

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

METABOLISME DAN ENZIM

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan anda dapat:

1. Menjelaskan proses metabolisme sebagai reaksi enzimatik dalam makhluk hidup.
2. Menjelaskan prinsip dasar enzim, struktur, sifat, mekanisme kerja enzim dan faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim.
3. Menyusun laporan percobaan kerja enzim, fotosintesis, dan respirasi anaerob.

B. Uraian Materi

METABOLISME

Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup. Metabolisme juga merupakan aktivitas hidup yang selalu terjadi pada setiap sel hidup. Melalui proses metabolisme makanan yang dimakan dapat diubah menjadi energi untuk kelangsungan hidup. Di dalam tubuh makanan mengalami serangkaian perombakan melalui berbagai reaksi kimia sehingga membebaskan energi yang dikandungnya yaitu berupa molekul adenosine trifosfat (ATP). Energi tidak saja diperlukan untuk pertumbuhan sel, mengganti sel yang rusak, pembelahan sel, tetapi juga untuk aktivitas hidup lainnya misalnya belajar, berlari, bermain dan lain-lain.

ATP merupakan molekul berenergi tinggi yang dapat digunakan makhluk hidup. ATP tersusun dari adenosine (basa adenin dan gula ribosa) dan tiga gugus fosfat. ATP memiliki ikatan yang labil karena mudah melepaskan gugus fosfat ketika mengalami hidrolisis sehingga berubah menjadi ADP (adenosine difosfat). Didalam tubuh berlangsung ratusan bahkan ribuan reaksi kimia, termasuk reaksi kimia dalam proses perombakan zat makanan. Setiap reaksi kimia tidak bekerja secara sendiri-sendiri, melainkan berhubungan satu sama lainnya membentuk suatu rangkaian reaksi kimia.

Metabolisme dapat digolongkan menjadi dua yaitu proses pembongkaran yang disebut katabolisme dan proses penyusunan yang disebut anabolisme. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam metabolisme tersebut akan dipengaruhi lajunya oleh protein khusus yang disebut enzim. Tanpa enzim laju metabolisme berlangsung lambat.

ENZIM

Enzim adalah suatu senyawa kimia/protein khusus yang berperan sebagai katalisator suatu reaksi kimia di dalam tubuh makhluk hidup. Enzim sebagai katalisator dapat mempercepat suatu reaksi kimia yaitu dengan cara menurunkan energi aktivasi.

Energi aktivasi adalah energi awal yang digunakan untuk memulai suatu reaksi kimia.

Enzim merupakan biokatalisator yang artinya dapat mempercepat reaksi-reaksi biologi tanpa mengalami perubahan struktur kimia.

Struktur Enzim

Keseluruhan bagian enzim disebut holoenzim. Enzim disusun oleh dua komponen utama yaitu:

1. Gugus protein (Apoenzim) : yaitu bagian dari enzim yang tersusun dari molekul protein
2. Gugus non protein : yaitu bagian dari enzim yang tersusun dari senyawa non protein

Enzim memiliki sisi aktif, yakni bagian atau tempat pada enzim yang berfungsi sebagai tempat menempelnya substrat. Kerja enzim sangat spesifik karena sisi aktif dari enzim sangat selektif terhadap bentuk kimia dari substrat yang akan dikatalisis. Ikatan yang terbentuk antara enzim dengan substrat bersifat lemah sehingga reaksi dapat berlangsung bolak-balik. Substrat menempel pada sisi aktif enzim dan akan menghasilkan produk baru. Komponen nonprotein/gugus prostetik memiliki sifat stabil pada suhu yang relative tinggi dan tidak berubah pada akhir reaksi. Gugus prostetik di bedakan menjadi kofaktor dan koenzim. Kofaktor tersusun dari zat anorganik yang umumnya logam misalnya Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, K dan Co. Koenzim tersusun dari senyawa organik nonprotein yang tidak melekat erat pada bagian protein enzim, misalnya vitamin, NAD, NADP dan Koenzim A.



Gambar 1. Struktur Enzim
Sumber: materibelajar.co.id

Sifat-Sifat Enzim

Sebagai biokatalisator, enzim memiliki beberapa sifat antara lain:

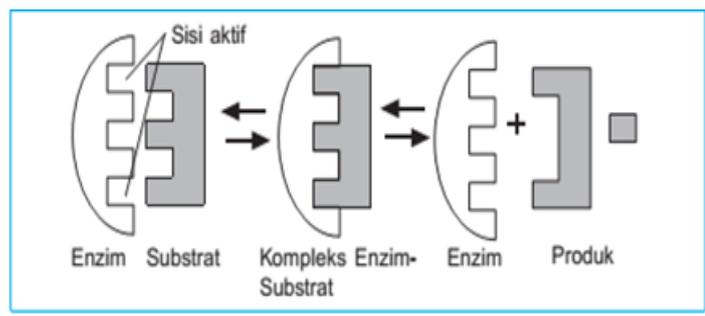
- a. Enzim hanya mengubah kecepatan reaksi, artinya enzim tidak mengubah produk akhir yang dibentuk atau mempengaruhi keseimbangan reaksi, hanya meningkatkan laju suatu reaksi.
- b. Enzim bekerja secara spesifik, artinya enzim hanya mempengaruhi substrat tertentu saja.
- c. Enzim merupakan protein. Oleh karena itu, enzim memiliki sifat seperti protein. Antara lain bekerja pada suhu optimum, umumnya pada suhu kamar. Enzim akan kehilangan aktivitasnya karena pH yang terlalu asam atau basa kuat, dan pelarut organik. Selain itu, panas yang terlalu tinggi akan membuat enzim terdenaturasi sehingga tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya.
- d. Enzim diperlukan dalam jumlah sedikit. Sesuai dengan fungsinya sebagai katalisator, enzim diperlukan dalam jumlah yang sedikit
- e. Enzim bekerja secara bolak-balik. Reaksi-reaksi yang dikendalikan enzim dapat berbalik, artinya enzim tidak menentukan arah reaksi tetapi hanya mempercepat laju reaksi sehingga tercapai keseimbangan. Enzim dapat menguraikan suatu senyawa menjadi senyawa-senyawa lain.

