QuipperVideo

Kurikulum 2013 Revisi

Kelas XII

BIOLOGI

Metabolisme 2

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, kamu diharapkan memiliki kemampuan berikut.

1. Memahami pengertian dan jenis-jenis anabolisme.
2. Memahami tahap-tahap fotosintesis pada berbagai tumbuhan.
3. Memahami kemosintesis dan jenis-jenisnya.
4. Memahami faktor-faktor yang memengaruhi proses katabolisme dan anabolisme.
5. Memahami keterkaitan antara proses katabolisme dan anabolisme.
6. Memahami keterkaitan metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak.

A. Pengantar Anabolisme

Anabolisme adalah proses penyusunan/sintesis senyawa-senyawa anorganik (senyawa sederhana, misalnya CO_2 dan H_2O) menjadi senyawa-senyawa organik (senyawa kompleks, misalnya karbohidrat, protein, dan lemak). Senyawa-senyawa organik hasil proses anabolisme inilah yang akan digunakan sebagai bahan dasar pada proses katabolisme.

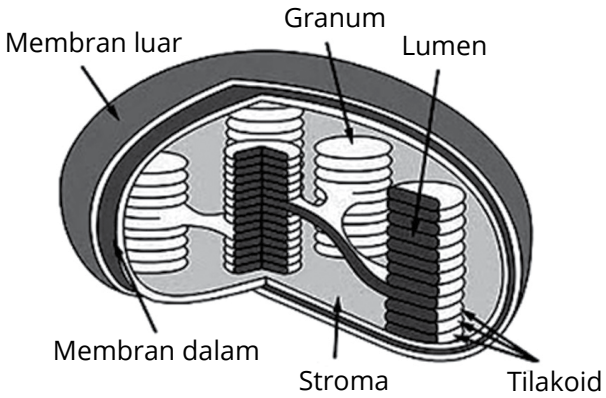
Proses anabolisme membutuhkan energi. Berdasarkan energi yang digunakan, ada dua macam proses anabolisme, yaitu fotosintesis dan kemosintesis. **Fotosintensis** adalah proses pengubahan senyawa anorganik oleh klorofil menjadi senyawa organik dengan bantuan cahaya. Oleh karena itu, fotosintesis hanya dapat dilakukan oleh organisme yang memiliki klorofil, seperti alga dan tumbuhan tingkat tinggi. Klorofil atau pigmen hijau daun terdapat di dalam suatu organel yang disebut **kloroplas**. Akan tetapi, pada kelompok Cyanobacteria, klorofil terdapat di dalam lembar tilakoid.

Ada dua tahap reaksi di dalam fotosintesis, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap.

1. Reaksi terang
   Reaksi terang adalah reaksi yang membutuhkan cahaya matahari langsung sebagai sumber energi.

2. Reaksi gelap
   Reaksi gelap adalah reaksi yang tidak membutuhkan cahaya matahari langsung sebagai sumber energi. Akan tetapi, sumber energinya berupa ATP yang diperoleh dari reaksi terang. Oleh karena itu, reaksi gelap tidak akan berlangsung jika tidak ada reaksi terang.

Berikut ini adalah gambar struktur kloroplas yang menjadi tempat berlangsungnya proses fotosintesis.



Gambar 1. Struktur kloroplas

B. Fotosintesis: Reaksi Terang

Reaksi terang adalah reaksi yang membutuhkan cahaya matahari langsung sebagai sumber energi. Reaksi ini berlangsung di dalam kantong-kantong tilakoid yang terdapat di dalam kloroplas. Kumpulan beberapa tilakoid disebut **granum** (jamak = grana). Selain cahaya matahari, reaksi terang juga membutuhkan pigmen fotosintesis dan air. Pada reaksi terang, dihasilkan **ATP, NADPH,** dan **O_2**. ATP dan NADPH akan digunakan dalam reaksi gelap, sedangkan O2 akan dibebaskan ke udara.

Tidak semua spektrum warna dapat digunakan untuk fotosintesis. Spektrum yang efektif digunakan untuk fotosintesis adalah spektrum merah dan biru. Sprektrum merah dan biru ini sesuai dengan serapan pigmen fotosintesis. Pigmen fotosintesis terdiri atas klorofil a dan klorofil b. Kedua klorofil tersebut dapat membentuk kelompok-kelompok yang disebut **fotosistem**. Ada dua macam fotosistem, yaitu sebagai berikut.

- Fotosistem I

  Fotosistem I terdiri atas klorofil a dan klorofil b dengan perbandingan 12 : 1. Fotosistem ini dapat menangkap gelombang cahaya dengan panjang gelombang 700 nm, sehingga disebut **P700**.
- Fotosistem II

  Fotosistem II terdiri atas klorofil a dan klorofil b dengan perbandingan 1 : 2. Fotosistem ini dapat menangkap gelombang cahaya dengan panjang gelombang 680 nm, sehingga disebut **P680**.

Reaksi terang dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu aktivasi klorofil, fotolisis air, serta sistem transpor elektron siklik dan nonsiklik.

1. Aktivasi Klorofil

   Aktivasi klorofil merupakan proses pelepasan elektron (eksitasi) dari klorofil, sehingga klorofil menjadi tidak stabil. Hal ini terjadi karena klorofil menangkap foton (cahaya matahari).

2. Fotolisis Air

   Fotolisis air merupakan proses pemecahan molekul air oleh elektron yang berasal dari fotosistem II. Dari proses fotolisis ini dihasilkan ion H^+, elektron, dan O_2 yang akan dilepas ke udara.

3. Sistem Transpor Elektron Siklik dan Nonsiklik

   Sistem transpor elektron siklik dan **nonsiklik** merupakan suatu rantai transpor elektron yang melibatkan fotosistem I dan fotosistem II. Pada kedua sistem transpor elektron ini akan dibentuk ATP dari ADP. Sistem transpor elektron siklik dan nonsiklik juga disebut sebagai **proses fotofosforilasi siklik** dan **nonsiklik**.

   a. Transpor Elektron Siklik (Fotofosforilasi Siklik)

      Pada transpor elektron siklik, elektron dari P700 diangkut melalui beberapa akseptor dan kembali lagi ke P700. Oleh karena itu, proses ini hanya membutuhkan fotosistem I. Hasil dari transpor elektron siklik ini adalah ATP. Tahap-tahap dalam transpor elektron siklik dapat dijelaskan sebagai berikut.

