

# Dasar Bioenergetika



**Prof. Dr. Dra. Wiryatun Lestariana, Apt**  
**Bagian Biokimia**  
**Fakultas Kedokteran UGM**



# Metabolisme

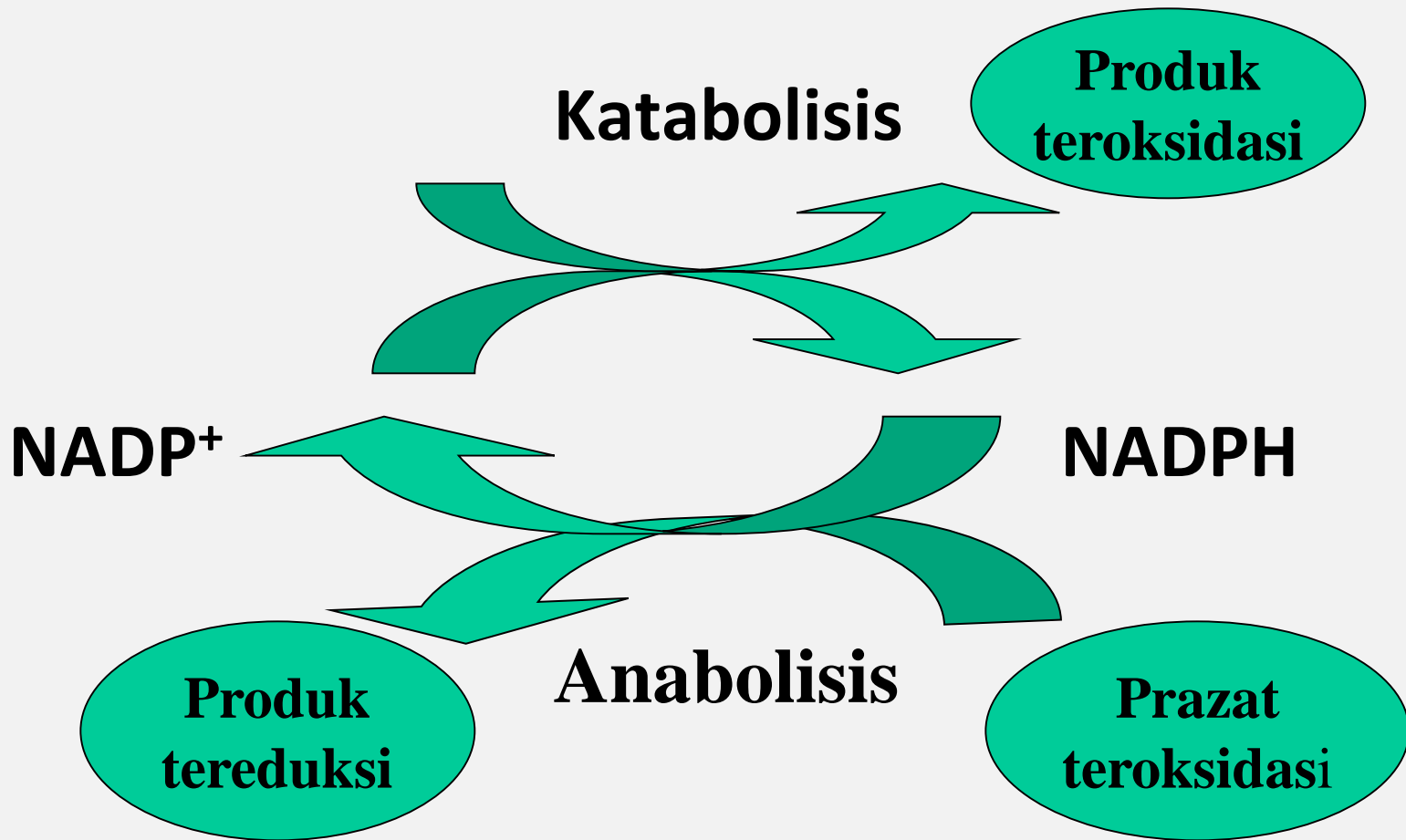
**Metabolisme: Perubahan yang terjadi dalam kehidupan organisme hidup**

**Katabolisis : degradasi dari makanan yang dicerna (karbohidrat, lipid, protein) atau bahan bakar simpanan menjadi bentuk energi yang dapat digunakan**

**Metabolisme**

**Anabolisis: molekul kecil yang diubah menjadi molekul besar yang lebih kompleks**





- Di alam banyak proses katabolisme merupakan proses oksidasi karena atom karbon dalam substrat (karbohidrat, lemak, dan protein) dalam status yang tereduksi
- “reducing equivalent” dibebaskan dari substrat dalam bentuk ion hidrida (suatu proton yang mengandung 2 elektron  $H^-$ ) yang ditransfer dari substrat ke  $NAD^+$  dengan enzim membentuk NADH
- NADH selanjutnya ditransport ke mitokondria

