



Sumber: Tubuh Manusia, Widyadara

Tubuh kita memerlukan energi untuk melakukan berbagai aktivitas, misalnya berolahraga. Saat berlari kita memerlukan banyak energi. Tubuh kita memerlukan asupan makanan sebagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan energi. Di dalam tubuh, makanan tersebut akan mengalami katabolisme sehingga dihasilkan energi. Katabolisme merupakan salah satu bagian dari metabolisme yang menghasilkan energi. Apakah yang dimaksud katabolisme dan metabolisme?

Pada bab ini akan dipelajari mengenai pengertian metabolisme serta macamnya. Selain itu, Anda juga dapat mempelajari proses yang berlangsung dalam metabolisme. Setelah mempelajari bab ini Anda diharapkan dapat memahami berbagai proses metabolisme dalam makhluk hidup dan dapat memanfaatkannya dalam kehidupan sehari-hari.



Kata Kunci

metabolisme
katabolisme
anaerob
glikolisis
sistem transpor elektron
anabolisme
aerob
fermentasi
siklus Krebs
respirasi

Semua aktivitas hidup memerlukan energi. Berpikir, berolahraga, bahkan tidur pun memerlukan energi. Dari mana energi berasal? Mobil mendapat energi dari bensin, sementara itu tubuh organisme mendapat energi dari bahan makanan. Sumber energi untuk segala kehidupan kita berasal dari cahaya matahari yang ditangkap oleh tumbuhan melalui klorofil. Selanjutnya, dalam proses jaring-jaring makanan, energi yang terdapat dalam makanan masuk dalam sistem pencernaan dan setelah dicerna menghasilkan zat-zat makanan. Zat-zat makanan ini akan diangkut menuju sel-sel dan jaringan tubuh baik pada konsumen pertama atau berikutnya. Nah, zat makanan ini di dalam sel-sel tubuh akan mengalami proses katabolisme.

Metabolisme berasal dari kata *metabole* yang artinya perubahan. Berubah di sini memiliki dua pengertian. Pertama, berubah menjadi lebih kompleks disebut **anabolisme**, **asimilasi**, atau **sintesis**. Kedua, berubah menjadi lebih sederhana disebut **katabolisme** atau **disimilasi**.

Dengan demikian metabolisme meliputi dua macam reaksi, yaitu anabolisme dan katabolisme. Anabolisme (biosintesis) merupakan proses pembentukan makromolekul (lebih kompleks) dari molekul yang lebih sederhana. Makromolekul yang dimaksud misalnya komponen sel (protein, karbohidrat, lemak, dan asam nukleat). Oleh karena proses pembentukannya memerlukan energi bebas maka disebut **reaksi endergonik**.

Katabolisme merupakan proses pemecahan makromolekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana. Misalnya pengubahan karbohidrat menjadi CO_2 dan H_2O dalam proses respirasi. Proses ini menghasilkan energi bebas sehingga disebut **reaksi eksergonik**. Energi tersebut tersimpan dalam bentuk molekul pembawa energi tinggi antara lain *adenosin triphosphat* (ATP) dan *nikotinamida adenin dinukleotida phosphat* (NADPH). Semua proses metabolisme (anabolisme dan katabolisme) merupakan reaksi enzimatik. Artinya, reaksi itu terjadi melalui keterlibatan enzim. Sebelum membahas lebih lanjut mengenai metabolisme marilah kita bahas terlebih dulu mengenai enzim.

A. Peran Enzim dalam Metabolisme

Enzim merupakan senyawa protein yang berfungsi sebagai katalisator reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam sistem biologi (makhluk hidup). Oleh karena merupakan katalisator dalam sistem biologi, enzim sering disebut **biokatalisator**. Katalisator adalah suatu zat yang mempercepat reaksi kimia, tetapi tidak mengubah kesetimbangan reaksi atau tidak mempengaruhi hasil akhir reaksi. Zat itu sendiri (enzim) tidak ikut dalam reaksi sehingga bentuknya tetap atau tidak berubah.

Tanpa adanya enzim, reaksi-reaksi kimia dalam tubuh akan berjalan lambat. Apakah sebenarnya enzim itu dan bagaimanakah cara kerjanya?

1. Komponen Enzim

Enzim (biokatalisator) adalah senyawa protein sederhana maupun protein kompleks yang bertindak sebagai katalisator spesifik. Enzim yang tersusun dari protein sederhana jika diuraikan hanya tersusun atas asam amino saja, misalnya pepsin, tripsin, dan kemotripsin. Sementara itu, enzim yang berupa protein kompleks bila diuraikan tersusun atas asam amino dan komponen lain.

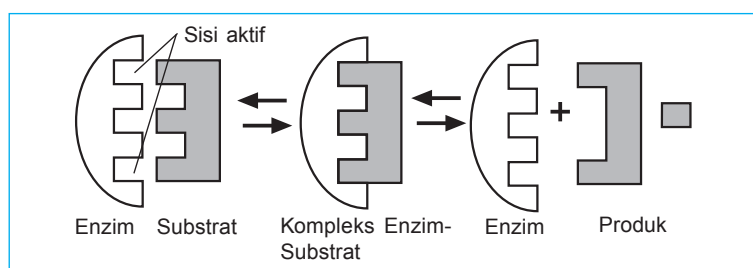
Enzim lengkap atau sering disebut **holoenzim**, terdiri atas komponen protein dan nonprotein. Komponen protein yang menyusun enzim disebut **apoenzim**. Komponen ini mudah mengalami denaturasi, misalnya oleh pemanasan dengan suhu tinggi. Adapun penyusun enzim yang berupa komponen non-protein dapat berupa komponen organik dan anorganik. Komponen organik yang terikat kuat oleh protein enzim disebut **gugus prostetik**, sedangkan komponen organik yang terikat lemah disebut **koenzim**. Beberapa contoh koenzim antara lain: vitamin (vitamin B₁, B₂, B₆, niasin, dan biotin), NAD (nikotinamida adenin dinukleotida), dan koenzim A (turunan asam pentotenat). Komponen anorganik yang terikat lemah pada protein enzim disebut **kofaktor** atau aktivator, misalnya beberapa ion logam seperti Zn²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺, Mg²⁺, K⁺, Fe²⁺, dan Na⁺.

2. Cara Kerja Enzim

Salah satu ciri khas enzim yaitu bekerja secara spesifik. Artinya, enzim hanya dapat bekerja pada substrat tertentu. Bagaimana cara kerja enzim? Beberapa teori berikut menjelaskan tentang cara kerja enzim.

a. *Lock and Key Theory* (Teori Gembok dan Kunci)

Teori ini dikemukakan oleh **Fischer** (1898). Enzim diumpamakan sebagai gembok yang mempunyai bagian kecil dan dapat mengikat substrat. Bagian enzim yang dapat berikatan dengan substrat disebut **sisi aktif**. Substrat diumpamakan kunci yang dapat berikatan dengan sisi aktif enzim. Perhatikan Gambar 2.1 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

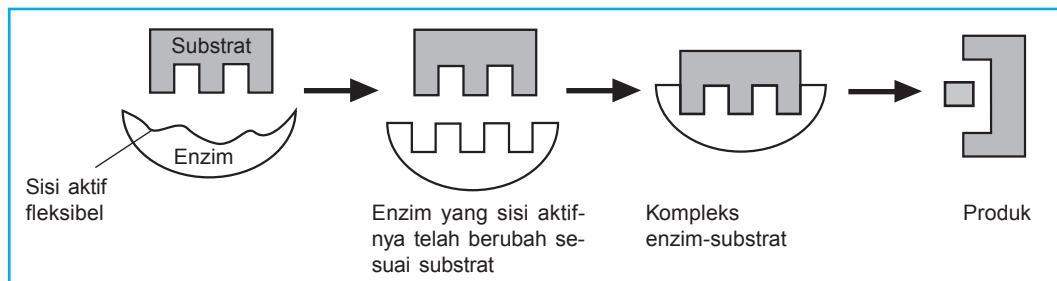
Gambar 2.1

Cara kerja enzim *Lock and Key Theory*

Selain sisi aktif, pada enzim juga ditemukan adanya sisi alosterik. Sisi alosterik dapat diibaratkan sebagai *sakelar* yang dapat menyebabkan kerja enzim meningkat ataupun menurun. Apabila sisi alosterik berikatan dengan penghambat (inhibitor), konfigurasi enzim akan berubah sehingga aktivitasnya berkurang. Namun, jika sisi alosterik ini berikatan dengan aktivator (zat penggiat) maka enzim menjadi aktif kembali.

b. *Induced Fit Theory* (Teori Ketepatan Induksi)

Sisi aktif enzim bersifat fleksibel sehingga dapat berubah bentuk menyesuaikan bentuk substrat. Perhatikan Gambar 2.2 dan diskusikan dengan teman sebangku.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

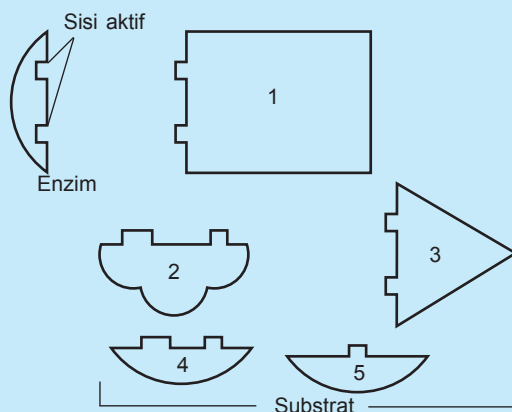
Gambar 2.2

Cara kerja enzim *Induced Fit Theory*

Lakukanlah kegiatan diskusi berikut, agar Anda lebih memahami cara kerja enzim.

Forum Diskusi

Pada umumnya sebuah enzim hanya mampu menjadi katalisator pada sebuah atau beberapa reaksi kimia, dengan catatan substrat itu mempunyai struktur umum sama, sesuai dengan Teori Gembok dan Kunci. Nah, sekarang perhatikan gambar berikut.



Diskusikan dengan kelompok Anda di antara kelima substrat tersebut. Manakah yang dapat bereaksi dengan enzim? Jelaskan alasannya dan presentasikan di depan kelas.

3. Penghambatan Aktivitas Enzim

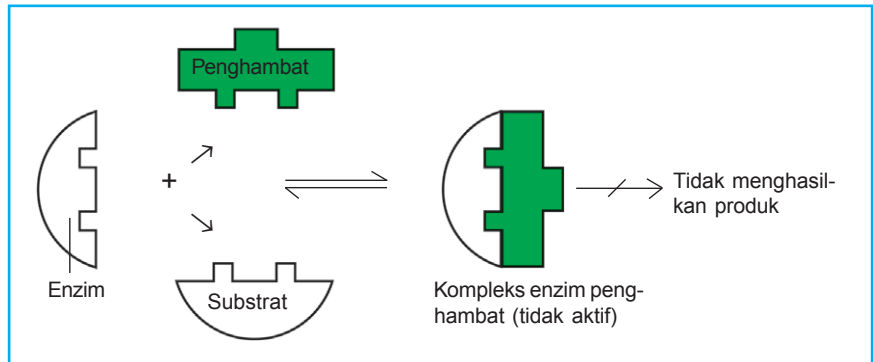
Telah dijelaskan bahwa mekanisme kerja enzim dalam suatu reaksi kimia dilakukan melalui pembentukan kompleks enzim-substrat. Adakalanya reaksi kimia yang dikatalisir enzim mengalami gangguan, yaitu jika enzim itu sendiri mengalami penghambatan. Molekul atau ion yang menghambat kerja enzim disebut **inhibitor**. Terdapat tiga jenis inhibitor, yaitu inhibitor reversibel, inhibitor tidak reversibel, dan inhibitor alosterik.

a. Inhibitor Reversibel

Inhibitor reversibel meliputi tiga jenis hambatan berikut.

1) *Inhibitor kompetitif (hambatan bersaing)*

Pada penghambatan ini zat-zat penghambat mempunyai struktur mirip dengan struktur substrat. Dengan demikian, zat penghambat dengan substrat saling berebut (bersaing) untuk bergabung dengan sisi aktif enzim (Gambar 2.3).



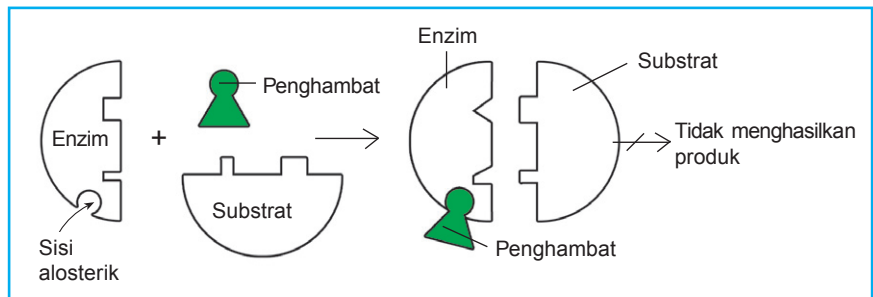
Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.3

Inhibitor kompetitif

2) *Inhibitor nonkompetitif (hambatan tidak bersaing)*

Penghambatan ini dipicu oleh terikatnya zat penghambat pada sisi alosterik sehingga sisi aktif enzim berubah. Akibatnya, substrat tidak dapat berikatan dengan enzim untuk membentuk kompleks enzim-substrat (Gambar 2.4).



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.4

Inhibitor nonkompetitif

3) *Inhibitor umpan balik*

Hasil akhir (produk) suatu reaksi dapat menghambat bekerjanya enzim. Akibatnya, reaksi kimia akan berjalan lambat. Apabila produk disingkirkan, reaksi akan berjalan lagi.

b. Inhibitor Tidak Reversibel

Hambatan ini terjadi karena inhibitor bereaksi tidak reversibel dengan bagian tertentu pada enzim sehingga mengakibatkan bentuk enzim berubah. Perubahan bentuk enzim ini mengakibatkan berkurangnya aktivitas katalitik enzim tersebut. Hambatan tidak reversibel umumnya disebabkan oleh terjadinya proses destruksi atau modifikasi sebuah gugus enzim atau lebih yang terdapat pada molekul enzim.

c. Inhibitor Alosterik

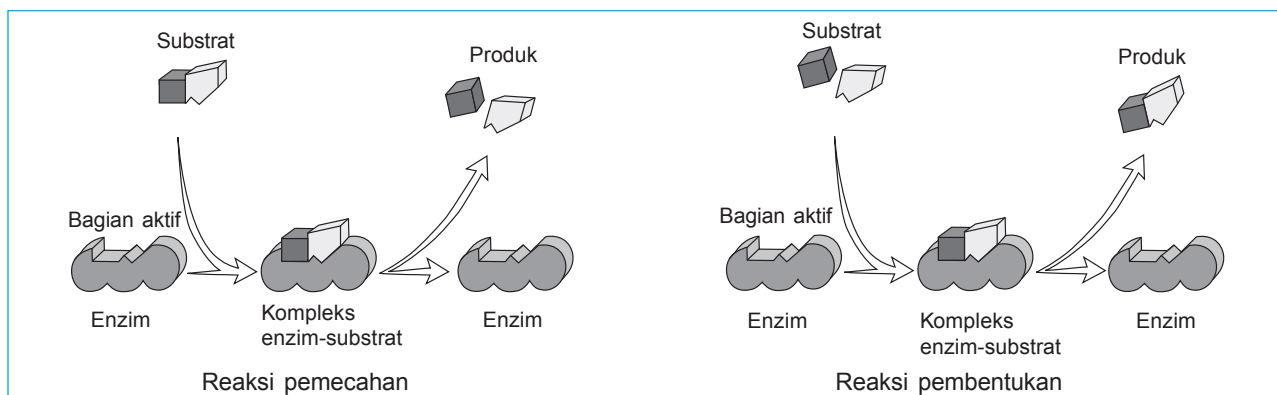
Pada penghambatan alosterik, molekul zat penghambat tidak berikatan pada sisi aktif enzim, melainkan berikatan pada sisi alosterik. Akibat penghambatan ini sisi aktif enzim menjadi tidak aktif karena telah mengalami perubahan bentuk.

4. Sifat-Sifat Enzim

Secara ringkas sifat-sifat enzim dijelaskan sebagai berikut.