      1.) **Aktivasi klorofil**, terjadi saat energi cahaya diterima oleh fotosistem I, sehingga elektron-elektron dari fotosistem I mengalami eksitasi.

      2.) **Transpor elektron**, yaitu elektron dari P700 ditransfer ke akseptor elektron, kemudian kembali lagi ke P700.

      3.) **Pembentukan ATP**, terjadi saat elektron dari akseptor elektron masuk ke dalam kompleks sitokrom. Masuknya elektron ke dalam kompleks sitokrom ini menyebabkan peningkatan energi yang dapat digunakan untuk mengubah ADP menjadi ATP.

b. Transpor Elektron Nonsiklik (Fotofosforilasi Nonsiklik)

Pada transpor elektron nonsiklik, elektron dari P680 diangkut melalui beberapa akseptor menuju P700, dan tidak kembali lagi. Oleh karena itu, proses ini membutuhkan fotosistem I dan II. Hasil dari transpor elektron nonsiklik adalah O_2, ATP, dan NADPH. Tahap-tahap dalam transpor elektron nonsiklik dapat dijelaskan sebagai berikut.

1.) **Aktivasi klorofil**, terjadi saat energi cahaya diterima oleh fotosistem II, sehingga elektron-elektron dari fotosistem II tereksitasi.

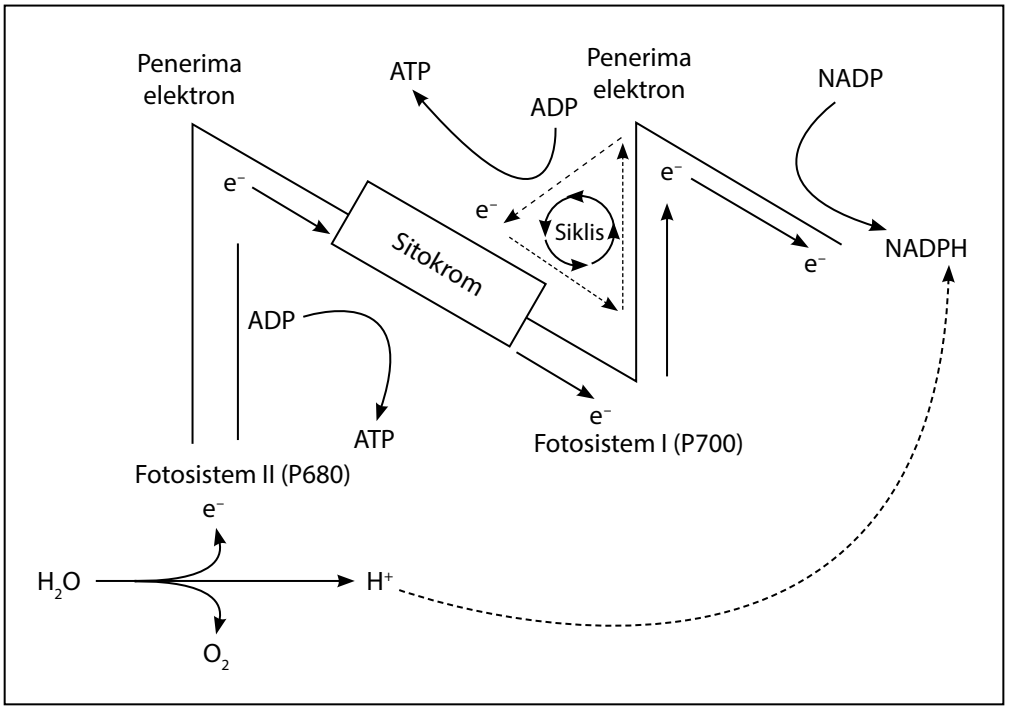
2.) **Fotolisis air**, merupakan proses pemecahan molekul air oleh elektron dari fotosistem II, sehingga dihasilkan O_2, ion H^+, dan elektron.

3.) **Transpor elektron**, yaitu elektron dari P680 ditransfer melalui beberapa akseptor elektron menuju P700.

4.) **Pembentukan ATP dan NADPH**

ATP terbentuk saat elektron dari akseptor elektron masuk ke dalam kompleks sitokrom, sedangkan NADPH terbentuk setelah elektron dari akseptor elektron diterima oleh senyawa NADP. Senyawa NADP akan mengikat ion H^+ yang berasal dari fotolisis air.

Berikut ini adalah gambar dari proses reaksi terang fotosintesis.



Gambar 2. Proses reaksi terang fotosintesis

Urutan dari proses reaksi terang tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

1.) Fotosistem II menangkap foton, sehingga elektronnya tereksitasi.

2.) Elektron dari fotosistem II selanjutnya akan memecah molekul air sehingga terbentuk ion H^+, elektron, dan O_2 yang akan dilepas ke udara bebas.

3.) Elektron dari hasil pemecahan air akan masuk ke dalam fotosistem II, kemudian diteruskan ke akseptor (penerima) elektron.

4.) Dari akseptor elektron, elektron diangkut menuju kompleks sitokrom. Pada saat melalui sitokrom, terjadi peningkatan energi, sehingga energi tersebut dapat digunakan untuk mengubah ADP menjadi ATP.

5.) Elektron dari sitokrom kemudian diangkut menuju fotosistem I.

6.) Dari fotosistem I, elektron akan diteruskan ke akseptor elektron berikutnya.

7.) Selanjutnya, elektron akan diterima oleh senyawa NADP. Masuknya elektron ini menyebabkan NADP dapat mengikat ion H^+ yang diperoleh dari pemecahan air. Proses pengangkutan elektron ini disebut **transpor elektron nonsiklik**.