## Lanjutan


- Selanjutnya **NADH** (“**reducing equivalent**”) ditransfer dalam suatu seri reaksi oleh rantai transport elektron ke  $O_2$  sbg aseptor elektron
- **Reaksi oksidatif dalam mitokondria** adalah reaksi eksergonik yang menghasilkan energi digunakan untuk sintesis ATP  
→ **fosforilasi oksidatif**
- Reaksi reduksi oksidasi dalam reaksi  $NAD^+$  oleh enzim dehidrogenase menjadi NADH berperan sentral dalam perubahan energi kimia dari senyawa karbon dalam makanan ke energi kimia ikatan anhidrida fosfat : ATP →  
proses ini disebut **tranduksi energi**
- Dalam reaksi anabolisis misalnya pembentukan substrat tereduksi (asam lemak) membutuhkan NADPH yang diperoleh dari tranfer elektron ke  $NADP^+$

# BIOENERGETIKA

**Bioenergetika = Termodinamika Biokimia**

: ilmu yang mempelajari perubahan energi yang menyertai reaksi biokimia.

Reaksi diikuti dengan pelepasan energi selama sistem reaksi bergerak

 dari tingkat energi yang lebih tinggi rendah. Energi yang dilepaskan dalam bentuk panas

- Sel-sel hidup dapat mengkonversi bentuk-bentuk energi yang berbeda dan dapat menukar energi dengan lingkungannya
- **Hukum termodinamika pertama**  
**: Energi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk yang lain tetapi total energi dalam suatu sistem tetap konstan.**

Contoh:

Bentuk energi kimia dalam proses glikolisis diubah menjadi bentuk energi kimia lain: ATP

## Lanjutan

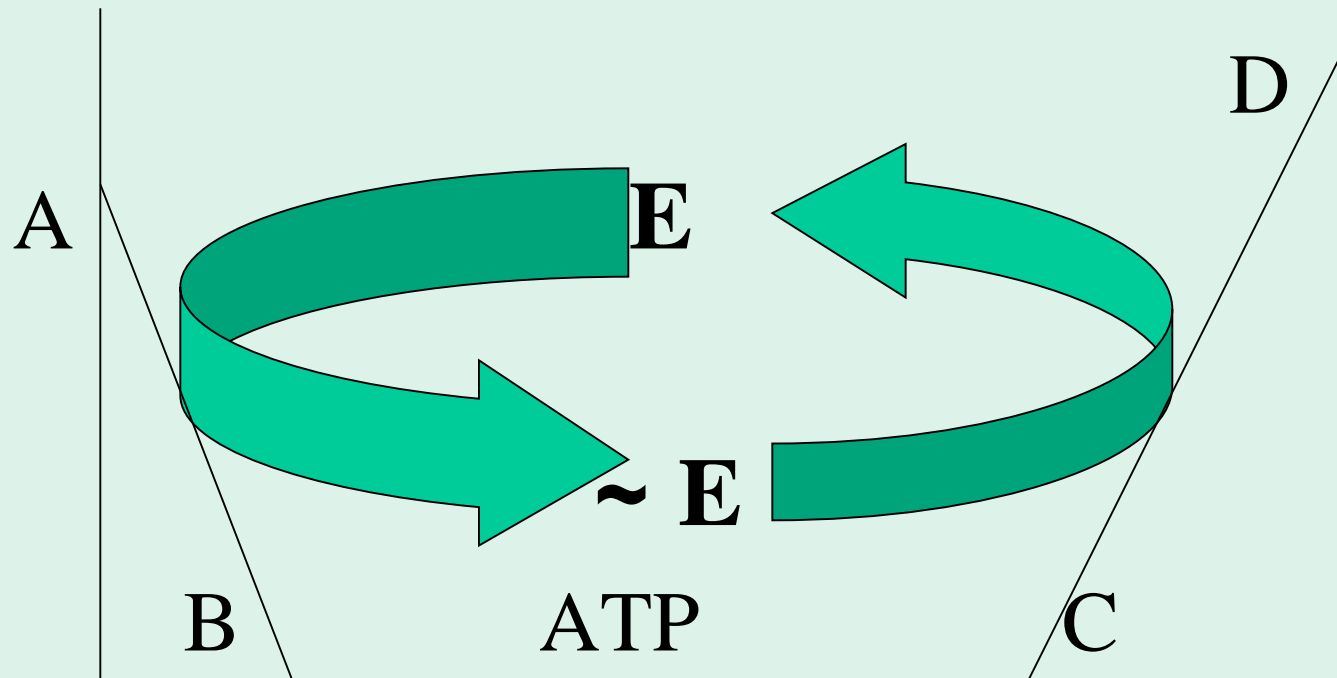
- Dalam otot skelet ikatan fosfat bertenaga tinggi ATP dapat diubah menjadi energi mekanik selama proses kontraksi otot berlangsung.
- **Hukum Termodinamika kedua:**  
: istilah entropi harus dibatasi
- \* Entropi (dilambangkan dengan huruf S): suatu perhitungan atau indikator tingkat kekacauan atau keacakan dalam suatu sistem (energi dalam suatu sistem yang tidak available untuk kerja yang berguna)