- Enzim merupakan biokatalisator.
Enzim dalam jumlah sedikit saja dapat mempercepat reaksi beribu-ribu kali lipat, tetapi ia sendiri tidak ikut bereaksi.
- Enzim bekerja secara spesifik.
Enzim tidak dapat bekerja pada semua substrat, tetapi hanya bekerja pada substrat tertentu saja. Misalnya, enzim katalase hanya mampu menghidrolisis H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 .
- Enzim berupa koloid.
Enzim merupakan suatu protein sehingga dalam larutan enzim membentuk suatu koloid. Hal ini menambah luas bidang permukaan enzim sehingga aktivitasnya lebih besar.
- Enzim dapat bereaksi dengan substrat asam maupun basa.
Sisi aktif enzim mempunyai gugus R residu asam amino spesifik yang merupakan pemberi atau penerima protein yang sesuai.
- Enzim bersifat termolabil.
Aktivitas enzim dipengaruhi oleh suhu. Jika suhu rendah, kerja enzim akan lambat. Semakin tinggi suhu, reaksi kimia yang dipengaruhi enzim semakin cepat, tetapi jika suhu terlalu tinggi, enzim akan mengalami denaturasi.
- Kerja enzim bersifat bolak-balik (reversibel).
Enzim tidak dapat menentukan arah reaksi, tetapi hanya mempercepat laju reaksi mencapai kesetimbangan. Misalnya enzim lipase dapat mengubah lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Sebaliknya, lipase juga mampu menyatukan gliserol dan asam lemak menjadi lemak.

Enzim tidak hanya menguraikan molekul kompleks, tetapi juga dapat membentuk molekul kompleks dari molekul-molekul sederhana penyusunnya (reaksi bolak-balik). Perhatikanlah skema pada Gambar 2.5 berikut agar Anda dapat memahami sifat enzim dengan lebih jelas.



Sumber: *Biology, Mader, S. S.*

Gambar 2.5

Kerja enzim bersifat bolak-balik (reversibel)

Seperti halnya reaksi kimia, reaksi enzimatik juga dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu, contoh enzim laktase. Enzim ini terdapat pada organ hati. Laktase berfungsi mengubah hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi H_2O dan O_2 . Lakukanlah kegiatan berikut agar Anda mendapat gambaran tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.



Eksperimen 1

Mengetahui Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim

1. Siapkan tabung reaksi dan berilah label nomor 1 sampai dengan 5.
2. Ambillah 2 ml larutan hidrogen peroksida menggunakan pipet. Kemudian masukkan ke dalam setiap tabung.
3. Potonglah hati sebanyak tiga potong dengan ukuran sama, misalnya sebesar dadu.
4. Rebuslah sepotong hati, kemudian dinginkan. Setelah dingin masukkan ke dalam tabung I.
5. Masukkan sepotong hati segar ke dalam tabung II.
6. Potonglah hati yang ketiga menjadi dua bagian sama besar. Kemudian masukkan dalam tabung III.
7. Potonglah kentang dan daging kambing atau sapi segar sebesar dadu. Selanjutnya, masukkan dalam tabung IV dan V.
8. Amatilah adanya reaksi pada kelima tabung. Jika terjadi reaksi enzimatik, akan terbentuk gelembung udara yang keluar dari larutan hidrogen peroksida.

Hasil Pengamatan:

Tabung	Jaringan	Perlakuan	Banyak Gelembung	Tingkat Reaksi
I	Hati yang telah direbus			
II	Hati segar A			
III	Hati segar B			
IV	Kentang			
V	Daging kambing atau sapi segar			

Catatan: Isilah pada kolom tingkat reaksi dengan: tidak terjadi reaksi, reaksi lambat, dan reaksi cepat.

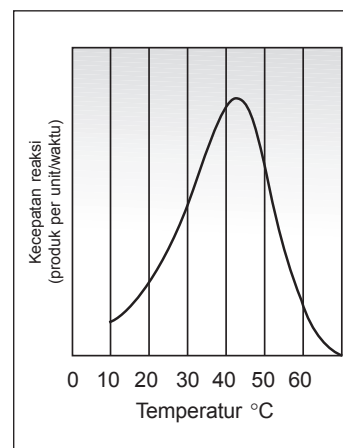
Pertanyaan:

1. Pada tabung nomor berapakah tidak terjadi reaksi kimia? Mengapa demikian?
2. Pada tabung nomor berapakah terjadi reaksi kimia? Mengapa demikian?
3. Di antara tabung-tabung yang di dalamnya terjadi reaksi kimia, pada tabung manakah yang reaksi kimianya paling cepat? Mengapa demikian?
4. Apa kesimpulan dari kegiatan ini?
Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan presentasikan.

Berdasarkan kegiatan di depan, kita dapat mengetahui dua faktor yang mempengaruhi kerja enzim, yaitu suhu dan konsentrasi enzim. Berikut akan dijelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim.

a. Suhu (Temperatur)

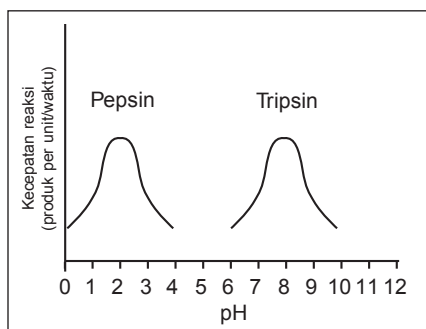
Aktivitas enzim dipengaruhi oleh suhu. Enzim pada suhu 0°C tidak aktif, akan tetapi juga tidak rusak. Jika suhu dinaikkan sampai batas optimum, aktivitas enzim semakin meningkat. Jika suhu melebihi batas optimum, dapat menyebabkan denaturasi protein yang berarti enzim telah rusak. Suhu optimum untuk aktivitas enzim pada manusia dan hewan berdarah panas $\pm 37^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada hewan berdarah dingin $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Hubungan antara suhu dengan kecepatan reaksi (enzimatis) dijelaskan dalam Gambar 2.6 di samping.



Sumber: *Biology, Mader, S. S.*

b. pH (Derajat Keasaman)

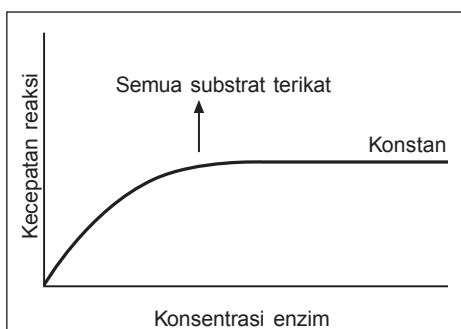
Enzim mempunyai pH optimum yang dapat bersifat asam maupun basa. Sebagian besar enzim pada manusia mempunyai pH optimum antara 6–8, misalnya enzim tripsin yang mendegradasi protein. Namun, ada beberapa enzim yang aktif pada kondisi asam, misalnya enzim pepsin. Perubahan pH dapat mempengaruhi efektivitas sisi aktif enzim dalam membentuk kompleks enzim-substrat. Selain itu, perubahan pH dapat menyebabkan terjadinya proses denaturasi sehingga menurunkan aktivitas enzim. Grafik hubungan antara pH dengan kecepatan reaksi dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Sumber: *Biology, Mader, S. S.*

Gambar 2.7

Grafik hubungan antara pH dengan kecepatan reaksi



Sumber: *Biology, Mader, S. S.*

Gambar 2.8

Grafik hubungan antara konsentrasi enzim dengan kecepatan reaksi

c. Konsentrasi Enzim

Pada umumnya konsentrasi enzim berbanding lurus dengan kecepatan reaksi. Hal ini berarti penambahan konsentrasi enzim mengakibatkan kecepatan reaksi meningkat hingga dicapai kecepatan konstan. Kecepatan konstan tercapai apabila semua substrat sudah terikat oleh enzim. Perhatikan grafik pada Gambar 2.8 di atas.

d. Zat-zat Penggiat (Aktivator)

Terdapat zat kimia tertentu yang dapat meningkatkan aktivitas enzim. Misalnya, garam-garam dari logam alkali dalam kondisi encer (2%–5%) dapat memacu kerja enzim. Demikian pula dengan ion logam Co, Mg, Ni, Mn, dan Cl. Akan tetapi, mekanisme kerja zat penggiat ini belum diketahui secara pasti.

e. Zat-Zat Penghambat (Inhibitor)

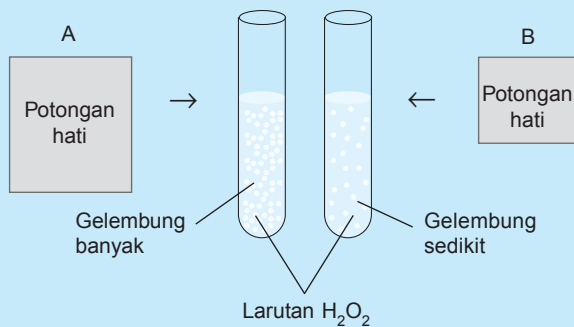
Beberapa zat kimia dapat menghambat aktivitas enzim, misalnya garam-garam yang mengandung merkuri (Hg) dan sianida. Dengan adanya zat penghambat ini, enzim tidak dapat berikatan dengan substrat sehingga tidak dapat menghasilkan suatu produk.



Uji Kompetensi A

Jawablah soal-soal berikut.

1. Apa maksud pernyataan bahwa enzim merupakan biokatalisator?
2. Perhatikan skema berikut.



3. Jika potongan hati dianggap sebanding dengan banyaknya enzim laktase, apa kesimpulan Anda dari kegiatan di atas?
4. Enzim ptialin mampu mengubah karbohidrat menjadi glukosa dalam suasana netral. Enzim ini selanjutnya bersama makanan menuju lambung yang bersuasana asam. Bagaimana kerja enzim ptialin tersebut dalam lambung? Jelaskan.
5. Jelaskan perbedaan penghambat kompetitif dengan penghambat nonkompetitif.
6. Jelaskan maksud dari kerja enzim bersifat spesifik.

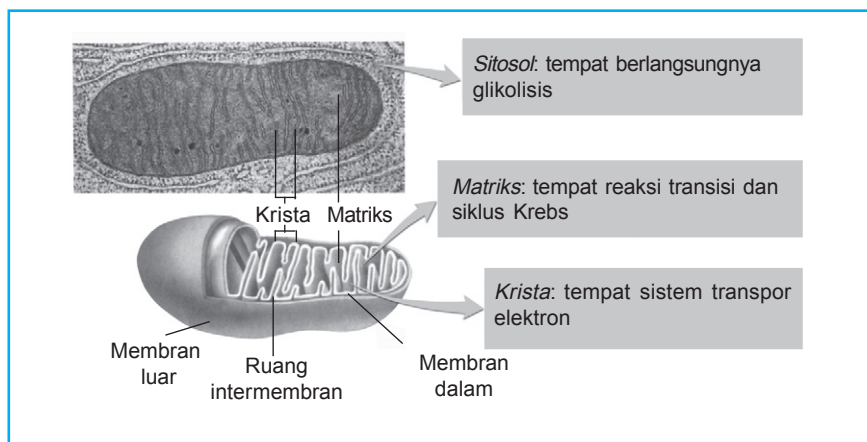
B. Katabolisme

Ketika kita melakukan aktivitas, misalnya berolahraga, dalam tubuh terjadi pembakaran glukosa dan lemak menjadi energi atau panas. Pemecahan glukosa dan lemak atau bahan makanan lain yang menghasilkan energi atau panas disebut **katabolisme**. Dengan kata lain, katabolisme dapat diartikan sebagai proses pemecahan molekul-molekul kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan menghasilkan sejumlah energi.

1. Respirasi

Respirasi adalah proses reduksi, oksidasi, dan dekomposisi, baik menggunakan oksigen maupun tidak dari senyawa organik kompleks menjadi senyawa lebih sederhana dan dalam proses tersebut dibebaskan sejumlah energi. Tenaga yang dibebaskan dalam respirasi berasal dari tenaga potensial kimia yang berupa ikatan kimia.

Respirasi yang memerlukan oksigen disebut respirasi aerob dan respirasi yang tidak memerlukan oksigen disebut respirasi anaerob. Respirasi anaerob hanya dapat dilakukan oleh kelompok mikroorganisme tertentu (bakteri), sedangkan pada organisme tingkat tinggi belum diketahui kemampuannya untuk melakukan respirasi anaerob. Dengan demikian bila tidak tersedia oksigen, organisme tingkat tinggi tidak akan melakukan respirasi anaerob melainkan akan melakukan proses fermentasi. Sementara itu, terdapat respirasi sempurna yang hasil akhirnya berupa CO_2 dan H_2O dan respirasi tidak sempurna yang hasil akhirnya berupa senyawa organik.



Sumber: *Inquiry Into Life*, Mader, S. S.

Gambar 2.9

Struktur mitokondria

Di manakah reaksi respirasi berlangsung? Sebagian reaksi respirasi berlangsung dalam mitokondria dan sebagian yang lain terjadi di sitoplasma. Mitokondria mempunyai membran ganda (luar dan dalam) serta ruangan intermembran (di antara membran luar dan dalam). Krista merupakan lipatan-lipatan dari membran dalam. Ruangan paling dalam berisi cairan seperti gel yang disebut **matriks**. Perhatikan Gambar 2.9. ATP paling banyak dihasilkan selama respirasi pada mitokondria sehingga mitokondria sering disebut **mesin sel**.

Pada awal bab ini telah dijelaskan bahwa berdasarkan kebutuhan oksigen, terdapat dua jenis respirasi yaitu respirasi aerob dan respirasi anaerob. Bagaimanakah proses kimia pada masing-masing jenis respirasi? Marilah kita pelajari dalam uraian berikut.

a. Respirasi Aerob

Berdasarkan jalur reaksinya, respirasi aerob dibedakan menjadi dua yaitu respirasi aerob melalui jalur daur Krebs dan jalur oksidasi langsung atau jalur pentosa fosfat (*Hexose Monophosphat Shunt* = HMS). Apa perbedaan kedua jalur itu?

1) Respirasi Aerob Melalui Jalur Daur Krebs

Respirasi aerob melalui daur Krebs memiliki empat tahap yaitu glikolisis, pembentukan asetil Co-A, daur Krebs, dan sistem transpor elektron.

a) Glikolisis

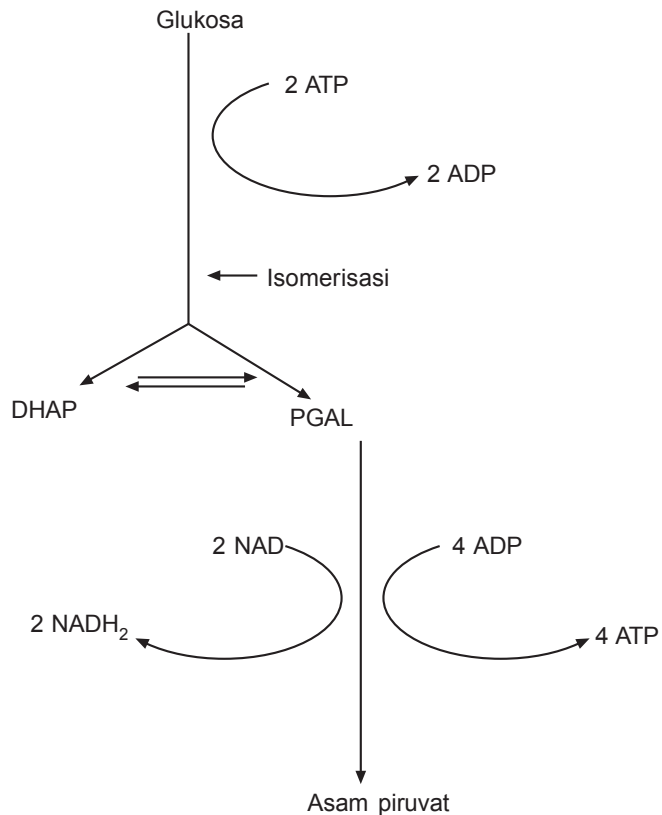
Glikolisis terjadi dalam sitoplasma dan hasil akhirnya berupa senyawa asam piruvat. Selain menghasilkan 2 molekul asam piruvat, dalam glikolisis juga dihasilkan 2 molekul NADH_2 dan 2 ATP jika tumbuhan dalam keadaan normal (melalui jalur *ATP fosfofruktokinase*) atau 3 ATP jika tumbuhan dalam keadaan stress atau sedang aktif tumbuh (melalui jalur *pirofosfat fosfofruktokinase*). ATP yang dihasilkan dalam reaksi glikolisis dibentuk melalui reaksi fosforilasi tingkat substrat. Bagaimanakah reaksi kimia yang terjadi dalam glikolisis? Coba pelajari skema proses glikolisis pada Gambar 2.10 berikut.



Tahukah Anda

Apakah Reaksi Fosforilasi Itu?