8.) Jika kebutuhan ATP kurang mencukupi, elektron dari fotosistem I akan diangkut ke akseptor elektron menuju ke kompleks sitokrom dan kembali ke fotosistem I. Proses ini disebut **transpor elektron siklik**.

Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat diketahui bahwa hasil akhir dari proses reaksi terang adalah sebagai berikut.

NADPH, ATP, dan O_2

SUPER "Solusi Quipper"

Untuk mengingat hasil akhir dari reaksi terang, gunakan cara SUPER berikut.

Siang hari **Anak di Atas Pohon** lompat ke **atap** untuk menghirup **oksigen**

NADPH, ATP, O_2

Contoh Soal 1

Fotosistem yang diperlukan dalam proses fotosintesis merupakan ....

A. kumpulan klorofil dalam tilakoid yang dapat menangkap cahaya pada panjang gelombang tertentu
B. kumpulan klorofil dalam tilakoid yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik
C. kumpulan klorofil dalam tilakoid yang dapat menyusun zat makanan berupa gula
D. kumpulan klorofil dalam tilakoid yang dapat membentuk ATP
E. kumpulan klorofil dalam tilakoid yang dapat membentuk oksigen

Jawaban: A

Penjelasan:
Fotosistem adalah kumpulan klorofil yang terdiri atas klorofil a dan klorofil b dengan perbandingan tertentu. Fungsi dari fotosistem ini adalah untuk menangkap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Ada dua macam fotosistem, yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Fotosistem I yang memiliki perbandingan klorofil a dan b = 12 : 1 dapat menangkap cahaya dengan panjang gelombang 700 nm. Sementara fotosistem II yang memiliki perbandingan klorofil a dan b = 1 : 2 dapat menangkap cahaya dengan panjang gelombang 680 nm.

Jadi, fotosistem yang diperlukan dalam proses fotosintesis merupakan kumpulan klorofil dalam tilakoid yang dapat menangkap cahaya pada panjang gelombang tertentu.

Contoh Soal 2

Senyawa hasil reaksi terang yang dibutuhkan untuk reaksi gelap adalah ....

A. ATP dan O_2
B. ATP dan CO_2
C. NADPH dan ATP
D. NADPH dan O_2
E. NADPH dan CO_2

Jawaban: C

Penjelasan:
Pada reaksi terang, dihasilkan senyawa-senyawa ATP, NADPH, dan O_2. Akan tetapi, yang digunakan untuk proses reaksi gelap hanya ATP dan NADPH.

Jadi, senyawa hasil reaksi terang yang dibutuhkan untuk reaksi gelap adalah ATP dan NADPH.

C. Fotosintesis: Reaksi Gelap

Reaksi gelap disebut juga dengan **siklus Calvin**. **Reaksi gelap** adalah reaksi fotosintesis yang tidak membutuhkan energi cahaya matahari secara langsung sebagai sumber energi. Akan tetapi, sumber energinya berupa ATP yang diperoleh dari reaksi terang. Meskipun tidak menggunakan energi cahaya matahari, reaksi gelap tetap berlangsung pada siang hari.

Selain ATP, senyawa dari reaksi terang yang juga diperlukan untuk berlangsungnya reaksi gelap adalah NADPH. Pada reaksi gelap juga diperlukan adanya CO_2. Reaksi gelap berlangsung di dalam stroma kloroplas. Hasil dari reaksi gelap adalah glukosa ($C_6H_{12}O_6$).

Reaksi gelap dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu fiksasi CO_2, reduksi senyawa PGA, dan regenerasi RuBP.

1. Fiksasi CO_2

Pada tahap ini, terjadi pengikatan (fiksasi) karbon dioksida dengan senyawa ribulosa bifosfat (RuBP) oleh enzim rubisco. Akibatnya, akan terbentuk molekul dengan 6 atom karbon yang tidak stabil. Molekul ini kemudian pecah menjadi 12 molekul asam fosfogliserat (PGA).

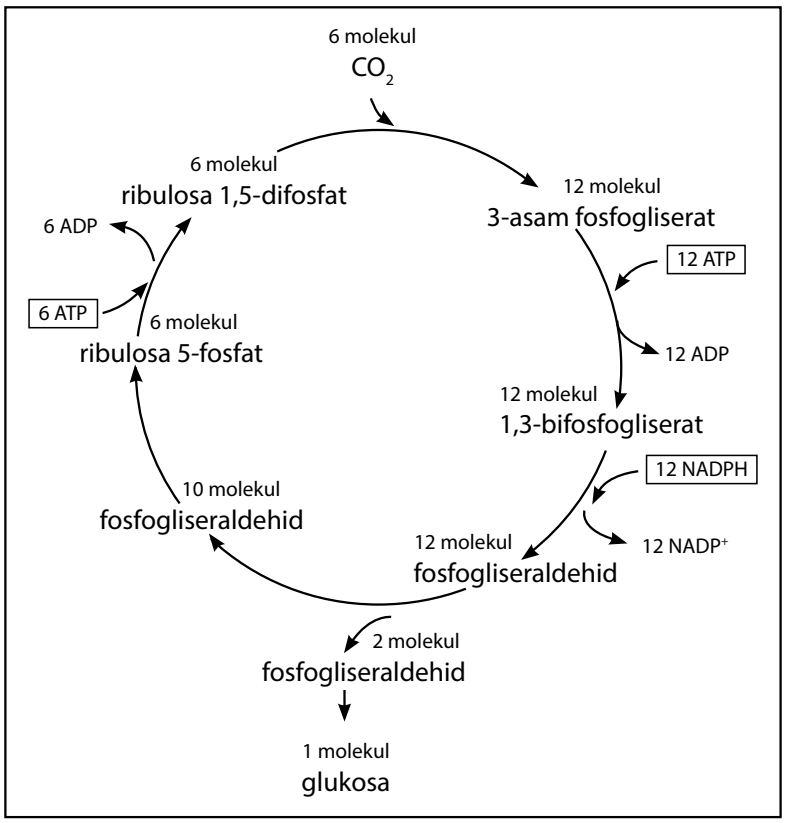
2. Reduksi Senyawa PGA

Pada tahap ini, senyawa PGA akan menerima fosfat dari ATP sehingga terbentuk senyawa 1,3 bifosfogliserat. Selanjutnya, senyawa 1,3 bifosfogliserat akan direduksi oleh NADPH menjadi senyawa fosfogliseraldehid-3P (PGAL). Dari tahapan ini, sebagian PGAL akan digunakan sebagai bahan dasar glukosa, dan sebagian lagi akan digunakan untuk membentuk RuBP.

