



# **METABOLISME SEL**

## **MK BOTANI**

### **FARMASI**

**Pertemuan ke-10 (29 Nopember 2023)**

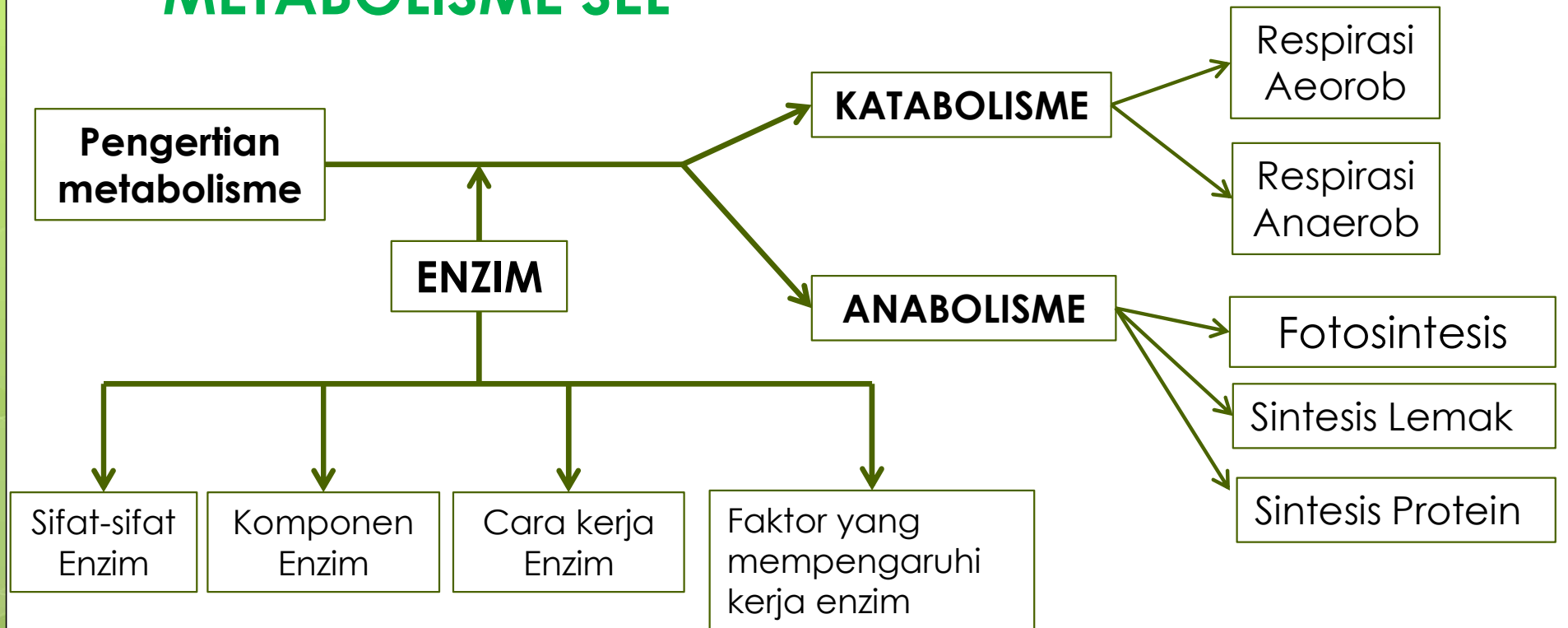
# Outline

- ✓ Pengertian proses metabolisme
- ✓ Enzim
- ✓ Katabolisme
- ✓ Anabolisme

## PENDAHULUAN

- *Humans need energy for all activity*
- Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan.
- Akan tetapi energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya (transformasi energi).
- Makhluk hidup melakukan transformasi energi melalui proses metabolisme yang berlangsung di dalam sel tubuh.
- Organisme hidup mengubah energi yang diperolehnya dari makanan untuk berbagai tujuan seperti pemeliharaan sel, reproduksi dan berbagai kerja baik fisik maupun kimia

# PETA KONSEP METABOLISME SEL



## PENGERTIAN METABOLISME

- Metabolisme (bahasa Yunani *metabole*=berubah) secara harfiah berarti “perubahan” → ada **reaksi**
- Agar reaksi-reaksi berjalan lebih cepat diperlukan katalisator.
- Katalisator adalah zat yang mempercepat reaksi tetapi zat itu tidak ikut bereaksi → **Enzim**
  
- **Metabolisme:** keseluruhan reaksi yang terjadi di dalam sel, meliputi proses penguraian & sintesis molekul kimia yang menghasilkan & membutuhkan panas (energi) serta dikatalisis oleh **enzim**
- **Jalur metabolisme:**
  1. Katabolisme (merombak molekul-molekul kompleks menjadi molekul yang sederhana)
  2. Anabolisme (membangun molekul kompleks dari molekul-molekul sederhana)

# ENZIM

- Enzim bertindak sebagai **katalis**, artinya enzim dapat meningkatkan laju reaksi kimia **tanpa ikut bereaksi** atau dipengaruhi oleh reaksi kimia tersebut.
- Enzim ini memiliki **sifat yang khas**, artinya hanya mempengaruhi zat tertentu yang disebut substrat.
- **Substrat** adalah molekul yang bereaksi dalam suatu reaksi kimia dan molekul yang dihasilkan disebut **produk**. Contoh reaksi:

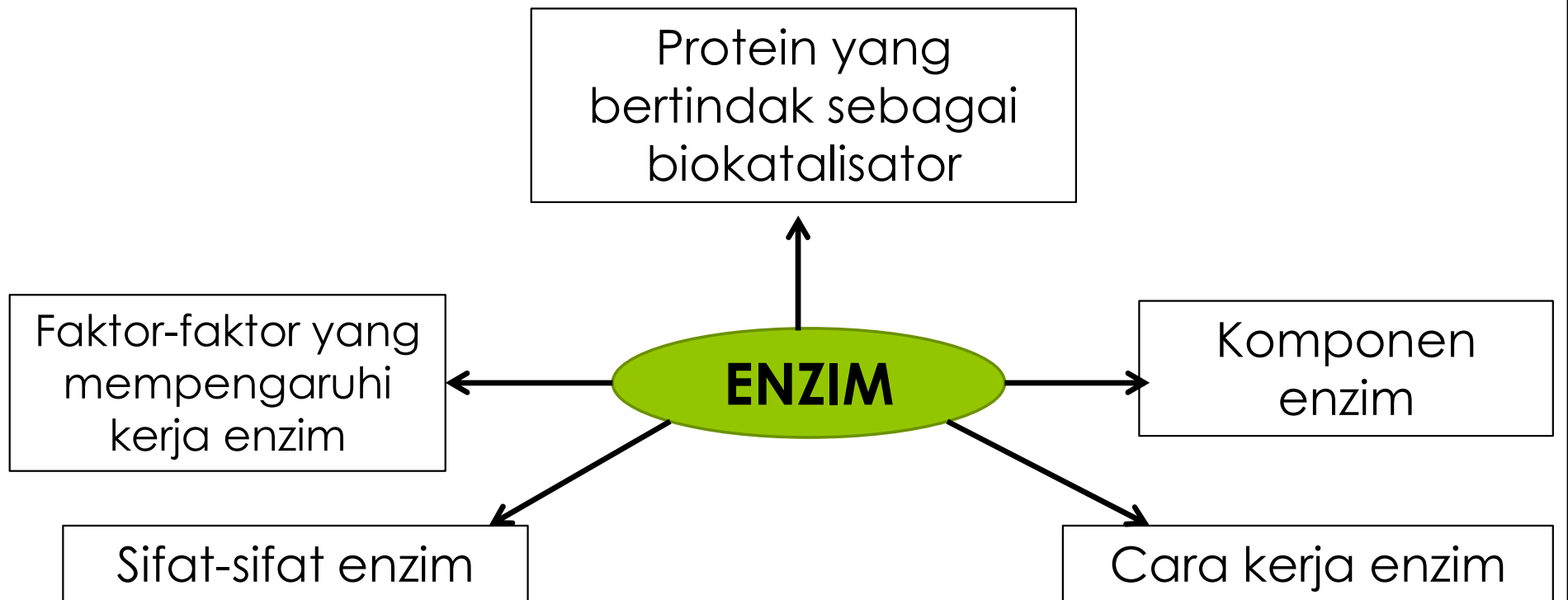


## Penamaan Enzim

Enzim diberi nama sesuai dengan substratnya dan diberi akhiran **-se**, contohnya:

- Enzim *selulase* yang menguraikan selulosa,
- Enzim *lipase* yang menguraikan lipid atau lemak, dan
- Enzim *protease* yang menguraikan protein.

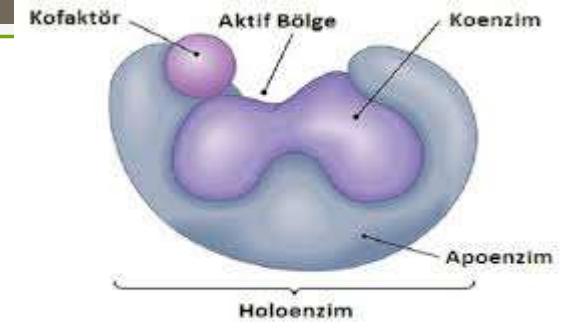
# ENZIM





# Komponen Enzim

Penyusun utama suatu enzim adalah molekul protein yang disebut Apoenzim. Agar berfungsi sebagaimana mestinya, enzim memerlukan komponen lain yang disebut kofaktor.



## Apoenzim:

- Bagian enzim yang tersusun dari protein (sifat **termolabil**)
- Bersifat labil, misalnya karena suhu dan keasaman.

