

METABOLISME

(KATABOLISME & ANABOLISME)



TIM BIOLOGI DASAR - PDB
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2023



UNIVERSITAS AIRLANGGA
Excellence with Morality

UPKK

METABOLISME

Metabolisme meliputi proses sintesis dan proses penguraian senyawa atau komponen yang terdapat dalam sel hidup.

Proses sintesis itu disebut ***anabolisme*** dan proses penguraian disebut ***katabolisme***.

METABOLISME

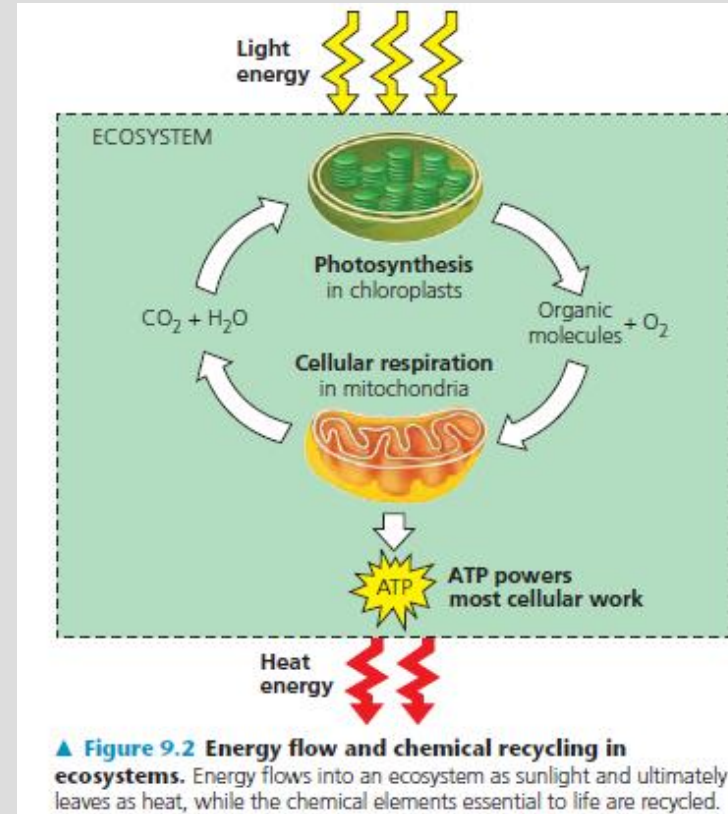
Anabolisme dibedakan dari katabolisme dalam beberapa hal:

- Anabolisme merupakan proses sintesis molekul kimia kecil menjadi molekul kimia yang lebih besar, sedangkan katabolisme adalah sebaliknya, yaitu proses penguraian molekul besar menjadi molekul kecil.
- Anabolisme adalah proses yang membutuhkan energi sedangkan katabolisme melepaskan energi.
- Anabolisme merupakan reaksi reduksi, sedangkan katabolisme adalah reaksi oksidasi, seringkali hasil akhir anabolisme merupakan senyawa pemula untuk proses katabolisme.

Sumber energi utama organisme di bumi adalah energi sinar matahari, dimanfaatkan tumbuhan dalam proses fotosintesis

Fotosintesis akan menghasilkan oksigen dan molekul organik yang akan dimanfaatkan oleh organisme lain sebagai bahan bakar untuk respirasi seluler.

Didalam proses respirasi seluler, energi yang dihasilkan akan meninggalkan ekosistem sebagai panas



KATABOLISME : RESPIRASI SEL

Respirasi seluler : adalah proses pembongkaran (katabolisme / dissimilasi) dimana energi yang tersimpan dalam molekul organik ditimbulkan kembali agar sel dapat melakukan proses proses kehidupan.



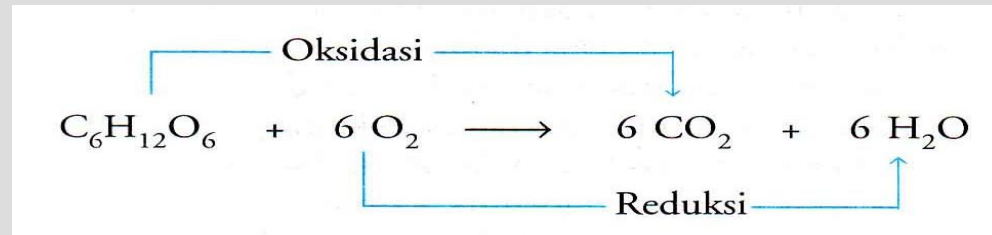
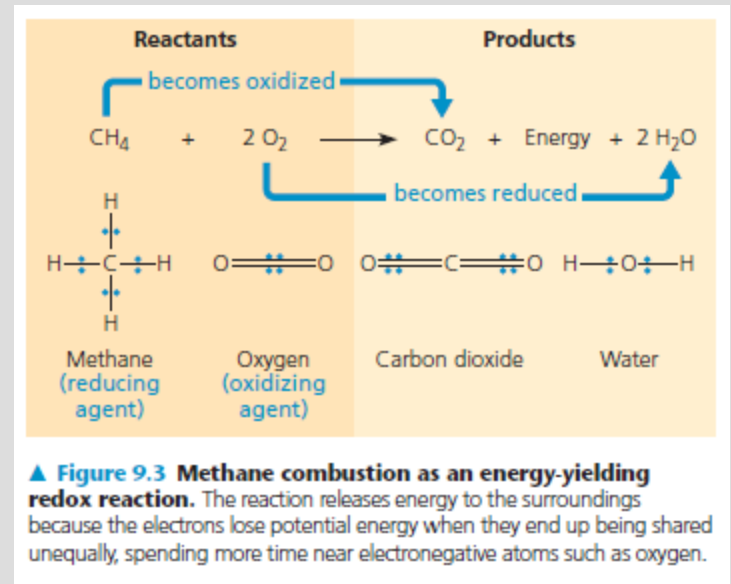
Reaksi Redoks

- Dalam respirasi sel terjadi reaksi redoks (*reaksi oksidasi dan reduksi*)
- Reaksi oksidasi dan reduksi → menyebabkan transfer elektron dari satu reaktan ke reaktan lainnya
- **Oksidasi** → substrat kehilangan elektron atau yang dioksidasi
- **Reduksi** → substrat memperoleh elektron atau yang direduksi

Contoh reaksi Redoks

Respirasi seluler ada 2 macam :

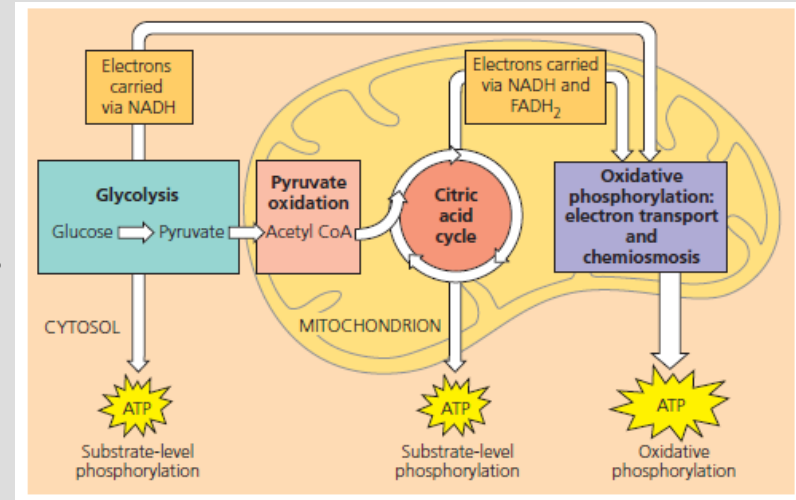
- A. Respirasi aerob : memerlukan oksigen
- B. Respirasi anaerob : tidak memerlukan oksigen



A. RESPIRASI AEROB

Respirasi aerob meliputi 3 tahap rangkaian:

1. **Glikolisis**: proses perombakan glukosa menjadi dua molekul piruvat, menghasilkan ATP
2. **Siklus asam sitrat / siklus Krebs** : proses perombakan piruvate secara sempurna menghasikan ATP, NADH dan FADH₂
3. **Fosforilasi oksidatif** : proses rantai transpot elektron dan menghasilkan ATP dan H₂O



1. GLIKOLISIS

1. Terjadi di sitosol
2. Glikolisis dapat berlangsung baik aerob / anaerob.
3. Pada glikolisis, tampak kegiatan berbagai enzim, ADP, dan ATP.
4. Peranan ADP & ATP adalah memindahkan fosfat dari molekul satu ke molekul yg lain.
5. Menghasilkan 2 mol piruvat, 2 H₂O, 2 ATP, 2 NADH