3. Regenerasi RuBP

Pada tahap ini, senyawa PGAL akan menerima fosfat dari ATP dan diubah kembali menjadi RuBP.

Berikut ini adalah gambar dari proses reaksi gelap fotosintesis.



Gambar 3. Proses reaksi gelap fotosintesis

Urutan dari proses reaksi gelap tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. 6 molekul CO_2 difiksasi dengan 6 molekul RuBP oleh enzim rubisco, sehingga terbentuk 6 molekul dengan 6 atom C yang tidak stabil. Ke-6 molekul ini kemudian pecah menjadi 12 molekul 3-fosfogliserat (PGA).
2. Selanjutnya, 12 molekul PGA akan mendapatkan 12 gugus fosfat dari 12 ATP, sehingga terbentuk 12 molekul 1,3 bifosfogliserat.
3. 12 molekul 1,3 bifosfogliserat akan menerima ion H^+ dari NADPH, sehingga tereduksi menjadi 12 molekul fosfogliseraldehid-3P (PGAL).
4. 10 molekul PGAL akan mengalami regenerasi menjadi RuBP kembali setelah menerima 6 gugus fosfat dari 6 ATP.
5. 2 molekul PGAL lainnya akan bergabung membentuk 1 molekul glukosa ($C_6H_{12}O_6$).

Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat diketahui bahwa hasil akhir dari proses reaksi gelap adalah sebagai berikut.

$C_6H_{12}O_6$ (glukosa)

Contoh Soal 3

Dalam reaksi gelap, urutan perubahan yang benar adalah ....

A. RuBP → PGA → PGAL → glukosa
B. PGA → PGAL → glukosa → RuBP
C. PGAL → PGA → RuBP → glukosa
D. Glukosa → PGA → PGAL → RuBP
E. RuBP → PGA → glukosa → PGAL

Jawaban: A

Penjelasan:
Proses pembentukan glukosa pada reaksi gelap dapat diurutkan sebagai berikut.

- RuBP memfiksasi CO_2 menjadi senyawa PGA.
- Senyawa PGA direduksi menjadi senyawa PGAL oleh ATP dan NADPH.
- Sebagian senyawa PGAL akan disintesis menjadi glukosa.

Jadi, urutan perubahan yang benar dalam reaksi gelap adalah RuBP → PGA → PGAL → glukosa.

Contoh Soal 4

Reaksi gelap pada fotosintesis dinamakan demikian karena ....

A. tidak dapat berlangsung pada siang hari
B. hanya berlangsung pada siang hari
C. tidak memerlukan cahaya
D. terjadi terutama pada malam hari
E. proses yang belum dapat dijelaskan

Jawaban: C

Penjelasan:
Reaksi gelap pada fotosintesis tetap berlangsung pada siang hari. Namun, reaksi ini tidak menggunakan energi cahaya secara langsung, melainkan menggunakan energi kimia berupa ATP dan senyawa NADPH. ATP dan senyawa NADPH ini dibentuk di dalam reaksi terang.

Jadi, reaksi gelap pada fotosintesis dinamakan demikian karena tidak memerlukan cahaya.

C. Tumbuhan C_3, C_4, dan CAM

Berdasarkan tipe fotosintesis, tumbuhan dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu tumbuhan C_3, C_4, dan CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*).

1. Tumbuhan C_3

Tumbuhan C_3 adalah tumbuhan yang membentuk molekul berkarbon 3, yaitu 3-fosfogliserat saat proses fiksasi CO_2 di awal reaksi gelap. Jenis tumbuhan C_3 dapat hidup baik pada lingkungan yang mengandung CO_2 tinggi, dengan intensitas cahaya dan temperatur sedang, juga air tanah yang melimpah. Contoh tumbuhan C_3 adalah gandum, kentang, kacang-kacangan, dan kapas.