Reaksi fosforilasi adalah reaksi penggabungan gugus fosfat organik ke dalam senyawa organik (ADP) menggunakan sejumlah energi, sehingga dapat membentuk ikatan fosfat berenergi tinggi (ATP). Energi yang digunakan untuk membentuk ikatan fosfat tersebut pada keadaan standar sebesar 7.000 kal/mol.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

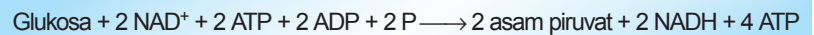
Gambar 2.10

Rangkaian proses glikolisis, diawali dengan glukosa dan diakhiri dengan piruvat

Piruvat merupakan hasil akhir jalur glikolisis. Jika berlangsung respirasi aerobik, piruvat memasuki mitokondria dan segera mengalami proses lebih lanjut. Hasil akhir glikolisis sebagai berikut.

Input	Output
glukosa 2 NAD ⁺ 2 ATP 2 ADP + 2 P	2 asam piruvat 2 NADH 4 ATP

Secara ringkas glikolisis dapat digambarkan dalam reaksi kimia berikut.



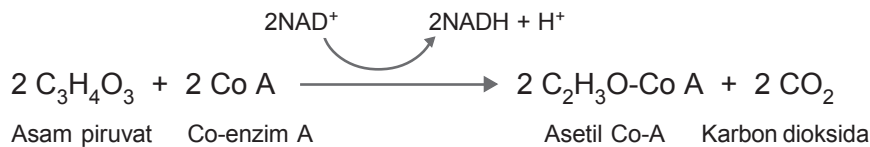
Forum Diskusi

Cermati dan pelajari kembali skema glikolisis di depan. Diskusikan dengan kelompok Anda untuk menjelaskan glikolisis secara sederhana dan mudah. Jangan lupa sebutkan enzim yang berperan dalam setiap tahap glikolisis. Paparkan hasil diskusi di kelas.

b) Pembentukan Asetil Co-A atau Reaksi Transisi

Reaksi pembentukan asetil Co-A sering disebut **reaksi transisi** karena menghubungkan glikolisis dengan daur Krebs. Pembentukan asetil Co-A pada organisme eukariotik berlangsung dalam matriks mitokondria, sedangkan pada organisme prokariotik berlangsung dalam sitosol.

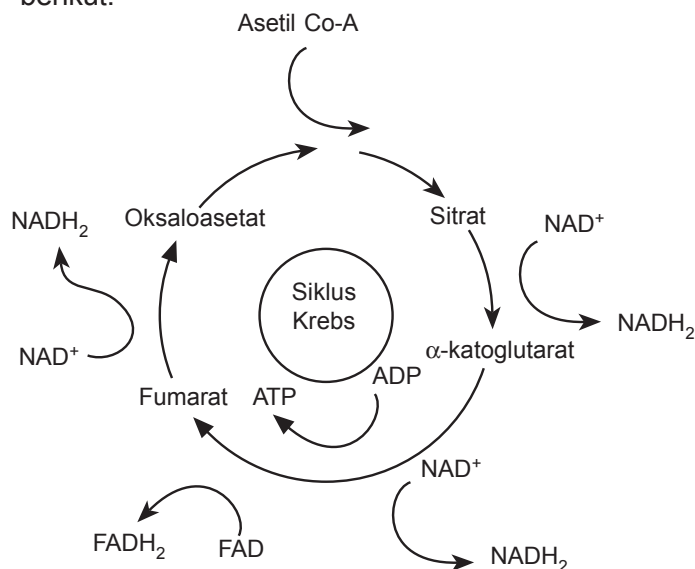
Pada reaksi ini, asam piruvat dikonversi menjadi gugus asetil (2C) yang bergabung dengan Co-enzim A membentuk asetil Co-A dan melepaskan CO_2 . Reaksi ini terjadi 2 kali untuk setiap 1 molekul glukosa. Perhatikan reaksi pembentukan asetil Co-A berikut.



Daur Krebs disebut juga daur asam sitrat atau daur asam trikarboksilat.

c) Daurl Krebs

Daur Krebs terjadi di dalam matriks mitokondria. Daurl Krebs menghasilkan senyawa antara yang berfungsi sebagai penyedia kerangka karbon untuk sintesis senyawa lain. Selain sebagai penyedia kerangka karbon, daurl Krebs juga menghasilkan 3 NADH_2 , 1 FADH_2 , dan 1 ATP untuk setiap satu asam piruvat. Senyawa NADH dan FADH_2 selanjutnya akan dioksidasi dalam sistem transpor elektron untuk menghasilkan ATP. Oksidasi 1 NADH menghasilkan 3 ATP, sedangkan oksidasi 1 FADH_2 menghasilkan 2 ATP. Berbeda dengan glikolisis, pembentukan ATP pada daurl Krebs terjadi melalui reaksi fosforilasi oksidatif. Reaksi yang terjadi pada daurl Krebs dapat Anda pelajari melalui Gambar 2.11 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

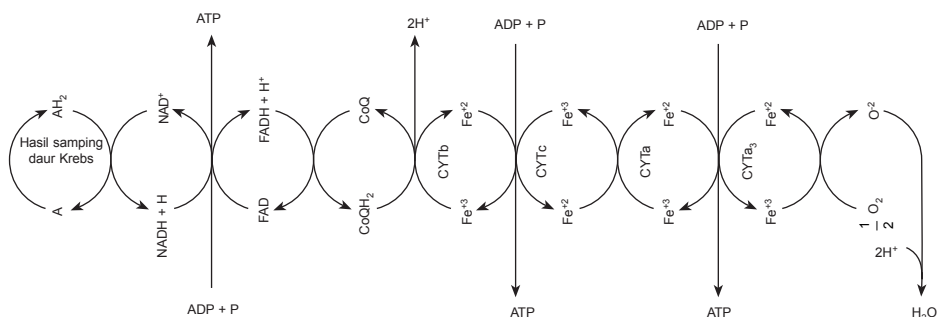
Gambar 2.11
Daur Krebs

Adapun hasil akhir daur Krebs ditampilkan sebagai berikut.

Input	Output
2 Asetil 2 ADP + 2 P 6 NAD ⁺ 2 FAD	4 CO ₂ 2 ATP 6 NADH 2 FADH ₂

d) Sistem transpor elektron

Sistem transpor elektron merupakan suatu rantai pembawa elektron yang terdiri atas NAD, FAD, koenzim Q, dan sitokrom. Sistem transpor elektron terjadi dalam membran mitokondria. Sistem transpor elektron ini berfungsi untuk mengoksidasi senyawa NADH atau NADPH₂ dan FADH₂ untuk menghasilkan ATP. Perhatikan skema sistem transpor elektron pada Gambar 2.12 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.12

Sistem transpor elektron



Tahukah Anda

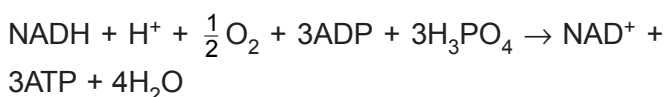
Di Mana Tempat Terjadinya Reaksi Fosforilasi?

Reaksi fosforilasi dalam glikolisis dan daur Krebs terjadi pada perubahan senyawa berikut.

1. 3 fosfogliseraldehid → 1,3-difosfoglisarat
2. Piruvat → asetil Co-A
3. Isositrat → α-ketoglutarat
4. α-ketoglutarat → suksinil Co-A
5. Suksinat → fumarat
6. Malat → oksaloasetat

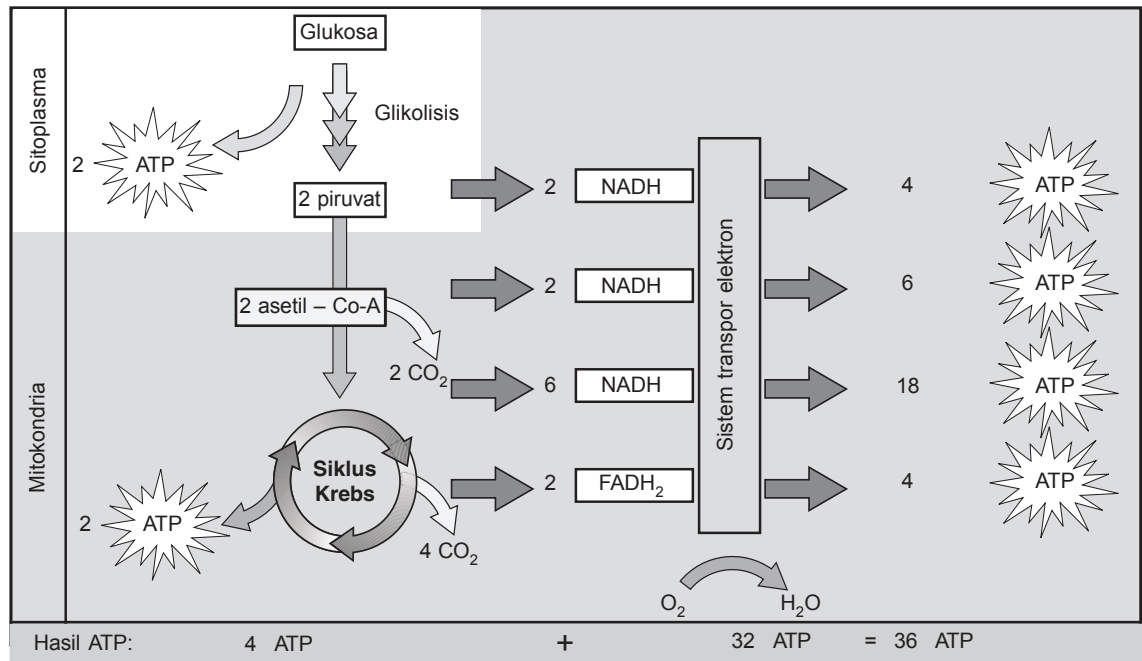
Mengingat oksidasi NADH atau NADPH₂ dan FADH₂ terjadi di dalam membran mitokondria, sedangkan ada NADH yang dibentuk di sitoplasma (dalam proses glikolisis), maka untuk memasukkan setiap 1 NADH dari sitoplasma ke dalam mitokondria diperlukan 1 ATP. Keadaan ini akan mempengaruhi total hasil bersih respirasi aerob pada organisme eukariotik. Organisme prokariotik tidak memiliki sistem membran dalam sehingga tidak diperlukan ATP lagi untuk memasukkan NADH ke dalam mitokondria. Akibatnya total hasil bersih ATP yang dihasilkan respirasi aerob pada organisme prokariotik lebih tinggi daripada eukariotik.

Energi (ATP) dalam sistem transpor elektron terbentuk melalui reaksi fosforilasi oksidatif. Energi yang dihasilkan oleh oksidasi 1 mol NADH atau NADPH₂ dapat digunakan untuk membentuk 3 mol ATP. Reaksinya sebagai berikut.



Sementara itu, energi yang dihasilkan oleh oksidasi 1 mol FADH_2 dapat menghasilkan 2 mol ATP.

Berapakah jumlah total ATP yang dihasilkan selama proses respirasi aerob pada organisme eukariotik? Perhatikan Gambar 2.13 berikut.



Sumber: *Biology, Mader, S. S.*

Gambar 2.13

Jumlah energi yang dihasilkan dari setiap molekul glukosa pada organisme eukariotik

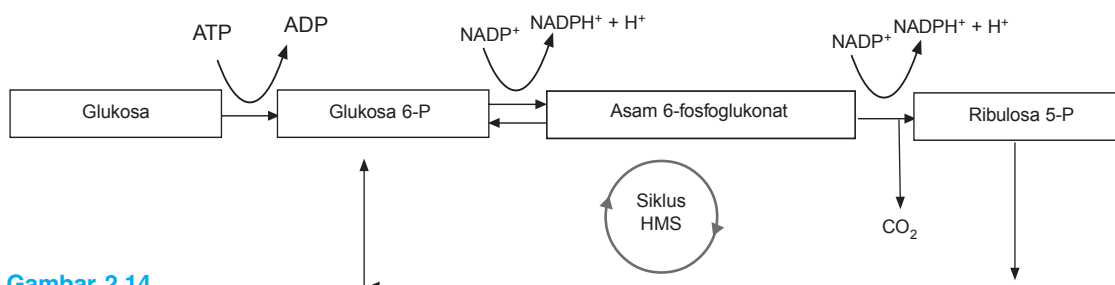
Berdasarkan Gambar 2.13 tersebut tampak bahwa pada organisme eukariotik setiap molekul glukosa akan menghasilkan 36 ATP dalam respirasi. Hasil ini berbeda dengan respirasi pada organisme prokariotik. Telah diketahui bahwa oksidasi NADH atau NADPH_2 dan FADH_2 terjadi dalam membran mitokondria, namun ada NADH yang dibentuk di sitoplasma (dalam proses glikolisis). Pada organisme eukariotik, untuk memasukkan setiap 1 NADH dari sitoplasma ke dalam mitokondria diperlukan 1 ATP. Dengan demikian, 2 NADH dari glikolisis menghasilkan hasil bersih 4 ATP setelah dikurangi 2 ATP. Sementara itu, pada organisme prokariotik, karena tidak memiliki sistem membran dalam maka tidak diperlukan ATP lagi untuk memasukkan NADH ke dalam mitokondria sehingga 2 NADH menghasilkan 6 ATP. Akibatnya total hasil bersih ATP yang dihasilkan respirasi aerob pada organisme prokariotik, yaitu 38 ATP.

Bagaimanakah efisiensi respirasi? Pembakaran glukosa secara sempurna menghasilkan CO_2 dan H_2O di luar tubuh makhluk hidup dan dihasilkan pula energi sebesar 680 kkal. Dari uraian di depan telah diketahui bahwa melalui respirasi 1 molekul glukosa menghasilkan 36 ATP. Sebuah ATP setara dengan 10 kkal energi sehingga perombakan glukosa dalam tubuh makhluk hidup melalui respirasi menghasilkan = 10 kkal x 36 = 360 kkal. Jika jumlah energi itu dibandingkan, akan diperoleh hasil efisiensi respirasi sebesar:

$$\frac{360 \text{ kkal}}{680 \text{ kkal}} \times 100 \% = 53\%$$

2) *Respirasi Aerob Melalui Oksidasi Langsung atau Jalur Pentosa Fosfat (Hexose Monophosphat Shunt = HMS)*

Daur ini diawali dengan proses fosforilasi glukosa dengan fosfor yang berasal dari ATP sehingga terbentuk glukosa 6-fosfat. Selanjutnya, glukosa 6-fosfat dioksidasi dengan NADP terbentuk 6-fosfoglukonat. Tahap selanjutnya, 6-fosfoglukonat didekarboksilasi dan dioksidasi dengan NADP sehingga terbentuk ribulosa 5-fosfat. Ribulosa 5-fosfat melanjutkan siklus sehingga terbentuk kembali glukosa 6-fosfat. Perhatikan skema pada Gambar 2.14 berikut untuk membantu pemahaman Anda.



Gambar 2.14
Jalur pentosa fosfat (HMS)

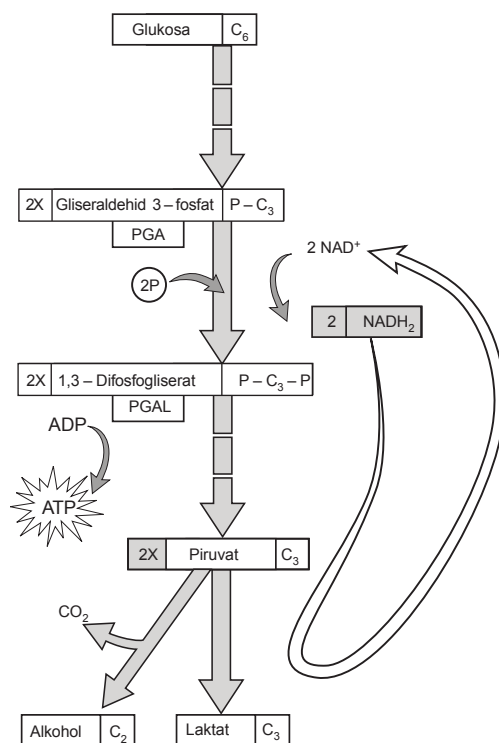
Pada daur HMS, setiap keluar 1 CO_2 akan dihasilkan 2 NADPH_2 . Selanjutnya, NADPH_2 dioksidasi dalam sistem transpor elektron. Pada daur ini, dihasilkan senyawa antara berupa gula, sedangkan pada daur Krebs berupa asam organik. Pada daur HMS dihasilkan gula ribulosa 6-fosfat (gula berat atom $\text{C}=5$) yang merupakan gula penting untuk membentuk nukleotida. Nukleotida merupakan senyawa yang sangat penting karena berperan antara lain sebagai penyusun ATP dan DNA.

b. Respirasi Anaerob

Respirasi anaerob terjadi bila tidak ada oksigen. Perlu diingat, bahwa dalam respirasi aerob oksigen berperan sebagai penerima elektron terakhir. Bila peran oksigen digantikan oleh zat lain, terjadilah respirasi anaerob. Organela-organela dan reaksi-reaksi yang terlibat dalam proses respirasi aerob sama dengan respirasi anaerob. Adapun zat lain yang dapat menggantikan peran oksigen antara lain NO_3 dan SO_4 . Sejauh ini baru diketahui bahwa yang dapat menggunakan zat pengganti oksigen merupakan golongan mikroorganisme. Dengan demikian, organisme tingkat tinggi tidak dapat melakukan respirasi anaerob. Bagaimana organisme tingkat tinggi mengubah energi potensial kimia menjadi energi kinetik jika tidak ada oksigen? Apabila tidak tersedia oksigen, organisme tingkat tinggi mengubah energi potensial kimia menjadi energi kinetik melalui proses fermentasi.