GLIKOLISIS

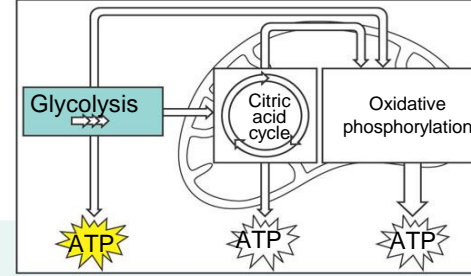
Berarti "membelah gula"

Memecah glukosa menjadi piruvat

Terjadi dalam sitoplasma sel

Glikolisis terdiri dari dua fase:

1. *The energy investment phase*
(fase investasi energi)
2. *The energy payoff phase*
(fase menghasilkan energi)



Energy investment phase

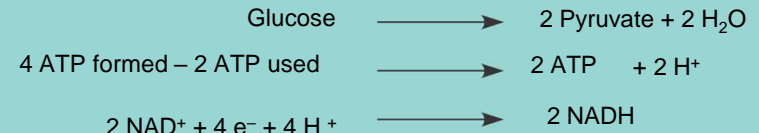
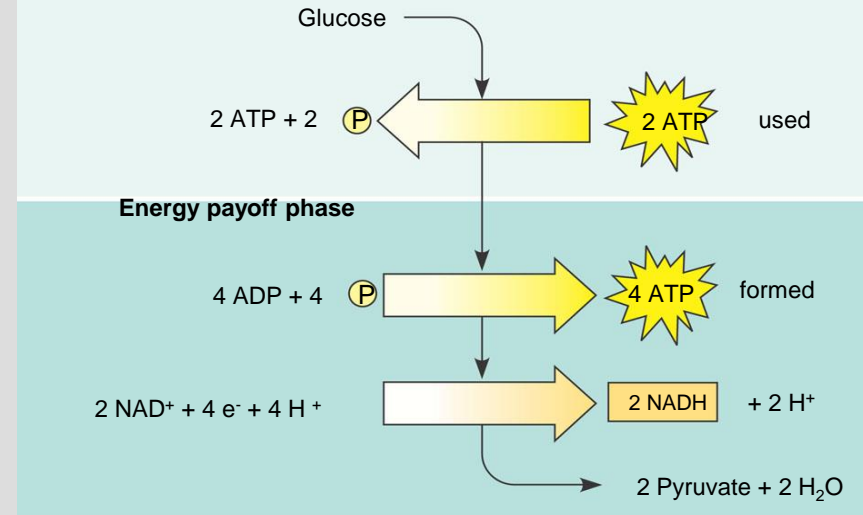
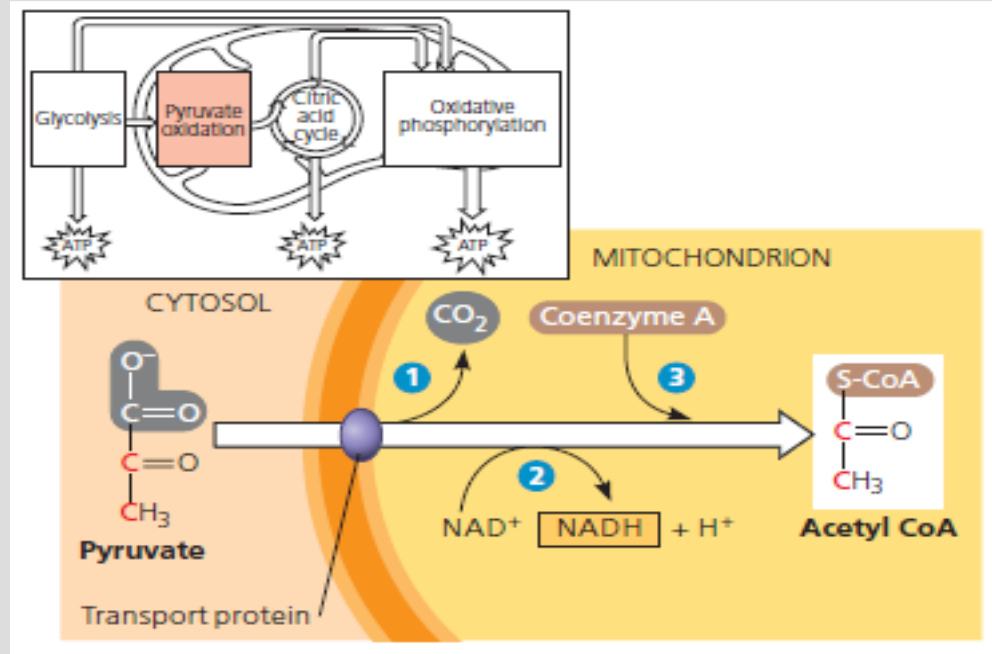


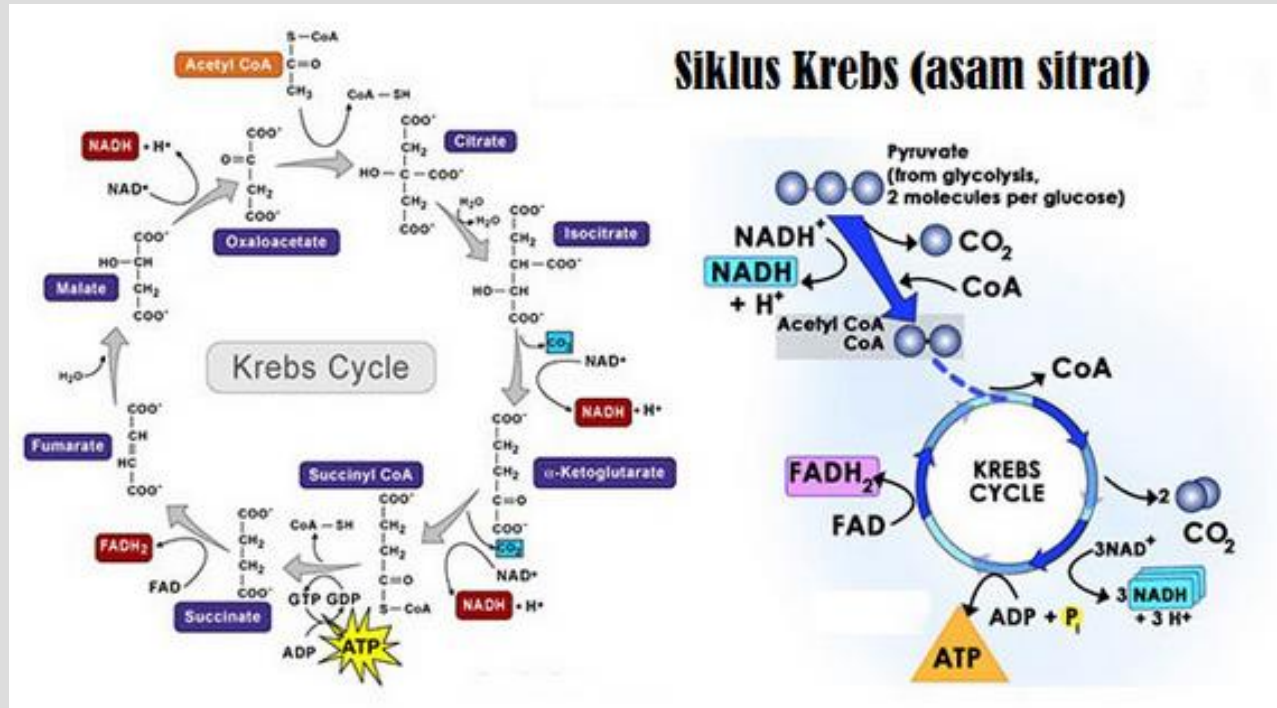
Figure 9.8

2. Siklus Krebs

- Terjadi di Mitokhondria
- Disebut juga : siklus asam pirivat, siklus asam trikarboksilat
- Sebelum masuk ke siklus Krebs, piruvat diubah dulu menjadi Asetil Co A.