- f. Enzim dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim adalah suhu, pH, activator (pengaktif), dan inhibitor (penghambat) serta konsentrasi substrat.

Cara Kerja Enzim

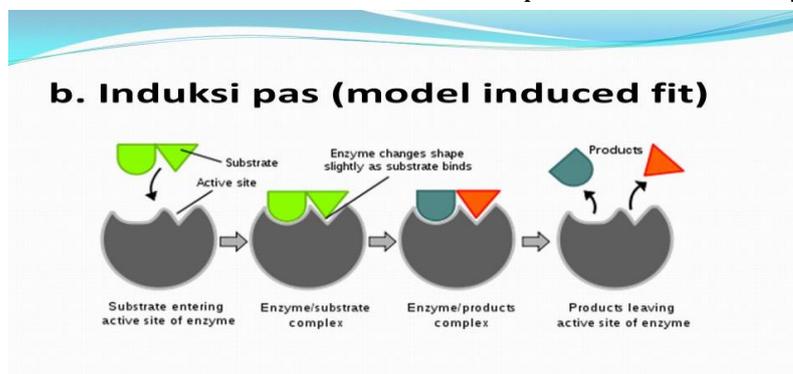
Cara kerja enzim dalam berikatan dengan substrat, ada 2 teori yang menjelaskannya, yaitu:

- a. Teori lock and key: Teori lock and key menganalogikan mekanisme kerja enzim seperti kunci dengan anak kunci. Substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim. Jadi, sisi aktif enzim seolah olah kunci dan substrat adalah anak kunci.



Gambar. 2 Teori Lock and Key
Sumber: akkangyacob.blogspot.com

- b. Teori induced fit: Teori induced fit mengemukakan bahwa setiap molekul substrat memiliki permukaan yang hampir pas dengan permukaan sisi aktif enzim. Jika substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim, akan terbentuk kompleks enzim substrat yang pas.



Gambar. 3 Teori Induksi Pas (model induced fit)
Sumber: akkangyacob.blogspot.com

Faktor-Faktor yang memengaruhi Kerja Enzim

Faktor -Faktor yang dapat mempercepat atau memperlambat kerja enzim antara lain adalah:

1. Suhu

Enzim tersusun dari protein sebab itu enzim sangat peka terhadap suhu. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein, dan suhu yang terlalu rendah dapat menghambat laju reaksi. Setiap enzim mempunyai suhu optimum yang spesifik, jika enzim berada di bawah suhu optimum maka kerja enzim akan terhambat.

2. pH

Setiap enzim mempunyai pH optimum yang spesifik. Perubahan pH mengakibatkan sisi aktif enzim berubah sehingga dapat menghalangi terikatnya substrat pada sisi aktif enzim, selain itu perubahan pH juga mengakibatkan proses denaturasi pada enzim.

3. Konsentrasi Enzim dan substrat

Agar reaksi berjalan optimum, perbandingan jumlah antara enzim dan substrat harus sesuai. Jika enzim terlalu sedikit dan substrat terlalu banyak reaksi akan berjalan lambat dan bahkan ada substrat yang tidak terkatalisasi. Semakin banyak enzim maka reaksi akan berjalan semakin cepat.

4. Zat-zat Pengikat

Aktivator yaitu zat yang berfungsi memacu atau mempercepat reaksi enzim. Contohnya Aktivator antara lain garam-garam dan logam alkali dalam kondisi encer (2%-5%) dan ion logam Ca, Mg, Mn, Ni, dan C1)

5. Zat-zat Penghambat

Ada dua macam inhibitor enzim, yaitu inhibitor kompetitif dan inhibitor nonkompetitif. Inhibitor kompetitif adalah inhibitor yang berkaitan secara kuat pada sisi aktif enzim. inhibitor kompetitif dapat dihilangkan dengan cara menambah konsentrasi substrat. Sedangkan inhibitor nonkompetitif adalah inhibitor yang terikat pada sisi elosterik enzim (selain sisi aktif enzim), inhibitor ini mengakibatkan sisi aktif enzim berubah hingga substrat tidak dapat berkaitan dengan sifat sisi aktif enzim. inhibitor ini tidak dapat dihilangkan walaupun dengan menambahkan konsentrasi substrat.

C. Rangkuman

1. Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup.
2. ATP merupakan molekul berenergi tinggi yang dapat digunakan makhluk hidup.
3. Enzim adalah suatu senyawa kimia/protein khusus yang berperan sebagai katalisator suatu reaksi kimia di dalam tubuh makhluk hidup.
4. Enzim disusun oleh dua komponen utama yaitu Gugus protein (Apoenzim) dan Gugus non protein.
5. Sifat-sifat enzim antara lain, berupa protein, sebagai katalisator, tidak menentukan arah reaksi, bekerjanya sangat specific, bekerja bolak balik dan dibutuhkan dalam jumlah sedikit.
6. Cara kerja enzim dalam berikatan dengan substrat, ada 2 teori yang menjelaskannya yaitu Teori lock and key dan Teori induced fit.
7. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim adalah suhu, pH, konsentrasi enzim, konsentrasi substrat, zat-zat pengikat/aktivator, zat penghambat/inhibitor.

D. Penugasan Mandiri

Metabolisme merupakan serangkaian peristiwa reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel makhluk hidup. Lakukanlah percobaan sederhana berikut.