2. Fermentasi

Fermentasi terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Respirasi anaerob juga terjadi bila tidak terdapat oksigen. Akan tetapi, bukan berarti fermentasi sama dengan respirasi anaerob. Salah satu perbedaannya antara lain terletak pada keterlibatan organela mitokondria pada respirasi anaerob yang berfungsi untuk mengoksidasi NADH_2 atau NADPH_2 . Sementara itu, pada fermentasi tidak melibatkan mitokondria. Dengan demikian perbedaan respirasi anaerob dengan fermentasi juga terletak pada proses-proses yang terjadi dalam mitokondria. Perhatikan skema Gambar 2.15.



Sumber: *Biology, Mader, S. S.*

Gambar 2.15
Fermentasi

a. Fermentasi Asam Laktat

Bagaimana fermentasi asam laktat berlangsung? Telah diketahui bahwa glikolisis menghasilkan asam piruvat. Tanpa adanya oksigen, asam piruvat tidak dapat masuk ke siklus Krebs di mitokondria. Namun, asam piruvat akan mengalami reduksi secara langsung oleh NADH membentuk senyawa 3C, yaitu asam laktat, tanpa melepaskan CO_2 .

Fermentasi asam laktat dari jamur dan bakteri tertentu dimanfaatkan dalam pembuatan keju dan yoghurt. Sel otot juga mampu melakukan fermentasi asam laktat, jika asam piruvat mengalami proses reduksi, bukan oksidasi seperti dalam siklus Krebs. Kapan sel otot melakukan fermentasi asam laktat? Ketika tubuh membutuhkan energi yang besar dalam waktu singkat, otot akan melakukan fermentasi. Misalnya pada atlet lari cepat (*sprint*). Atlet tersebut membutuhkan oksigen sangat besar saat lari. Selanjutnya, dengan oksigen yang banyak asam piruvat akan masuk siklus Krebs seperti kondisi normal, sehingga pembentukan ATP (energi) juga besar. Ketika berlari, pasokan oksigen untuk tubuh berkurang. Padahal masih dibutuhkan energi (ATP) yang besar untuk berlari. Oleh karena itu asam piruvat diubah menjadi asam laktat. Hal ini karena asam laktat tetap dapat menghasilkan ATP meskipun jumlah oksigen dalam tubuh terbatas. Laktat sebenarnya merupakan racun bagi sel, sehingga laktat yang terbentuk dalam sel otot akan dibawa keluar oleh darah menuju hati. Laktat selanjutnya diubah menjadi asam piruvat. Oleh karenanya, ATP dapat segera diperoleh kembali melalui daur Krebs. Apabila atlet tersebut sudah selesai beraktivitas kemudian melakukan istirahat yang cukup serta jumlah O_2 dalam tubuh terpenuhi, asam laktat yang telah diubah menjadi asam piruvat dapat memasuki daur krebs kembali. Selanjutnya, pelari tersebut dapat memperoleh ATP dari respirasi aerob seperti kondisi semula.

b. Fermentasi Alkohol

Fermentasi alkohol, misalnya terjadi pada khamir. Mikroorganisme ini mempunyai enzim yang mende-karboksilasi piruvat menjadi asetaldehid (senyawa dengan 2C) dengan melepaskan CO_2 . Selanjutnya oleh NADH, asetaldehid direduksi menjadi etilalkohol.

Khamir (*yeast*) merupakan salah satu contoh organisme yang menghasilkan alkohol dan CO_2 . *Yeast* digunakan dalam pembuatan roti. CO_2 yang dihasilkan mengakibatkan roti mengembang. *Yeast* juga digunakan untuk memfermentasikan gula dalam pembuatan anggur, dalam hal ini dihasilkan etilalkohol. Sebutkan contoh lain dari fermentasi alkohol.

Lakukanlah kegiatan diskusi berikut agar pemahaman Anda tentang fermentasi menjadi lebih jelas.



Forum Diskusi

Bandingkan reaksi yang berlangsung dalam fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol. Setelah itu, diskusikan beberapa pertanyaan berikut.

1. Berapa jumlah ATP yang dihasilkan dalam pemecahan glukosa melalui fermentasi?
2. Tuliskan reaksi kimia fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol.
3. Lebih efektif manakah, penghasilan ATP melalui respirasi aerob atau melalui fermentasi?

Tuliskan hasil diskusi Anda dalam buku kerja. Selanjutnya, presentasikan di depan kelas.

Bagaimana efisiensi energi dalam fermentasi? Telah Anda ketahui bahwa selama fermentasi dihasilkan 2 ATP yang setara dengan 20 kkal energi. Sementara itu, pembakaran glukosa menjadi CO_2 dan H_2O menghasilkan energi sebesar 680 kkal. Dengan demikian efisiensi fermentasi sebesar:

$$\frac{20 \text{ kkal}}{680 \text{ kkal}} \times 100\% = 2,9 \%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diketahui bahwa tingkat efisiensi fermentasi jauh lebih rendah dibandingkan tingkat efisiensi respirasi.



Uji Kompetensi B

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan reaksi glikolisis pada tahap fosforilasi. Lengkapi dengan bagan.
2. Jelaskan perolehan ATP pada setiap tahap respirasi aerob melalui jalur daur Krebs.
3. Samakah pengertian fermentasi dengan respirasi anaerob? Jelaskan.
4. Berapa jumlah ATP yang dihasilkan oleh satu molekul glukosa melalui fermentasi?
5. Jelaskan dua tahapan dalam fermentasi alkohol.
6. Kapan sel otot melakukan fermentasi asam laktat?

C. Anabolisme

Anabolisme adalah peristiwa penyusunan zat dari senyawa sederhana menjadi senyawa lebih kompleks yang berlangsung dalam tubuh makhluk hidup. Penyusunan senyawa kimia umumnya memerlukan energi, misalnya energi cahaya dalam fotosintesis dan energi kimia dalam kemosintesis.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.16

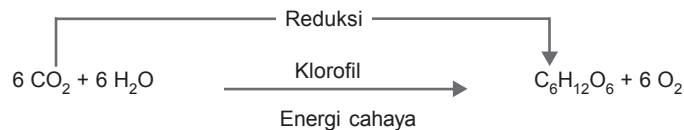
Daun pisang dapat melakukan fotosintesis

1. Fotosintesis

Apa yang ada dalam pikiran Anda tentang sebuah daun? Puji syukur seharusnya kita panjatkan kepada Tuhan pencipta alam semesta dengan segala isinya. Mengapa? Dalam daun ini Tuhan menciptakan pengolah bahan makanan pertama di dunia melalui proses fotosintesis. Daun pisang seperti pada Gambar 2.16 di samping dapat melakukan fotosintesis sehingga menghasilkan karbohidrat yang disimpan di dalam buahnya. Buah pisang dapat menjadi bahan makanan bagi manusia. Sebuah bukti keagungan Tuhan yang telah menciptakan sistem yang sempurna dalam tubuh makhluk hidup, termasuk tumbuhan. Mudah-mudahan uraian ini semakin menambah wawasan kita akan keagungan Tuhan.

Organisme yang dapat melakukan proses fotosintesis seperti tumbuhan dan algae menghasilkan bahan organik untuk biosfer. Bahan organik sebagai sumber energi untuk pertumbuhan, perkembangan, dan pemeliharaan.

Fotosintesis berasal dari kata *foton* yang artinya cahaya dan *sisntesis* yang artinya penyusunan. Jadi, fotosintesis adalah proses penyusunan bahan organik (karbohidrat) dari H_2O dan CO_2 dengan bantuan energi cahaya. Proses ini hanya dapat terjadi pada tumbuhan yang mempunyai klorofil, yaitu pigmen yang berfungsi sebagai penangkap energi cahaya matahari. Jadi, fotosintesis merupakan transformasi energi dari energi cahaya matahari dikonversi menjadi energi kimia yang terikat dalam molekul karbohidrat. Proses ini berlangsung melalui reaksi berikut.



Ingenhousz (1799) melakukan eksperimen untuk membuktikan bahwa peristiwa fotosintesis melepaskan O_2 . Ingenhousz dalam percobaannya menggunakan tanaman *Hydrilla verticillata* di dalam gelas piala kemudian ditutup corong terbalik yang dihubungkan dengan tabung reaksi yang telah diisi penuh dengan air. Perangkat percobaan tersebut diletakkan di tempat yang terkena cahaya matahari. Setelah beberapa saat akan terbentuk gelembung udara (O_2) yang keluar dari tanaman *Hydrilla verticillata*. Marilah kita mencoba melakukan eksperimen yang pernah dilakukan Ingenhousz berikut.



Eksperimen 2

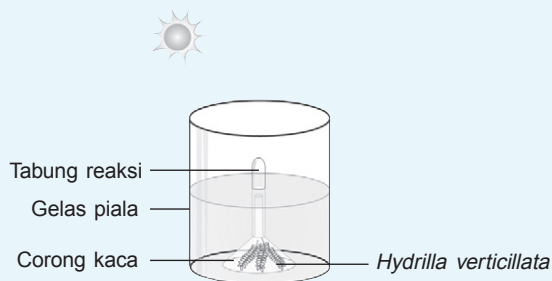
Mengamati Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Kecepatan Fotosintesis

1. Coba siapkan beberapa alat dan bahan berikut.
 - a. tabung reaksi,
 - b. gelas piala,
 - c. corong kecil,
 - d. akuades,
 - e. larutan Na-Bikarbonat 0,5%, dan
 - f. tanaman *Hydrilla verticillata* (Hidrilla).
2. Buatlah medium berupa air dalam 2 buah gelas piala dan tambahkan beberapa tetes 0,5% Na-Bikarbonat.
3. Setelah itu potonglah cabang tanaman *Hydrilla verticillata* sepanjang 10 cm. Letakkan tanaman *Hydrilla verticillata* di bawah corong, pangkal tanaman menghadap ke arah pipa corong yang ditutup tabung reaksi yang telah diisi penuh dengan air.
4. Susunlah dua perangkat gelas piala, tabung reaksi, corong, dan tanaman hidrilla seperti gambar berikut.
5. Setelah tersusun, satu perangkat gelas piala diletakkan di dalam ruangan dengan intensitas cahaya rendah dan perangkat yang lain diletakkan di luar ruangan dengan intensitas cahaya tinggi.
6. Amati gelembung oksigen yang terjadi. Hitung banyaknya gelembung setiap 5 menit selama 15 menit.
7. Buat grafik hubungan antara intensitas cahaya dengan gelembung dan waktu.

Pertanyaan:

1. Bagaimana perbedaan jumlah gelembung pada kedua perlakuan tersebut?
2. Apa yang menyebabkan terjadinya peristiwa tersebut (soal nomor 1)?
3. Apa fungsi NaHCO_3 pada percobaan tersebut?
4. Gelembung yang terjadi menunjukkan apa?
5. Tuliskan persamaan reaksi yang terjadi pada peristiwa tersebut.
6. Apa kesimpulan dari kegiatan ini?

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.



Organela yang berperan dalam fotosintesis ialah kloroplas. Kloroplas mengandung pigmen klorofil dan menyebabkan warna hijau pada daun. Kloroplas mempunyai membran ganda (luar dan dalam) yang mengelilingi matriks fluida yang disebut **stroma**. Stroma mengandung enzim yang berperan untuk menangkap CO_2 dan mereduksinya. Sistem membran di dalam stroma membentuk kantung-kantung datar yang disebut **tilakoid**. Pada beberapa tempat tilakoid bertumpuk membentuk grana.

Klorofil dan pigmen lainnya terdapat pada membran tilakoid. Pigmen yang terdapat pada kloroplas, yaitu klorofil *a* (berwarna hijau), klorofil *b* (berwarna hijau tua), dan karoten (berwarna kuning sampai jingga). Pigmen tersebut mengelompok dalam membran tilakoid membentuk perangkat pigmen yang penting dalam fotosintesis. Perhatikan gambar berikut.



Tahukah Anda

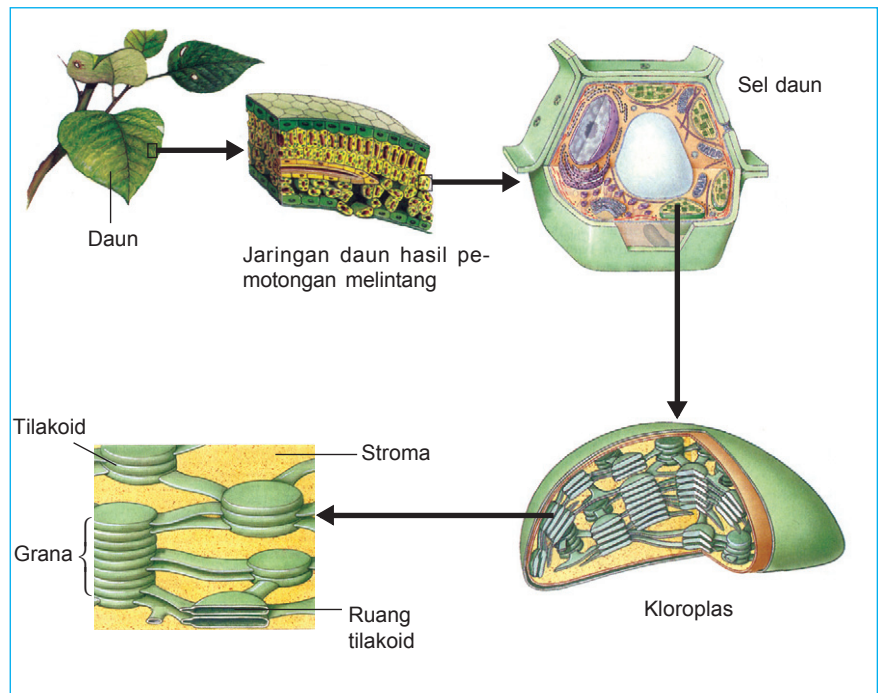
Cahaya dan Karbon Dioksida



Jan Ingenhousz (1730–1799)

Seorang doktor Belanda, **Jan Ingenhousz (1730–1799)** berhasil menemukan peran karbon dioksida bagi proses fotosintesis tumbuhan. Berdasarkan hasil percobaannya, Ingenhousz mengetahui bahwa tumbuhan menyerap karbon dioksida jika ada cahaya. Temuan ini menunjukkan bahwa cahaya mempunyai peran kunci dalam fotosintesis. Apabila lingkungan tanpa cahaya, tumbuhan mengeluarkan karbon dioksida dan mengambil oksigen ketika bernapas untuk memperoleh energi.

Sumber: Jendela Iptek



Sumber: Biology, Raven and Johnson

Gambar 2.17

Organela yang terlibat dalam fotosintesis

Fotosintesis berlangsung dalam 2 tahap reaksi, yaitu reaksi terang (*light-dependent reaction*) dan reaksi gelap (*light-independent reaction*). Reaksi terang berlangsung jika ada cahaya, sedangkan reaksi gelap berlangsung tanpa memerlukan cahaya. Bagaimana kedua reaksi ini berlangsung? Marilah kita ikuti uraian berikut.

a. Reaksi Terang (*Light-Dependent Reaction*)

Reaksi terang terjadi dalam membran tilakoid yang di dalamnya terdapat pigmen klorofil *a*, klorofil *b*, dan pigmen tambahan yaitu karoten. Pigmen-pigmen ini menyerap cahaya ungu, biru, dan merah lebih baik daripada warna cahaya lain.

Reaksi terang merupakan reaksi penangkapan energi cahaya. Energi cahaya yang diserap oleh membran tilakoid akan menaikkan elektron berenergi rendah yang berasal dari H_2O . Elektron-elektron bergerak dari klorofil *a* menuju sistem transpor elektron yang menghasilkan ATP (dari $ADP + P$). Elektron-elektron berenergi ini juga ditangkap oleh $NADP^+$. Setelah menerima elektron, $NADP^+$ segera berubah menjadi NADPH. Molekul-molekul ini (ATP dan NADPH) menyimpan energi untuk sementara waktu dalam bentuk elektron berenergi yang akan digunakan untuk mereduksi CO_2 .