**Energi bebas** (lambang G): Energi yang available untuk melakukan pekerjaan yang berguna

**E** : senyawa dengan tenaga potensial rendah

**~ E** : senyawa dengan tenaga potensial tinggi

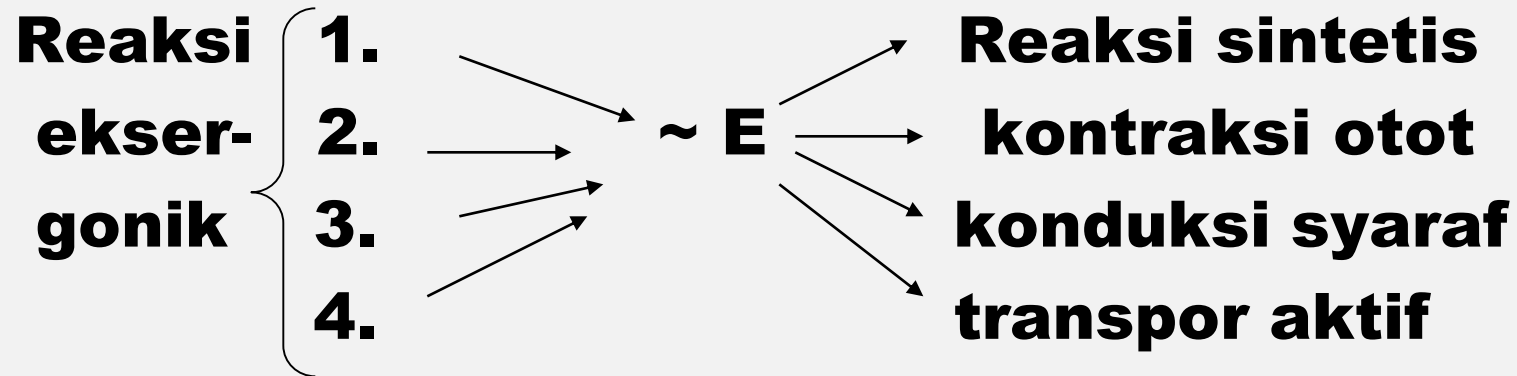


## Lanjutan

\* Pemindahan dari eksergonik ke endergonik melalui  $\sim \mathbf{E}$



\* **Pada sistem biologis biasanya isotermik  $\longrightarrow$  panas tidak dapat dipakai langsung**

\*



# Bagaimana Hukum Termodinamika diterapkan pada sistem biologis?

Tenaga total suatu sistem ditambah lingkungannya adalah konstan

- **Hk. Termodinamika 1:** Hukum kekekalan tenaga  pada perubahan apapun tidak akan hilang ataupun bertambah tenaganya
- Dalam sistem keseluruhan, tenaga dapat dipindahkan dari satu bagian ke bagian lain atau diubah ke dalam bentuk tenaga yang lain
- Contoh: panas  kimia, listrik, radiasi, mekanik

- **Hukum Termodinamika II:**

Entropi total dari suatu sistem meningkat, kalau proses terjadi secara spontan

- Entropi menjadi maksimum apabila sistem mendekati keseimbangan

- **$\Delta G = \Delta H + T \cdot \Delta S$**

**$\Delta G$  = tenaga bebas**

**$\Delta H$  = perubahan entalpi**

**T = suhu absolut**

**$\Delta S$  = perubahan entropi**

- Entropi meningkat berarti banyak energi yang tidak bermanfaat dan proses menjadi kurang spontan

## Pada kondisi biokimiawi

$$\Delta H = \Delta E \quad \Delta G = \Delta E - T.\Delta S$$

**$\Delta E$  = perubahan total energi internal suatu reaksi**

**$\Delta G$  = negatif: reaksi spontan (tenaga bebas lepas) reaksi eksergonik**

**$\Delta G$  = positif: reaksi berlangsung kalau mendapatkan tenaga bebas  $\longrightarrow$  reaksi endergonik, sistemnya stabil**