## Kofaktor:

- komponen nonprotein berupa ion atau molekul (sifat **termostabil**),
- Berdasarkan ikatannya dibedakan:
  1. Gugus Prostetik → ex : heme
  2. Ko-Enzim → ex: tiamin pirofosfat, NAD, NADP+, dan asam tetrahidrofolat.
  3. Ion Anorganik → ex:  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{+}$

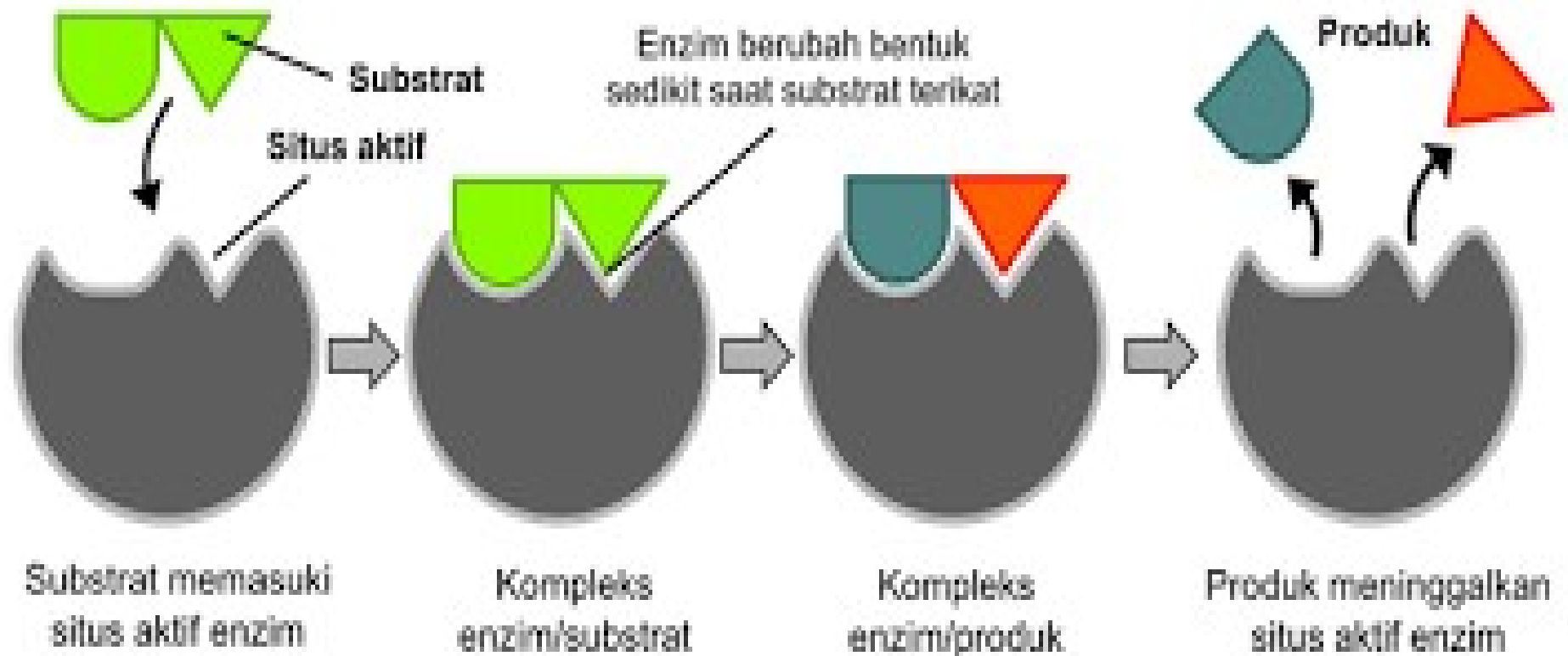
**Enzim yang terikat dengan kofaktornya disebut holoenzim**

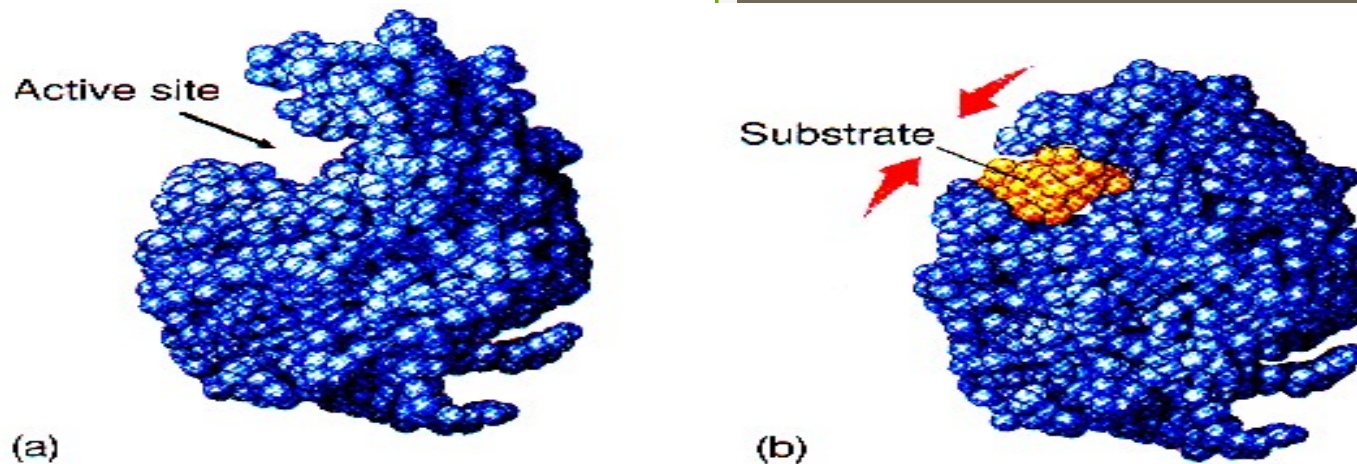
## Sifat-sifat enzim

Sebagai biokatalisator, enzim memiliki beberapa sifat antara lain:

- a. Hanya mengubah kecepatan reaksi → Tidak ikut bereaksi
- b. Bekerja secara spesifik → hanya mempengaruhi substrat tertentu
- c. Merupakan protein → suhu tinggi → tidak berfungsi
- d. Diperlukan dalam jumlah sedikit → Fungsi katalisator
- e. Bekerja secara bolak-balik →  $E+S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons E+P$
- f. Kerjanya dipengaruhi faktor lingkungan, suhu, pH, aktivator (pengaktif), dan inhibitor (penghambat) serta konsentrasi substrat.

# Cara Kerja Enzim



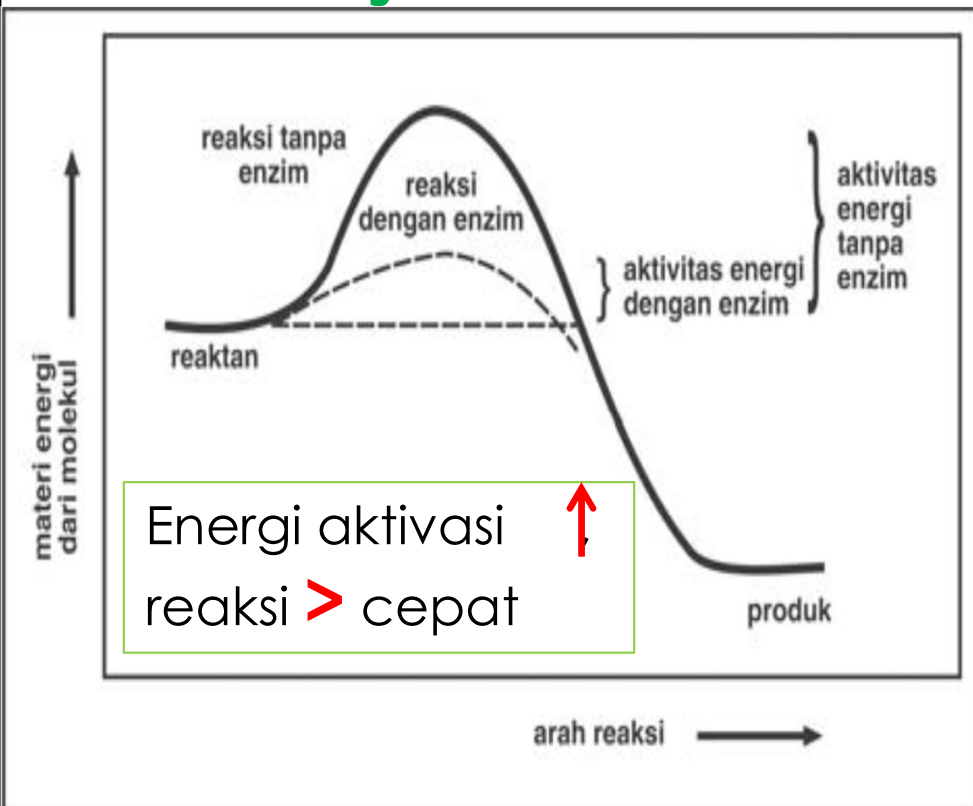


**FIGURE 8.6**

**How the enzyme lysozyme works.** (a) A groove runs through lysozyme that fits the shape of the polysaccharide (a chain of sugars) that makes up bacterial cell walls. (b) When such a chain of sugars, indicated in yellow, slides into the groove, its entry induces the protein to alter its shape slightly and embrace the substrate more intimately. This induced fit positions a glutamic acid residue in the protein next to the bond between two adjacent sugars, and the glutamic acid “steals” an electron from the bond, causing it to break.

**Gambar. Enzim**

# Cara Kerja Enzim



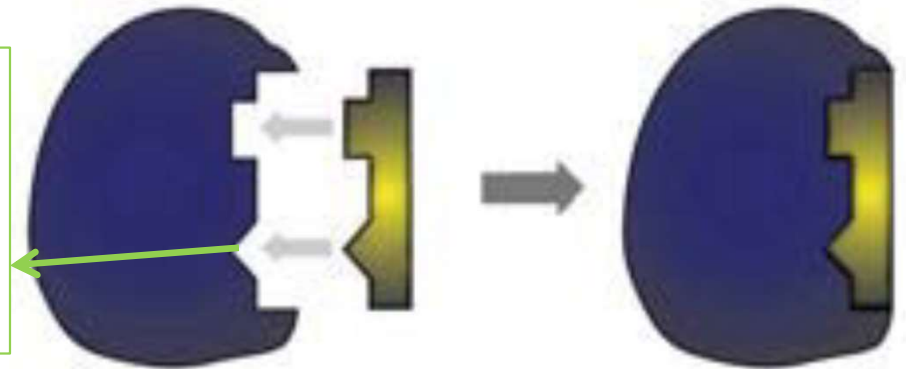
Gambar Grafik Kerja Enzim

Enzim mengkatalis reaksi dengan cara meningkatkan laju reaksi dengan cara:

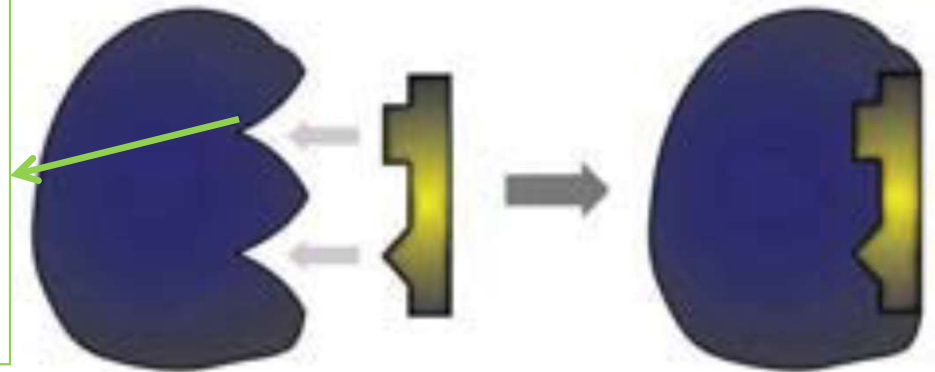
1. Menurunkan energi aktivasi (energi yang diperlukan untuk reaksi)
2. Penurunan energi aktivasi dilakukan dengan membentuk kompleks dengan substrat.
3. Setelah produk dihasilkan, kemudian enzim dilepaskan.
4. Enzim bebas untuk membentuk kompleks baru dengan substrat yang lain.