Reaksi terang melibatkan dua jenis fotosistem, yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Apakah sebenarnya fotosistem itu?

Telah dijelaskan di depan bahwa dalam tilakoid terdapat beberapa pigmen yang berfungsi menyerap energi cahaya. Pigmen-pigmen itu antara lain klorofil *a*, klorofil *b*, dan pigmen

tambahan karotenoid. Setiap jenis pigmen menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu.

Molekul klorofil dan pigmen asesori (tambahan) membentuk satu kesatuan unit sistem yang dinamakan **fotosistem**. Setiap fotosistem menangkap cahaya dan memindahkan energi yang dihasilkan ke pusat reaksi, yaitu suatu kompleks klorofil dan protein-protein yang berperan langsung dalam fotosintesis.

Fotosistem I terdiri atas klorofil *a* dan pigmen tambahan yang menyerap kuat energi cahaya dengan panjang gelombang 700 nm sehingga sering disebut **P700**. Sementara itu, fotosistem II tersusun atas klorofil *a* yang menyerap kuat energi cahaya dengan panjang gelombang 680 nm sehingga sering disebut **P680**.

Ketika suatu molekul pigmen menyerap energi cahaya, energi itu dilewatkan dari suatu molekul pigmen ke molekul pigmen lainnya hingga mencapai pusat reaksi. Setelah energi sampai di P700 atau di P680 pada pusat reaksi, sebuah elektron kemudian dilepaskan menuju tingkat energi lebih tinggi. Elektron berenergi ini akan disumbangkan ke akseptor elektron.

Dalam reaksi terang, terdapat 2 jalur perjalanan elektron, yaitu jalur elektron siklik dan jalur elektron nonsiklik.

1) Jalur elektron siklik

Jalur elektron siklik dimulai setelah kompleks pigmen fotosistem I menyerap energi matahari. Pada jalur ini, elektron berenergi tinggi (e^-) meninggalkan pusat reaksi fotosistem I, tetapi akhirnya elektron itu kembali lagi.

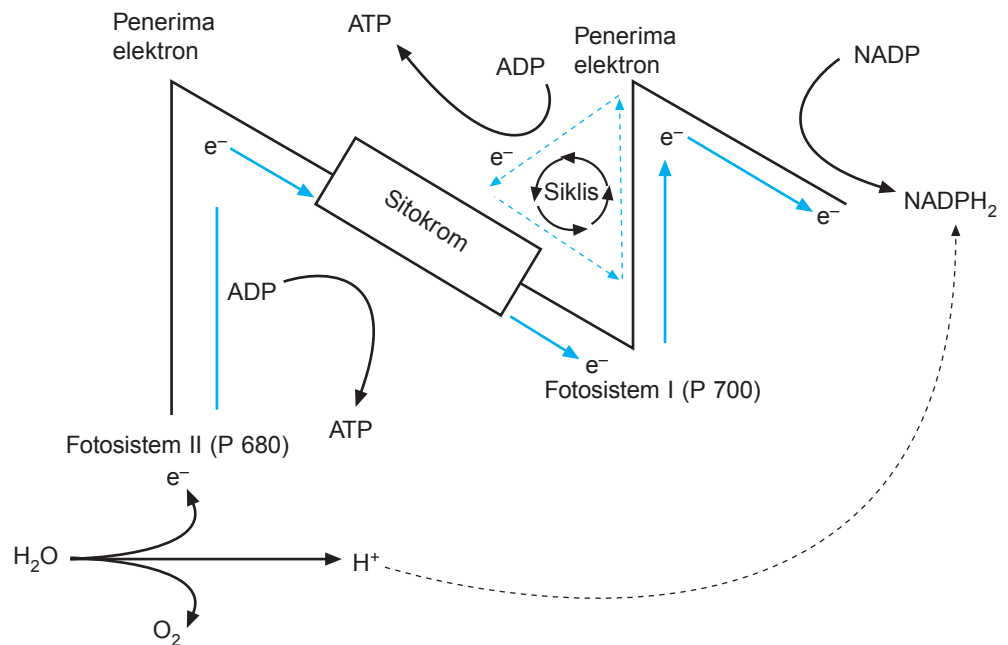
Elektron berenergi (e^-) meninggalkan fotosistem I (pusat reaksi klorofil *a*) dan ditangkap oleh akseptor elektron kemudian melewatkannya dalam sistem transpor elektron sebelum kembali ke fotosistem I. Jalur elektron siklik hanya menghasilkan ATP.

Namun, sebelum kembali ke fotosistem I, elektron-elektron itu memasuki sistem transpor elektron, yaitu suatu rangkaian protein pembawa yang mengalirkan elektron dari satu protein pembawa ke protein pembawa berikutnya. Ketika elektron melalui protein pembawa ke protein pembawa berikutnya, energi yang akan digunakan untuk membentuk ATP dilepaskan dan disimpan dalam bentuk gradien hidrogen (H^+). Saat ion hidrogen ini melalui gradien elektrokimia melalui kompleks ATP-sintase, terjadilah pembentukan ATP.

ATP terbentuk karena adanya penambahan gugus fosfat pada senyawa ADP yang diatur oleh energi cahaya sehingga prosesnya disebut **foto fosforilasi**. Pembentukan ATP terjadi melalui rute transpor elektron siklis maka disebut juga **foto fosforilasi siklis**. Coba amatilah Gambar 2.18 untuk mempermudah memahami jalur elektron ini.

Jalur elektron siklik terjadi dari fotosistem I kembali ke fotosistem I dan hanya menyebabkan terbentuknya ATP.





Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.18
Jalur elektron siklis dan nonsiklis

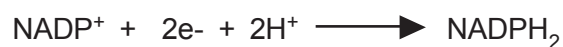
2) Jalur elektron nonsiklik

Reaksi ini dimulai ketika kompleks pigmen fotosistem II (P 680) menyerap energi cahaya dan elektron berenergi tinggi meninggalkan molekul pusat reaksi (klorofil *a*). Fotosistem II mengambil elektron dari hasil penguraian air (fotolisis) dan menghasilkan oksigen melalui reaksi berikut.



Oksigen dilepaskan oleh kloroplas sebagai gas oksigen. Sementara itu, ion hidrogen (H^+) untuk sementara waktu tinggal di ruang tilakoid.

Elektron-elektron berenergi tinggi yang meninggalkan fotosistem II ditangkap oleh akseptor elektron dan mengirimnya ke sistem transpor elektron. Elektron-elektron ini melewati satu pembawa ke pembawa lainnya dan energi untuk pembentukan ATP dikeluarkan dan disimpan dalam bentuk gradien hidrogen (H^+). Ketika ion-ion hidrogen melewati gradien elektrokimia serta kompleks sintase ATP, terbentuklah ATP secara kemiosmosis. Sementara itu, elektron-elektron berenergi rendah meninggalkan sistem transpor elektron menuju fotosistem I. Ketika fotosistem I menyerap energi cahaya, elektron-elektron berenergi tinggi meninggalkan pusat reaksi (klorofil *a*) dan ditangkap oleh akseptor elektron. Selanjutnya, sistem transpor elektron membawa elektron-elektron ini ke NADP^+ . Setelah itu, NADP^+ mengikat ion H^+ terjadilah NADPH_2 , seperti reaksi berikut.



Dengan demikian jalur elektron nonsiklis menghasilkan ATP dan NADPH₂. NADPH₂ dan ATP yang dihasilkan dalam elektron nonsiklik akan digunakan dalam reaksi tahap kedua (reaksi gelap) sintesis karbohidrat.

Aliran elektron nonsiklik menguraikan air menjadi H⁺, e⁻, dan O₂. Selain itu juga dihasilkan ATP dan mengubah NADP⁺ menjadi NADPH₂.



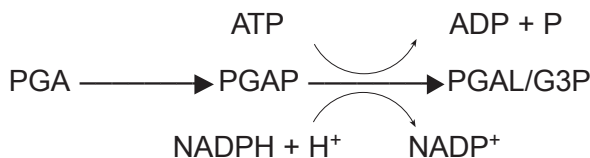
b. Reaksi Gelap (Light-Independent Reaction)

Reaksi gelap merupakan reaksi tahap kedua dari fotosintesis. Disebut reaksi gelap karena reaksi ini tidak memerlukan cahaya. Reaksi gelap terjadi di dalam stroma kloroplas.

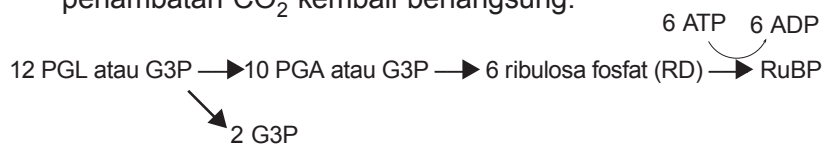
Reaksi gelap pertama kali ditemukan oleh Malvin Calvin dan Andrew Benson. Oleh karena itu, reaksi gelap fotosintesis sering disebut **siklus Calvin-Benson** atau **siklus Calvin**. Siklus Calvin berlangsung dalam tiga tahap, yaitu fase fiksasi, fase reduksi, dan fase regenerasi. Pada fase fiksasi terjadi penambatan CO₂ oleh ribulose bifosfat (*Ribulose biphosphat* = RuBP) menjadi 3-fosfoglisarat (*3-phosphoglycerate* = PGA). Reaksi ini dikatalisis oleh enzim ribulose bifosfat karboksilase (Rubisco).



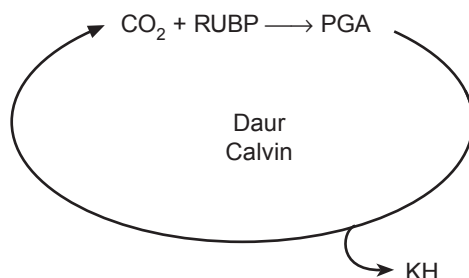
Pada fase reduksi diperlukan ATP dan ion H⁺ dari NADPH₂ untuk mereduksi 3-fosfoglisarat (PGA) menjadi 1,3-bifosfoglisarat (PGAP) kemudian membentuk fosfoglisarat (gliceraldehyde-3-phosphat = PGAL atau G3P = glukosa 3-fosfat).



Pada fase regenerasi, terjadi pembentukan kembali RuBP dari PGAL atau G3P. Dengan terbentuknya RuBP, penambatan CO₂ kembali berlangsung.



Secara ringkas reaksi gelap atau siklus Calvin dijelaskan dalam skema pada Gambar 2.19 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.19
Siklus Calvin

Sudah jelaskah Anda tentang siklus Calvin? Jika belum, coba diskusikan kembali materi di atas dengan kelompok Anda atau mintalah penjelasan kepada teman Anda yang sudah paham tentang materi tersebut.

Kapan glukosa terbentuk? Setiap 6 atom karbon yang memasuki siklus Calvin sebagai CO_2 , 6 atom karbon meninggalkan siklus sebagai 2 molekul PGAL atau G3P, kemudian digunakan dalam sintesis glukosa atau karbohidrat lain (perhatikan kembali siklus Calvin di atas).

Reaksi endergonik antara 2 molekul G3P atau PGAL menghasilkan glukosa atau fruktosa. Pada beberapa tumbuhan, glukosa dan fruktosa bergabung membentuk sukrosa atau gula pada umumnya. Sukrosa dapat dipanen dari tanaman tebu atau bit. Selain itu, sel tumbuhan juga menggunakan glukosa untuk membentuk amilum atau selulosa.

Berdasarkan tipe pengikatan terhadap CO_2 selama proses fotosintesis terdapat tiga jenis tumbuhan, yaitu tanaman C_3 , tanaman C_4 , dan tanaman CAM.

Jalur fiksasi CO_2 yang telah kita pelajari di depan merupakan jalur fiksasi CO_2 pada tanaman C_3 , misalnya pada tanaman kedelai. Pada tanaman C_3 siklus Calvin terjadi di sel-sel mesofil. Bagaimana dengan tanaman C_4 dan CAM? Apakah siklus Calvin juga terjadi dalam sel-sel mesofil? Apa perbedaan ketiga jenis tanaman tersebut dalam fiksasi CO_2 ?



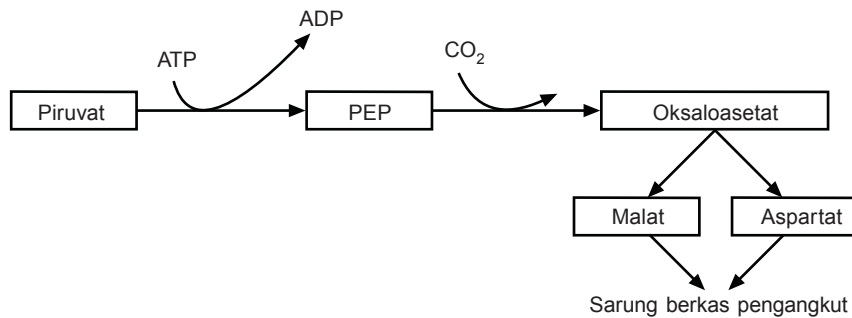
Forum Diskusi

Diskusikan dengan teman sebangku Anda perbedaan antara C_3 , C_4 , dan CAM dalam fiksasi CO_2 .

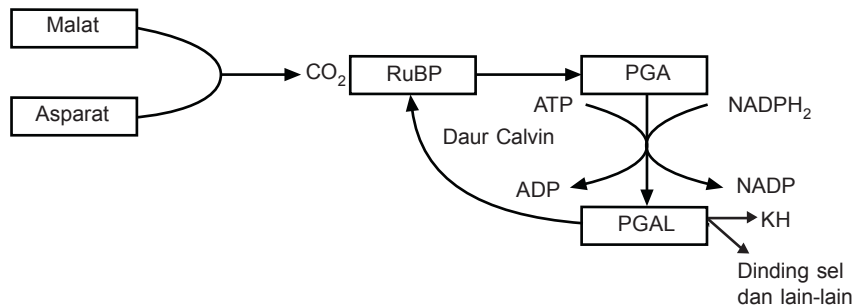
Pada tanaman C_4 , CO_2 yang diikat sel-sel mesofil akan diubah terlebih dulu menjadi oksaloasetat (senyawa 4C), setelah bereaksi dengan PEP (fosfoenolpiruvat). Penggabungan ini dikatalisir oleh PEP karboksilase. Selanjutnya dengan bantuan NADPH_2 , oksaloasetat diubah menjadi malat (senyawa 4C). Senyawa ini kemudian memasuki sarung berkas pembuluh. Malat, dalam sel-sel sarung berkas pembuluh, mengalami dekarboksilasi menjadi piruvat dan CO_2 . Selanjutnya, CO_2 memasuki jalur siklus Calvin.

Perhatikan skema reaksi penangkapan CO_2 pada tanaman C_4 berikut.

1) Di daerah mesofil:



2) Di sarung berkas pengangkut:



Jalur C_4 lebih efisien daripada tanaman C_3 dalam hal fiksasi CO_2 . Mengapa demikian? Sistem fiksasi CO_2 pada tanaman C_4 bekerja pada konsentrasi CO_2 jauh lebih rendah (sebesar 1–2 ppm) daripada pada sistem C_3 (> 50 ppm). Dengan demikian, pada hari yang amat panas, tanaman C_4 menutup stomatanya untuk mengurangi kehilangan air, tetapi tetap dapat memperoleh CO_2 untuk keperluan fotosintesisnya. Alasan inilah yang menyebabkan tanaman C_4 mampu beradaptasi pada habitat dengan suhu tinggi, kelembapan rendah, dan sinar matahari terik pada siang hari.

Beberapa tanaman yang hidup di daerah kering dan panas, misalnya kaktus, lili, dan anggrek memiliki cara khusus dalam penambatan CO_2 untuk proses fotosintesis. Pada umumnya tanaman mengikat (memfiksasi) CO_2 pada siang hari, tetapi pada tanaman yang hidup di daerah kering pengikatan CO_2 terjadi pada malam hari sehingga tanaman-tanaman tersebut memiliki tipe khusus yang dinamakan *crassulacean acid metabolism (CAM)*. Crassulaceae merupakan suatu *familia* dalam taksonomi tubuh. Tanaman ini memiliki batang yang mengandung air atau sukulen.

Seperti halnya tanaman C_4 , tanaman yang termasuk dalam familia Crassulaceae menambat CO_2 dengan bantuan enzim PEP karboksilase dan mengubahnya menjadi oksaloasetat, tetapi dalam waktu berlainan. Pada tanaman familia Crassulaceae penambatan CO_2 terjadi pada malam hari ketika stomatanya membuka. Oksaloasetat yang diubah menjadi malat akan disimpan dalam vakuola. Ketika stomata menutup pada siang hari, malat mengalami reaksi dekarboksilasi dan menghasilkan piruvat dan CO_2 .