1. Lakukanlah percobaan kerja enzim dengan mengikuti langkah berikut:
 - Ambillah sesendok nasi lalu kunyah dan rasakan bagaimana perubahan rasa yang kalian rasakan.
 - Bandingkan jika nasi diberi jeruk nipis lalu di kunyah.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

KATABOLISME

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan anda dapat:

Menjelaskan proses katabolisme yang terdiri dari respirasi aerob dan respirasi anaerob/fermentasi menyangkut bahan, proses, tempat berlangsung dan hasilnya.

B. Uraian Materi

KATABOLISME

Katabolisme atau disebut juga desimilasi merupakan rangkaian reaksi kimia yang berkaitan dengan proses pembongkaran, penguraian atau pemecahan molekul/senyawa kompleks menjadi molekul/ senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim.

Penguraian senyawa ini menghasilkan atau melepaskan energi berupa ATP yang tersimpan pada molekul dan biasa digunakan organisme untuk beraktivitas.

Katabolisme mempunyai dua fungsi, yaitu menyediakan bahan baku untuk sintesis molekul lain, dan menyediakan energi kimia yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas sel.

Reaksi yang umum terjadi adalah reaksi oksidasi. Reaksi kimianya membebaskan energi sehingga disebut sebagai reaksi eksergonik. Energi yang dilepaskan oleh reaksi katabolisme disimpan dalam bentuk fosfat, terutama dalam bentuk ATP (Adenosin trifosfat) dan berenergi elektron tinggi NADH_2 (Nikotilamid adenine dinukleotida) serta FADH_2 (Flavin adenin dinukleotida).

Contoh katabolisme adalah respirasi.

Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, katabolisme dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Respirasi aerob : adalah respirasi yang membutuhkan oksigen bebas dari udara untuk menghasilkan energi.
2. Respirasi anaerob : adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi.

1. Respirasi Aerob

Respirasi aerob adalah respirasi yang membutuhkan oksigen bebas dari udara untuk menghasilkan energi.

Contoh respirasi aerob adalah Respirasi Sel.

Respirasi bertujuan menghasilkan energi dari sumber nutrisi yang dimiliki. Semua makhluk hidup melakukan respirasi dan tidak hanya berupa pengambilan udara secara langsung. Respirasi dalam kaitannya dengan pembentukan energi dilakukan di dalam sel. Oleh karena itu, prosesnya dinamakan respirasi sel. Organel sel yang berfungsi dalam menjalankan tugas pembentukan energi ini adalah mitokondria.

Respirasi termasuk ke dalam kelompok katabolisme karena didalamnya terjadi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, diikuti dengan pelepasan energi. Energi yang kita gunakan dapat berasal dari hasil metabolisme tumbuhan.

Respirasi aerob dapat dibedakan menjadi empat tahap, yaitu:

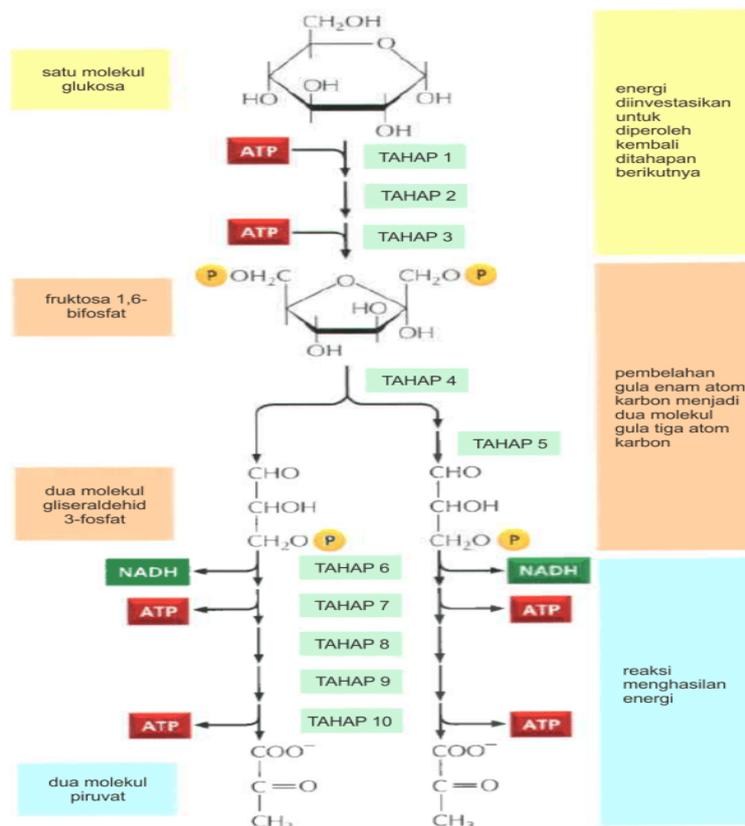
1. glikolisis,
2. dekarboksilasi oksidatif
3. siklus krebs
4. transport elektron.

Untuk memahami tahapan-tahapan tersebut, cermati uraian berikut ini.

1. Glikolisis

Glikolisis adalah peristiwa perubahan molekul glukosa (6 atom C) menjadi 2 molekul yang lebih sederhana, yaitu asam piruvat (3 atom C).

Glikolisis terjadi dalam sitoplasma sel. Prosesnya terdiri atas beberapa langkah, seperti pada gambar berikut:



Gambar 4. Tahap Glikolisis
Sumber: caiherang.com

Peristiwa glikolisis menunjukkan perubahan dari glukosa, kemudian makin berkurang kekomplekan molekulnya dan berakhir sebagai molekul asam piruvat.