Gambaran umum siklus Krebs



3. Fosforilasi oksidatif

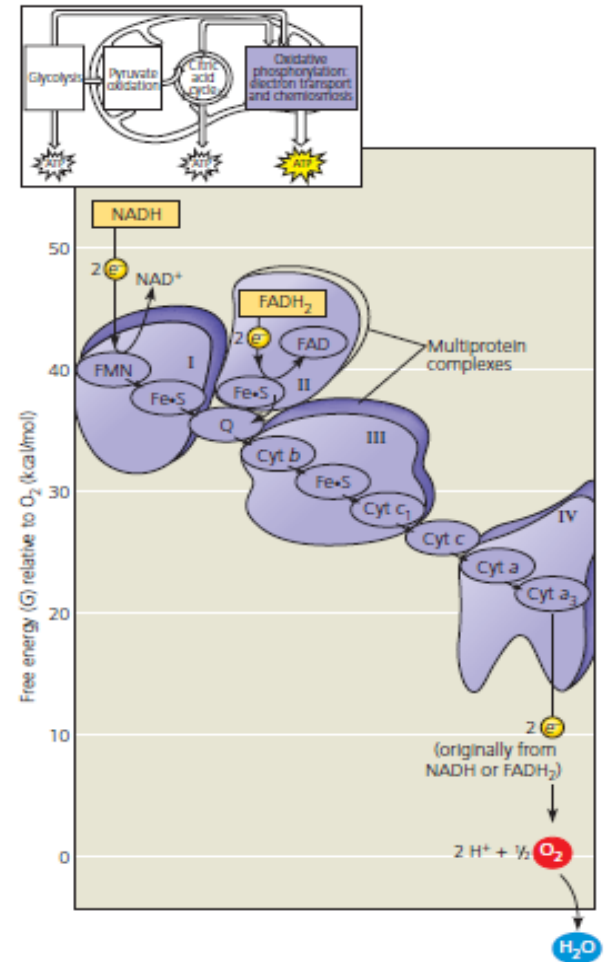
- Pengubahan NADH dan FADH₂ menjadi 34 – 36 ATP dan H₂O
- Selama fosforilasi oksidatif, kemiosmosis menggandengkan transport elektron dengan sintesis ATP

FMN : flavin mononukleotida

FeS : protein besi sulfur

Q : protein ubikuinon

Cyt : citokrom



Untuk 1 molekul glukosa akan menghasilkan maksimum 38 ATP.

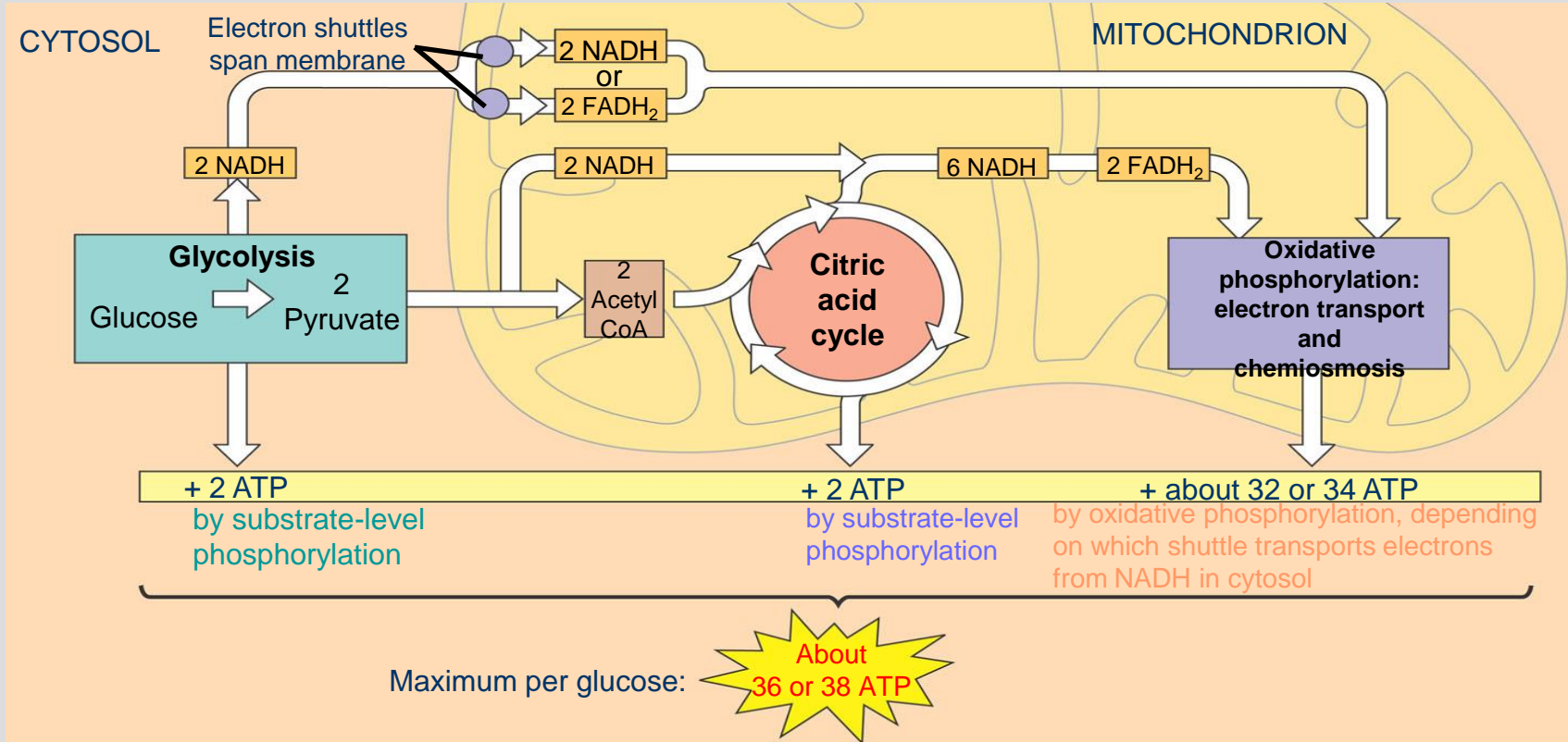


Figure 9.16

B. Respirasi Anaerob

- Terjadi di sitosol
- Dalam Respirasi Anaerob tidak menggunakan O_2 .
- Respirasi anaerob disebut juga : **Fermentasi**.
- Tujuan fermentasi = respirasi, yaitu memperoleh energi (E).
- E yg diperoleh dng jalan fermentasi lebih kecil (<) drpd E yg diperoleh dng respirasi aerob.

Fermentasi piruvat :

Piruvat berfungsi sebagai penerima (akseptor) elektron untuk mengoksidasi NADH kembali menjadi NAD^+ .

Kemudian NADH^+ dapat digunakan lagi untuk mengoksidasi glukosa selama glikolisis, yang menghasilkan 2 (*dua*) molekul ATP.

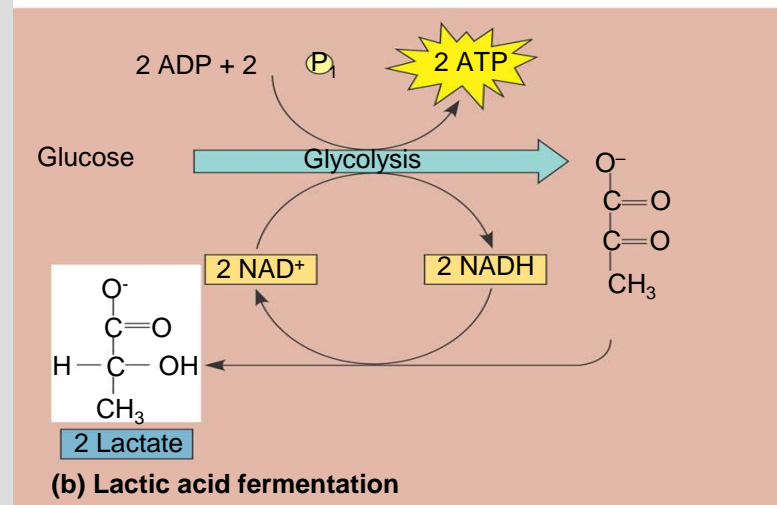
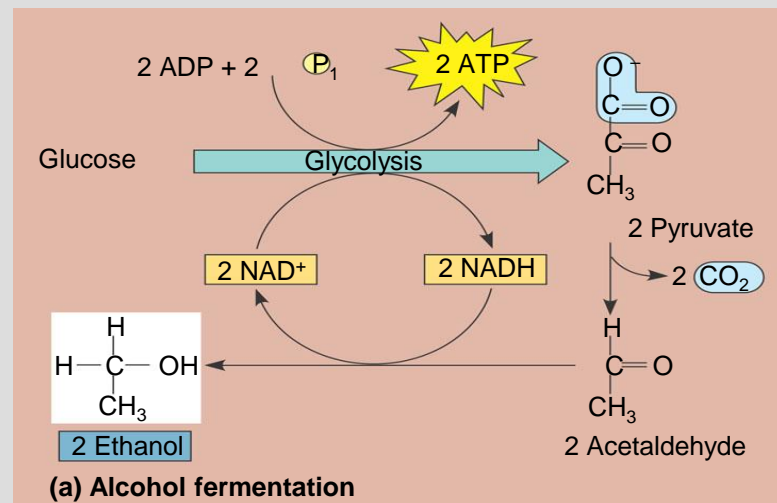
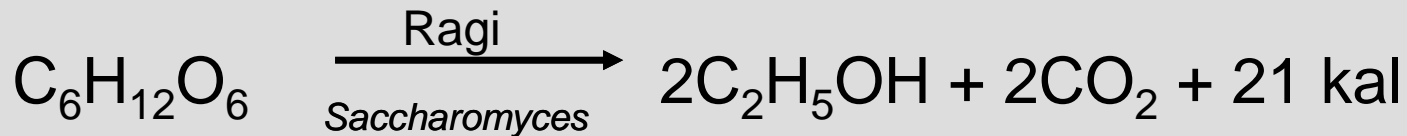


Figure 9.17

► Respirasi pada *Saccharomyces*

- Alkohol yg timbul pd proses pembuatan minuman keras disebabkan oleh mikroorganisme bersel satu yg disebut ragi (*Saccharomyces*).
- Sel-sel ragi (*Saccharomyces*) mendapatkan Energi yg dibutuhkannya dgn respirasi anaerob.
- Substrat yg terbongkar yaitu heksosa. Tetapi heksosa tidak terurai selengkapnya menjadi H_2O dan CO_2 .