**$\Delta G$  = besar sekali: reaksi spontan (irreversibel)**

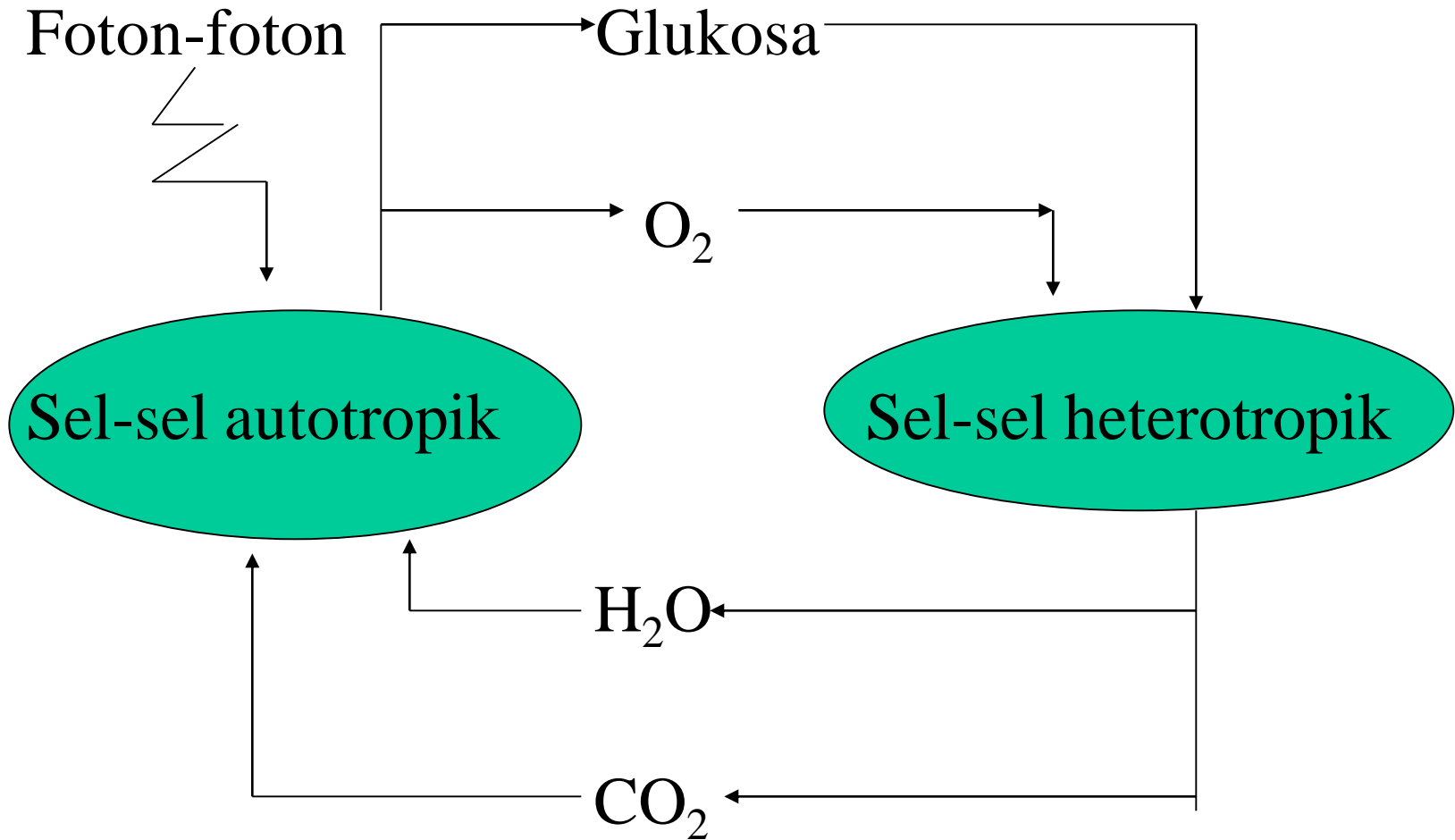
**$\Delta G = 0$  : reaksi seimbang (reversibel)**

# Peran Fosfat Bertenaga Tinggi dalam Bioenergetika dan Penangkapan Energi

- Dalam mempertahankan proses-proses kehidupan, semua organisme harus memperoleh suplai energi bebas dari lingkungannya

## Contoh

- 1. Organisme autotropik: tumbuh-tumbuhan hijau menggunakan energi matahari
- 2. Organisme heterotropik: memperoleh energi bebas dengan merangkaikan metabolisme pada pemecahan molekul-molekul organik yang kompleks disekitarnya.  
Pada proses ini ATP memegang peran utama dalam pemindahan energi bebas dari proses-proses eksergonik ke proses-proses endergonik



**Gambar: Diagram siklus energi dan interaksi antara sel-sel autotropik dan sel-sel heterotropik**

# ENERGI KIMIA

- Di dalam sel, energi dari bahan makanan diikat antara atom-atom secara kovalen
- Dalam sel hidup sejumlah energi tidak segera dibebaskan, dan tidak terjadi perubahan suhu
- Energi yg dibebaskan dalam reaksi eksergonik digunakan untuk berbagai fungsi sel: sintesis molekul baru, kerja mekanik (pembelahan sel, kontraksi otot), transport aktif, mempertahankan potensial membran sel sbg koduksi dan transmisi syaraf, menghasilkan pancaran energi