## Cara Kerja Enzim (2 Teori)

Teori gembok dan anak kunci  
(**Lock and key theory**)  
Sisi aktif ezim mempunyai  
bentuk **spesifik substrat**

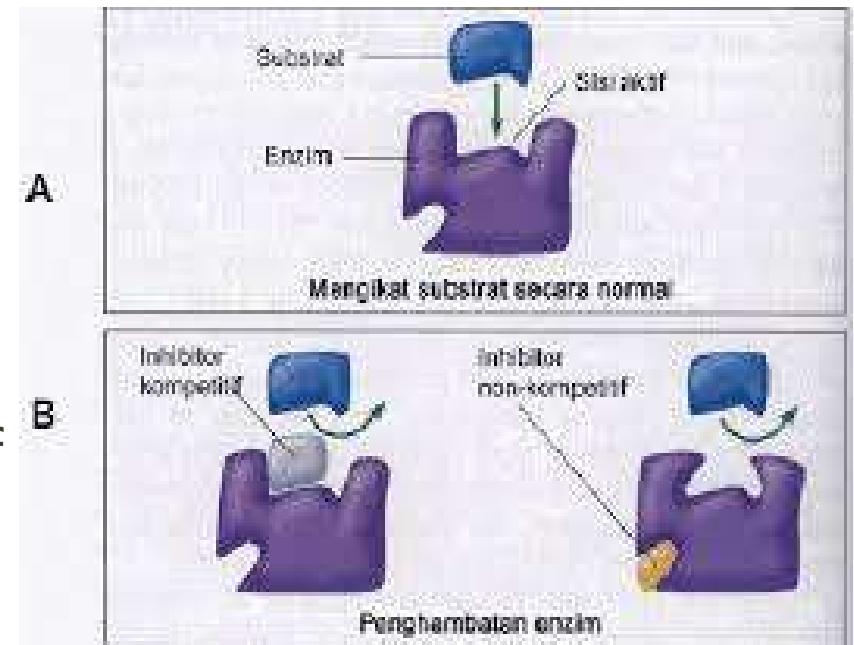


Teori kecocokan yang  
terinduksi (Induced fit theory)  
Sisi aktif bentuknya **lebih  
fleksibel mengikuti bentuk  
substrat**

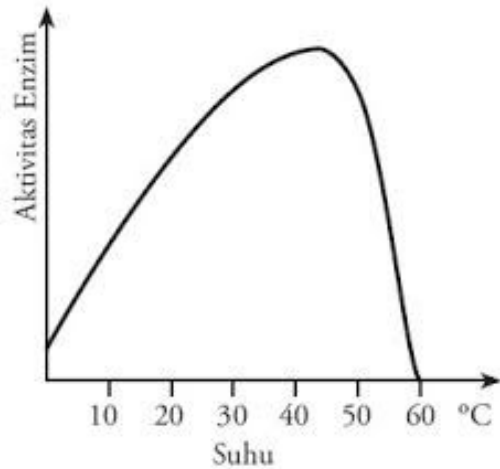


## Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim

- Suhu
- pH
- Aktivator dan inhibitor
  - Inhibitor kompetitif
  - Inhibitor non-kompetitif
- Konsentrasi enzim
- Konsentrasi substrat

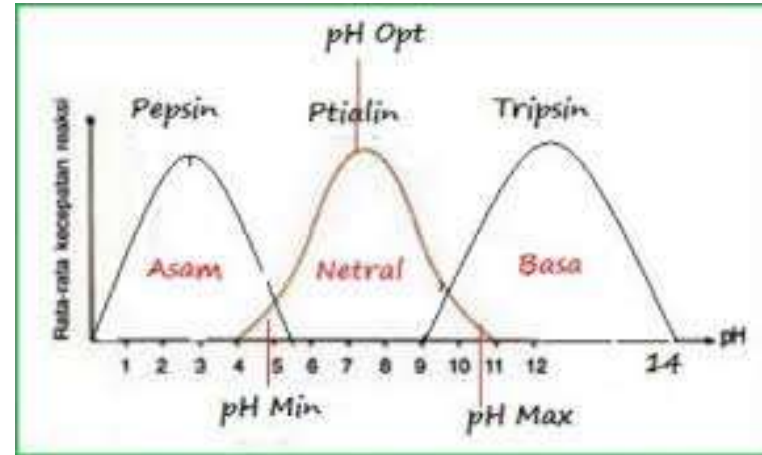


## Suhu



- Kenaikan suhu, laju reaksi cepat
- Suhu optimal 30-40°C
- Lebih dari itu denaturalisasi (rusak) dan reaksi terhambat/menurun

## pH



- Nonaktif bila berada dalam asam kuat atau basa kuat
- efektif pada kisaran pH 7,0.
- Khusus :
  - Pepsin → pH optimum sangat asam
  - Tripsin → pH optimum sekitar 7,5 – 8,5 (basa).



## Aktifator

molekul yang mempermudah ikatan enzim dengan substrat.  
Contoh: ion Cl → amilase saliva

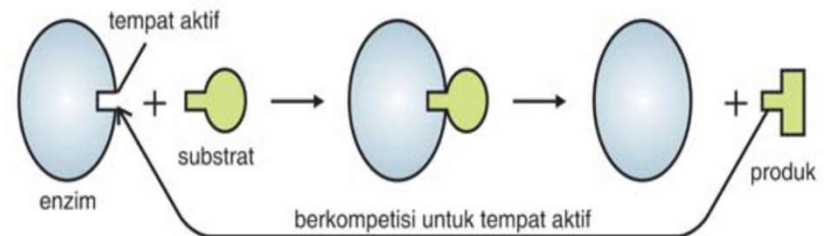
## Inhibitor Kompetitif

Molekul penghambat yang bersaing dengan substrat untuk mendapatkan sisi aktif enzim

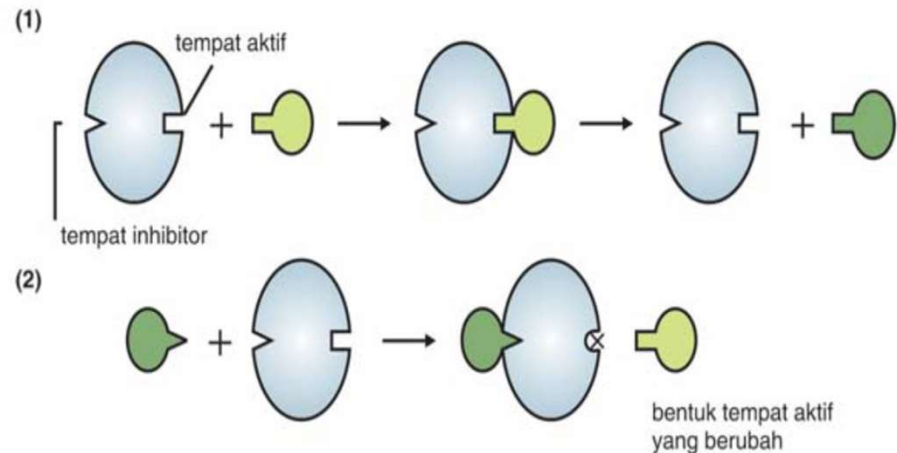
## Inhibitor Nonkompetitif

Molekul penghambat enzim yang bekerja dengan cara melekatkan diri pada luar sisi aktif enzim, menyebabkan substrat tidak dapat masuk ke sisi aktif enzim.

inhibitor kompetitif

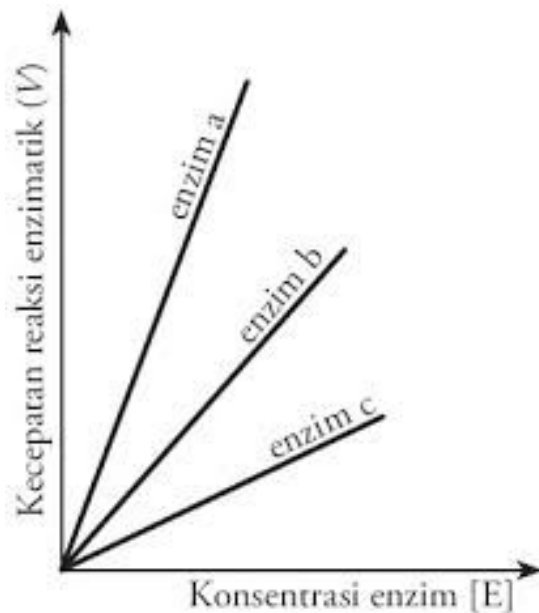


alosterik inhibitor



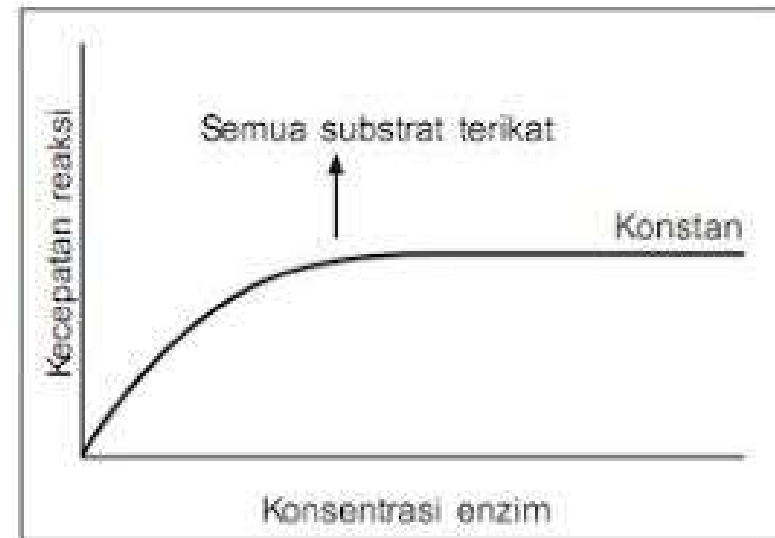
## Konsentrasi Enzim

Makin besar konsentrasi enzim, semakin cepat reaksinya



## Konsentrasi Substrat

Makin banyak substrat, tidak dapat meningkatkan kecepatan reaksi (konstan)