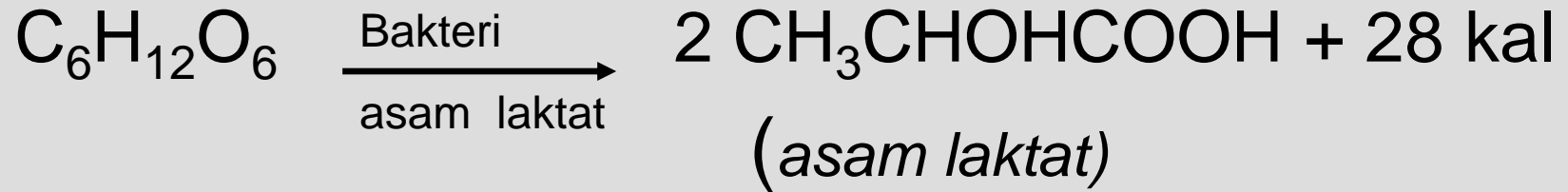
Reaksinya :



► Bakteri Asam laktat

- Mengadakan fermentasi anaerob
- Heksosa dlm air susu diubah menjadi asam laktat.

Reaksinya :



Asam laktat sebagai bahan pada industri pengolahan susu menjadi keju, yogurt dan sejenis

► Respirasi anaerob pada jaringan tanaman tinggi

- ☛ Bila persediaan oksigen bebas ada di bawah minimum.

contoh :

R. anaerob yang berlangsung pd biji-bijian seperti : jagung, kacang, padi, dll,

—————→ biji akan tampak kering.

- ☛ R. anaerob yang terjadi pada buah-buah yg basah dan berdaging.

* Hasil R. anaerob ini bukan alkohol tetapi bermacam-macam asam organik seperti : asam sitrat, asam malat, asam oksalat, asam tartrat, dsb.

► Sel otot manusia bila kekurangan oksigen

- Sel otot manusia membuat ATP melalui fermentasi asam laktat apabila kekurangan oksigen.
- Laktat yang terakumulasi sebagai produk limbah diduga menyebabkan otot letih dan nyeri
- Tetapi penelitian terbaru menyatakan rasa letih dan nyeri disebabkan adanya penimbunan Ion K (K^+)
- Secara perlahan lahan laktat akan dibawa oleh darah ke hati, dan akan diubah kembali menjadi piruvat oleh sel hati.

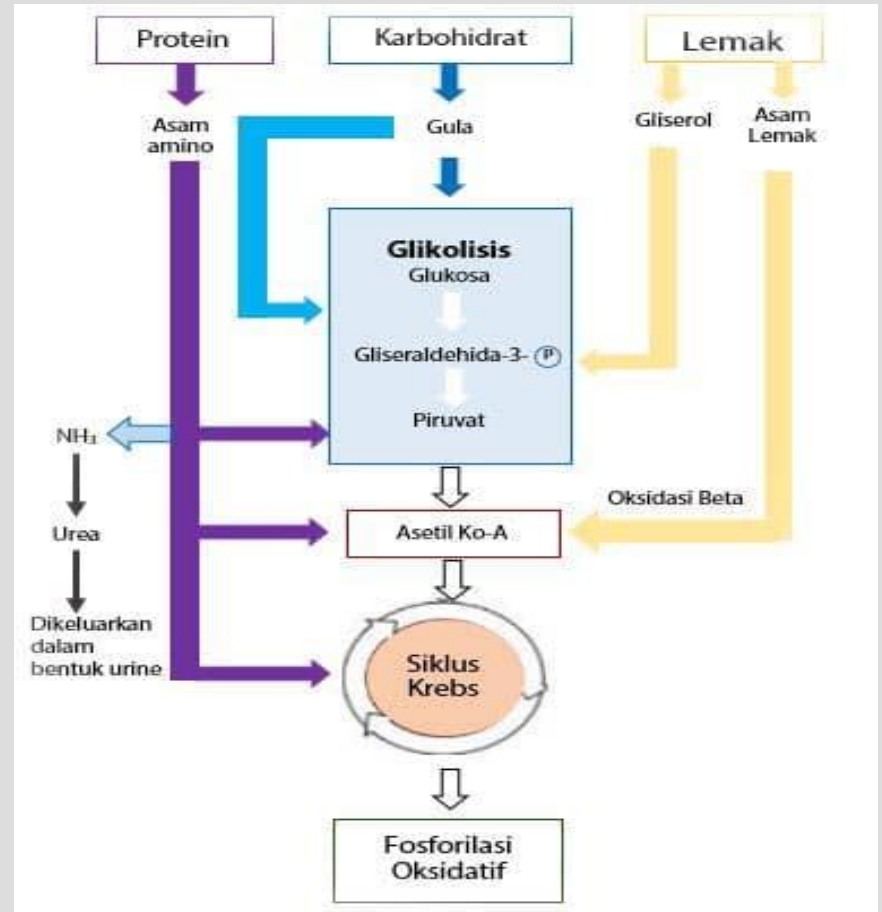
Energi hasil respirasi sel antara lain untuk :

1. Kerja mekanis, sel otot,
2. Mencegah penurunan suhu badan
3. Transport aktif dalam sel,
4. Anabolisme : sintesis protein, asam nukleat, polisakarida dll.
5. Pengaliran protoplasma,
6. Pembelahan sel, dll.

Cadangan Makanan lain

- **Glikogen** : proses pengubahan Glikogen : Glikogenolisis
Glikogen \rightarrow Glukosa 1 fosfat \rightarrow Glukosa 6 fosfat (masuk dalam [glikolisis](#))
- **Lemak** : Lemak dihidrolisa \rightarrow Gliserol + asam lemak
gliserol diubah jadi 3 pospo gliseraldehid (masuk dalam [glikolisis](#))
asam lemak diubah jadi mol acetal CoA (masuk dalam [siklus Krebs](#))
- **Protein** : Protein \rightarrow Asam amino dan NH_3
 - Asam amino \rightarrow asam ketoglutarat (msk dalam [siklus Krebs](#))
 - NH_3 yang diubah jadi ureum dan asam lain, dikeluarkan dari tubuh

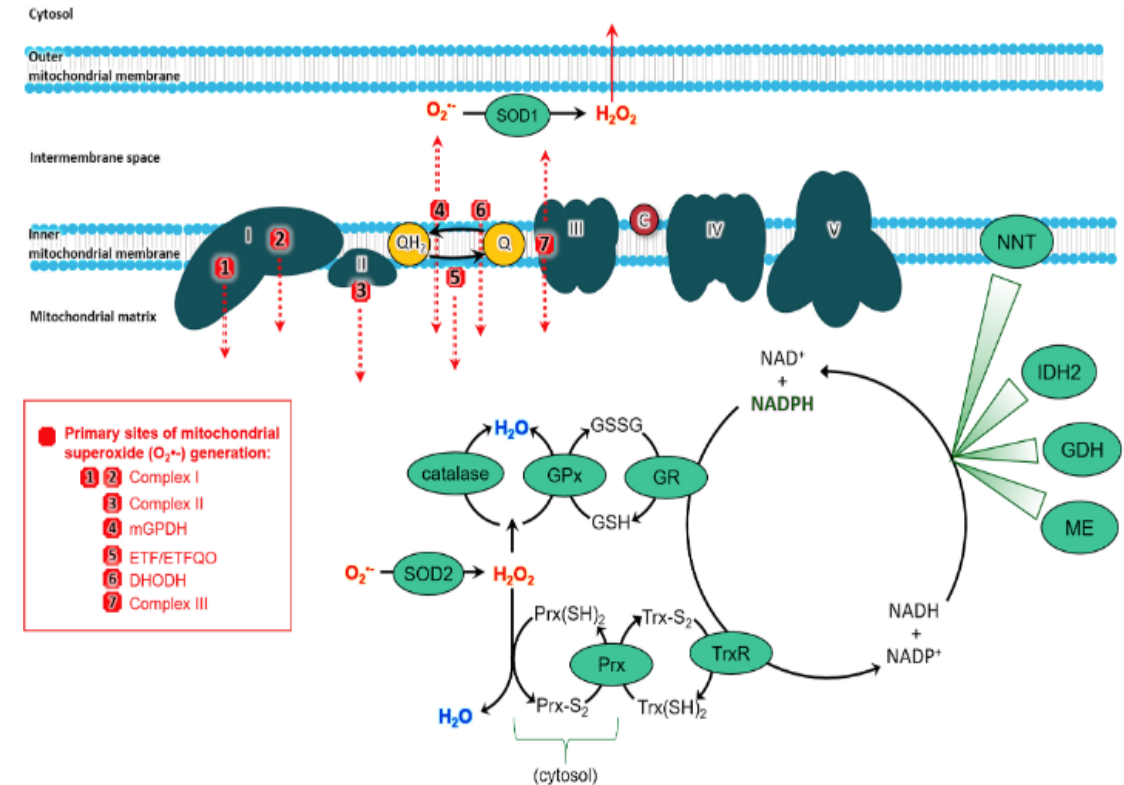
Katabolisme dari berbagai molekul makanan



ROS (*reactive oxygen species*), salah satunya dalam bentuk superoksida) merupakan konsekuensi terjadinya transfer elektron saat fosforilasi oksidatif di mitokondria.