Produk penting glikolisis dari 1 molekul glukosa adalah:

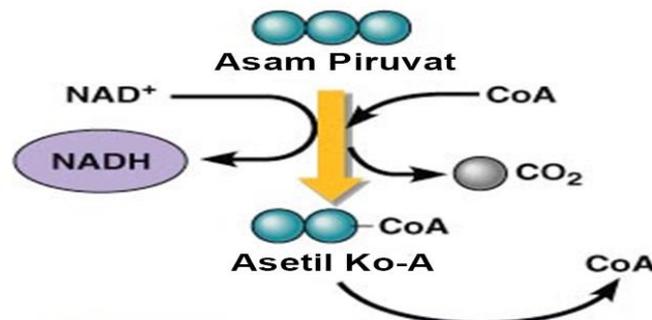
- 2 molekul asam piruvat
- 2 molekul NADH sebagai sumber elektron berenergi tinggi
- 2 molekul ATP

2. Dekarboksilasi oksidatif

Dekarboksilasi oksidatif asam piruvat berlangsung dalam matriks mitokondria dan merupakan reaksi kimia yang mengawali siklus Krebs. Setiap asam piruvat yang dihasilkan kemudian akan diubah menjadi Asetil-KoA (koenzim-A). Asam piruvat ini akan mengalami dekarboksilasi sehingga gugus karboksil akan hilang sebagai CO_2 dan akan berdifusi keluar sel. Dua gugus karbon yang tersisa kemudian akan mengalami oksidasi sehingga gugus hydrogen dikeluarkan dan ditangkap oleh akseptor elektron NAD^+ .

Gugus yang terbentuk, kemudian ditambahkan koenzim-A sehingga menjadi asetil-KoA. Hasil akhir dari proses dekarboksilasi oksidatif ini akan menghasilkan 2 asetil-KoA dan 2 molekul NADH. Pembentukan asetil-KoA memerlukan kehadiran vitamin B1.

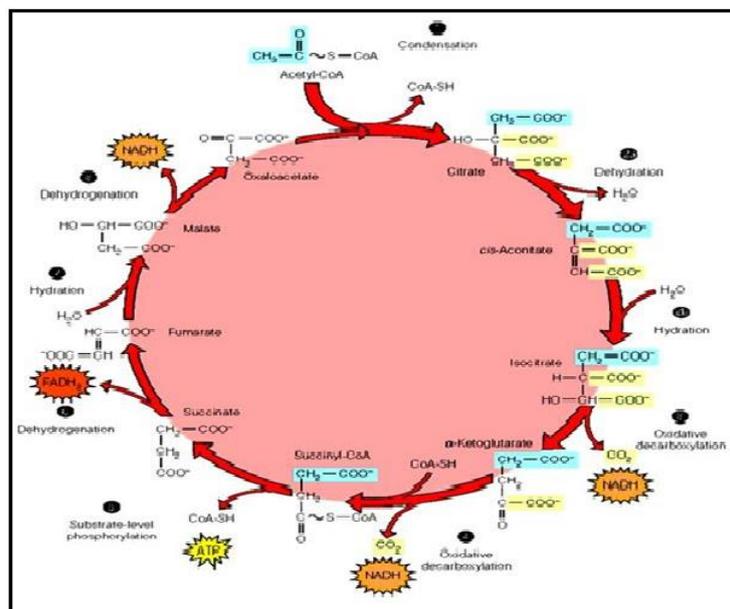
Perhatikan gambar berikut!



Gambar 5. Tahap Dekarboksilasi Oksidatif
Sumber: biologiedukasi.com

3. Siklus Krebs

Siklus krebs merupakan tahap ketiga respirasi aerob. Nama siklus ini berasal dari nama orang yang menemukan reaksi respirasi aerob ini, yaitu Hans Krebs. Siklus ini disebut juga siklus asam sitrat. Siklus krebs berlangsung didalam mitokondria pada kelompok eukariota sedangkan pada kelompok prokariota berlangsung didalam sitoplasma.



Gambar. 6 Tahap Siklus Krebs
Sumber: indonesiabelajar.ord

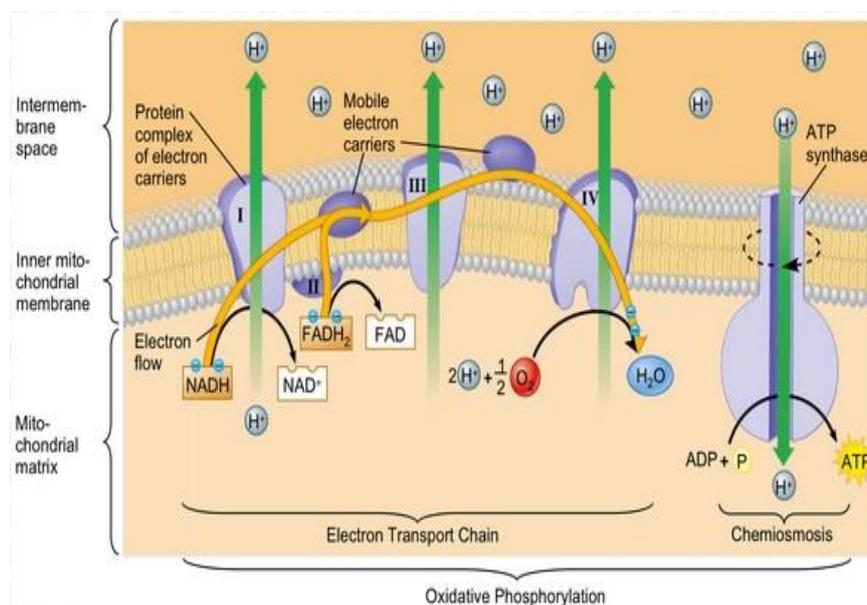
Dapat disimpulkan bahwa siklus krebs merupakan tahap ketiga dalam respirasi aerob yang mempunyai tiga fungsi, yaitu menghasilkan NADH, FADH₂, ATP serta membentuk kembali oksaloasetat. Oksaloasetat ini berfungsi untuk siklus Krebs selanjutnya. Dalam siklus krebs, dari setiap 1 molekul glukosa akan dihasilkan 6 NADH, 2 FADH₂, dan 2 ATP.