# Metabolisme Sel

## Katabolisme

Bertujuan untuk pembongkaran atau penguraian suatu molekul



### Respirasi

#### Aerob

1. Glikolisis
2. Siklus Krebs
3. Transpor elektron

#### Anaerob

1. Fermentasi As. Laktat
2. Fermentasi Alkohol

## Anabolisme

Bertujuan untuk penyusunan atau sintesis suatu molekul



1. Fotosintesis
2. Komposintesis
3. Sintesis Lemak
4. Sintesis Protein

## Katabolisme

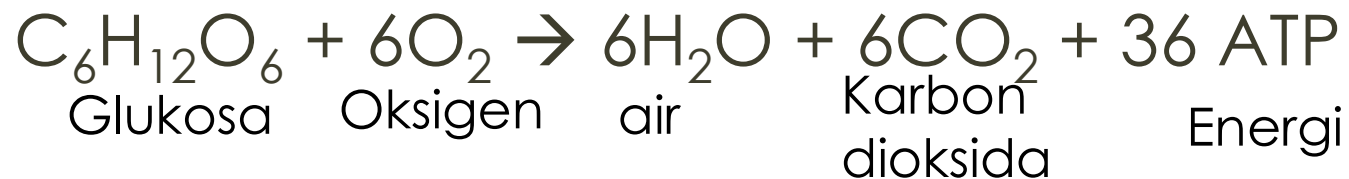
- Reaksi penguraian senyawa yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim.
- Energi yang dilepaskan oleh reaksi katabolisme disimpan dalam bentuk fosfat, terutama dalam bentuk ATP (*Adenosin trifosfat*) dan berenergi elektron tinggi NADH<sub>2</sub> (*Nikotilamid adenin dinukleotida H<sub>2</sub>*) serta FADH<sub>2</sub> (*Flavin adenin dinukleotida H<sub>2</sub>*).
- Katabolisme mempunyai **dua fungsi**, yaitu
  - Menyediakan bahan baku untuk sintesis molekul lain
  - Menyediakan energi kimia yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas sel.
- Reaksi yang umum terjadi adalah **reaksi oksidasi**.
- Contoh: **respirasi** ( yaitu proses penguraian bahan makanan yang menghasilkan energi)

Berdasarkan kebutuhan akan  $O_2$ ,  
respirasi dibedakan menjadi:

1. Respirasi **aerob**,
  - Menggunakan  $O_2$  bebas untuk mendapatkan energi.
2. Respirasi **anaerob**,
  - Tidak menggunakan  $O_2$  bebas untuk mendapatkan energi.

## Respirasi Aerob

- ✓ Respirasi aerob adalah peristiwa pembakaran zat makanan menggunakan oksigen dari pernapasan untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP.
- ✓ Respirasi aerob disebut juga pernapasan, dan terjadi di paru-paru.
- ✓ Pada tingkat sel, respirasi terjadi pada organel mitokondria
- ✓ Secara sederhana reaksi respirasi dituliskan:



# Respirasi Aerob

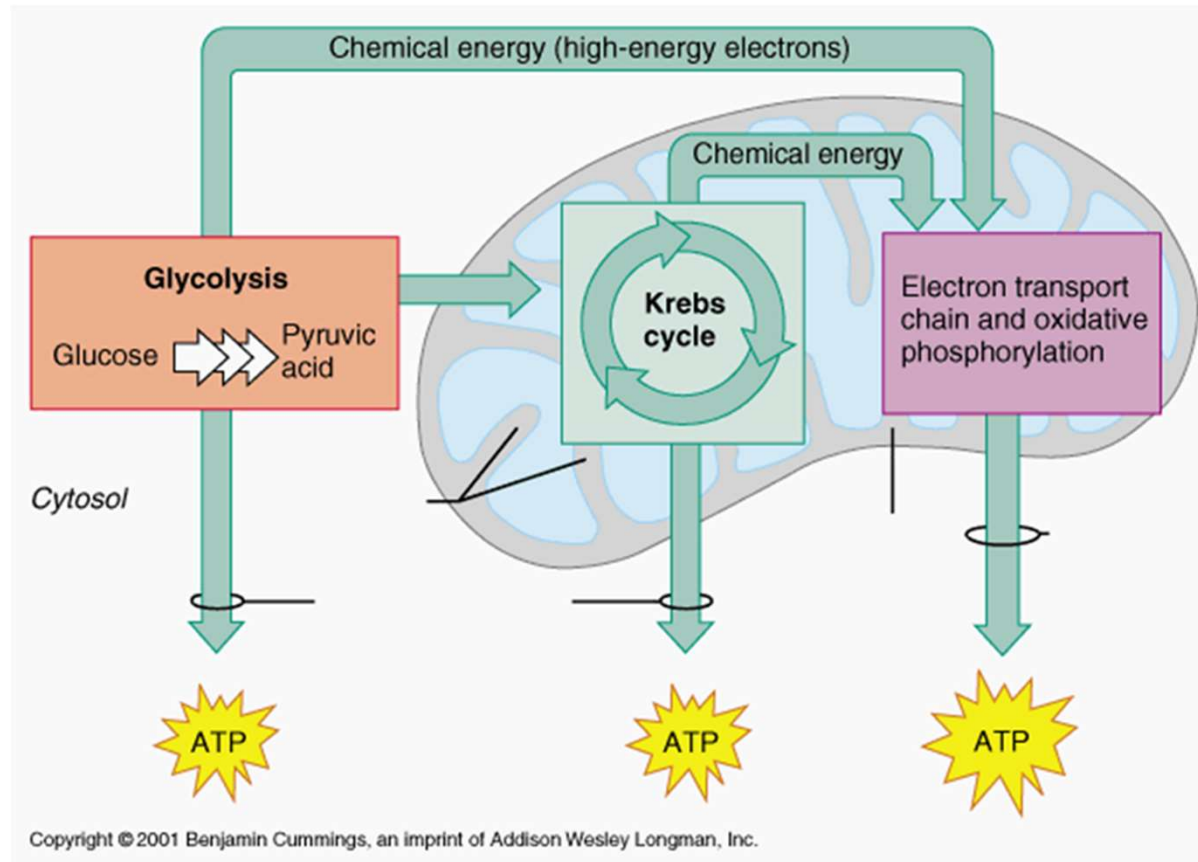
## 3 Tahap

Dekarboksilasi  
Oksidatif

Glikolisis

Siklus  
Kreb

Sistem Transport  
Elektron



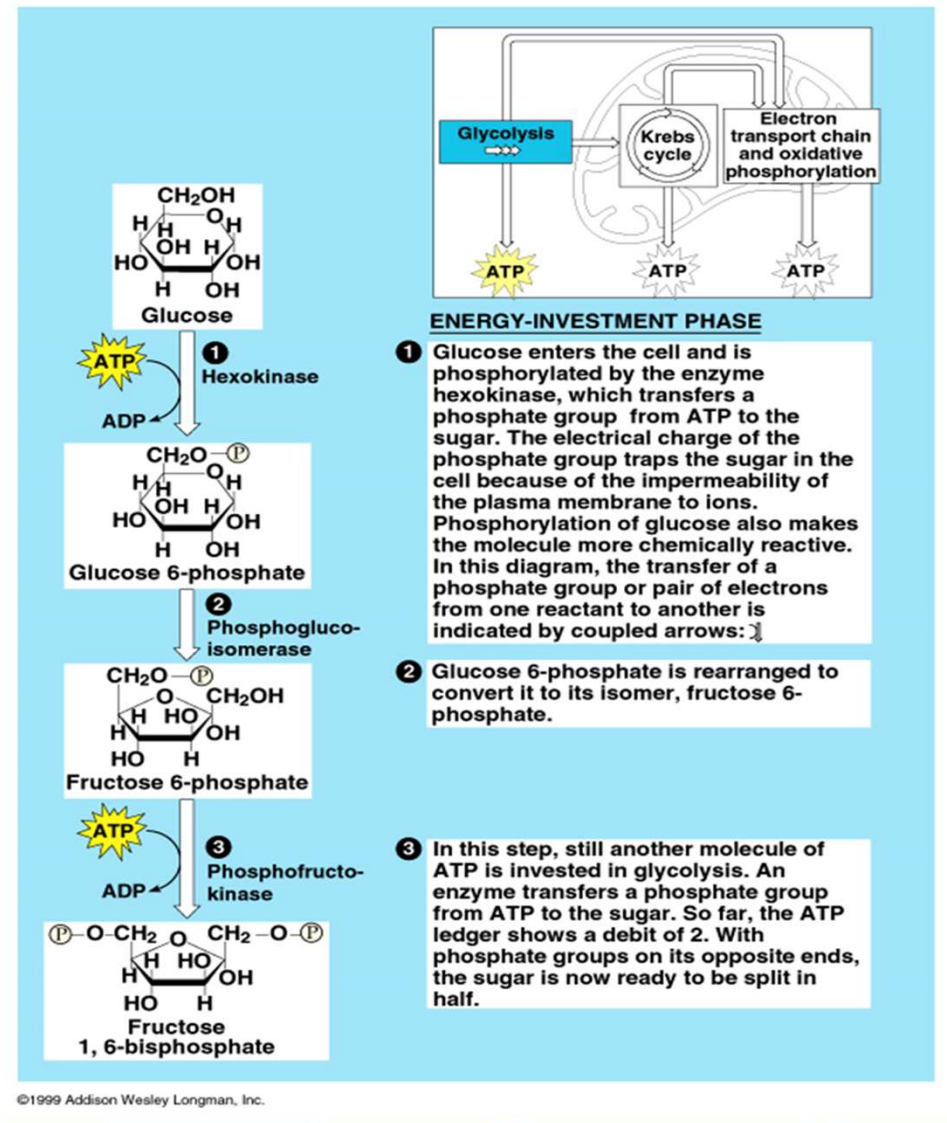
## Tahap Respirasi Aerob

### Glikolisis

- Yaitu peristiwa penguraian satu molekul glukosa menjadi asam piruvat, NADH dan ATP.
- Berlangsung di dalam sitoplasma.
- Hasil akhir molekul glukosa (6 atom C) berubah menjadi:
  - a. 2 molekul as. Piruvat (3 atom C)
  - b. 4 molekul ATP → energi total yang dihasilkan,
  - c. 2 molekul NADH → sbg sumber elektron yang berenergi tinggi.