ROS tidak stabil (mudah bereaksi dengan lipid, protein, bahkan DNA) tetapi akan segera diubah menjadi H_2O_2 yang lebih stabil oleh antioksidan (SOD) dan kemudian diubah menjadi H_2O oleh antioksidan lain (catalase, glutathione/Gpx) sehingga tidak mengakibatkan gangguan homeostasis dalam sel.

Jika **ROS** dibentuk melebihi kemampuan antioksidan endogen tersebut, akan terjadi kondisi STRESS OKSIDATIF yang akan mengakibatkan gangguan fungsi bahkan kematian sel



ANABOLISME : FOTOSINTESIS

Mengapa fotosintesis penting untuk kehidupan?

1. sebagai sumber energi bagi semua makhluk hidup
2. pertumbuhan dan hasil tumbuhan ditentukan oleh kecepatan fotosintesis,
3. diperlukan untuk sintesis berbagai senyawa organik yang diperlukan hewan,
4. menyediakan oksigen bagi makhluk hidup.

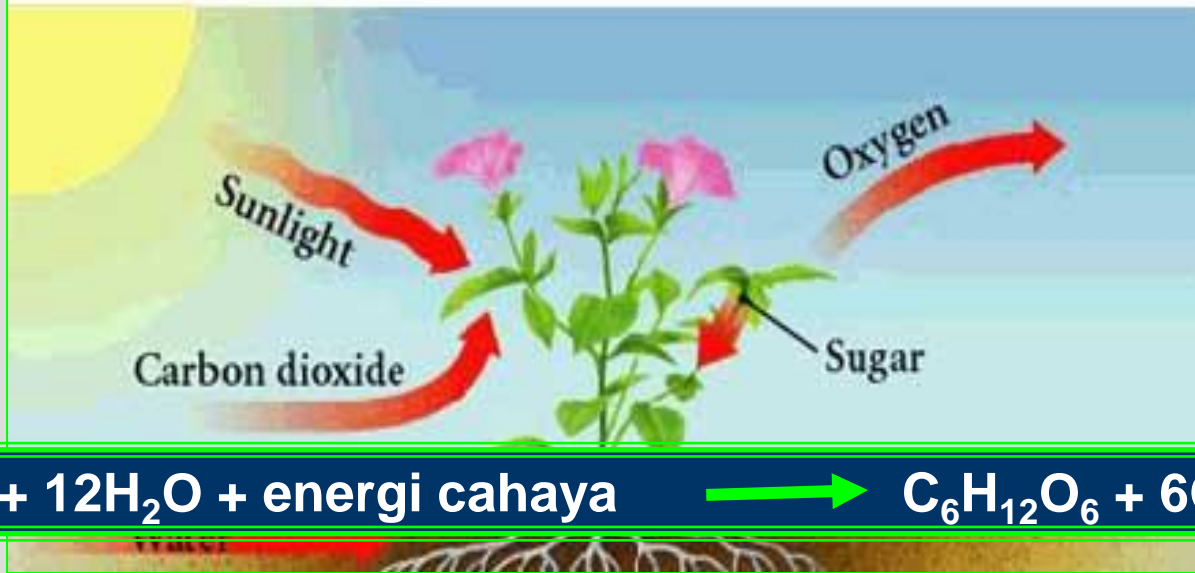
KLOROPLAS DAN CAHAYA

Suatu sifat fisiologis yang hanya dimiliki oleh tumbuhan adalah kemampuannya untuk menggunakan zat karbon dari udara untuk diubah menjadi bahan organik serta diasimilasikan di dalam tubuh tanaman.

Peristiwa ini hanya berlangsung jika ada cukup cahaya, oleh karena itu asimilasi karbon disebut juga fotosintesis

Jadi, fotosintesis adalah suatu proses ketika zat-zat anorganik H_2O dan CO_2 oleh klorofil diubah menjadi zat organik karbohidrat dengan pertolongan sinar.

Photosynthesis



A

(akseptor elektron)

+

H₂B

(donor elektron)



H₂A

(akseptor tereduksi)

+

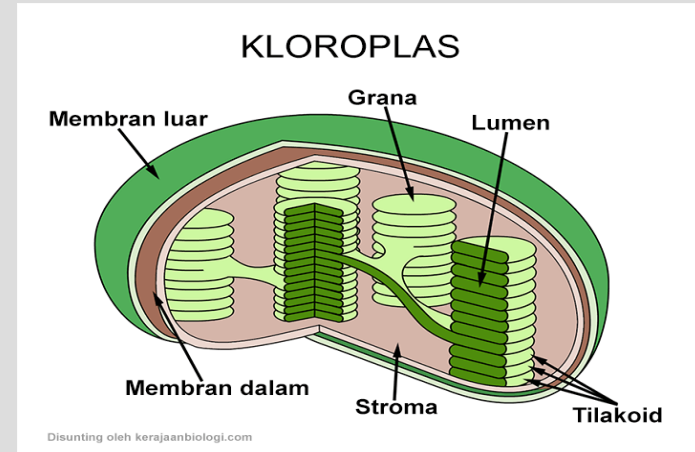
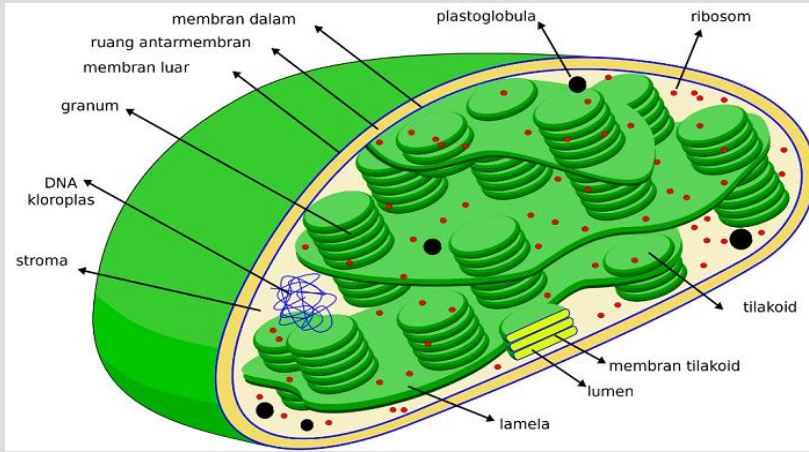
B

(donor teroksidasi)

Sejarah Penemuan Reaksi Fotosintesis:

- Ingenhousz,
- Engelmann,
- Sachs,
- Hill,
- Blackman,
- Ruben, Kamen,
- Benson, Calvin,
- Emerson,
- Daniel Arnon

KLOROPLAS : Struktur dan Pigmen Fotosintesis



Perkembangan kloroplas : Kloroplas terbentuk dari proplastida atau dari pembelahan kloroplas yang telah dewasa. Pembelahan proplastida sejalan dengan pembelahan sel-sel mesofil.