# IKATAN ENERGI

Lipmann (1941) memperkenalkan 2 senyawa fosfat

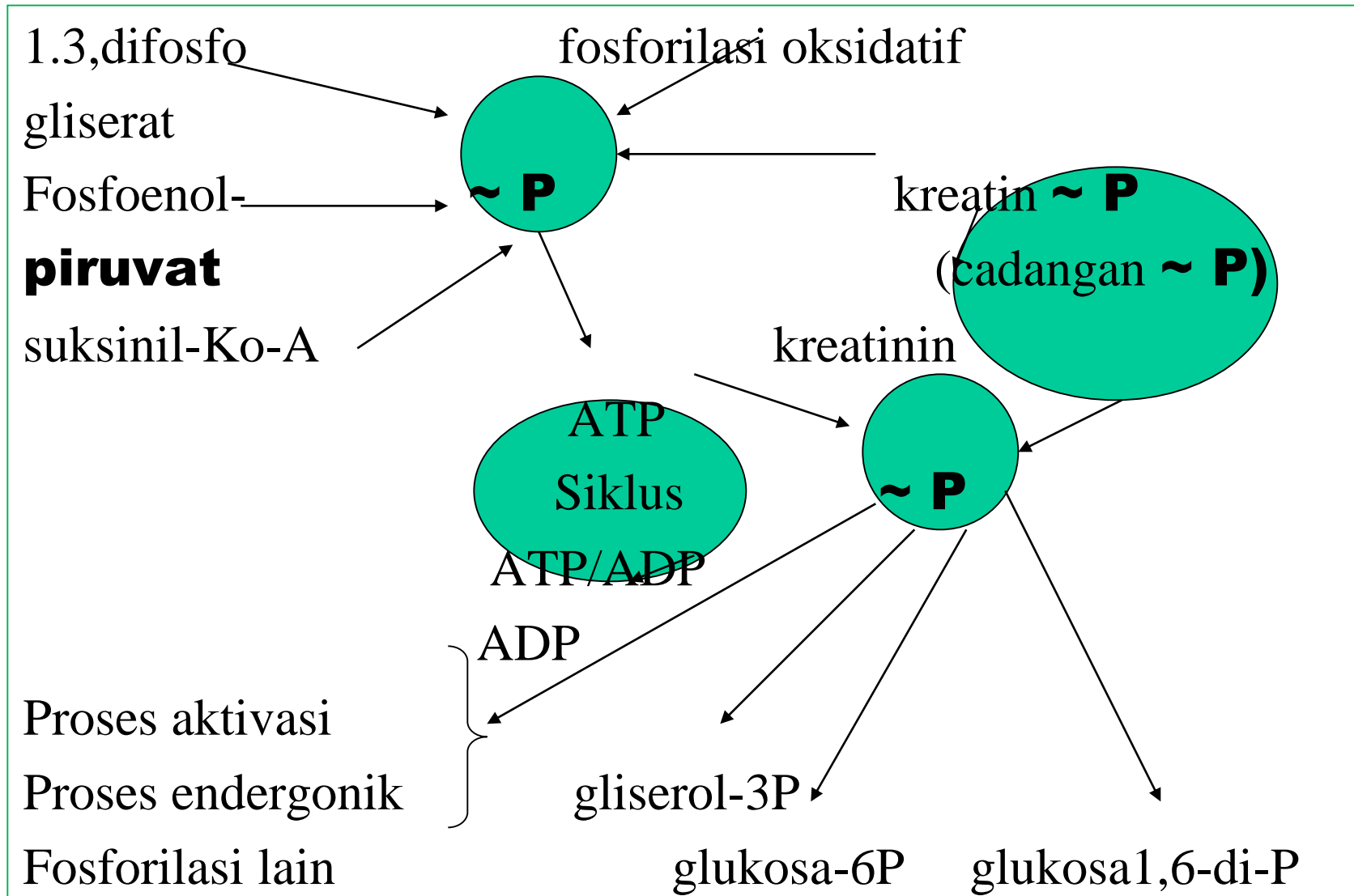
1. Fosfat bertenaga tinggi : **ATP, kreatin fosfat, CTP, UTP, GTP**
2. Fosfat bertenaga rendah: **ADP, CTP** dll.

\* Semua dilibatkan dalam reaksi metabolisme dan semua sumber energi nukleosid trifosfat dari ATP

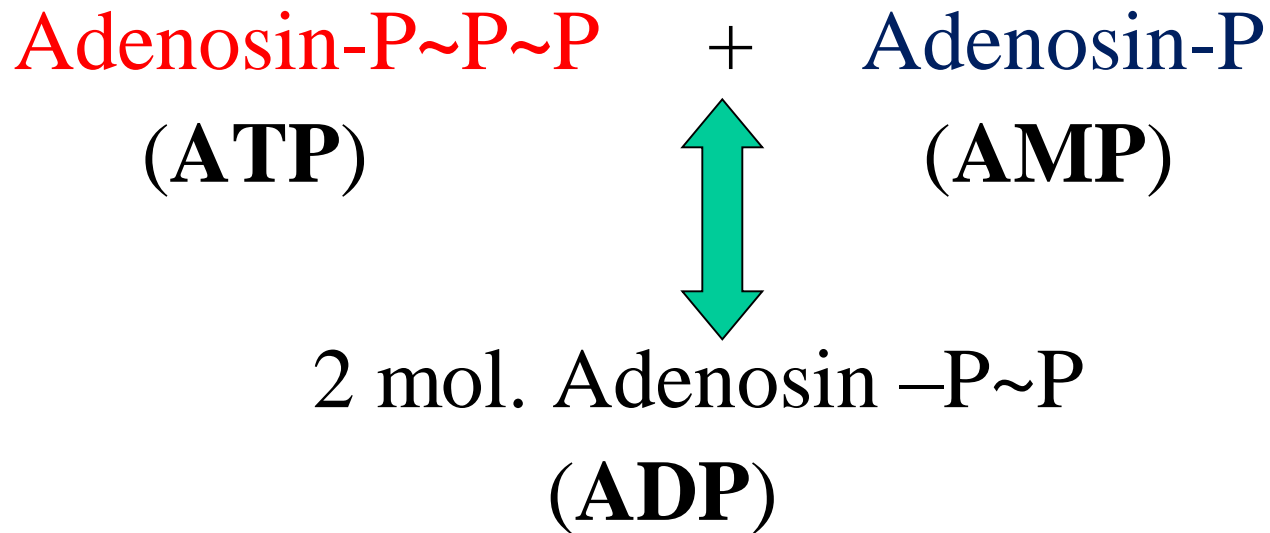
# Empat proses utama yang memberikan ~ P