4. Transpor Elektron

Transpor elektron merupakan serangkaian peristiwa pemindahan electron dan ion hidrogen (H^+). Selama tiga proses sebelumnya, dihasilkan beberapa reseptor elektron yang bermuatan akibat penambahan ion hidrogen. Reseptor-reseptor ini kemudian akan masuk ke transfer elektron untuk membentuk suatu molekul berenergi tinggi, yaitu ATP. Reaksi ini berlangsung di dalam membran mitokondria. Reaksi ini berfungsi membentuk energi selama oksidasi yang dibantu oleh enzim pereduksi.

Reaksinya kompleks, tetapi yang berperan penting adalah NADH, FAD, dan molekul-molekul khusus, seperti Flavo protein, ko-enzim Q, serta beberapa sitokrom. Dikenal ada beberapa sitokrom, yaitu sitokrom C1, C, A, B, dan A3. Elektron berenergi pertama-tama berasal dari NADH, kemudian ditransfer ke FMN (Flavine Mono Nukleotida), selanjutnya ke Q, sitokrom C1, C, A, B, dan A3, lalu berikatan dengan H yang diambil dari lingkungan sekitarnya. Sampai terjadi reaksi terakhir yang membentuk H_2O .

Perhatikan gambar berikut!



Gambar 7. Tahap Transpor Elektron
Sumber: sainstecno.net

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa selama proses respirasi aerob dihasilkan sekitar 38 ATP dengan rincian sebagai berikut:

Proses	Masukan Energi	Hasil
Glikolisis	2 ATP + 2 NADH (2 x 3 ATP)	8 ATP
Dekarboksilasi oksidatif	2 NADH (2 x 3 ATP)	6 ATP
Siklus Krebs	2 ATP + 6 NADH (6 x 3 ATP) + 2 FADH ₂ (2 x 2 ATP)	24 ATP
Jumlah Energi yang dihasilkan		38 ATP

2. Respirasi anaerob

Respirasi anaerob adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi. Respirasi anaerob merupakan respirasi yang tidak menggunakan oksigen sebagai

penerima akhir pada saat pembentukan ATP. Respirasi anaerob juga menggunakan glukosa sebagai substrat. Respirasi anaerob sering disebut juga fermentasi.

Organisme yang melakukan fermentasi di antaranya adalah bakteri dan protista yang hidup di rawa, lumpur, makanan yang diawetkan, atau tempat-tempat lain yang tidak mengandung oksigen. Beberapa organisme dapat berespirasi menggunakan oksigen, tetapi dapat juga melakukan fermentasi. Organisme seperti ini melakukan fermentasi jika lingkungannya miskin oksigen. Sebagai contoh, sel-sel otot dapat melakukan respirasi anaerob jika kekurangan oksigen.

Pada fermentasi, glukosa dipecah menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 NADH, dan terbentuk 2 ATP. Tetapi, fermentasi tidak bereaksi secara sempurna memecah glukosa menjadi karbondioksida dan air, serta ATP yang dihasilkan pun tidak sebesar ATP yang dihasilkan dari glikolisis.

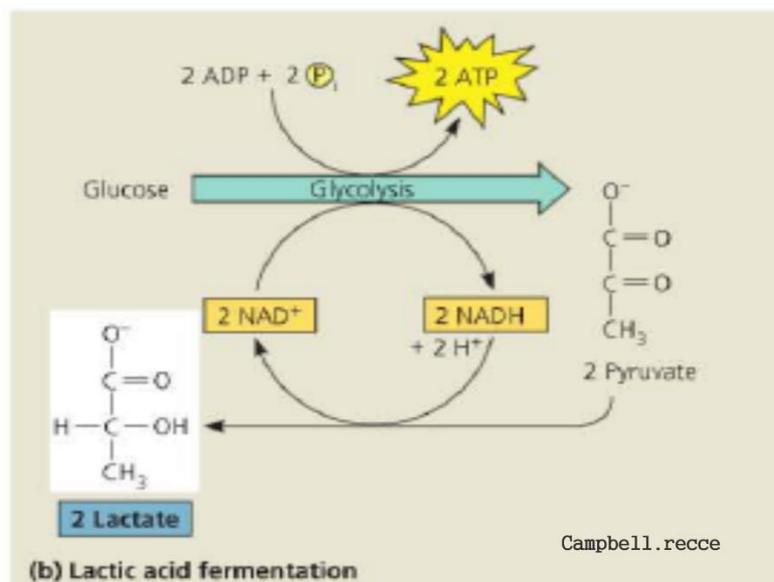
Dari produk yang dihasilkan fermentasi dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Fermentasi asam laktat

Fermentasi asam laktat adalah fermentasi glukosa yang menghasilkan asam laktat. Fermentasi asam laktat dimulai dengan glikolisis yang menghasilkan asam piruvat, kemudian berlanjut dengan perubahan asam piruvat menjadi asam laktat.

Pada fermentasi asam laktat, asam piruvat bereaksi secara langsung dengan NADH membentuk asam laktat.

Perhatikan gambar berikut!