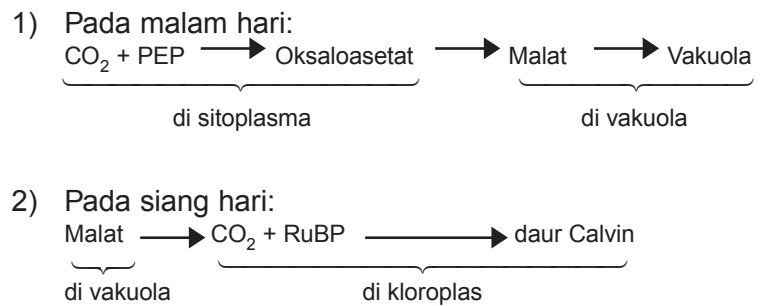


Sumber: Biology, Campbell

Gambar 2.20

Nanas merupakan salah satu jenis tanaman C_4

Selanjutnya, CO_2 memasuki siklus Calvin untuk membentuk PGAL (G3P). Perhatikan skema fiksasi CO_2 pada tanaman CAM berikut.



2. Fotorespirasi

Beberapa tanaman C_3 , misalnya kedelai dan kentang, tidak banyak menghasilkan karbohidrat melalui fotosintesis pada hari yang sangat panas. Mengapa? Pada hari yang sangat panas, tanaman C_3 menutup stomatanya untuk mengurangi penguapan. Selama stomata menutup, fotosintesis tetap berlangsung menggunakan sisa CO_2 dalam daun dan menghasilkan O_2 yang terakumulasi dalam kloroplas. Telah diketahui bahwa Rubisco sangat diperlukan dalam fiksasi CO_2 dalam siklus Calvin untuk menggabungkan CO_2 dengan RuBP. Sementara itu, O_2 hasil fotosintesis bersaing dengan CO_2 untuk memperebutkan sisi aktif Rubisco. Ketika kadar O_2 lebih tinggi dari kadar CO_2 , Rubisco cenderung mengkatalis reaksi O_2 dengan RuBP daripada dengan CO_2 . Ketika hal ini terjadi, senyawa antara dalam siklus Calvin banyak dipecah menjadi CO_2 dan H_2O daripada membentuk glukosa (karbohidrat). Proses inilah yang disebut **fotorespirasi**.

Dinamakan fotorespirasi karena dalam peristiwa tersebut memerlukan cahaya, memerlukan oksigen seperti halnya respirasi aerob, serta menghasilkan CO_2 dan H_2O . Perbedaannya dengan respirasi aerob, dalam fotorespirasi tidak dihasilkan ATP.

Fotorespirasi mengurangi efisiensi fotosintesis pada tanaman C_3 karena banyak menghilangkan senyawa antara (RuBP) yang dipakai dalam siklus Calvin. Sebaliknya, fotorespirasi tidak berpengaruh terhadap tanaman C_4 , karena konsentrasi CO_2 dalam sel-sel sarung berkas pengangkut selalu tinggi.

3. Kemosintesis

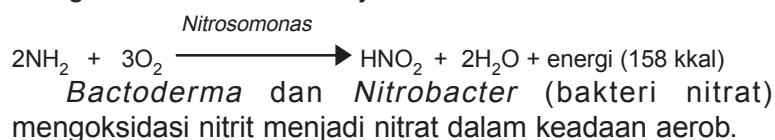
Telah diketahui bahwa tumbuhan hijau mampu mensintesis karbohidrat menggunakan energi cahaya melalui proses fotosintesis. Karbohidrat dapat dibentuk dari CO_2 dan H_2O menggunakan energi kimia yang dihasilkan selama oksidasi biologi terhadap substansi kimia tertentu. Bakteri yang tidak berklorofil juga dapat menghasilkan karbohidrat menggunakan energi kimia. Oleh karena itu, proses tersebut dinamakan **kemosintesis**. Dengan demikian, kemosintesis dapat diartikan sebagai salah

bentuk asimilasi karbon di mana reduksi CO₂ berlangsung dalam gelap (tanpa cahaya), menggunakan energi murni hasil oksidasi. Salah satu hal penting dari kemosintesis yaitu energi hasil reaksi oksidasi digunakan oleh bakteri dalam fosforilasi dan selanjutnya mereduksi CO₂ menjadi senyawa organik.

Kemosintesis terjadi pada bakteri nitrifikasi, bakteri belerang, bakteri besi, serta bakteri hidrogen dan bakteri metana.

a. Kemosintesis oleh Bakteri Nitrifikasi

Beberapa bakteri nitrifikasi antara lain: bakteri *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*, dan *Bactoderma*. *Nitrosococcus* dan *Nitrosomonas* (bakteri nitrit) mengoksidasi amonia menjadi nitrit.

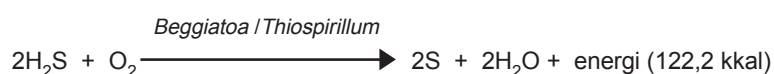


b. Kemosintesis oleh Bakteri Belerang

Berdasarkan aspek kemosintesis, bakteri belerang dikelompokkan menjadi tiga sebagai berikut.

Bakteri belerang ototrofik tanpa pigmen, contoh *Beggiatoa* dan *Thiospirillum*.

Beggiatoa dan *Thiospirillum* ditemukan pada sumber mata air panas yang mengandung hidrogen sulfida. Kelompok bakteri ini mengoksidasi logam sulfida menjadi sulfur menurut reaksi berikut.

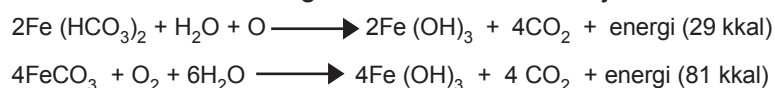


Ketika cadangan sulfida habis, endapan sulfur akan dioksidasi menjadi sulfat.



c. Kemosintesis oleh Bakteri Besi

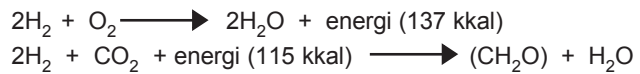
Beberapa bakteri besi pada umumnya, misalnya *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Cladothrix*, *Galionella*, *Spiruphyllum*, dan *Ferrobacillus* mengoksidasi ion ferro menjadi ion ferri.



d. Kemosintesis oleh Bakteri Hidrogen dan Bakteri Metana

1) Bakteri Hidrogen

Salah satu jenis bakteri hidrogen, yaitu *Bacillus panctotrophus* dapat tumbuh dalam medium anorganik yang mengandung hidrogen, CO₂, dan O₂ serta dapat mengoksidasi hidrogen dengan membebaskan energi. Energi ini dapat digunakan dalam proses kemosintesis berikut.



2) Bakteri Metana

Methanonas merupakan salah satu contoh bakteri metana yang mampu mengoksidasi metana menjadi CO_2 . Metana menyediakan karbon dan energi bagi bakteri aerob ini. Perhatikan reaksi berikut.



Energi yang diperoleh pada kemosintesis digunakan untuk proses fosforilasi dan reduksi CO_2 menjadi karbohidat.

Anda telah mempelajari fotosintesis dan kemosintesis. Dapatkah Anda membedakan kedua jenis anabolisme tersebut? Nah, cobalah Anda menemukan perbedaan itu melalui kegiatan diskusi berikut.



Forum Diskusi

Diskusikan perbedaan antara kedua proses anabolisme tersebut. Mengenai sumber energi, organisme pelaku, bahan dasar, dan hasil. Tuliskan hasil diskusi Anda dalam tabel berikut.

Tabel perbandingan antara kemosintesis dengan fotosintesis.

	Fotosintesis	Kemosintesis
1. Sumber energi
2. Pelaku
3. Bahan dasar
4. Hasil



Uji Kompetensi C

Jawablah soal-soal berikut.

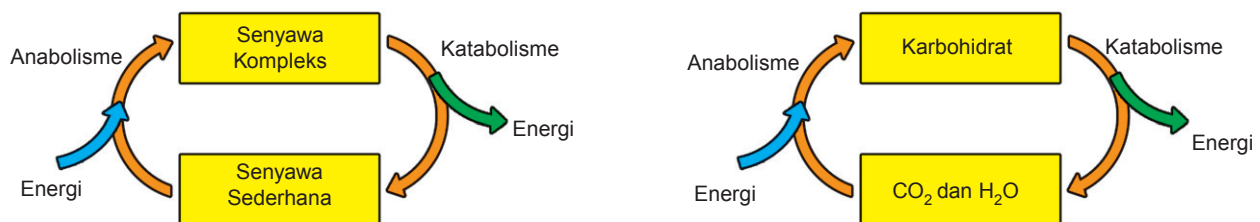
- Gambarkan struktur kloroplas dan lengkapi dengan keterangan gambar.
 - Tunjukkan tempat terjadinya reaksi terang.
 - Tunjukkan tempat terjadinya reaksi gelap.
- Jelaskan fungsi setiap molekul pigmen daun yang berperan dalam reaksi terang fotosintesis.
- Jelaskan secara ringkas tentang siklus elektron siklik dan siklus elektron nonsiklik.
- Siklus Calvin berlangsung dalam tiga tahapan. Sebutkan ketiga tahapan tersebut dan beri penjelasan tentang tiap-tiap tahapan.
- Apa perbedaan fotosintesis dengan kemosintesis ditinjau dari sumber energi dan hasil akhirnya?

D. Keterkaitan Metabolisme

Seperti dijelaskan di depan, bahwa metabolisme meliputi anabolisme dan katabolisme. Anabolisme memerlukan energi (endergonik), sedangkan katabolisme menghasilkan energi (eksergonik). Bagaimanakah hubungan antara anabolisme dengan katabolisme? Marilah kita pelajari dalam bahasan berikut.

1. Keterkaitan Antara Anabolisme dengan Katabolisme Karbohidrat

Telah dipelajari di depan bahwa anabolisme merupakan proses pembentukan senyawa kompleks dari senyawa sederhana dengan memerlukan energi. Jadi, reaksi anabolisme bersifat endergonik. Sementara itu, katabolisme merupakan proses pemecahan atau penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan membebaskan energi. Jadi, reaksi katabolisme bersifat eksergonik. Perhatikan skema Gambar 2.21 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.21

Hubungan katabolisme dan anabolisme karbohidrat

Salah satu proses anabolisme yaitu sintesis atau pembentukan karbohidrat melalui fotosintesis yang terjadi pada tumbuh-tumbuhan. CO₂ dan H₂O, dalam reaksi ini, dengan bantuan energi cahaya diubah menjadi karbohidrat yang di dalamnya mengandung energi dalam bentuk ikatan kimia.

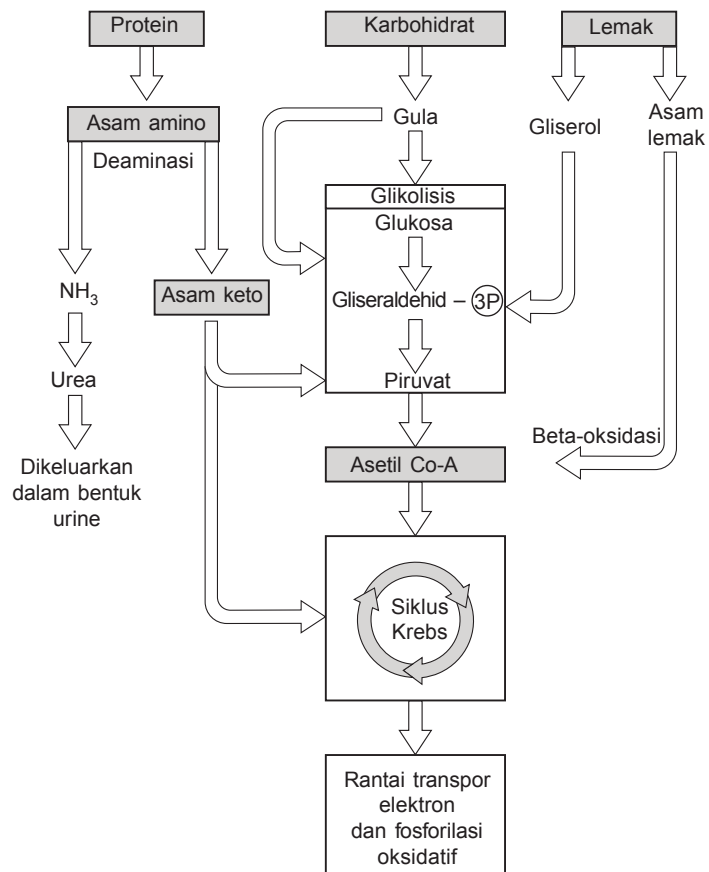
Sementara itu dalam sel-sel makhluk hidup, karbohidrat (dalam hal ini glukosa) akan mengalami serangkaian reaksi respirasi sehingga dihasilkan energi. Selain dibebaskan energi, reaksi pemecahan (katabolisme) glukosa ini juga menghasilkan CO₂ dan H₂O, apabila digambarkan seperti Gambar 2.20 di atas.

2. Keterkaitan Metabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein

Karbohidrat bukanlah satu-satunya zat makanan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Zat makanan lain, seperti lemak dan protein dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Tentu saja tahap-tahap reaksinya tidak sama dengan metabolisme karbohidrat.

Hidrolisis lemak menghasilkan asam lemak dan gliserol. Asam lemak akan mengalami beta-oksidasi menjadi asetil Co-A. Selanjutnya, asetil Co-A akan memasuki daur atau siklus Krebs. Sementara itu, gliserol akan diubah menjadi senyawa fosfogliseraldehid (G3P) agar dapat memasuki reaksi glikolisis.

Bagaimana jika protein digunakan sebagai sumber energi? Protein yang memiliki sistem pencernaan akan dipecah oleh enzim protease menjadi asam amino. Selanjutnya, asam amino mengalami reaksi deaminasi sehingga dihasilkan NH₃ atau gugus amin dan asam keto. Pada mamalia dan beberapa hewan pada umumnya, gugus Amin atau NH₃ diubah menjadi urea dan dikeluarkan sebagai urine. Sementara itu, asam keto dapat memasuki reaksi glikolisis atau daur Krebs. Pelajari bagan pada Gambar 2.22 berikut untuk lebih jelasnya.



Sumber: Biology, Solomon

Gambar 2.22

Metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein

Pada bagan tampak jelas adanya keterkaitan antara metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein. Hal lain yang dapat dijelaskan dari bagan tersebut yaitu bahwa lemak yang ada dalam tubuh kita tidak hanya berasal dari makanan yang mengandung lemak, tetapi dapat juga berasal dari karbohidrat dan protein.

Telah dijelaskan bahwa oksidasi karbohidrat, lemak, dan protein akan menghasilkan energi. Dari ketiga jenis zat makanan tersebut, manakah yang menghasilkan energi paling banyak?

Dibandingkan dengan karbohidrat dan protein, lemak lebih banyak menghasilkan energi ketika dioksidasi. Suatu contoh: satu molekul asam lemak dengan atom 6C (asam heksanoat) yang dioksidasi secara sempurna dapat menghasilkan 44 ATP. Sementara itu, glukosa yang juga mempunyai 6 atom C hanya menghasilkan 36 ATP. Mengapa demikian?