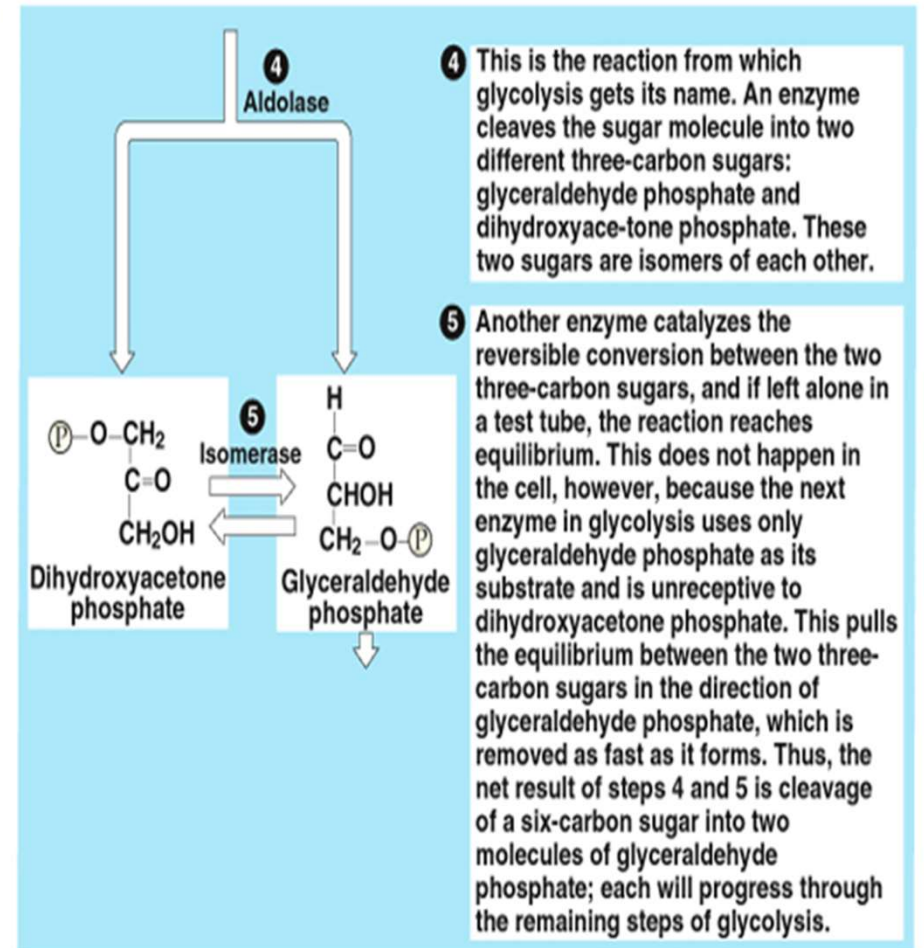


1. Tahap pertama, glukosa akan diubah menjadi glukosa 6-fosfat oleh enzim hexokinase. Tahap ini membutuhkan energi dari ATP (adenosin trifosfat). ATP yang telah melepaskan energi yang disimpannya akan berubah menjadi ADP.
2. Glukosa 6-fosfat akan diubah menjadi fruktosa 6-fosfat yang dikatalisis oleh enzim fosfohexosa isomerase.
3. Fruktosa 6-fosfat akan diubah menjadi fruktosa 1,6-bifosfat, reaksi ini dikatalisis oleh enzim fosfofruktokinase. Dalam reaksi ini dibutuhkan energi dari ATP.



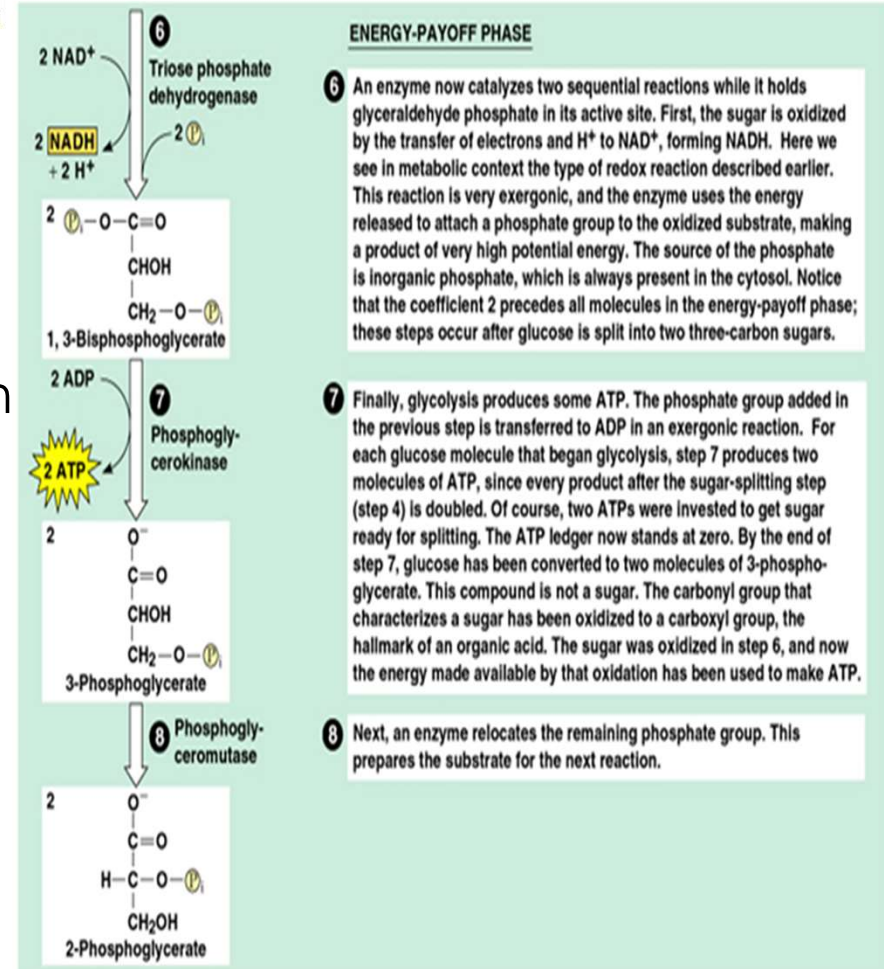
# Glikolisis

4. Fruktosa 1,6-bifosfat (6 atom C) akan dipecah menjadi gliseraldehida 3-fosfat (3 atom C) dan dihidroksi aseton fosfat (3 atom C). Reaksi tersebut dikatalisis oleh enzim aldolase.
5. Satu molekul dihidroksi aseton fosfat yang terbentuk akan diubah menjadi gliseraldehida 3-fosfat oleh enzim triosa fosfat isomerase. Enzim tersebut bekerja bolak-balik, artinya dapat pula mengubah gliseraldehida 3-fosfat menjadi dihidroksi aseton fosfat.



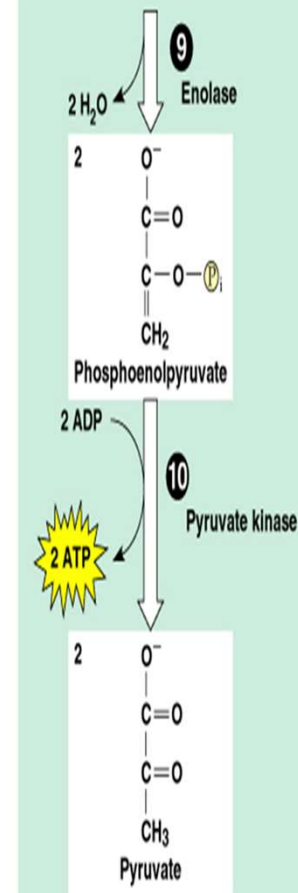
# Glikolisis

6. Gliseraldehida 3-fosfat kemudian akan diubah menjadi 1,3 bifosfoglisarat oleh enzim gliseraldehida 3-fosfat dehidrogenase. Pada reaksi ini akan terbentuk NADH.
7. Kemudian 1,3 bifosfoglisarat akan diubah menjadi 3-fosfoglisarat oleh enzim fosfoglisarat kinase. Pada reaksi ini akan dilepaskan energi dalam bentuk ATP.
8. Kemudian 3-fosfoglisarat akan diubah menjadi 2-fosfoglisarat oleh enzim fosfoglisarat mutase.



# Glikolisis

9. Kemudian 2-fosfoglisarat akan diubah menjadi fosfoenol piruvat oleh enzim enolase.
10. Fosfoenolpiruvat akan diubah menjadi piruvat yang dikatalisis oleh enzim piruvat kinase. Dalam tahap ini juga dihasilkan energi dalam bentuk ATP.



- 9 An enzyme forms a double bond in the substrate by extracting a water molecule to form phosphoenolpyruvate, or PEP. This results in the electrons of the substrate being rearranged in such a way that the remaining phosphate bond becomes very unstable, preparing the substrate for the next reaction.

- 10 The last reaction of glycolysis produces more ATP by transferring the phosphate group from PEP to ADP. Since this step occurs twice for each glucose molecule, the ATP ledger now shows a net gain of two ATPs. Steps 7 and 10 each produce two ATPs for a total credit of four, but a debt of two ATPs was incurred from steps 1 and 3. Glycolysis has repaid the ATP investment with 100% interest. Additional energy was stored by step 6 in NADH, which can be used to make ATP by oxidative phosphorylation if oxygen is present. In the meantime, glucose has been broken down and oxidized to two molecules of pyruvate, the end-product of the glycolytic pathway.