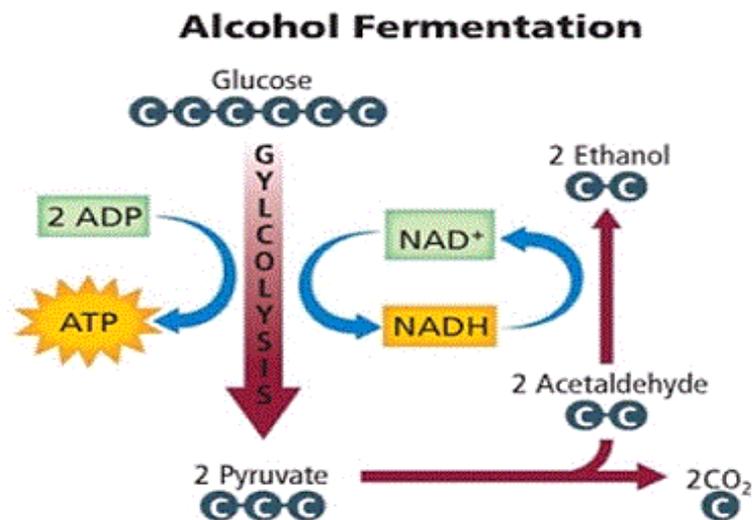


Gambar 8. Tahap Fermentasi Asam Laktat
Sumber: mildafauziah.blogspot.com

2. Fermentasi alkohol.

Pada fermentasi alkohol, asam piruvat diubah menjadi etanol atau etil alkohol melalui dua langkah reaksi, yaitu 1) pembebasan CO₂ dari asam piruvat yang kemudian diubah menjadi asetaldehida, 2) reaksi reduksi asetaldehida oleh NADH menjadi etanol. NAD yang terbentuk akan digunakan untuk glikolisis.

Perhatikan gambar berikut!



Gambar 9. Tahap Fermentasi Alkohol
Sumber: gurupendidikan.co.id

Pada respirasi anaerob energi yang diperoleh lebih sedikit di bandingkan dengan respirasi aerob. Energi yang dihasilkan yaitu 2 ATP setiap molekul glukosa.

C. Rangkuman

1. Katabolisme atau disebut juga disimilasi merupakan rangkaian reaksi kimia yang berkaitan dengan proses pembongkaran, penguraian atau pemecahan molekul/senyawa kompleks menjadi molekul/ senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim.
2. Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, katabolisme dibagi menjadi dua, yaitu:
 - Respirasi aerob
 - Respirasi anaerob
3. Respirasi aerob adalah respirasi yang membutuhkan oksigen bebas dari udara untuk menghasilkan energi.
4. Respirasi aerob dapat dibedakan menjadi empat tahap, yaitu:
 - glikolisis,
 - dekarboksilasi oksidatif
 - siklus krebs
 - transport elektron.
5. Respirasi anaerob adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi
6. Dari produk yang dihasilkan fermentasi dibedakan menjadi 2 yaitu:
 - Fermentasi asam laktat
 - Fermentasi alkohol
7. Reaksi aerob menghasilkan energi sebanyak 38 ATP dan reaksi anaerob menghasilkan energi sebanyak 2 ATP.

D. Penugasan Mandiri

Berikanlah contoh peristiwa dalam kehidupan sehari-hari yang terkait dengan proses reaksi katabolisme anaerob misalnya fermentasi!

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

ANABOLISME

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan anda dapat:
Menjelaskan proses anabolisme yang terdiri dari fotosintesis dan kemosintesis menyangkut bahan, proses, tempat berlangsung dan hasilnya.

B. Uraian Materi

Anabolisme

Anabolisme disebut juga asimilasi atau sintesis merupakan rangkaian proses reaksi kimia yang berkaitan dengan proses penyusunan atau sintesis molekul/senyawa kompleks dari molekul/ senyawa sederhana atau penyusunan zat dari senyawa/molekul sederhana menjadi senyawa yang kompleks.

Proses tersebut berlangsung di dalam tubuh makhluk hidup. Anabolisme merupakan kebalikan dari katabolisme. Proses anabolisme memerlukan energi, baik energi panas, cahaya, atau energi kimia.

Anabolisme yang menggunakan energi cahaya disebut fotosintesis, sedangkan anabolisme yang menggunakan energi kimia disebut kemosintesis.

Berikut ini akan dijelaskan mengenai fotosintesis dan kemosintesis.

a. Fotosintesis

Fotosintesis adalah proses pengubahan zat anorganik H_2O dan CO_2 , oleh klorofil menjadi zat organik (karbohidrat) dengan bantuan cahaya. Peristiwa fotosintesis dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut.



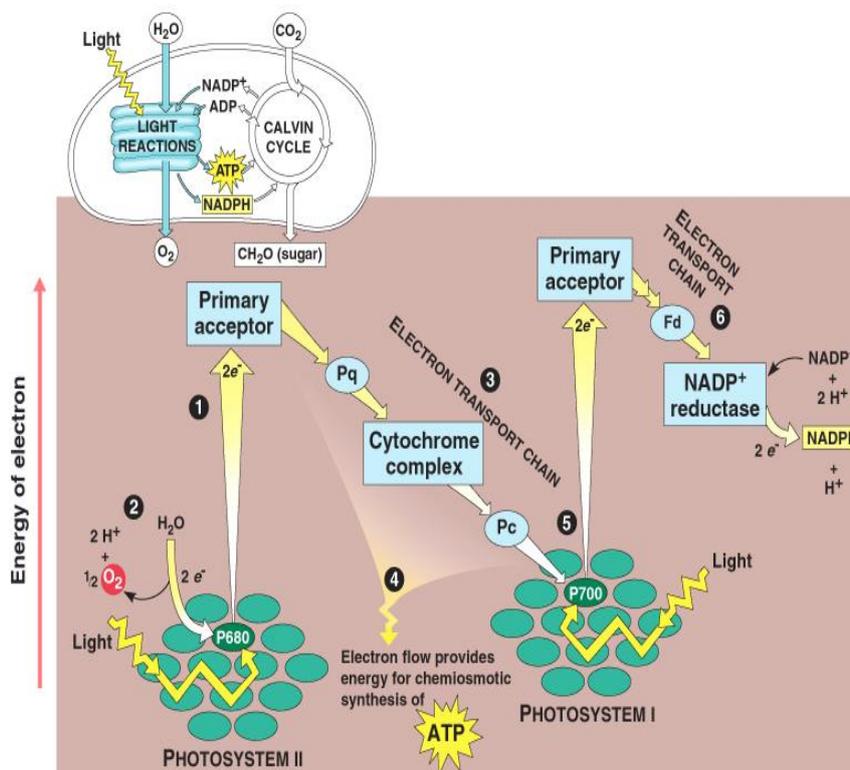
Proses Fotosintesis yang terjadi di kloroplas berlangsung melalui dua tahap reaksi, yaitu **tahap reaksi terang dan tahap reaksi gelap**. Reaksi terang memerlukan cahaya matahari, sedangkan reaksi gelap tidak memerlukan cahaya. Secara keseluruhan, fotosintesis berlangsung dalam kloroplas.

