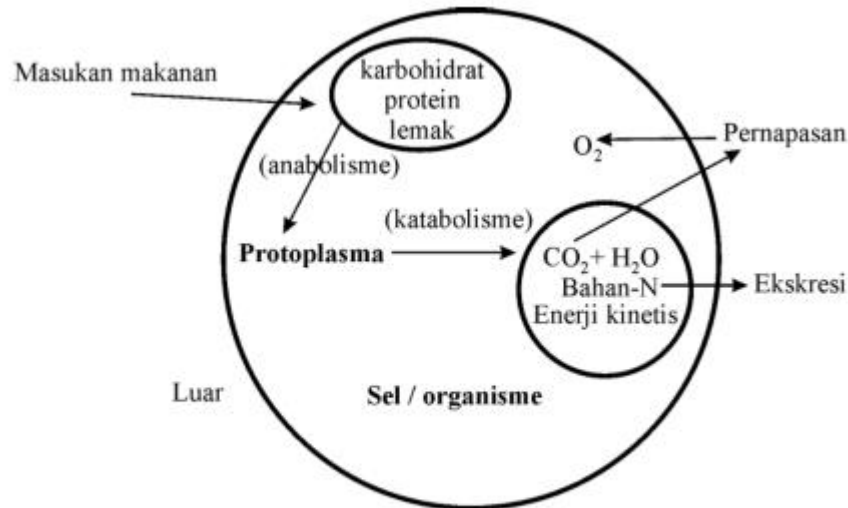
Gambar 1.10. Siklus energi yang menyokong berbagai proses kehidupan.

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



Beberapa molekul CH₂O bergabung membentuk C₆H₁₂O₆ 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.

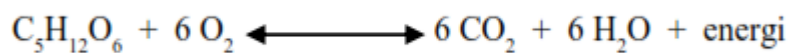
Organisme Hidup dan Sistem Terbuka

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 menghindarkan 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 (CO₂) dan dua molekul etil alkohol (C₂H₅OH). 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 (C₃H₆O₃). 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. perubahan energi kimia menjadi energi kinetis,
2. Perubahan 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.