- Semua reaksi yg dikatalisis oleh ATP-sintetase (pd organisme aerob).
- Tenaga diperoleh dari oksidasi lewat rantai respirasi yang berlangsung di mitokondria: proses fosforilasi oksidatif
- **Proses oksidasi glukosa melalui alur glikolisis (Emden Meyerhoff)**
- Dekarboksilasi oksidatif piruvat menjadi asetil-KoA
- Alur siklus asam sitrat, bentuk ATP pd reaksi yg dikatalisis suksinil\_tiokinase

# Peranan ATP/ADP dalam Transfer Fosfat Tenaga Tinggi



# Interkonversi Adenin nukleotida



## Kepentingan

1. Tenaga tinggi dalam ADP dapat digunakan untuk pembentukan ATP
2. AMP dapat mengalami refosforilasi menjadi ATP

# Glycolysis- 10 steps

- Glucose is Phosphorylated to form Fructose 1,6-diphosphate
- Split to form 2 Glyceraldehyde 3-phosphate
- Final Products are:
  - **2 Pyruvic Acid ( $C_3H_4O_3$ )**
    - Compare to original glucose -  $C_6H_{12}O_6$
  - **2 NADH**
  - **2 ATP**



# Transition Reaction

- **Pyruvic Acid  $\rightarrow$  Acetyl - Co A + CO<sub>2</sub> + NADH**
- **C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>**



# Kreb's Cycle

- Figure E.3, A29
- Acetyl CoA → Carbon Dioxide
  - $C_2H_4O_2$  to  $CO_2$
  - Energy produced/Acetyl CoA (x2 for /Glucose)
    - **3 NADH**
    - **1 FADH**
    - **1 ATP**
- Metabolic Wheel
  - Fats, amino acids, etc. enter or leave
  - Citrate is product of first reaction
    - Simmons Citrate Media