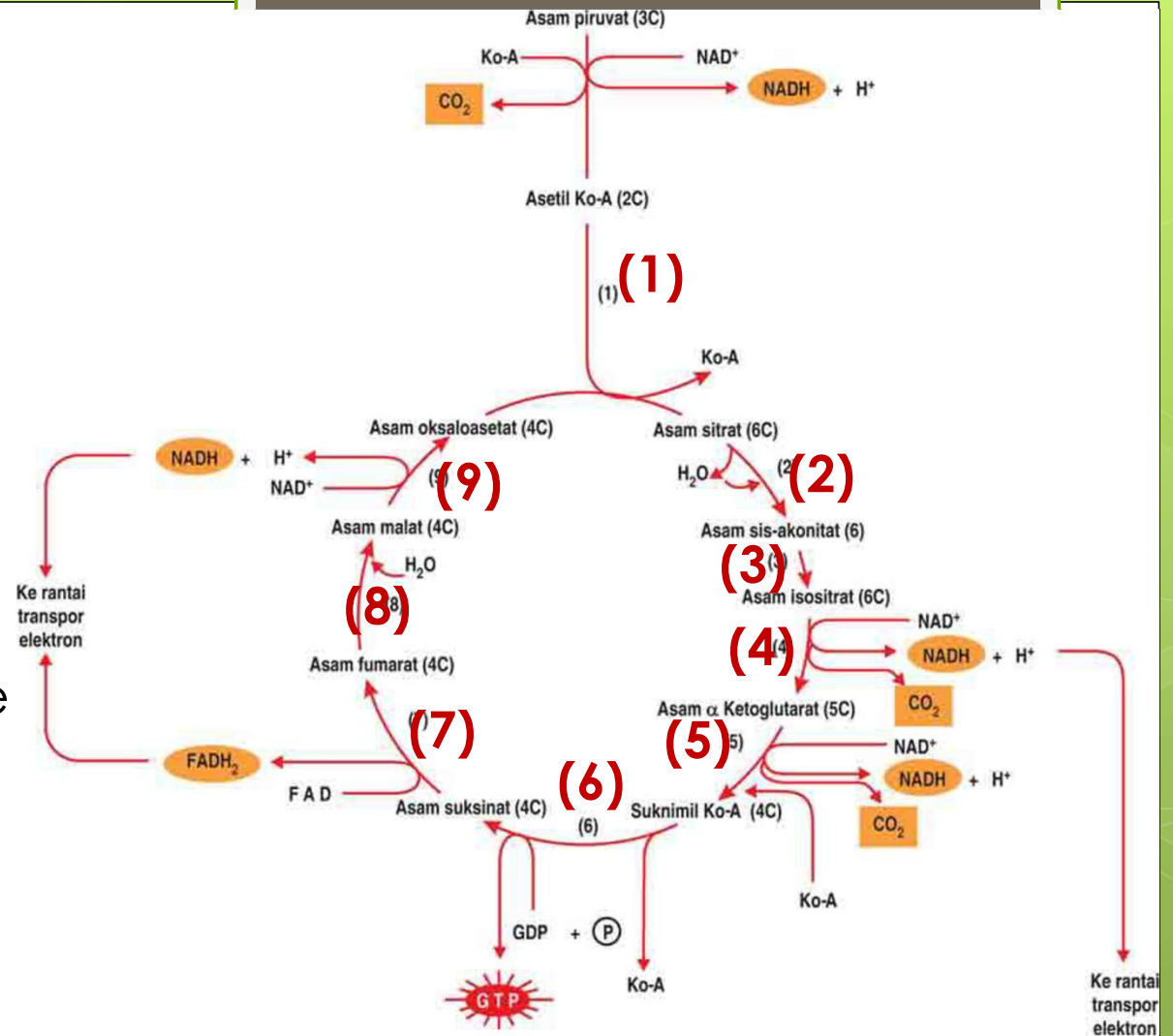
## Siklus Krebs

- Diambil dari nama Hans Krebs
- Siklus ini juga biasa disebut siklus asam sitrat
- Berlangsung didalam mitokondria
- Mengubah Asam Piruvat menjadi NADH, FADH<sub>2</sub>, ATP serta membentuk kembali oksaloasetat
- Hasil akhir:
  - a. Asam Piruvat berubah menjadi asetil KoA, menghasilkan 2 mol NADH karena yang terlibat adalah 2 mol piruvat,
  - b. Dihasilkan 1 FADH<sub>2</sub> dan 4 NADH,
  - c. Dihasilkan 1 ATP dan membebaskan 3 gas CO<sub>2</sub>.

# Siklus Krebs

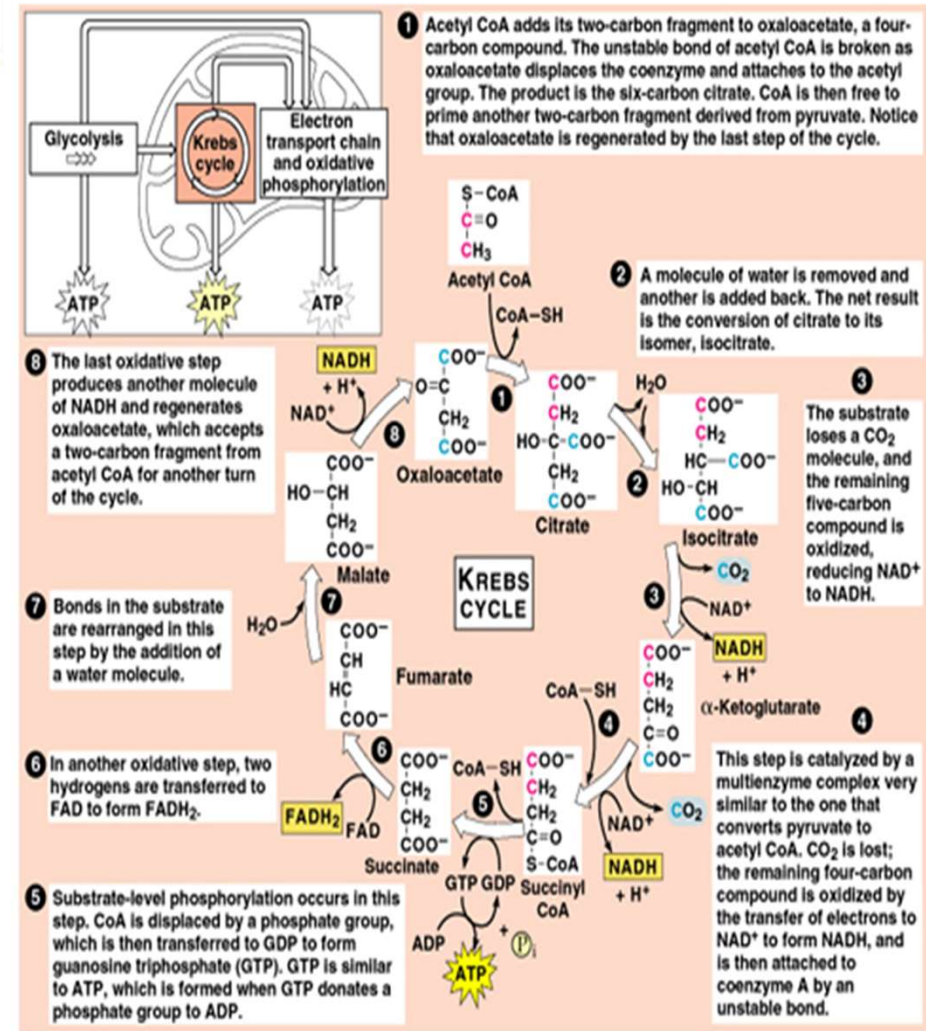
Siklus krebs enzim:

- (1) Sitrat sintase
- (2) Akonitase
- (3) Akonitase
- (4) Isositrat dehidrogenase
- (5) Ketoglutarat dehidrogenase
- (6) Suksinat tiokinase
- (7) Suksinat dehidrogenase
- (8) Fumarase
- (9) Malat dehidrogenase



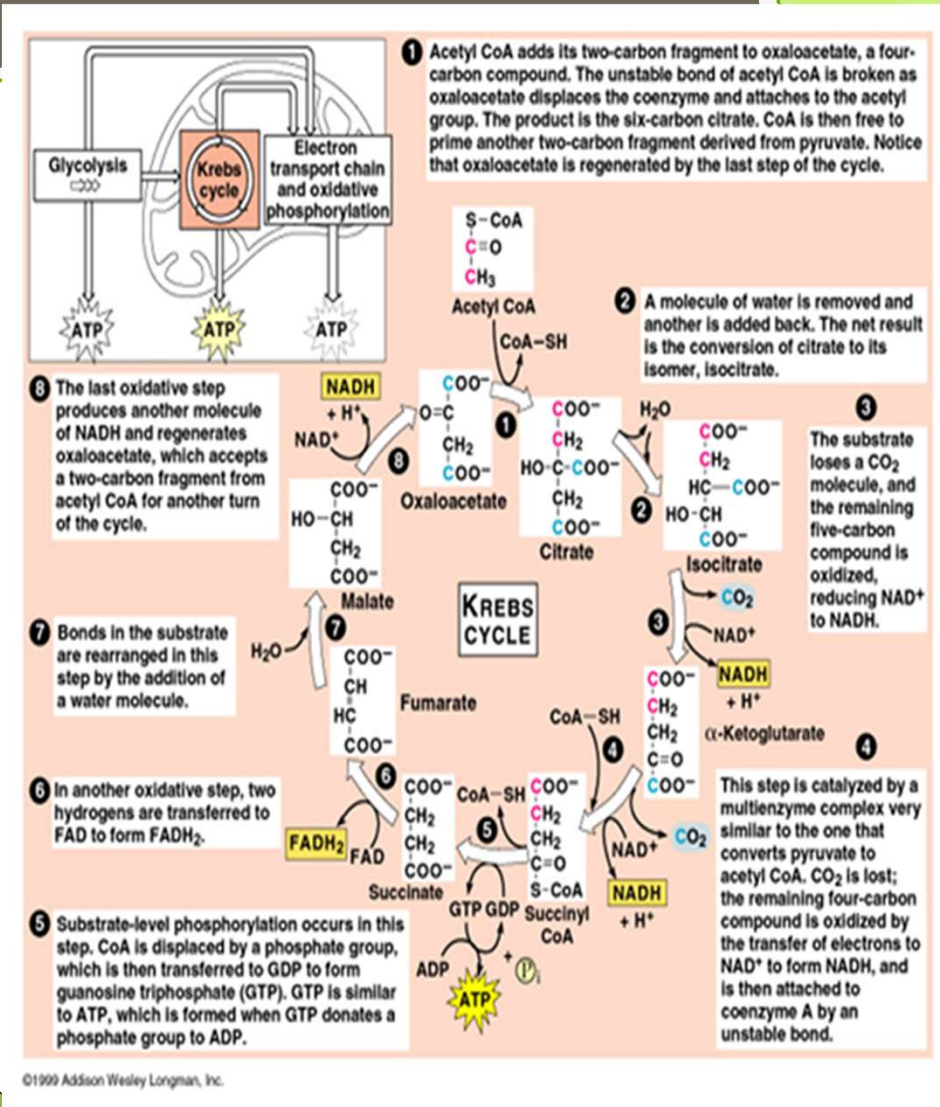
# Siklus Krebs

- Asam piruvat dari proses glikolisis, selanjutnya masuk ke siklus krebs setelah bereaksi dengan  $\text{NAD}^+$  (Nikotinamida adenine dinukleotida) dan ko-enzim A atau Ko-A, membentuk asetil Ko-A. Dalam peristiwa ini,  $\text{CO}_2$  dan NADH dibebaskan. Perubahan kandungan C dari 3C (asam piruvat) menjadi 2C (asetil ko-A).
- Reaksi antara asetil Ko-A (2C) dengan asam oksaloasetat (4C) dan terbentuk asam sitrat (6C). Dalam peristiwa ini, Ko-A dibebaskan kembali.