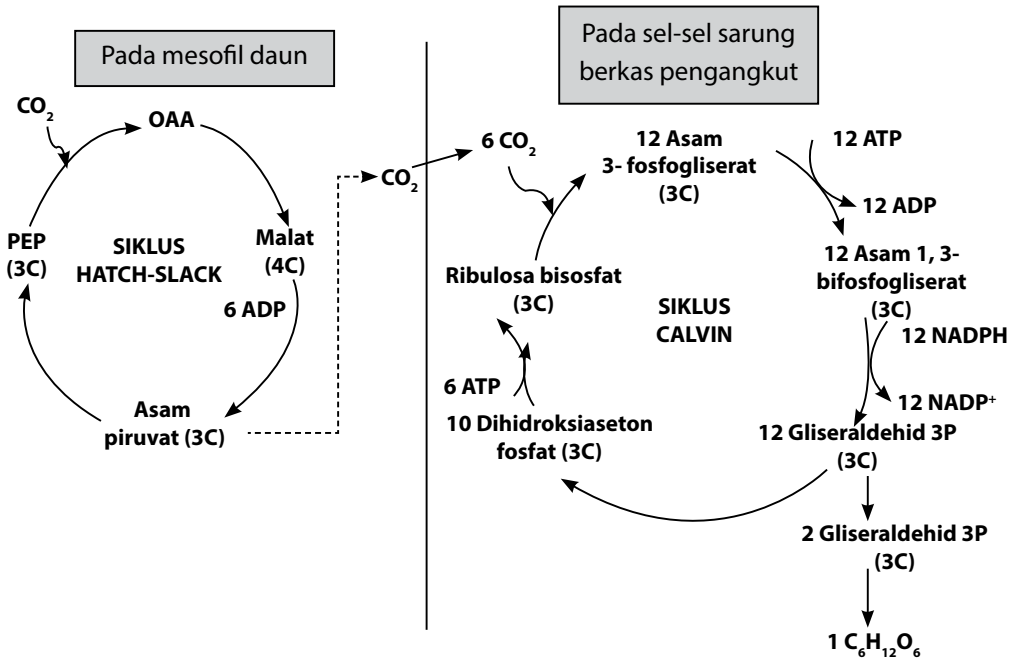
Pada tumbuhan C_3, CO_2 hanya difiksasi dengan RuBP oleh enzim rubisco di dalam sel-sel mesofil. Dalam kerjanya, enzim rubisco sering menyertakan molekul oksigen ke dalam RuBP sebagai pengganti karbon dioksida. Jika hal ini dilakukan, akan terjadi peristiwa **fotorespirasi**, yaitu proses pembongkaran karbohidrat untuk menghasilkan energi dan hasil samping. Fotorespirasi terjadi pada siang hari. Untuk menghambat terjadinya fotorespirasi, kadar CO_2 di atmosfer harus ditingkatkan. Selain itu, fotorespirasi juga dapat terjadi saat panas terik sehingga mendorong stomata untuk menutup. Keadaan ini dapat menghalangi masuknya CO_2 dari luar dan keluarnya O_2 dari dalam.

Proses fiksasi CO_2 pada tumbuhan C_3 sama dengan proses fiksasi pada reaksi gelap yang sudah diterangkan sebelumnya.

2. Tumbuhan C_4

Tumbuhan C_4 adalah tumbuhan yang membentuk molekul berkarbon 4, yaitu oksaloasetat. Oksaloasetat terbentuk setelah CO_2 berikatan dengan PEP (fosfoenolpiruvat) dengan bantuan enzim PEP karboksilase di dalam sel-sel mesofil. Berbeda dengan rubisco, PEP karboksilase tidak dapat mengikat O_2, sehingga tidak terjadi kompetisi antara O_2 dan CO_2. Tumbuhan C_4 lebih adaptif terhadap lingkungan yang kering dan panas, dengan konsentrasi CO_2 yang tidak terlalu tinggi. Contoh tumbuhan C_4 adalah jagung, tebu, dan sorghum.

Pada tumbuhan C_4, proses fotosintesis berlangsung di dua tempat, yaitu sel-sel mesofil dan sel-sel sarung berkas pengangkut. Berikut ini adalah gambar proses fotosintesis pada tumbuhan C_4.



Gambar 4. Proses fotosintesis pada tumbuhan C_4

Urutan dari proses fotosintesis pada tumbuhan C4 tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. CO_2 masuk ke dalam sel-sel mesofil dan berikatan dengan PEP dengan bantuan PEP karboksilase. Hasil dari ikatan ini adalah OAA (*Oksaloasetat Acid*) yang beratom 4C.

b. Dengan bantuan NADPH, oksaloasetat diubah menjadi malat.

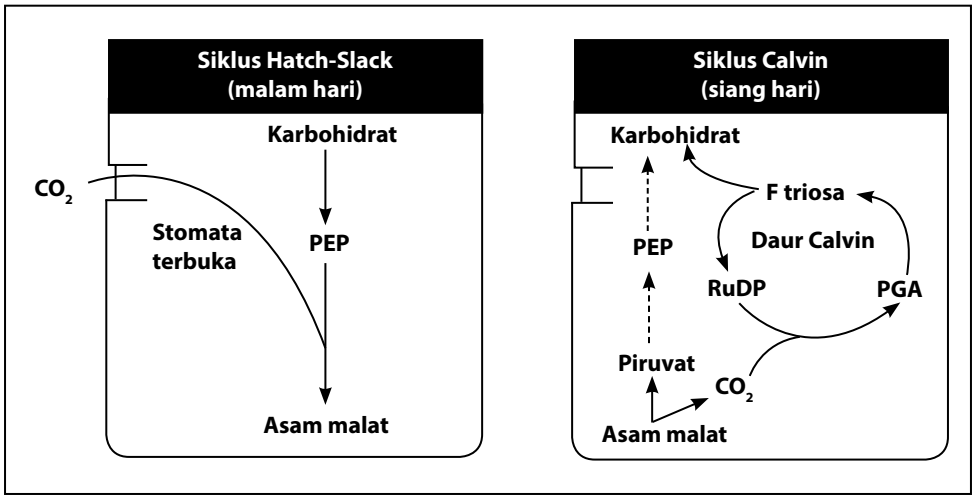
c. Malat akan mengalami dekarboksilasi menjadi asam piruvat (3C) dengan melepas 1 molekul CO_2.

d. CO_2 kemudian akan masuk ke dalam sel-sel sarung berkas pengangkut untuk memasuki siklus Calvin.

3. Tumbuhan CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*)

Kelompok tumbuhan CAM memiliki ciri khusus, yaitu mengikat CO_2 pada malam hari dan menggunakannya pada siang hari. Tumbuhan ini hidup di daerah panas dan kering. Contohnya adalah kaktus, lili, dan anggrek.

Pada tumbuhan CAM, pengikatan CO_2 yang dibantu oleh PEP karboksilase akan membentuk oksaloasetat yang beratom 4C. Perbedaannya dengan tumbuhan C_4 adalah waktu untuk melakukannya. Pada tumbuhan CAM, pengikatan CO_2 terjadi pada malam hari saat stomata membuka. Oksaloasetat yang terbentuk akan diubah menjadi malat dan disimpan di dalam vakuola. Pada siang harinya, saat stomata menutup, malat akan mengalami dekarboksilasi membentuk asam piruvat dan CO_2. Selanjutnya, CO_2 akan masuk ke dalam siklus Calvin. Berikut ini adalah gambar proses fotosintesis pada tumbuhan CAM.