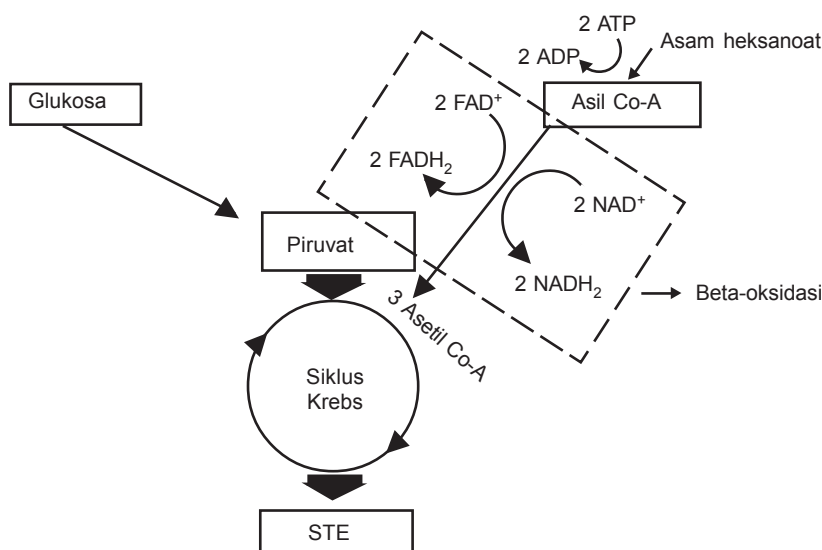
Asam lemak akan memasuki siklus Krebs setelah diubah menjadi asetil Co-A melalui reaksi beta-oksidasi. Asam lemak dengan jumlah atom C = $2n$, akan menghasilkan sejumlah n asetil Co-A. Dengan demikian, asam heksanoat (6C) menghasilkan 3 molekul asetil Co-A. Mula-mula, asam heksanoat yang telah teraktivasi (memerlukan 2 ATP) menjadi asetil Co-A akan memasuki mitokondria. Asetil Co-A dalam mitokondria

mengalami beta-oksidasi. Pada reaksi ini asil Co-A yang berasal dari asam heksanoat (C = 6) mengalami dua kali siklus dan menghasilkan 3 asetil Co-A (C = 2). Siklus pertama menghasilkan 1 molekul asetil Co-A, 1 FADH, 1 NADH, dan butiril Co-A (4 atom C). Pada siklus 2 butiril Co-A dioksidasi menjadi 2 molekul asetil Co-A dengan menghasilkan 1 FADH₂ dan 1 NADH. Adapun jumlah ATP yang dihasilkan pada beta-oksidasi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{array}{rcl}
 2 \text{ FADH}_2 & \rightarrow & 2 \times 2 \text{ ATP} = 4 \text{ ATP} \\
 2 \text{ NADH} & \rightarrow & 2 \times 3 \text{ ATP} = 6 \text{ ATP} \\
 \hline
 \text{Jumlah} & & = 10 \text{ ATP}
 \end{array}$$

Oleh karena aktivasi asam heksanoat menjadi heksanoil Co-A memerlukan 2 ATP, maka hasil bersih ATP = (10 – 2) ATP = 8 ATP. Selanjutnya, 3 molekul asetil Co-A akan memasuki daur Krebs dan mengalami oksidasi sempurna menjadi CO₂ dan H₂O. Pada oksidasi 3 molekul asetil Co-A ini dihasilkan 3 × 12 ATP = 36 ATP. Jadi, oksidasi asam lemak menghasilkan 44 ATP.

Hal ini juga menunjukkan bahwa makin panjang rantai karbon yang menyusun asam lemak, energi yang dihasilkan makin besar. Misalnya pada asam palmitat yang mempunyai 15 atom C menghasilkan 129 ATP. Bukan hanya itu, senyawa lain hasil hidrolisis lemak yaitu gliserol dapat memasuki jalur glikolisis setelah diubah menjadi gliseraldehid 3-fosfat (PGAL). Selanjutnya, PGAL akan diubah menjadi PEP. PEP harus diubah menjadi asetil Co-A agar dapat memasuki daur Krebs. Dari reaksi oksidasi, gliserol juga dihasilkan cukup banyak energi yaitu sekitar (36 ATP). Perhatikan skema pada Gambar 2.23 berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.23

Jalur beta-oksidasi asam lemak



Tahukah Anda

Macam-Macam *Diabetes Mellitus*

Diabetes mellitus diklasifikasikan dalam 4 kelompok berikut.

1. **Diabetes Tipe I**
Penderita mengalami kerusakan pada sel β pankreasnya.
2. **Diabetes Tipe II**
Kemampuan insulin penderita menurun dan terjadi disfungsi sel β . Akibatnya, pankreas tidak mampu memproduksi insulin yang cukup.
3. ***Diabetes Mellitus* dalam Kehamilan**
Terjadi peningkatan *insulin resistance* pada ibu hamil. Hal ini terjadi karena bayi mensekresi insulin lebih besar daripada ibu.
4. **Diabetes Tipe Lain**
Penderita mengalami hiperglikemia akibat kelainan genetik fungsi sel β , endokrinopati, penggunaan obat yang mengganggu fungsi sel β , penggunaan obat yang mengganggu kerja insulin, dan sindroma genetik.

3. Teknologi yang Berkaitan dengan Metabolisme Makanan

Saat ini, teknologi di bidang pengolahan makanan telah berkembang pesat. Para produsen telah menemukan celah pasar yang luar biasa di bidang ini. Terbukti dengan beredarnya makanan-makanan substitusi dan suplemen bagi orang-orang yang mempunyai masalah dengan metabolisme.

a. Makanan Berkadar Gula Rendah

Telah dijelaskan di depan bahwa tujuan utama metabolisme dalam tubuh untuk memperoleh energi. Kita ambil contoh saat kita makan sepiring nasi. Nasi yang kita kunyah dalam mulut, segera mengalami pencernaan enzimatis oleh ptialin. Pada saat itu, nasi (karbohidrat) dipecah menjadi glukosa dan maltosa. Selanjutnya, maltosa mengalami pencernaan lanjutan dalam usus halus. Maltosa tersebut kemudian dipecah oleh enzim maltase sehingga menghasilkan 2 molekul glukosa. Glukosa yang dihasilkan terlarut dalam darah dan diangkut menuju sel-sel tubuh.

Pada tubuh kita terdapat hormon insulin yang bertugas mengendalikan kadar gula dalam darah. Pada orang dewasa normal, kadar gula dalam darah berkisar antara 110 mg/dL–200 mg/dL. Jika gula dalam darah kadarnya melebihi angka tersebut (misalnya > 300 mg/dL), aktivitas tubuh akan terganggu. Seseorang yang kadar gulanya melebihi normal dikatakan orang tersebut menderita *diabetes mellitus* (DM). Mengapa kadar gulanya dapat melebihi angka normal? Salah satu sebabnya kelenjar penghasil insulin tidak dapat bekerja dengan baik. Bagi penderita DM tidak dianjurkan mengonsumsi makanan yang mengandung banyak gula. Hal ini bertujuan agar kadar gulanya terkendali. Oleh karena itu diperlukan terapi makanan khusus untuk membantu penderita DM.

Lain halnya jika penderita DM mengonsumsi gula rendah kalori, misalnya dengan pemanis buatan (aspartam dan sorbitol), ia akan baik-baik saja. Mengapa demikian? Bahan pemanis buatan, seperti aspartam dan sorbitol tidak mengalami metabolisme dalam sel-sel tubuh sehingga tidak menambah kadar gula dalam darah. Meskipun demikian makanan maupun minuman yang diberi pemanis buatan tetap terasa manis. Bahkan pemanis buatan ini rasa manisnya 10 hingga ratusan kali lebih manis dibandingkan dengan gula tebu.

Lakukan kegiatan berikut agar Anda menjadi lebih paham tentang macam-macam pemanis buatan yang beredar di pasaran.



Tugas Kelompok

Kumpulkan beberapa kemasan produk makanan dan minuman yang menjanjikan adanya rendah kalori. Amati bahan pemanis yang tercantum dalam label pada kemasannya. Catatlah nama produk, jenis produk, dan pemanis yang digunakan. Selanjutnya, masukkan data yang diperoleh dalam tabel berikut.

No.	Nama Produk	Jenis	Pemanis	Keterangan
1.				
2.				
3.				
4.				
dst.				

Lakukan analisis pada setiap jenis produk yang berhasil diidentifikasi mengenai keamanan produk tersebut bagi kesehatan sehubungan dengan jenis bahan pemanis yang digunakan dan dosis yang tercantum. Carilah data pendukung (batas aman penggunaan bahan pemanis dan efek bagi kesehatan) dari majalah sains, buku pelajaran, atau *internet*. Presentasikan hasil laporan Anda di kelas pada pertemuan berikutnya.

b. Teknologi Pengawetan Makanan

Pada awalnya manusia kebingungan mencari cara menyimpan makanan. Hal ini karena beberapa jenis makanan akan menjadi busuk atau rusak jika lama tidak dimanfaatkan. Akhirnya ditemukanlah beberapa cara mengawetkan makanan, misalnya dengan pemanasan (*pasteurisasi* dan *sterilisasi*), penambahan bahan kimia, pendinginan, dan dengan pengolahan tertentu.

Pengawetan dengan pemanasan, seperti pasteurisasi dan sterilisasi, terbukti efektif membunuh berbagai bakteri pembusuk. Bahkan beberapa jenis racun yang terkandung dalam makanan dapat dihilangkan dengan pemanasan. Akan tetapi, akibat pemanasan itu zat gizi dalam makanan menjadi rusak, misalnya vitamin dan protein.

Selain pemanasan, pembekuan juga banyak dipakai dalam mengawetkan makanan. Perhatikan Gambar 2.24. Pembekuan merupakan cara pengawetan yang paling baik. Namun demikian, sayuran dan buah-buahan akan kehilangan 6% vitamin C selama penyimpanan dalam lemari es. Bukan hanya vitamin saja, kandungan protein dalam daging juga akan menyusut selama penyimpanan beku ini.

Selain cara-cara tersebut di depan terdapat cara lain untuk mengawetkan bahan makanan, yaitu fermentasi. Apakah dengan cara fermentasi suatu bahan makanan juga akan mengalami susut gizi selama pengolahan?



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.24

Pengawetan makanan dengan pendinginan

Tentu Anda mengenal makanan hasil fermentasi pada Gambar 2.25 berikut. Tempe, yoghurt, dan asinan merupakan makanan hasil fermentasi.



Gambar 2.25
Makanan hasil fermentasi

Dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa makanan dan minuman hasil fermentasi nilai gizinya lebih tinggi daripada bahan mentahnya. Selain itu, juga memiliki sifat sebagai antibiotika. Kita ambil contoh makanan dan minuman yang difermentasi menggunakan jasa bakteri laktat. Aktivitas bakteri asam laktat selama fermentasi mengakibatkan pH bahan makanan di bawah 5. Bakteri fekal (bakteri *Coli* dalam usus) dalam kondisi ini tidak dapat hidup sehingga makanan menjadi awet (tidak cepat rusak atau membusuk). Selain itu, bakteri tersebut juga menghasilkan metabolit yang berupa antibiotik, yaitu laktobasilin dan senyawa NI (*Not yet Identical* atau belum diketahui). Senyawa ini dipercaya dapat mencegah timbulnya kanker.

c. Teknologi Substitusi Energi (Makanan Suplemen)

Pada keadaan tertentu, misalnya sedang sakit, manusia membutuhkan makanan yang siap diserap tanpa melalui proses pencernaan. Kondisi ini tentu saja tidak berlaku bagi orang sehat. Sebagai contoh, seorang pasien di rumah sakit di mana kondisi kesehatannya tidak memungkinkan untuk mengunyah makanan, ia sangat perlu mendapatkan masukan zat-zat makanan untuk menjaga kondisi tubuhnya. Pasien itu biasanya diberi cairan infus (Gambar 2.26). Dengan memasukkan infus ke tubuh pasien kebutuhan zat makanannya akan terpenuhi, terutama glukosa sebagai sumber energi dan ion-ion dalam bentuk garam mineral, seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , dan laktat.

Apa sajakah sebenarnya yang terdapat dalam sebotol infus itu? Anda dapat mengetahui dari beberapa contoh infus dalam tabel berikut.



Sumber: Dokumentasi Penerbit

Gambar 2.26
Cairan infus

Tabel 2.1 Komposisi Zat dalam Cairan Infus

Produk	Glukosa (g/L)	Komposisi dalam Satuan mEq/L					Kalori Kkal/L	Osmolaritas (mOsm/L)
		Na	K	Ca	Cl	Laktat		
WIDA D10™ (Glukosa 10%)	100	-	-	-	-	-	400	555
WIDA D5™ (Glukosa 5%)	55	-	-	-	-	-	200	277
WIDA D5 -NS™ (Glukosa 5% dan Natrium Klorida 0,9%)	55	154	-	-	154	-	200	585
WIDA NS™ (Natrium Klorida 0,9%)	-	154	-	-	154	-	-	308
WIDA RS™ (Ringer's Solution)	-	147,1	4	4,5	155,6	-	-	311
WIDA RD™ (5% Dextrose in Ringer's Solution)	55	147,5	4	4,5	155,6	-	200	588

Dengan melihat contoh di atas tampak bahwa pemberian infus sangat membantu pasien dalam memperoleh energi, khususnya cairan infus yang mengandung glukosa. Cairan infus diberikan sesuai petunjuk dokter atau dalam pengawasan dokter karena setiap pasien memerlukan jenis infus yang berbeda. Hal ini tergantung pada kondisi pasien dan penyakit yang dideritanya.



Wawasan Kewirausahaan

Membuat Yoghurt

Cairkan susu bubuk atau susu skim sesuai anjuran pada kemasan dalam panci *stainless steel*. Panaskan dengan api sedang hingga 50°–60°C selama 1–2 menit, sampai susu beruap tetapi jangan sampai mendidih. Bila ingin yoghurt dengan tekstur lebih padat, maka pada saat pemanasan volume susu disisakan hingga $\frac{3}{4}$ -nya atau dapat melarutkan susu 3–4% lebih banyak dari anjuran pada kemasan. Aduk dengan sendok kayu. Setelah itu, angkat dan tutup rapat, tunggu hingga suam-suam kuku (30°–45°C). Campurkan bibit yoghurt yang mengandung bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*, kira-kira 1 sendok teh untuk setiap 500 ml susu. Aduk hingga rata.

Tuang susu ke dalam gelas-gelas plastik, tutup dengan plastik lengket atau lembaran plastik yang diberi karet. Diamkan sekitar 8 jam pada suhu kamar, kemudian simpan dalam lemari es sampai dikonsumsi.

Catatan:

- Bibit yoghurt dapat dibeli di laboratorium mikrobiologi dan sebaiknya disimpan dalam lemari es.
- Pada saat merebus sampai mencampur bibit yoghurt pada susu, sebaiknya jangan berbicara atau tertawa agar bakteri mulut tidak mencemari susu dan fermentasi tidak gagal. Cara untuk memastikan fermentasi yoghurt tidak gagal, yaitu setelah disimpan 4–5 jam susu telah membentuk gumpalan-gumpalan dan aromanya masam.



Uji Kompetensi D

Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan hubungan fotosintesis (anabolisme) dengan respirasi (katabolisme) dalam tumbuhan.
2. Selain karbohidrat, senyawa organik apa saja yang dapat dipakai sebagai sumber energi dalam respirasi? Beri penjelasan secara singkat.
3. Jelaskan keterkaitan antara anabolisme dengan katabolisme karbohidrat.
4. Di antara senyawa organik karbohidrat, lemak, dan protein, manakah yang menghasilkan energi paling besar saat terjadi oksidasi biologi? Jelaskan alasannya.
5. Sebutkan berbagai macam teknologi yang berkaitan dengan metabolisme makanan.



Rangkuman

1. Enzim adalah senyawa protein sederhana maupun kompleks yang bertindak sebagai katalisator spesifik.
2. Enzim bekerja secara spesifik, hanya bekerja pada substrat tertentu. Menurut cara kerjanya, enzim dapat dikelompokkan berdasarkan teori *Lock and Key Theory* serta *Induced Fit Theory*.
3. Enzim dapat mengalami gangguan atau hambatan yang disebut inhibitor.
4. Terdapat tiga jenis inhibitor yaitu inhibitor reversible, inhibitor tak reversible dan inhibitor umpan balik.
5. Pada metabolisme terdapat dua reaksi yaitu katabolisme dan anabolisme.
6. Katabolisme merupakan reaksi pemecahan molekul kompleks seperti karbohidrat, protein dan lemak menjadi molekul yang lebih sederhana dan menghasilkan sejumlah energi.
7. Katabolisme terjadi dengan oksigen maupun tanpa oksigen.
8. Terdapat dua macam katabolisme yaitu respirasi dan fermentasi.
9. Respirasi menggunakan oksigen disebut respirasi aerob dan respirasi tanpa adanya oksigen dikenal dengan respirasi anaerob (hanya dilakukan oleh mikroorganisme).
10. Pada respirasi aerob energi yang dihasilkan sebesar 36 ATP pada organisme eukariotik dan 38 ATP pada organisme prokariotik. Sementara itu fermentasi menghasilkan energi sebanyak 20 ATP.
11. Anabolisme adalah peristiwa penyusunan zat dari senyawa sederhana menjadi senyawa yang lebih kompleks dan memerlukan sejumlah energi.
12. Fotosintesis berlangsung menggunakan energi dari cahaya matahari yang dikonversi menjadi energi kimia yang terikat dalam molekul karbohidrat.



Tugas Proyek

Produk-Produk untuk Mengatasi Gangguan Metabolisme

Dewasa ini, banyak produk makanan suplemen untuk mengatasi gangguan metabolisme. Beberapa produk di antaranya untuk mengatasi kegemukan (obesitas), penyakit diabetes (gula), dan penambahan stamina. Bentuk produk pun bermacam-

macam, ada yang berbentuk tablet, kapsul, serbuk, dan cairan. Agar produknya laris di pasaran, para produsen memanfaatkan segala media untuk promosi, baik media cetak maupun elektronik. Walhasil, produk-produk itu laris manis bak menjual kacang goreng. Benarkah produk-produk itu bermanfaat bagi konsumen?