# Siklus Krebs

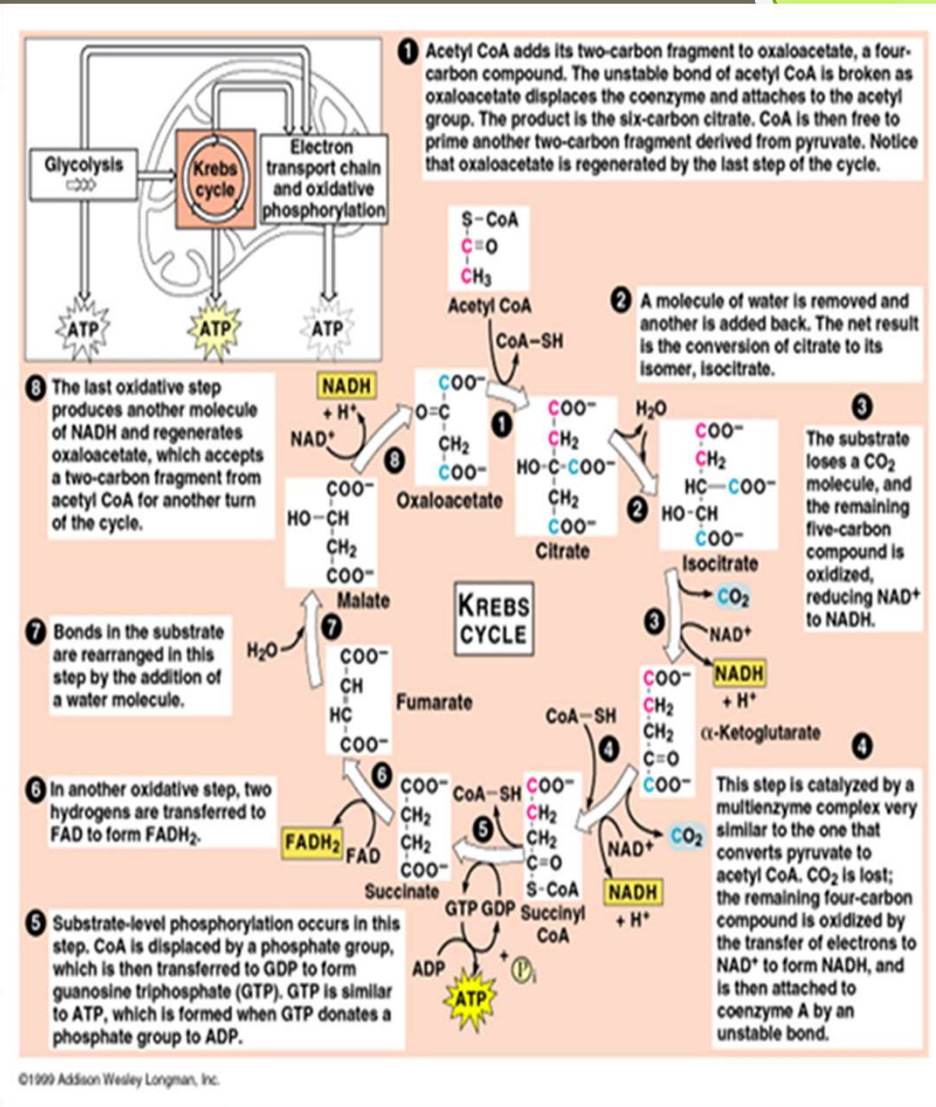
- Asam sitrat (6C) dengan  $\text{NAD}^+$  membentuk asam alfa ketoglutarat (5C) dengan membebaskan  $\text{CO}_2$ .
- Peristiwa berikut agak kompleks, yaitu pembentukan asam suksinat (4C) setelah bereaksi dengan  $\text{NAD}^+$  dengan membebaskan  $\text{NADH}$ ,  $\text{CO}_2$  dan menghasilkan ATP setelah bereaksi dengan ADP dan asam fosfat anorganik.





## Siklus Krebs

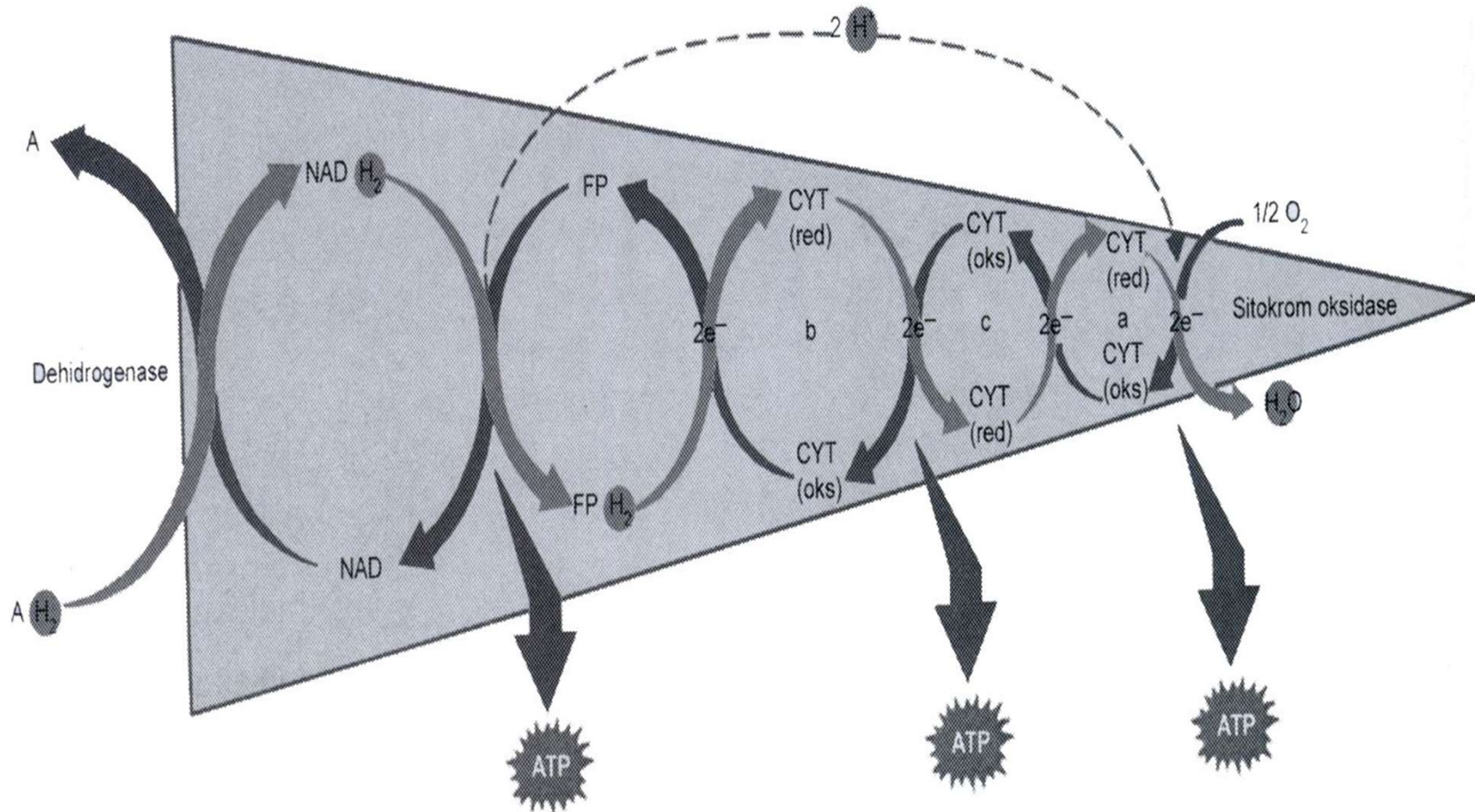
- Asam suksinat yang terbentuk, kemudian bereaksi dengan FAD (Flarine Adenine Dinucleotida) dan membentuk asam malat (4C) dengan membebaskan FADH<sub>2</sub>.
- Asam malat (4C) kemudian bereaksi dengan NAD<sup>+</sup> dan membentuk asam oksaloasetat (4C) dengan membebaskan NADH, karena asam oksaloasetat akan kembali dengan asetil ko-A seperti langkah ke 2 di atas.