Gambar 5. Proses fotosintesis pada tumbuhan CAM

Urutan dari proses fotosintesis pada tumbuhan CAM dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. CO_2 masuk melalui stomata yang terbuka pada malam hari. CO_2 akan berikatan dengan PEP dengan bantuan PEP karboksilase membentuk oksaloasetat.
b. Oksaloasetat kemudian diubah menjadi malat dan disimpan di dalam vakuola.
c. Pada siang hari, saat stomata menutup, malat akan mengalami dekarboksilasi menjadi asam piruvat dan CO_2.
d. CO_2 kemudian akan masuk ke dalam kloroplas untuk menjalani siklus Calvin.

Contoh Soal 5

Perbedaan fiksasi CO_2 antara tumbuhan C_4 dan CAM terletak pada ....

A. enzim yang digunakan
B. senyawa hasil fiksasi CO_2 dengan PEP
C. waktu pengikatan CO_2
D. tempat berlangsungnya siklus Calvin
E. hasil dari siklus Calvin

Jawaban: C

Penjelasan:

Pada tumbuhan C_4, proses fiksasi CO_2 dengan PEP berlangsung pada siang hari, sedangkan pada tumbuhan CAM, proses fiksasi CO_2 dengan PEP berlangsung pada malam hari.

Jadi, perbedaan fiksasi CO_2 antara tumbuhan C_4 dan CAM terletak pada waktu pengikatan CO_2.

E. Kemosintesis

Kemosintesis adalah proses penyusunan senyawa organik dari senyawa anorganik dengan menggunakan energi yang berasal dari reaksi kimia. Proses ini dilakukan oleh organisme autotrof nonfotosintetik atau disebut juga **organisme kemoautotrof**. Organisme yang tergolong kemoautotrof antara lain adalah kelompok bakteri nitrifikasi (*Nitrosomonas, Nitrosococcus,* dan *Nitrobacter*), bakteri besi, bakteri metana, bakteri hidrogen, dan bakteri sulfur.

Berbeda dengan organisme fotoautotrof yang berperan sebagai produsen di alam, organisme kemoautotrof umumnya berperan sebagai dekomposer (pengurai) atau produsen di laut dalam yang tidak memungkinkan adanya fotosintesis.

Berdasarkan sumber energi kimianya, kemosintesis dibagi menjadi lima macam, yaitu sebagai berikut.

1. Kemosintesis oleh Bakteri Nitri kasi

a. **Bakteri nitrit** adalah bakteri yang mampu mengoksidasi amonia menjadi nitrit. Bakteri yang tergolong nitrit adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus*. Berikut ini merupakan reaksi kimia pada oksidasi amonia menjadi nitrit.

$$2NH_2 + 3O_2 \xrightarrow[Nitrosomonas]{} 2HNO_2 + 2H_2O + \text{Energi (158 kal)}$$

b. **Bakteri nitrat** adalah bakteri yang mampu mengoksidasi nitrit menjadi nitrat. Bakteri yang tergolong nitrat adalah *Nitrobacter*. Berikut ini merupakan reaksi kimia pada oksidasi nitrit menjadi nitrat.

$$2HNO_2 + O_2 \xrightarrow[Nitrobacter]{} 2HNO_3 + \text{Energi (43 kal)}$$

SUPER "Solusi Quipper"

AMOY MAIN KE MONAS KARENA IRIT
Amoniak → *Nitrosomonas* → nitrit

TRIA BAWA MARTABAK BUAT NITA
Nitrit → *Nitrobacter* → nitrat

2. Kemosintesis oleh Bakteri Sulfur

Contoh dari bakteri sulfur adalah *Beggiatoa* atau *Thiospirillum*. Bakteri ini hidup di sumber-sumber air panas yang memiliki kandungan senyawa hidrogen sulfida. Bakteri-bakteri sulfur mampu mengoksidasi logam sulfida menjadi sulfur dengan reaksi kimia berikut.

$$2H2S + O2 \xrightarrow[\textit{Beggiatoa/Thiospirillum}]{} 2S + 2H2O + \text{energi (122,2 kal)}$$

Jika cadangan hidrogen sulfida habis, endapan sulfur (S) akan dioksidasi menjadi asam sulfat (H_2SO_4) dengan reaksi kimia berikut.

$$2S + 2H2 + 4O2 \longrightarrow 2H2SO4 + \text{energi (284,4 kal)}$$

3. Kemosintesis oleh Bakteri Besi

Contoh dari bakteri besi adalah *Ferrobacillus, Crenothrix,* dan *Spiruphyllum*. Bakteri-bakteri besi mampu mengoksidasi ion ferro menjadi ion ferri dengan reaksi kimia berikut.

$$2Fe(HCO_3)_2 + H_2O + O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 4CO_2 + \text{energi (29 kkal)}$$
$$4FeCO_3 + O_2 + 6H2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 4CO_2 + \text{energi (81 kkal)}$$

4. Kemosintesis oleh Bakteri Hidrogen

Salah satu contoh bakteri hidrogen adalah *Bacillus panctotrophus*. Bakteri ini mampu tumbuh pada medium anorganik dengan kandungan senyawa hidrogen, CO_2, dan O_2. Selain itu, bakteri ini juga mampu mengoksidasi hidrogen dengan membebaskan (menghasilkan) energi. Reaksi kimianya adalah sebagai berikut.

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + \text{energi (137 kkal)}$$
$$2H_2 + CO_2 + \text{energi (115 kkal)} \longrightarrow CH_2O + H_2O$$

5. Kemosintesis oleh Bakteri Metana

Salah satu bakteri metana yang melakukan kemosintesis adalah *Methanomonas*. Bakteri ini mampu mengoksidasi metana menjadi CO_2. Reaksi kimianya adalah sebagai berikut.

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{energi}$$

Energi yang dihasilkan dari proses tersebut digunakan untuk proses fosforilasi dan reduksi CO_2 menjadi karbohidrat.