A. Tujuan

Mengetahui sejauh mana manfaat produk makanan suplemen melalui kajian pustaka.

B. Alat dan Bahan

1. artikel dari berbagai sumber (majalah, koran, atau internet)
2. buku referensi yang mendukung
3. buku kliping

C. Cara kerja

1. Membuat makalah
 - a. Kumpulkan beberapa artikel dengan tema yang sama, misalnya tentang makanan suplemen untuk mengatasi kegemukan.
 - b. Carilah literatur yang mendukung untuk membahas permasalahan yang akan dibahas.
 - c. Buatlah tulisan atau makalah dengan bahasa Anda sendiri. Gunakan literatur secukupnya untuk mempertajam ulasan Anda.

2. Membuat kliping

- a. Guntinglah beberapa artikel tentang cara mengatasi permasalahan gangguan metabolisme. Ingat: jangan lupa mencatat sumber artikel tersebut.
- b. Siapkan buku kliping. Tempelkan potongan artikel dan tuliskan sumber artikel di bawahnya (nama sumber/ nomor/tanggal penerbitan).
- c. Berilah ulasan singkat pada setiap artikel. Gunakan literatur secukupnya dalam memberi ulasan.

D. Pelaporan

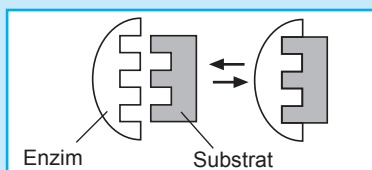
1. Bentuk laporan berupa makalah atau kliping, tergantung bentuk tugas yang diambil.
2. Jika bentuk laporan berupa makalah, sistematikanya sebagai berikut.
Bab I Pendahuluan
Bab II Isi
Bab III Kesimpulan dan Saran



Evaluasi

A. Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.

1. Enzim dalam jumlah sedikit saja dapat mempercepat reaksi beribu-ribu kali lipat, tetapi ia sendiri tidak ikut bereaksi. Oleh karenanya, enzim disebut juga sebagai . . .
 - a. biokatalisator
 - b. koloid
 - c. protein
 - d. alosterik
 - e. termolabil
2. Perhatikan gambar di bawah ini.



Pernyataan yang benar mengenai sifat enzim berdasarkan gambar yaitu . . .

- a. terdiri atas protein
- b. menghambat reaksi kimia
- c. bekerja satu arah
- d. mempercepat reaksi kimia
- e. kerja enzim spesifik

3. Inhibitor kompetitif dari suatu senyawa fermentasi memiliki . . .
 - a. struktur yang sama dengan molekul senyawa produk fermentasi
 - b. struktur yang sama dengan molekul senyawa substratnya
 - c. struktur yang sama dengan gen yang mengkode senyawa fermentasi
 - d. kemampuan untuk berhubungan dengan molekul senyawa fermentasi dan substratnya
 - e. kemampuan menghambat enzim
4. Enzim dan hasil kerjanya yang berperan dalam metabolisme sel yaitu . . .
 - a. maltase, pembentukan glukosa
 - b. katalase, menguraikan peroksida air
 - c. protease, pembentukan protein
 - d. lipase, sintesis lemak
 - e. glukase, pembentukan glukosa

5. Berikut ini pernyataan pengaruh suhu terhadap enzim.

- 1) Enzim menjadi nonaktif pada 0°C .
- 2) Enzim rusak pada suhu $> 50^{\circ}\text{C}$.
- 3) Berapa pun suhunya enzim tetap aktif.
- 4) Enzim hewan berdarah dingin bekerja optimum pada suhu 25°C .
- 5) Semua enzim mempunyai suhu optimum yang sama.

Pernyataan-pernyataan yang benar terdapat pada nomor

- a. 1), 2), dan 4)
- b. 1), 2), dan 3)
- c. 3), 4), dan 5)
- d. 2), 3), dan 4)
- e. 2), 3), dan 5)

6. Peranan enzim katalase sebagai biokatalisator yang mengubah

- a. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$ menjadi $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ dan CO_2
- b. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ dan O_2 menjadi CO_2 dan H_2O
- c. CO_2 dan H_2O menjadi $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ dan CO_2
- d. O_2 dan H_2O menjadi H_2O_2
- e. H_2O_2 menjadi O_2 dan H_2O

7. Pernyataan yang benar tentang pengaruh pH terhadap aktivitas enzim pepsin adalah . . .

- a. Pepsin hanya dapat bekerja pada pH asam saja.
- b. Pepsin hanya dapat bekerja pada pH biasa.
- c. Pepsin tidak terpengaruh oleh pH lingkungan.
- d. Pepsin aktif pada pH netral = 7.
- e. Pada pH 4 pepsin tidak aktif.

8. Perhatikan tabel berikut.

Substrat	Enzim	Bentuk yang Dihasilkan
maltosa	maltase	glukosa
amilum	amilase	maltosa
protein	protease	asam amino
lemak	lipase	asam lemak + gliserol

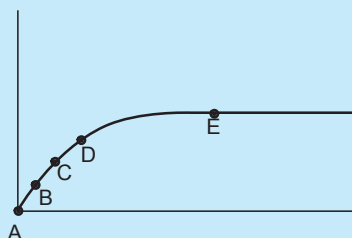
Berdasarkan tabel di atas, kesimpulan yang tepat tentang sifat enzim yaitu

- a. bekerja spesifik/khas
- b. sejenis dengan protein
- c. bekerja bolak-balik
- d. bekerja pada suhu optimum
- e. berfungsi sebagai katalisator

9. Penambahan garam alkali sebanyak 2–5% dalam suatu reaksi yang melibatkan enzim akan mengakibatkan

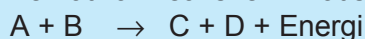
- a. enzim mengalami fase istirahat
- b. aktivitas enzim meningkat
- c. aktivitas enzim menurun
- d. tidak mempengaruhi kerja enzim
- e. molekul produk bertambah dua kali lipat

10. Kondisi yang menunjukkan bahwa semua substrat sudah terikat enzim terdapat pada posisi



- a. A
- b. B
- c. C
- d. D
- e. E

11. Perhatikan reaksi enzimatis berikut.



Berdasarkan reaksi di atas, maka

- a. reaksi ini bersifat eksergonik
- b. enzim tidak dapat mempercepat reaksi
- c. ATP tidak diperlukan di dalam reaksi ini
- d. A dan B adalah reaktan, C dan D adalah produk
- e. A dan B membutuhkan energi untuk menghasilkan C dan D

12. Jika kita ingin menambah jumlah produk per unit waktu pada reaksi enzimatis, jangan menambah

- a. jumlah substrat
- b. jumlah enzim
- c. suhu
- d. pH
- e. semua jawaban benar

13. Pernyataan-pernyataan mengenai respirasi berikut ini yang benar yaitu . . .

- a. Oksigen berperan sebagai penerima elektron terakhir.
- b. Peran oksigen tidak dapat digantikan oleh zat lain.
- c. Dapat dilakukan oleh organisme tingkat tinggi.
- d. Menghasilkan asam laktat.
- e. Sebagian besar terjadi di dalam mitokondria.

14. Pembebasan air pada glikolisis berasal dari
- glukosa
 - piruvat
 - 2 fosfoglisarat
 - sitrat
 - oksaloasetat
15. Sebelum siklus asam sitrat, asam piruvat yang diproduksi pada glikolisis pertama kali dikonversi menjadi
- koenzim A
 - asam sitrat
 - etanol
 - asetil koenzim A
 - asam oksalat
16. Respirasi sel berlangsung melalui glikolisis. Glikolisis adalah
- fermentasi asam piruvat menjadi etanol dan CO_2
 - oksidasi asam piruvat menjadi CO_2 dan HO_2
 - produksi asam piruvat dari glukosa
 - pengubahan glikolisis menjadi glukosa
 - perombakan asam amino menjadi asam laktat
17. Tiga hasil terpenting dari peristiwa glikolisis pada proses respirasi yaitu
- asam laktat, asam amino, dan ATP
 - asam laktat, asam piruvat, dan ATP
 - asam laktat, NADH, dan glukosa
 - asam piruvat, glukosa, dan ATP
 - asam piruvat, NADH, dan ATP
18. Tahap respirasi yang paling banyak menghasilkan ATP yaitu
- glikolisis
 - siklus Krebs
 - dekarboksilasi oksidatif
 - fosforilasi oksidatif
 - transpor elektron
19. Pernyataan yang paling tepat tentang proses yang terjadi pada respirasi aerob yaitu

	Tahap	Tempat	Hasil
a.	Glikolisis	sitosol	2 ATP
	Siklus Krebs	mitokondria	4 ATP
b.	Glikolisis	mitokondria	4 ATP
	Siklus Krebs	mitokondria	2 ATP
c.	Glikolisis	sitosol	2 ATP
	Siklus Krebs	mitokondria	2 ATP
d.	Siklus Krebs	mitokondria	4 ATP
	Transpor elektron	mitokondria	34 ATP
e.	Siklus Krebs	sitosol	2 ATP
	Transpor elektron	mitokondria	34 ATP

20. Prekursor dari siklus Krebs yang berasal dari asam piruvat yaitu
- oksaloasetat
 - asam- α -ketoglutarat
 - asetil Co-A
 - suksinil Co-A
 - asam suksinat
21. Produk samping respirasi pada tumbuhan dibuang keluar melalui
- kutikula
 - epidermis
 - endodermis
 - parenkim
 - stomata
22. Pada proses respirasi aerob, sebagai akseptor terakhir H_2 yaitu
- CO_2
 - H_2O
 - H_2O_2
 - O_2
 - CH_2
23. Tempat terjadinya dan jumlah ATP yang dihasilkan dari sistem transpor elektron berikut ini yang benar yaitu
- mitokondria dengan 24 ATP
 - mitokondria dengan 4 ATP
 - mitokondria dengan 34 ATP
 - sitoplasma dengan 30 ATP
 - nukleus dengan 34 ATP
24. Asam piruvat untuk memasuki siklus Krebs dari proses glikolisis terlebih dahulu membentuk
- asetil Co-A
 - suksinil Co-A
 - asam- α -ketoglutarat
 - asam oksaloasetat
 - asam suksinat
25. Setelah berolahraga tubuh terasa pegal-pegal. Hal ini terjadi akibat
- fermentasi asam piruvat menjadi alkohol
 - berkurangnya persediaan glukosa dalam darah
 - fermentasi asam piruvat menjadi asam laktat
 - terurainya asam laktat menjadi CO_2 dan H_2O
 - melemahnya oksidasi dalam sel otot

26. Perbedaan fermentasi asam laktat dan fermentasi alkohol berdasarkan
- jenis organisme
 - energi yang dihasilkan
 - jumlah ATP yang terbentuk
 - ketersediaan O_2
 - hasil akhir
27. Di antara peristiwa berikut yang benar mengenai reaksi transisi
- menghubungkan glikolisis menuju siklus Krebs
 - menghasilkan CO_2
 - menggunakan NAD^+
 - menghasilkan gugus asetil
 - semua jawaban benar
28. Kontribusi elektron terbesar dalam sistem transpor elektron berasal dari
- oksigen
 - glikolisis
 - siklus Krebs
 - reaksi transisi
 - fermentasi
29. Di antara hal-hal berikut yang benar mengenai fermentasi yaitu
- hasil akhir hanya 4 ATP
 - terjadi di mitokondria
 - $NADH$ membentuk senyawa 6C
 - dimulai dengan glukosa
 - dilakukan oleh organisme tingkat tinggi
30. Asam lemak dipecah menjadi
- molekul piruvat yang memberikan elektron menuju sistem transpor elektron
 - gugus asetil yang masuk ke siklus Krebs
 - asam amino yang menghasilkan amonia
 - gliserol yang ditemukan di dalam lemak
 - semua jawaban benar
31. Hasil dari reaksi terang yang digunakan dalam reaksi pembentukan glukosa pada proses fotosintesis yaitu
- ATP dan $NADPH_2$
 - ATP dan RuBP
 - RuBP dan APG
 - APG dan $NADH_2$
 - RuBP dan $NADPH_2$
32. Fotosintesis diawali dengan terjadinya
- terurainya klorofil
 - fiksasi O_2
 - teraktifasinya klorofil
 - penguraian air
 - pembentukan ALPG
33. Tahapan-tahapan reaksi kimia pada fotosintesis yaitu
- fotolisis–fiksasi CO_2 –PGA–glukosa–PGAL
 - fotolisis–fiksasi CO_2 –PGAL–PGA–glukosa
 - fotolisis–fiksasi CO_2 –PGA–PGAL–glukosa
 - PGA–PGAL–fotolisis–fiksasi CO_2 –glukosa
 - PGA–PGAL–fiksasi CO_2 –fotolisis–glukosa
34. Pembentukan O_2 pada proses fotosintesis terjadi pada tahapan
- reaksi terang
 - reaksi gelap
 - siklus Calvin
 - fotosistem I
 - fotosistem II
35. Perhatikan reaksi proses kemosintesis berikut ini.
- $$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + \text{energi}$$
- Reaksi ini berlangsung karena kemampuan bakteri mengadakan kemosintesis. Bakteri tersebut dinamakan
- Nitrobacter*
 - Nitrococcus*
 - Lactobacillus*
 - Thiobacillus*
 - Acetobacter*
36. Perbedaan antara fotosintesis dan kemosintesis terletak pada
- sumber energi dan zat yang dihasilkan
 - sumber energi dan sumber karbon
 - waktu berlangsung dan penggunaan cahaya
 - sumber energi dan organisme yang melakukannya
 - organisme dan bahan yang diperlukan
37. Akseptor elektron terakhir selama jalur elektron nonsiklik pada reaksi terang yaitu
- PS I
 - PS II
 - ATP
 - $NADP^+$
 - air

38. Sebuah fotosistem mengandung
 - a. pigmen-pigmen pusat reaksi dan akseptor elektron
 - b. ADP, P, dan ion hidrogen (H^+)
 - c. proton, foton, dan pigmen
 - d. hanya sitokrom
 - e. jawaban b dan c benar
39. Faktor-faktor di bawah ini yang tidak berhubungan dengan sistem transpor elektron yaitu
 - a. kloroplas
 - b. sitokrom
 - c. perpindahan H^+ ke dalam ruang tilakoid
 - d. pembentukan ATP
 - e. penyerapan energi cahaya
40. NADPH dan ATP dari reaksi terang digunakan untuk
 - a. menguraikan air
 - b. menyebabkan RuBP menangkap CO_2
 - c. membentuk fotosistem kembali
 - d. menyebabkan elektron berpindah sesuai jalurnya
 - e. konversi PGA menjadi PGAL

B. Jawablah soal-soal berikut.

1. Jelaskan perbedaan anabolisme dengan katabolisme.
2. Bagaimana suhu dapat mempengaruhi aktivitas enzim?
3. Bagaimana asam piruvat dapat masuk siklus Krebs?
4. Berapa jumlah energi yang dihasilkan dari oksidasi $NADH_2$ dan $FADH_2$ dalam sistem transpor elektron?
5. Jelaskan mengenai fotosistem.
6. Jelaskan perbedaan kemosintesis dengan fotosintesis.
7. Jelaskan proses fosforilasi siklik dan nonsiklik pada reaksi terang.
8. a. Apakah fotorespirasi itu?
b. Mengapa fotorespirasi menurunkan efisiensi fotosintesis pada tanaman C_3 ?
9. Bagaimana proses fermentasi terjadi di dalam sel otot? Jelaskan.
10. Jelaskan hubungan antara fotosintesis dan respirasi yang terjadi pada tumbuhan.

C. Berpikir kritis

Wati mencoba resep kue donat yang baru dibeli dari toko roti. Wati bersama adiknya mulai membuat adonan kue donat. Setelah adonan selesai dibuat, Wati memberi penutup dan membiarkannya selama 1 jam sesuai petunjuk pembuatan. Berbeda halnya dengan adik Wati. Ia mengambil adonan yang mereka buat dan membiarkannya di udara terbuka. Ternyata adonan itu tidak mengembang. Wati mencoba mencari tahu penyebabnya dengan meneliti setiap bungkus bahan adonan itu. Namun, ia tidak mendapat petunjuk apa pun. Coba bantulah Wati menjawab teka-teki itu. Jelaskan pula proses mengembangnya adonan kue donat tersebut.



Refleksi

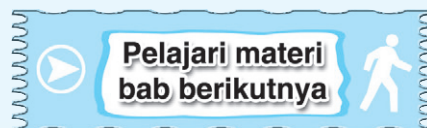
Metabolisme

- Jawablah beberapa pertanyaan berikut.
1. Apa maksud metabolisme
 2. Apakah enzim itu?
 3. Bagaimana metabolisme berlangsung?

Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul \geq 60%



**Pelajari materi
bab berikutnya**