Reaksi Terang

Reaksi terang akan berlangsung jika ada cahaya, misalnya cahaya matahari. Energi di tangkap oleh klorofil untuk memecah molekul air, pemecahan inilah yang disebut dengan fotolisis. Reaksi terang merupakan salah satu langkah dalam fotosintesis untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Reaksi terang ini berlangsung di dalam grana. Cahaya juga memiliki energi yang disebut foton. Jenis pigmen klorofil berbeda-beda karena pigmen tersebut hanya dapat menyerap panjang gelombang dengan besar energi foton yang berbeda. Pada reaksi terang yang terjadi di grana, energi cahaya memacu pelepasan elektron dari fotosistem di dalam membran tilakoid.

Fotosistem adalah tempat berkumpulnya beratus-ratus molekul pigmen fotosintesis. Didalam sel-sel daun terdapat tilakoid yang pada membrannya terdapat klorofil dan bersama protein serta molekul lainnya akan membentuk fotosistem.

Terdapat dua jenis fotosistem yang bekerjasama dalam reaksi terang fotosintesis, yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Kedua fotosistem ini bekerjasama menghasilkan ATP dan NADPH sebagai produk utama dalam reaksi terang. Perhatikan gambar berikut!



Gambar 10. Tahap Reaksi Terang

Sumber: edubio.info

ATP dan NADPH dapat terbentuk dengan digerakkan oleh cahaya dengan member energi kepada kedua fotosistem yang terdapat pada membran tilakoid kloroplas.

Selama reaksi terang fotosintesis terdapat dua kemungkinan aliran elektron yaitu melalui jalur non siklik dan aliran siklik.

Jalur aliran electron non siklik adalah yang utama dengan elektron mengalir dari molekul air, kemudian melalui fotosistem II dan fotosistem I. Elektron dan ion hidrogen akan membentuk NADPH dan ATP. Oksigen yang dibebaskan berguna untuk respirasi aerob. Pusat reaksi pada fotosistem I mengandung klorofil a, disebut sebagai P700, karena dapat menyerap foton terbaik pada panjang gelombang P700 nm. Pusat reaksi pada fotosistem II mengandung klorofil a yang disebut sebagai P680, karena dapat menyerap foton terbaik pada panjang gelombang 680 nm.

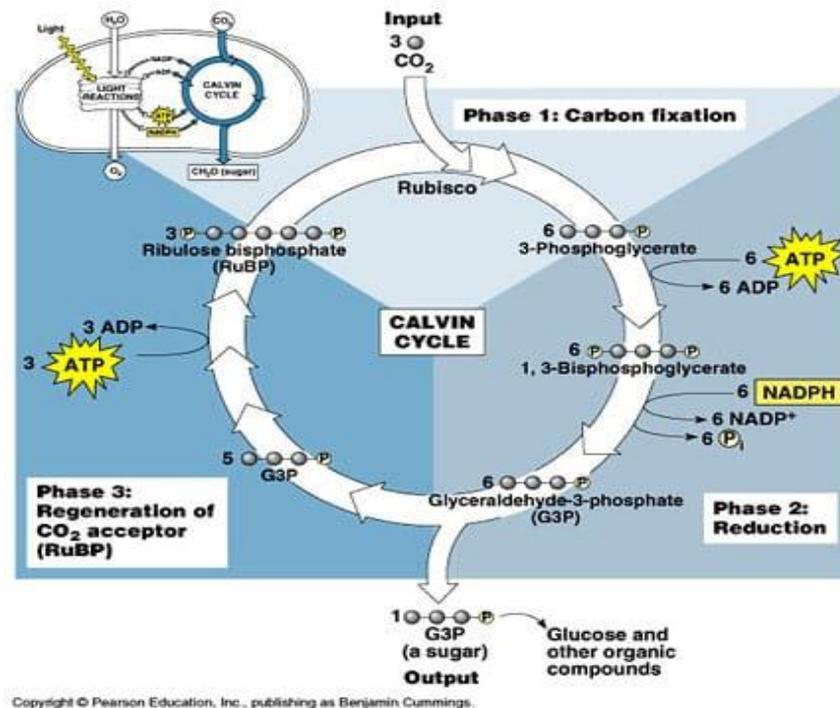
Jalur aliran electron siklik yang hanya pada kondisi tertentu electron terfotoeksitasi mengambil jalur ini. Aliran electron siklik merupakan hubungan yang singkat menggunakan fotosistem I tetapi tidak menggunakan fotosistem II.