Contoh Soal 6

Organisme kemoautotrof dapat menyusun senyawa organik tanpa bantuan energi matahari. Energi yang mereka gunakan berasal dari ....

A. oksidasi senyawa-senyawa organik
B. reduksi senyawa-senyawa organik
C. oksidasi senyawa-senyawa anorganik
D. reduksi senyawa-senyawa anorganik
E. fiksasi senyawa-senyawa anorganik

Jawaban: C

Penjelasan:
Organisme kemoautotrof tidak memiliki klorofil, sehingga tidak dapat memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energinya. Untuk mendapatkan energi yang dibutuhkan, mereka melakukan oksidasi terhadap senyawa-senyawa anorganik tertentu. Dari proses tersebut akan dihasilkan energi kimia. Energi kimia inilah yang selanjutnya mereka gunakan untuk menyusun senyawa organik. Contohnya adalah bakteri nitrit mengoksidasi amoniak menjadi nitrit, disertai pembentukan energi dan air.

Jadi, energi yang mereka gunakan berasal dari oksidasi senyawa-senyawa anorganik.

Contoh Soal 7

Pernyataan berikut ini yang menjelaskan arti kemosintesis adalah ....

A. proses pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana menggunakan energi kimia
B. proses pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana disertai pembebasan energi
C. penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana menggunakan energi kimia
D. pembentukan makanan pada tumbuhan hijau dengan membebaskan energi kimia
E. pembebasan energi menggunakan oksigen atau tanpa oksigen

Jawaban: C

Penjelasan:
Kemosintesis adalah proses penyusunan senyawa-senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks dengan bantuan energi kimia. Energi kimia ini diperoleh dari hasil oksidasi senyawa anorganik.

Jadi, kemosintesis adalah penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana menggunakan energi kimia.

F. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Proses Katabolisme dan Anabolisme

Faktor-faktor yang memengaruhi proses katabolisme dan anabolisme dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu faktor luar dan faktor dalam.

1. Faktor Luar

a. Cahaya
Pada katabolisme dan anabolisme, cahaya dapat mempercepat laju reaksi pada batas optimal.

b. Suhu
Suhu dapat mempercepat laju reaksi katabolisme dan anabolisme pada batas optimal. Jika melebihi batas optimal, enzim-enzim yang terlibat dalam proses tersebut akan rusak, sehingga dapat menurunkan laju reaksi.

c. Ketersediaan CO_2
Pada proses katabolisme, ketersediaan CO_2 yang tinggi dapat menurunkan laju respirasi. Namun, pada anabolisme, ketersediaan CO_2 yang tinggi dapat menaikkan laju reaksi sampai batas optimum.

d. Ketersediaan O_2
Pada proses katabolisme, ketersediaan O_2 yang tinggi dapat menaikkan laju respirasi. Namun, pada anabolisme, ketersediaan O_2 yang tinggi dapat menghambat laju reaksi.

e. Ketersediaan H_2O
Kadar H_2O yang tinggi dapat menurunkan laju reaksi katabolisme, sedangkan pada anabolisme tidak berpengaruh langsung, seperti pada proses membuka dan menutupnya stomata.

f. Kecukupan unsur atau senyawa
Pada proses katabolisme, unsur atau senyawa yang tersedia dalam jumlah sedikit akan meningkatkan laju reaksi, tetapi dalam jumlah besar akan menurunkan laju reaksi. Hal ini terjadi karena terhambatnya kerja enzim. Pada anabolisme, kekurangan unsur seperti N dapat menurunkan laju reaksi karena menghambat sintesis klorofil.

g. Ada tidaknya luka
   Luka dapat meningkatkan laju reaksi katabolisme, sehingga terbentuk kalus di luka tersebut. Namun, luka tidak memengaruhi laju reaksi anabolisme.

h. Rangsang mekanis
   Rangsang mekanis dapat meningkatkan laju reaksi katabolisme, asalkan tidak terjadi berulang-ulang. Namun, rangsang mekanis tidak memengaruhi laju reaksi anabolisme.

SUPER "Solusi Quipper"

Untuk memudahkan mengingat faktor-faktor luar yang memengaruhi proses katabolisme dan anabolisme, gunakan cara SUPER berikut.

Kata Ana, Cahaya luar membuat Suhu panas sehingga anak Cowok2 butuh Oksigen (O2) dan Air (H2O) untuk mengobati luka akibat unsur mekanis

Cahaya, Suhu, CO2, Oksigen (O2), Air (H2O), ada tidaknya luka, unsur, rangsang mekanis

2. Faktor Dalam

Faktor-faktor dalam yang memengaruhi proses katabolisme adalah sebagai berikut.
a. Substrat respirasi yang dapat mempercepat laju reaksi katabolisme.
b. Kualitas dan kuantitas protoplasma.

Faktor-faktor dalam yang memengaruhi proses anabolisme adalah sebagai berikut.
a. Klorofil.
b. Anatomi daun.
c. Morfologi daun (tebal-tipisnya daun, kasar-halusnya permukaan daun).
d. Membuka dan menutupnya stomata.
e. Hambatan pada transportasi hasil fotosintesis yang dapat menurunkan laju reaksi anabolisme.