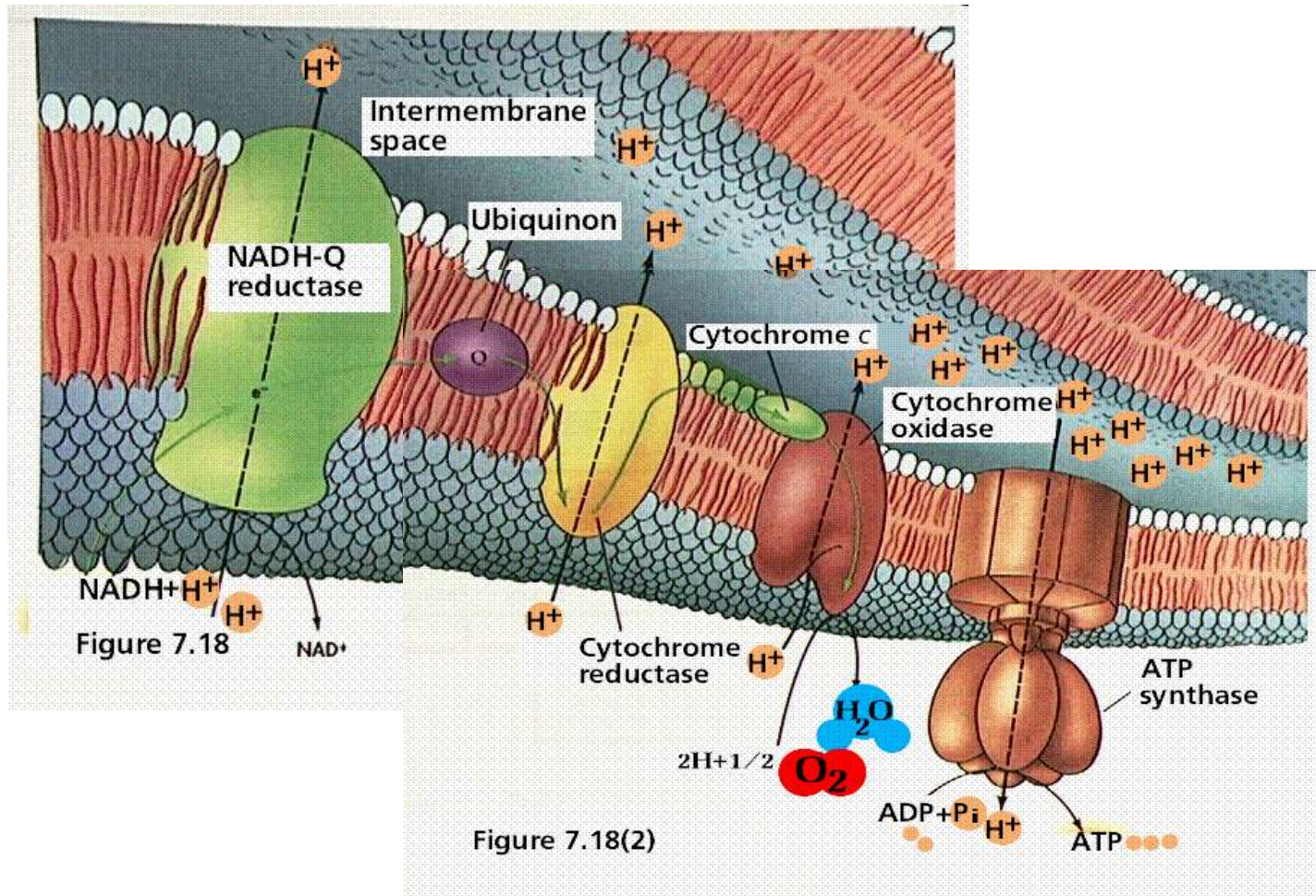
# Electron Transport Chain

- NADH oxidized to NAD
- FAD reduced to FADH
- Cytochromes shuffle electrons finally to O<sub>2</sub>
  - Cytochrome Oxidase important in G - ID
- H<sub>2</sub>O formed and ATP
- **3 ATP / 1 NADH**
- **2 ATP / 1 FADH**