Reaksi Gelap

Reaksi gelap merupakan proses penggunaan ATP dan NADPH untuk mengubah CO_2 menjadi gula.

- Fase-fasenya:
- Pengikatan (fiksasi) CO_2
 - Reduksi
 - Pembentukan RuBP

Disebut juga siklus *Calvin-Benson*. Reaksi ini disebut reaksi gelap, karena tidak tergantung secara langsung dengan cahaya matahari. Reaksi gelap terjadi di stroma. Namun demikian, reaksi ini tidak mutlak terjadi hanya pada kondisi gelap. Reaksi gelap memerlukan ATP, hidrogen, dan elektron dari NADPH, karbon dan oksigen dari karbondioksida, enzim yang mengkatalisis setiap reaksi, dan RuBP (*Ribulosa Bifosfat*) yang merupakan suatu senyawa yang mempunyai 5 atom karbon. Perhatikan gambar berikut!



Gambar 11. Tahap Reaksi Gelap
Sumber: marissakurniawan.blogspot.co.id

Reaksi gelap terjadi melalui beberapa tahapan, yaitu:

- Karbondioksida diikat oleh RuBP (Ribulosa bifosfat yang terdiri atas 5 karbon) menjadi senyawa 6 karbon yang labil. Senyawa 6 karbon ini kemudian memecah menjadi 2 fosfogliserat (PGA).
- Masing-masing PGA menerima gugus pfosfat dari ATP dan menerima hidrogen serta e-dari NADPH. Reaksi ini menghasilkan PGAL (fosfogliseraldehida).
- Tiap 6 molekul karbondioksida yang diikat dihasilkan 12 PGAL.
- Dari 12 PGAL, 10 molekul kembali ke tahap awal menjadi RuBp, dan seterusnya RuBP akan mengikat CO₂ yang baru.
- Dua PGAL lainnya akan berkondensasi menjadi glukosa 6 fosfat. Molekul ini merupakan prekursor (bahan baku) untuk produk akhir menjadi molekul sukrosa yang merupakan karbohidrat untuk diangkut ke tempat penimbunan tepung pati yang merupakan karbohidrat yang tersimpan sebagai cadangan makanan.

b. Kemosintesis

Kemosintesis merupakan proses penyusunan atau pembentukan zat organik dengan memanfaatkan sumber energi hasil reaksi kimia. Pada kemosintesis energi diperoleh dari hasil oksidasi senyawa anorganik yang diserap dari lingkungan, misalnya sulfur, hidrogen, besi, amonia, nitrit hidrogen sulfida.

Kemosintesis dapat ditemukan dalam:

1. Pembentukan sulfat oleh bakteri sulfur (*Thiobacillus, bagiatoa*)
2. Pembentukan nitrat oleh bakteri nitrat dan bakteri nitrit (*Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrobacter*).

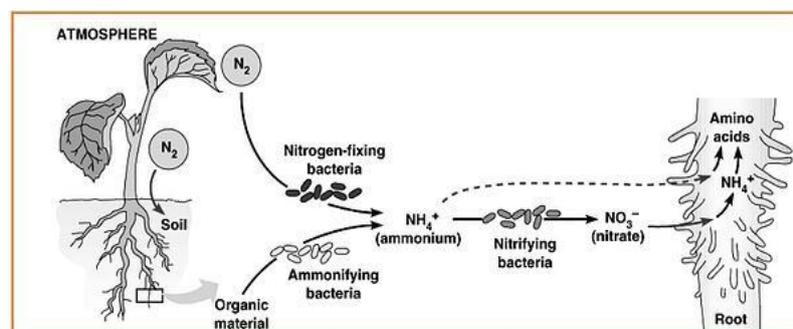
Bakteri-bakteri tersebut memperoleh energi dari hasil oksidasi senyawa-senyawa tertentu. Misalnya bakteri besi memperoleh energi kimia dengan cara oksidasi Fe^{2+} (*Ferro*) menjadi Fe^{3+} (*Ferri*). Bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi NH_3 , tepatnya amonium karbonat menjadi asam nitrit dengan reaksi berikut ini:



Organisme yang melakukannya disebut kemoautotrof. Bakteri kemoautotrof ini akan mengoksidasi senyawa-senyawa tertentu dan energi yang dihasilkan tersebut akan digunakan untuk asimilasi karbon.

Beberapa bakteri kemosintesis ini mempunyai kemampuan seperti organisme berklorofil, yaitu mampu membuat karbohidrat dari bahan mentah anorganik, tetapi mereka tidak menggunakan energi cahaya untuk melakukan hal itu. Pengubahan karbondioksida menjadi karbohidrat dapat pula terjadi dalam sel-sel hewan seperti pada sel-sel tumbuhan. Bakteri pelaku kemosintesis memperoleh energi dan elektron-elektron dengan melaksanakan oksidasi beberapa substansi tereduksi yang ada di alam sekitarnya. Energi bebas tersedia oleh oksidasi ini kemudian digunakan untuk pembuatan karbohidrat.

Energi yang telah didapat tersebut dipakai untuk mereduksi karbondioksida menjadi karbohidrat dengan cara yang sama seperti yang dilakukan bakteri belerang fotosintetik. Mereka menyelesaikan oksidasi senyawa besi yang teroksidasi sebagian dan mampu merangkaikan energi yang dihasilkan oksidasi ini untuk mensintesis karbohidrat. Oksidasi ini menghasilkan energi untuk mendorong reaksi sintesis bakteri tersebut. Nitrat yang dihasilkan menyediakan keperluan nitrogen bagi tumbuhan. Untuk mudahnya, kamu bisa lihat di bagan di bawah ini.



Gambar 12. Bagan Proses Kemosintesis
Sumber: scienceandenvironmentyear3.com