G. Keterkaitan antara Proses Katabolisme dan Anabolisme

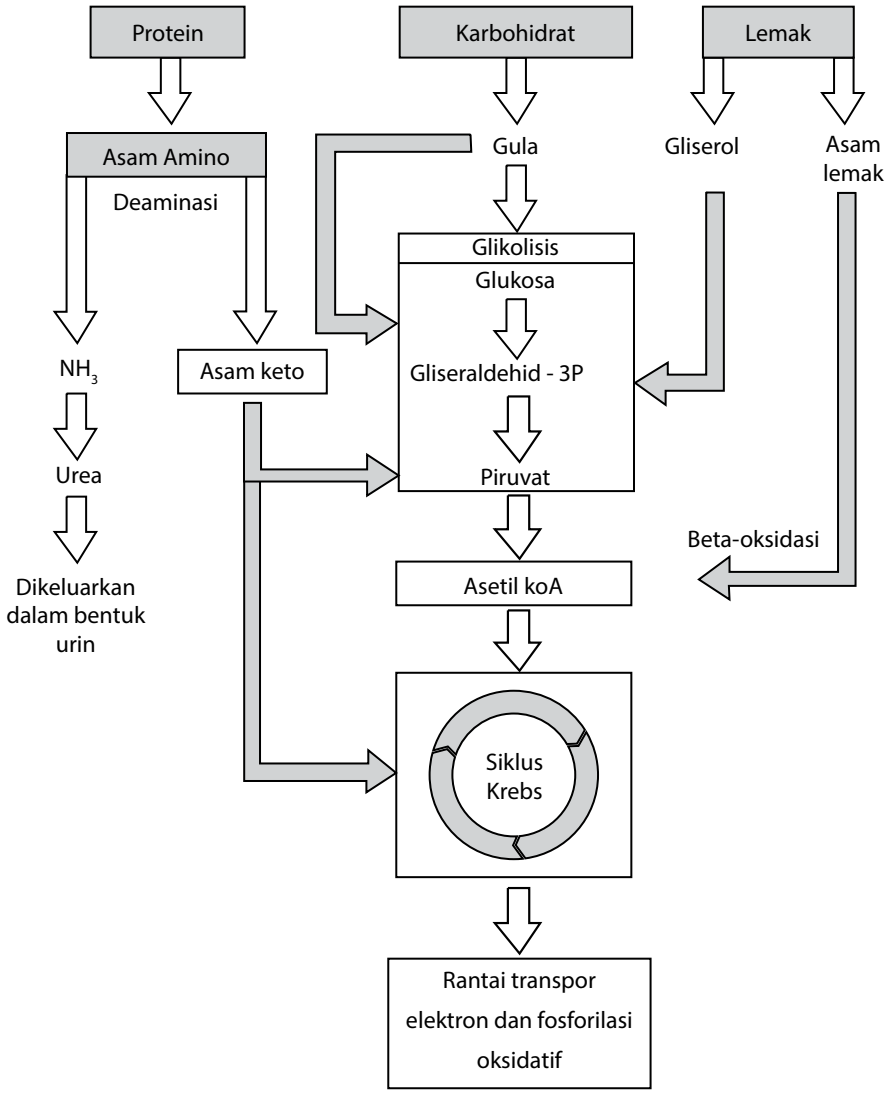
Katabolisme dan anabolisme adalah dua proses yang saling mendukung dan tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Di dalam katabolisme, terjadi penguraian senyawa-senyawa organik menjadi senyawa-senyawa anorganik yang disertai pembebasan energi. Energi dari katabolisme ini dibutuhkan oleh organisme, baik tingkat seluler maupun individu untuk melaksanakan aktivitas kehidupannya, termasuk melaksanakan proses anabolisme. Selain itu, katabolisme juga menyediakan bahan baku untuk sintesis senyawa-senyawa lain.

Anabolisme merupakan proses yang berkebalikan dengan katabolisme. Pada anabolisme, terjadi penyusunan senyawa-senyawa anorganik menjadi senyawa organik. Proses ini membutuhkan energi, baik berupa energi cahaya maupun energi kimia. Energi cahaya diperoleh langsung dari alam, sedangkan energi kimia diperoleh dari hasil katabolisme.

H. Keterkaitan Metabolisme Karbohidrat, Protein, dan Lemak

Metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak saling berkaitan satu sama lain. Ketiga senyawa tersebut bertemu di jalur siklus Krebs dalam bentuk asetil koenzim A. Senyawa asetil koenzim A merupakan bahan baku untuk siklus Krebs.

Pertemuan karbohidrat, protein, dan lemak di jalur metabolisme ini berguna untuk saling menggantikan bahan bakar di dalam sel. Hasil dari metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak dapat digunakan untuk menyusun senyawa-senyawa lain. Berikut ini adalah bagan keterkaitan metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak.



Gambar 6. Keterkaitan metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak

Karbohidrat merupakan molekul pertama yang menjadi substrat untuk proses respirasi. Jika karbohidrat habis, lemak akan dioksidasi sebagai pengganti karbohidrat. Jika karbohidrat dan lemak habis, giliran protein yang akan dipecah menjadi asam amino untuk dioksidasi.

Lemak tersusun atas gabungan asam lemak dan gliserol. Oleh sebab itu, untuk menjadi substrat respirasi, lemak harus diuraikan dahulu menjadi asam lemak dan gliserol. Selanjutnya, gliserol akan diubah menjadi dihidroksiaseton fosfat (DHAP) dan diubah lagi menjadi fosfogliseraldehid (PGAL). PGAL akan diubah menjadi asam piruvat, kemudian mengalami dekarboksilasi oksidatif menjadi asetil koenzim A dan masuk ke dalam siklus Krebs. Sementara itu, asam lemak akan diubah menjadi asetil koenzim A yang juga masuk ke dalam siklus Krebs. Oleh karena gliserol dan asam lemak sama-sama dapat masuk ke dalam jalur respirasi, maka lemak dapat menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan karbohidrat dan protein.

Protein tersusun dari rangkaian asam amino. Untuk menjadi substrat respirasi, protein harus diuraikan terlebih menjadi asam amino melalui proses transaminasi maupun deaminasi. **Transaminasi** adalah proses pemindahan gugus amina $-NH_2$, sedangkan **deaminasi** adalah proses pembuangan gugus amino. Asam amino seperti glisin, serin, alanin, dan sistein akan diubah dahulu menjadi asam piruvat, kemudian melalui dekarboksilasi oksidatif akan diubah menjadi asetil koenzim A, dan selanjutnya masuk ke dalam siklus Krebs. Asam lain seperti tirosin, leusin, fenilalanin, isoleusin, dan lisin akan langsung diubah menjadi asetil koenzim A dan masuk ke dalam siklus Krebs.