Pembentukan membran stroma dan grana : diawali dari terbentuknya badan prolamelar. Bila terkena cahaya, badan prolamelar hilang, sintesis klorofil dimulai dan grana terbentuk

Kloroplas mempunyai kromosom sendiri, tetapi struktur DNA dan RNA kloroplas berbeda dengan DNA dan RNA nukleus, karena kloroplas hanya mampu membentuk beberapa jenis protein

Pigmen kloroplas

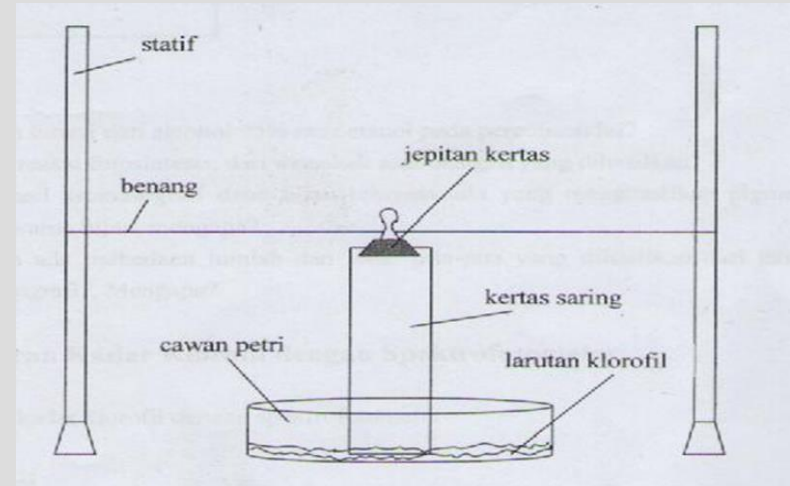
Yang paling banyak adalah klorofil. Jenis klorofil tergantung dari rantai samping yang mengikuti inti porfirinnya yaitu klorofil a, b, c, d, e. Pada tumbuhan tinggi yang terbanyak adalah klorofil a, b dan mempunyai *action spectrum* yang berbeda

Selain klorofil, di dalam kloroplas juga terdapat **pigmen karotenoid**. Jenis karotenoid yang paling banyak adalah *xantofil* dan *karoten*

Apakah daun yang berwarna hijau juga mengandung karotenoid?
Apakah daun yang berwarna kuning tidak mengandung klorofil?
Bagaimana cara mengetahui adanya pigmen di dalam daun?

Kromatografi Kertas

Ekstraksi pigmen dengan alkohol/etanol 96%
Pigmen yang larut di dalam etanol dielusi menggunakan kertas saring



Hijau muda : klorofil a

Hijau tua : klorofil b

Orange : karoten

Kuning : xantofil

Fungsi karotenoid dalam proses fotosintesis

1. melindungi klorofil dari fotooksidasi pada penyinaran yang terlalu kuat
2. membantu klorofil menangkap dan mentransfer energi cahaya

Menurut Wolken dan Calvin klorofil bersifat polar, bagian porfirin bersifat hidrofob dan bagian ekornya lipofil.

Pada membran tilakoid klorofil tersusun dalam deretan berseling dengan karotenoid serta fosfolipid dan terapit oleh lapisan protein

Di dalam kloroplas, pigmen berkelompok membentuk satuan-satuan yang dinamakan **fotosistem**.

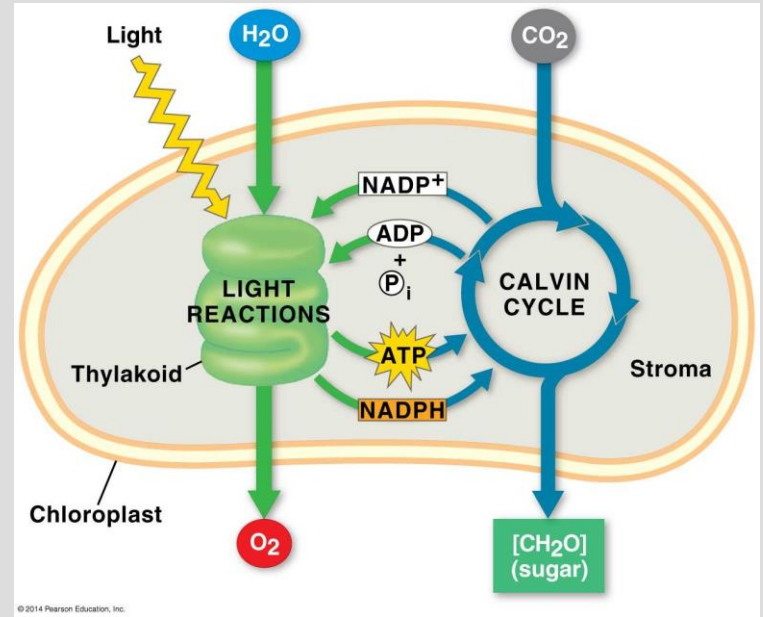
Tiap kloroplas selalu mempunyai dua macam fotosistem yang bekerja sama dalam penangkapan energi cahaya, yaitu:

1. **Fotosistem I**, terutama tersusun atas klorofil a, sedikit klorofil b dan karotenoid dengan pusat penangkapan P700 (yaitu molekul klorofil a yang mempunyai penyerapan maksimum 703 nm)
2. **Fotosistem II**, mengandung klorofil b lebih banyak dengan pusat penangkapan P680 (molekul klorofil b yang mempunyai penyerapan maksimum 682 nm)

Proses fotosintesis meliputi 2 fase:

- 1. Fase Terang** → terjadi di **grana**
konversi energi cahaya menjadi energi kimia
melibatkan reaksi fotosistem 1 dan 2 yaitu
transfer
elektron dari air ke NADP^+
- 2. Fase Gelap** → terjadi di **stroma**
Konversi CO_2 menjadi senyawa organik (glukosa)
Fiksasi CO_2 terjadi dalam Daur Calvin

REAKSI TERANG



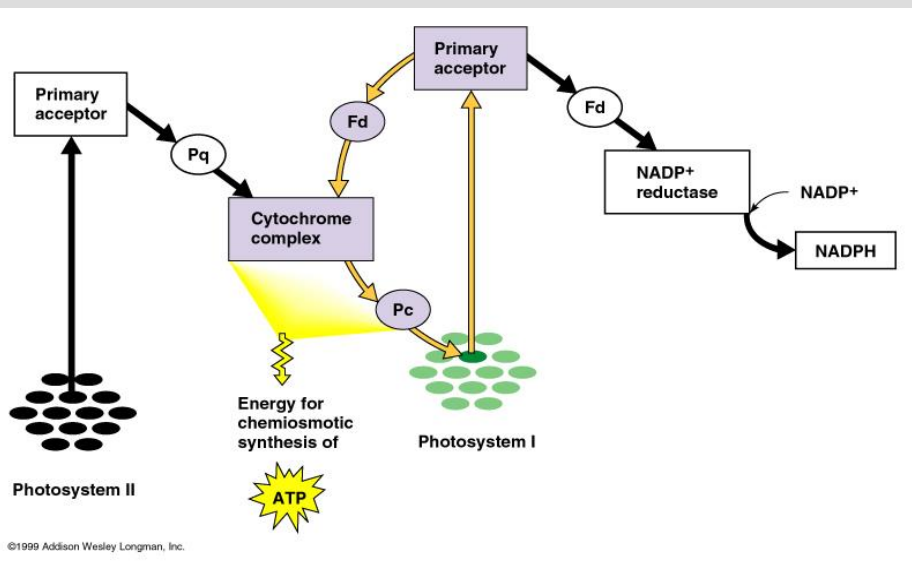
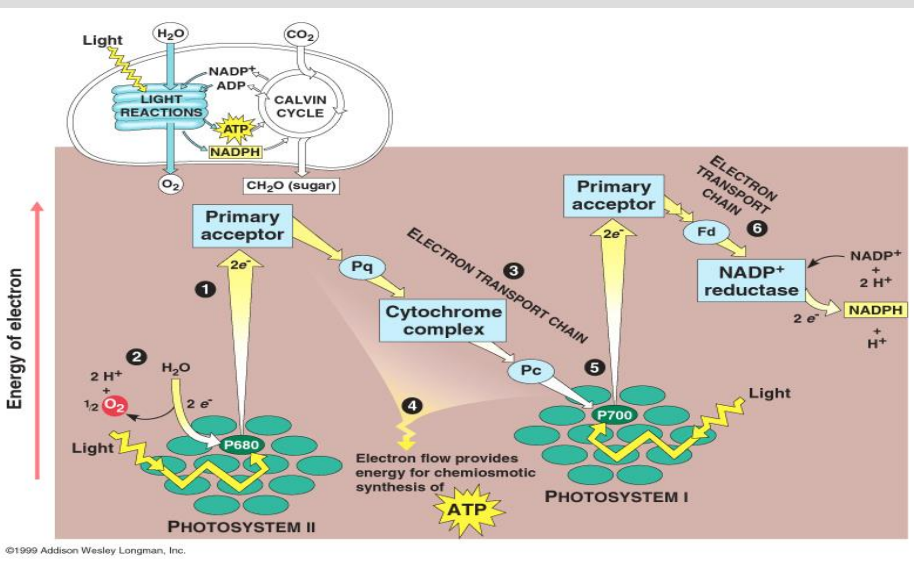
Reaksi terang atau disebut juga fosforilasi fotosintetik atau fotofosforilasi atau fotolisis dibagi menjadi dua, berdasarkan sumber elektron yang diperoleh untuk mengembalikan elektron ke keadaan semula (*ground state*), yaitu:

A. Fotofosforilasi non siklik

Dinamakan juga transpor elektron *nonsiklik*, karena terjadi arus elektron bersamaan di dalam tilakoid yaitu fotosistem II, fotosistem I dan fotolisis air, sehingga dihasilkan ATP dan NADPH_2