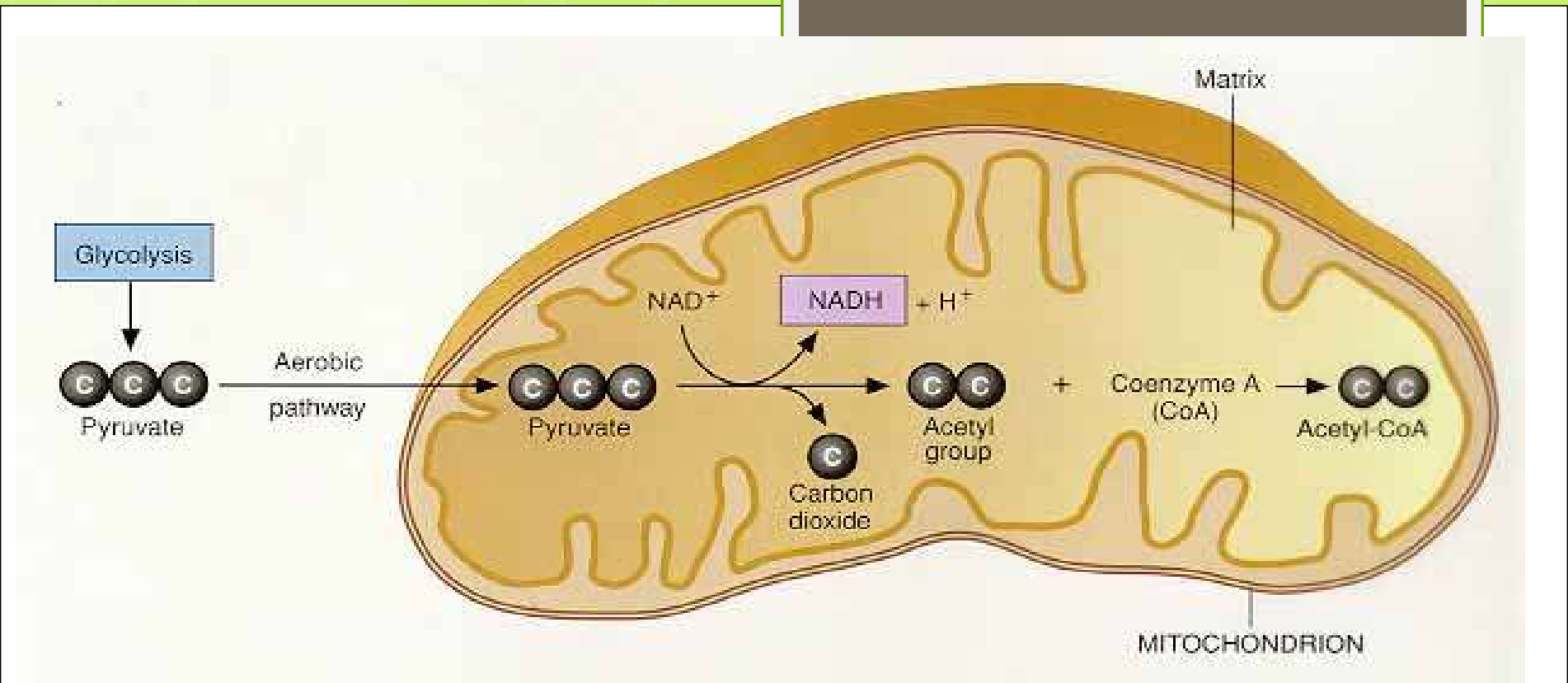


## Transport Elektron

- Terjadi di bagian membran dalam mitokondria.
- Hidrogen dari siklus krebs diubah menjadi proton dan elektron.
- O<sub>2</sub> berperan sebagai penerima elektron yang terakhir.
- O<sub>2</sub> akan menerima ( H<sup>+</sup> ) menjadi H<sub>2</sub>O.
- Secara sederhana, reaksi transpor elektron dituliskan:  
$$24e^- + 24 H^+ + 6 O_2 \rightarrow 12 H_2O$$
- ATP yang dihasilkan 34 ATP
- Elektron dan H<sup>+</sup> dari NADH dan FADH<sub>2</sub> dibawa dari substrat satu ke substrat yang lain.
- Hasil akhir:
  - a.  $10 NADH + 5 O_2 \rightarrow 10 NADH^+ + 10 H_2O \rightarrow 30 ATP$
  - b.  $2 FADH_2 + O_2 \rightarrow 2 FAD + 2 H_2O \rightarrow 4 ATP$

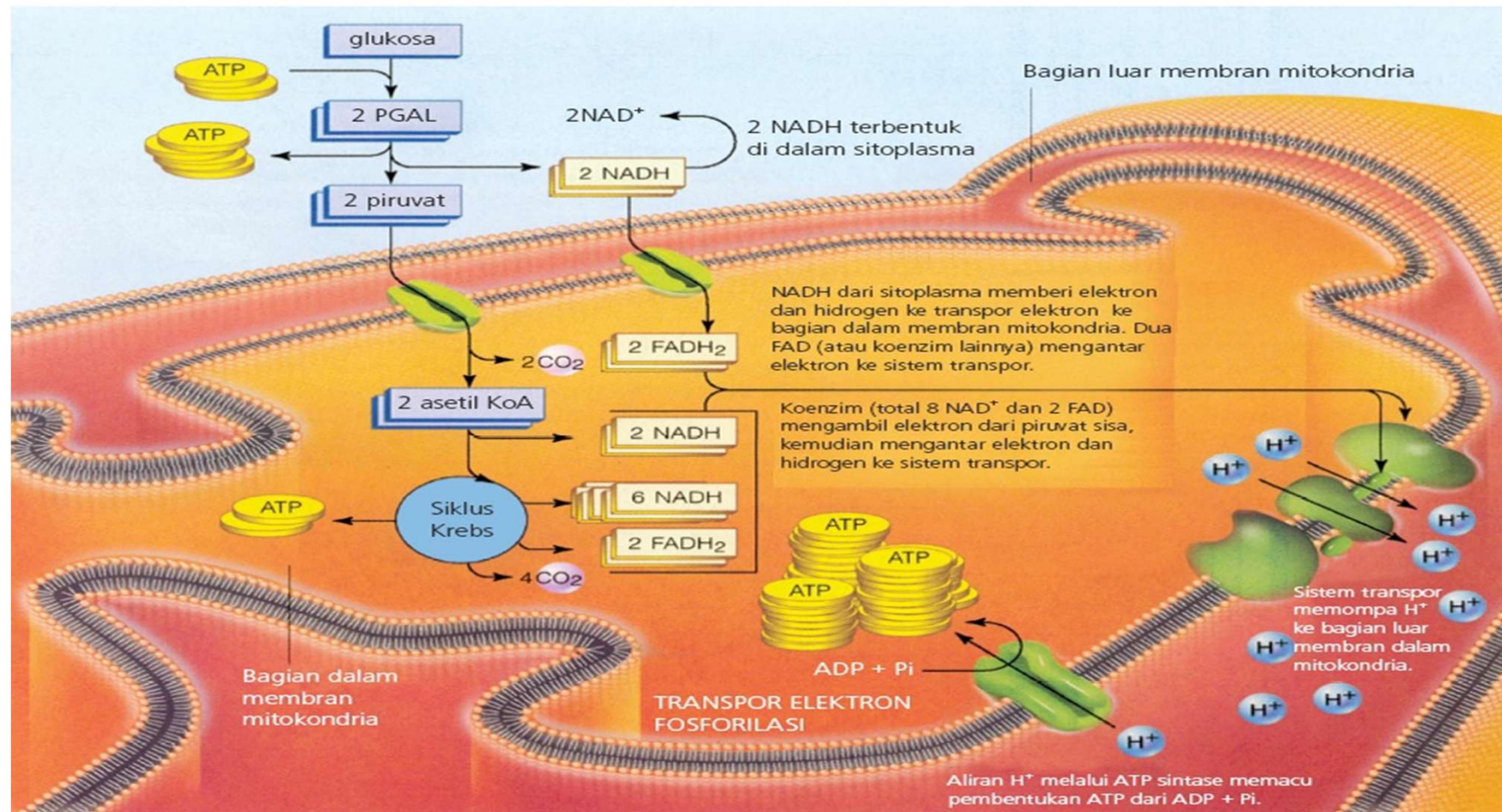
# Sistem Transpor Elektron





Gambar. **Proses respirasi aerobik (Dekarboksilasi oksidatif)**

# Respirasi Aerob



## Respirasi Anaerob

- Adalah reaksi pemecahan karbohidrat untuk mendapatkan energi tanpa menggunakan  $O_2$ .
- Terjadi pada:
  - 1) Jaringan yang kekurangan  $O_2$ ,
  - 2) Akar tumbuhan yang terendam air,
  - 3) Biji tebal yang sulit ditembus  $O_2$ ,
  - 4) Sel ragi dan bakteri anaerobik.
- Persamaan sederhananya:



## Repirasi anaerob :

- a) Tidak memerlukan  $O_2$ ,
- b) Menggunakan asam piruvat atau asetaldehida sebagai pengikat H,
- c) Menghasilkan asam laktat atau alkohol,
- d) Hanya menghasilkan 2 molekul ATP atau energi sebesar 21 kkal,
- e) Tahapan reaksi lebih sederhana.

## Fermentasi

- Termasuk respirasi anaerobik
- Sering kali diistilahkan proses penguraian zat oleh mikroorganisme pengurai menggunakan enzim-enzim yang ada di dalam sel.
- Fermentasi sebagai perubahan enzimatik dari substansi organik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan produk-produk organik yang lebih sederhana.



Repirasi seluler	Fermentasi	
	Alkohol	Asam laktat
<p>Glukosa</p> <p>↓</p> <p>Asam piruvat</p> <p>↓</p> <p>O<sub>2</sub></p> <p>↓</p> <p>CO<sub>2</sub></p> <p>Air + 36 ATP</p> <p><b>(6H<sub>2</sub>O + 6CO<sub>2</sub> + 36 ATP)</b></p>	<p>Glukosa</p> <p>↓</p> <p>Asam piruvat</p> <p>↓</p> <p>CO<sub>2</sub></p> <p>Alkohol + 2 ATP</p> <p><b>(2CO<sub>2</sub> + 2C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH+2ATP)</b></p>	<p>Glukosa</p> <p>↓</p> <p>Asam piruvat</p> <p>↓</p> <p>Asam laktat + 2ATP</p> <p><b>(2 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub> + 2 ATP)</b></p>

## Katabolisme Lemak

Reaksi sederhananya:



## Katabolisme Protein

- Protein diuraikan menjadi asam amino.
- Asam amino diubah menjadi asam piruvat dan asetil KoA.
- Gugus amino yang dilepas dari asam amino dibawa ke hati untuk diubah menjadi amonia (NH<sub>3</sub>) dan dibuang lewat urin.

# Anabolisme

- ✓ Adalah reaksi penyusunan zat yang berlangsung di dalam sel.
- ✓ Macamnya:
  - a. **Fotosintesis**
    - Yaitu peristiwa penyusunan zat organik dari zat anorganik dengan pertolongan energi cahaya.
    - Asimilasi karbon karena bahan baku yang digunakan  $\text{CO}_2$
    - Terjadi di dalam kloroplas

## b. Kemosintesis

- Yaitu penyusunan bahan organik dengan menggunakan energi dari pemecahan senyawa kimia.
- Energi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan energi cahaya.
- Contoh: bakteri Nitrobacter dengan reaksi,
- $$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{E}$$

## Sintesis Lemak

- Disebut juga lipogenesis, yang terjadi di dalam sitoplasma yang memiliki enzim kompleks, yaitu asam lemak sintetase.
- Lemak dapat disintesis dari protein dan karbohidrat.
- Lemak tersusun dari asam lemak dan gliserol.
- Asam lemak terbentuk dari Asetil KoA.
- Sintesis lemak berlangsung di retikulum endoplasma.

## Sintesis Protein

- ✓ Protein tersusun atas senyawa asam amino.
- ✓ Penyusunan gugus amino ( $-\text{NH}_2$ ) pada suatu substrat disebut aminasi.
- ✓ Ada 2 cara sintesis protein, yaitu:
  - Reaksi aminasi reduksi,
    - aminasi dari asam oksaloasetat akan menghasilkan asam aspartat
    - aminasi dari asam piruvat akan menghasilkan alanin.
  - Reaksi transaminasi
    - reaksi yang melibatkan satu gugus amino dari satu asam amino ke suatu asam  $\alpha$ -ketoglutarat dan asam amino baru.