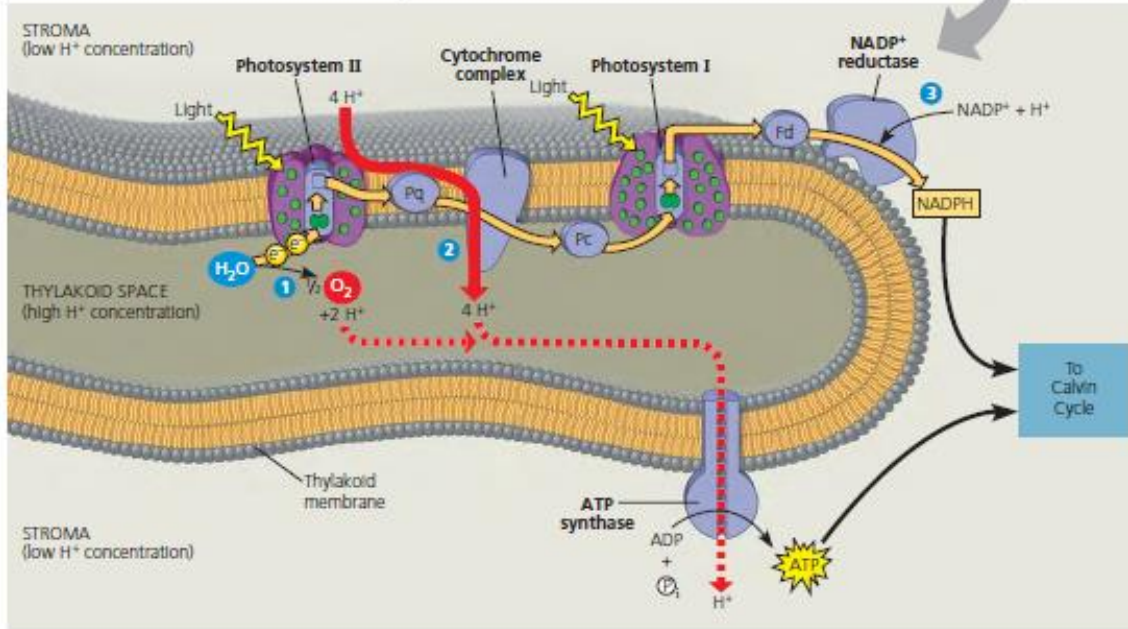
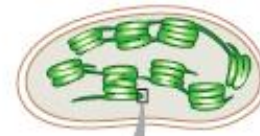
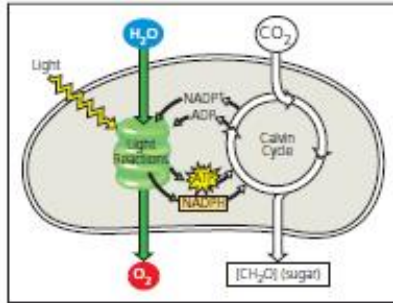
B. Fotofosforilasi siklik

Bila kloroplas menerima cahaya dengan panjang gelombang di atas 680nm , maka yang diaktifkan hanya fotosistem I, elektron tidak terbentuk dari penguraian H_2O sehingga pada reaksi ini tidak terbentuk O_2 . NADP juga tidak mampu menyerap elektron sehingga elektron ini diteruskan ke sitokrom b6 dan selanjutnya lewat plastoquinon, sitokrom f dan plastosianin kembali ke P700 (dari fotosistem I). Pada transpor elektron ini hanya dihasilkan ATP.



FOTOFOSFORILASI NON SIKLIK

FOTOFOSFORILASI SIKLIK



Reaksi terang di membran thylakoid

FIKSASI KARBONDIOKSIDA DAN SINTESIS KARBOHIDRAT (REAKSI GELAP)

Setelah energi asimilasi yang berupa ATP dan NADPH₂ diperoleh dari reaksi terang, energi ini digunakan untuk mengubah CO₂ menjadi karbohidrat

Untuk mengetahui tahap-tahap reaksi kimia dalam reaksi gelap para ilmuwan menggunakan cara autoradiografi dan kromatografi dua dimensi. Dengan menggunakan isotop ¹⁴C dan dengan mengubah-ubah waktu antara awal pemberian cahaya dan pematian daun, kemudian senyawa yang diperoleh dianalisis dengan kromatografi dapatlah diketahui senyawa-senyawa apa yang dihasilkan.

(Benson dan Calvin, 1946-1953)

Reaksi Penambatan CO₂

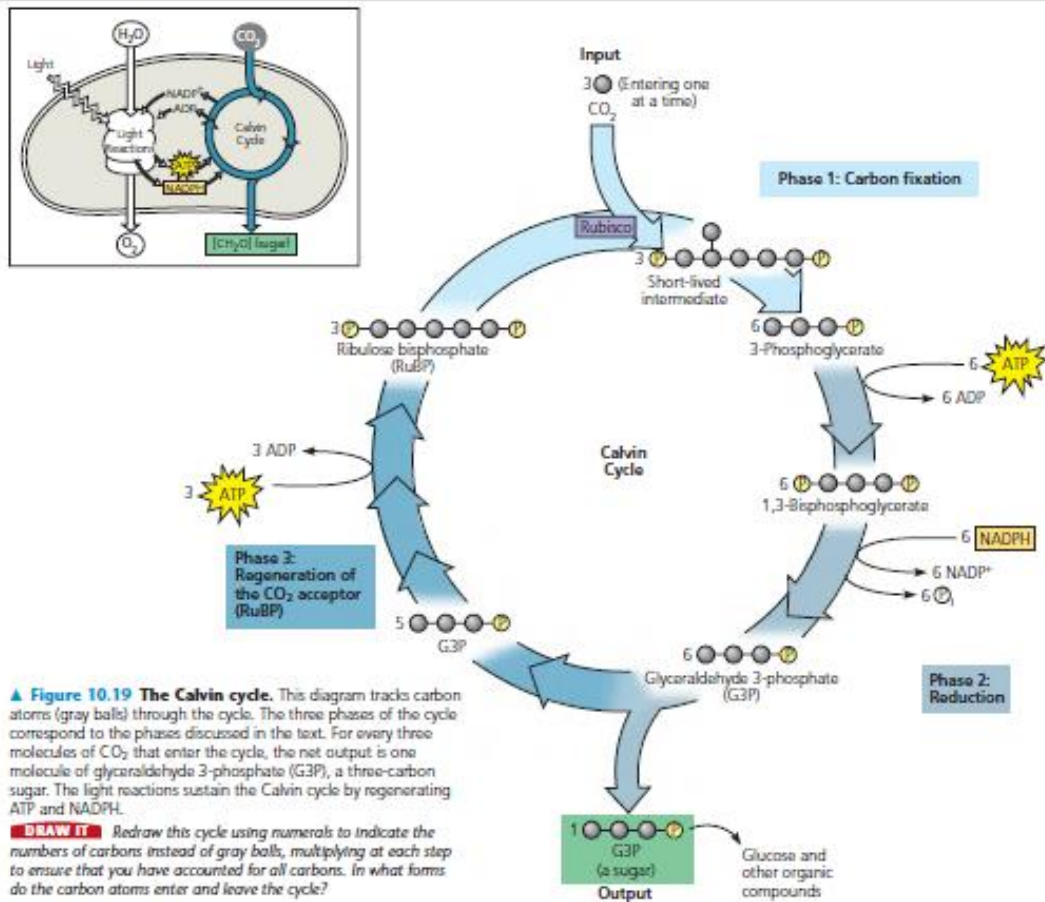
- Sekitar tahun 1954 ditemukan suatu enzim yang mengkatalisis secara *irreversible* reaksi penggabungan CO₂ dan RuBP (ribulosa bifosfat) untuk membentuk 2 molekul 3-PGA (fosfogliseraldehida).
- Enzim yang mengkatalisis reaksi ini dinamakan *ribulosa bisfosfat karboksilase* (rubisko)
- Enzim ini penting bukan hanya karena reaksi yang dikatalisisnya itu penting, tapi karena sejauh ini juga merupakan protein yang terbanyak di bumi (Ellis, 1979) 1/8-1/4 dari protein daun adalah enzim rubisco.

Dari hasil percobaan diketahui bahwa pada berbagai jenis tumbuhan fiksasi CO₂ berlangsung melalui beberapa jalur, yaitu:

1. Jalur/Daur Calvin (Jalur C-3)
2. Jalur Hatch – Slack (Jalur C-4)
3. Jalur Crasulacean Acid Metabolism (CAM)

DAUR CALVIN atau JALUR C3

- Siklus Calvin dibagi menjadi 3 tahapan reaksi:
 1. **Fiksasi Karbon**. CO_2 diikat oleh RuBP (ribulosa bisfosfat) diubah menjadi senyawa antara berkarbon 6 (3- fosfoglisarat). Enzim yang mengkatalisis reaksi ini adalah *RuBP Karboksilase*
 2. **Reduksi**. Proses reduksi 3-fosfoglisarat menjadi gliseraldehid 3-fosfat
 3. **Regenerasi** akseptor CO_2 yaitu ribulosa bisfosfat dari gliseraldehid 3-fosfat.



JALUR C4 (*JALUR HATCH-SLACK*)

- Pada beberapa jenis tumbuhan diketahui bahwa senyawa pertama yang dihasilkan *bukan* PGA, tetapi *asam dikarboksilat* dengan rantai C-4. Ditemukan bahwa CO₂ diikat oleh fosfoenol piruvat (PEP) menjadi **asam oksaloasetat**.
- Tumbuhan yang melakukan karboksilasi jalur C-4 ini mempunyai struktur anatomi daun yang khusus yang disebut ***tipe Kranz***, yaitu berkas pengangkut pada daun dibungkus oleh *selubung berkas pengangkut* (*bundle sheat*) yang terdiri dari sel-sel parenkim besar berisi kloroplas.

Tahap awal dari jalur C4 adalah konversi **pyruvate** menjadi **PEP** yang dikatalisis oleh **enzym pyruvate-phosphate dikinase**



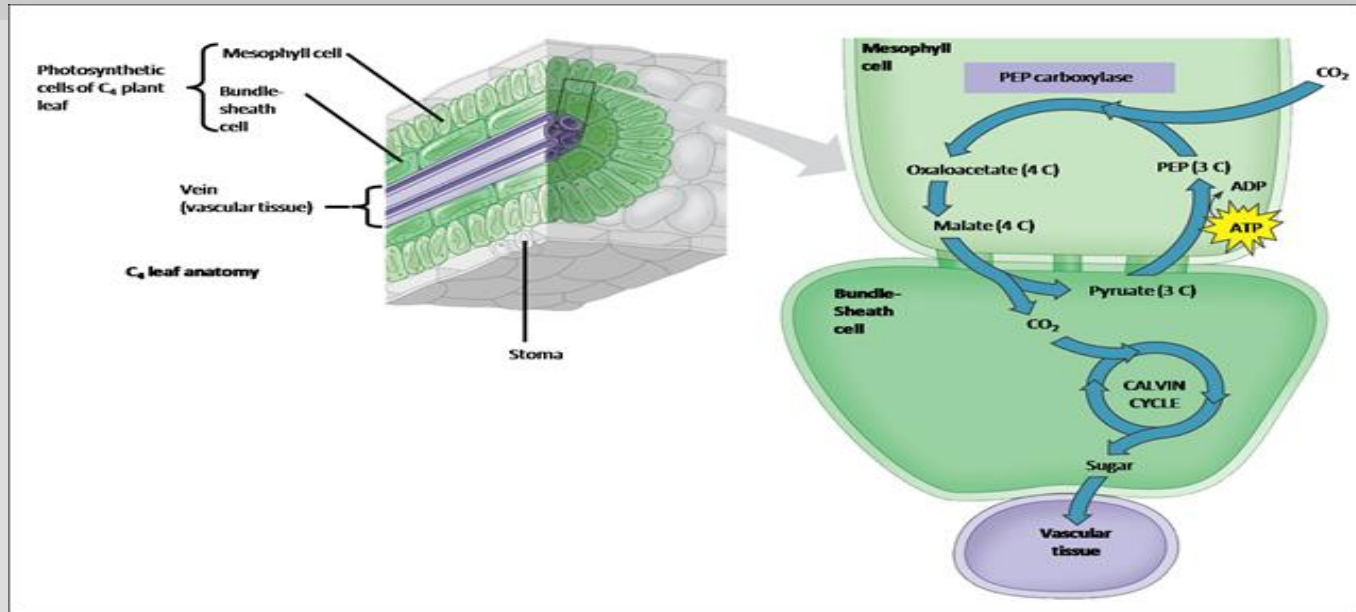
Tahap selanjutnya adalah fiksasi CO_2 oleh PEP yang dikatalisis oleh enzym **PEP carboxylase**



Kedua proses di atas terjadi di dalam sel mesofil

Oksaloasetat selanjutnya diubah menjadi malat, yang kemudian ditranspor ke sel *bundle-sheath* yang mengelilingi berkas pengangkut.

Di dalam *bundle-sheath* malat mengalami dekarboksilasi menghasilkan CO_2 dan pyruvate. Selanjutnya CO_2 masuk ke dalam siklus Calvin, sedangkan pyruvate ditranspor kembali ke dalam sel mesofil



Plants that use C4 carbon fixation

- Sekitar 7.600 species tanaman melakukan fiksasi karbon dengan jalur C4, yang merupakan 3% dari seluruh spesies tumbuhan darat. Dari 7.600 species tersebut adalah kelompok **Angiospermae** yang terdiri dari 40% Monokotil dan 4,5% Dikotil.
- Beberapa contoh tumbuhan yang memfiksasi karbon dengan jalur C4 adalah: **jagung, tebu, sorghum**

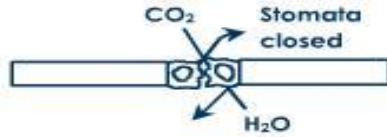


CRASULACEAN ACID METABOLISM

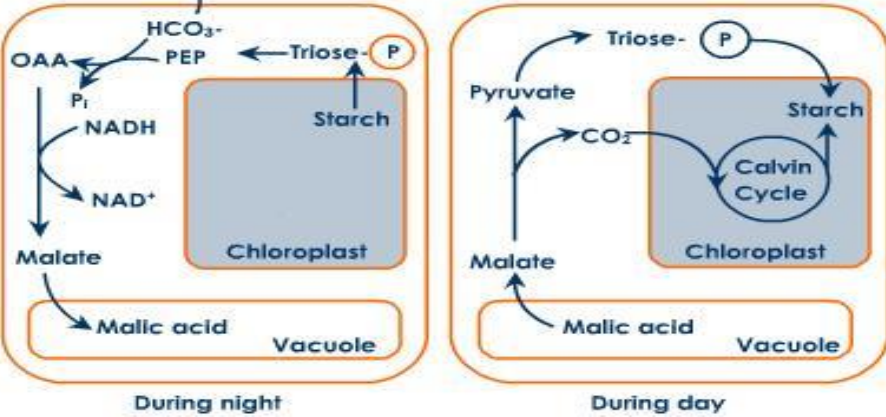


Crassulacean acid metabolism, juga disebut sebagai ***CAM photosynthesis***. Tanaman memfiksasi CO_2 pada malam hari dan menyimpan dalam bentuk malate. Selanjutnya CO_2 dilepaskan kembali pada siang hari dan masuk ke dalam siklus Calvin. Tanaman yang melakukan jalur CAM adalah tanaman yang hidup di daerah yang kering seperti kaktus, nanas, anggrek.

Stomata
opened



Jalur CAM terjadi karena stomata tanaman menutup pada siang hari karena tanaman harus mengurangi transpirasi. Ini adalah bentuk adaptasi tanaman pada kondisi kering

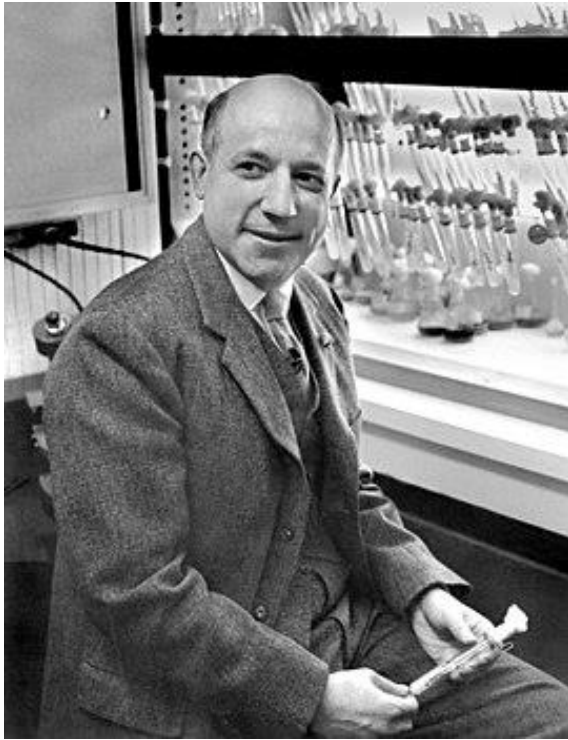


Pada malam hari

Pada malam hari, stomata tanaman CAM terbuka, sehingga CO_2 masuk dan difiksasi oleh asam organik yang terdapat di dalam vakuola.

Pada siang hari

Stomata tertutup, CO_2 dilepaskan dari vakuola kemudian difiksasi oleh RuBP masuk ke dalam jalur Calvin di dalam sel mesofil daun.



Melvin Calvin



Sir Hans Adolf Krebs



Terima kasih !