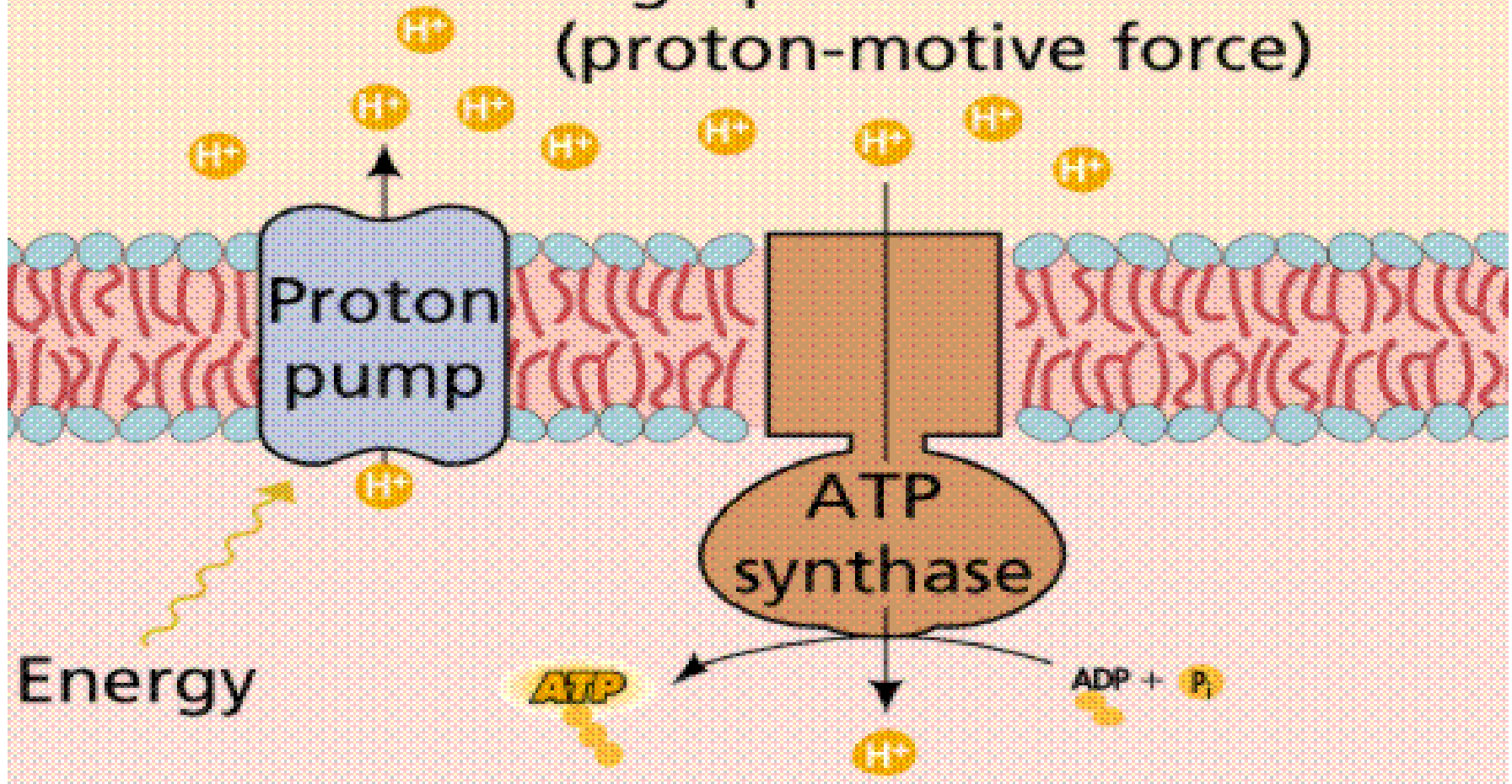


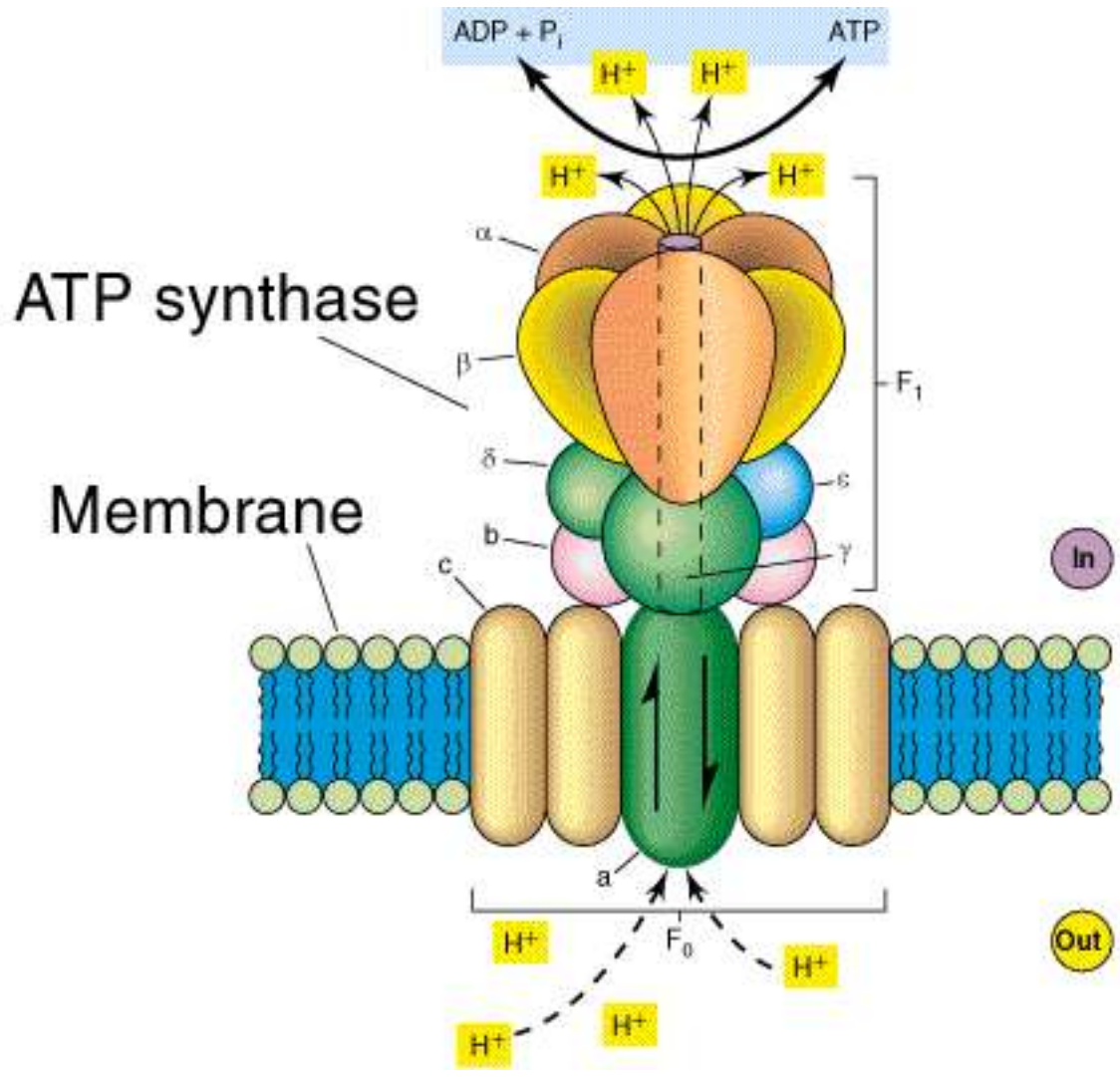
PROKARYOTIC METABOLIC PROCESS	NUMBER OF ATP MOLECULES	
	ANAEROBIC CONDITIONS	AEROBIC CONDITIONS
<b>Glycolysis</b>		
Substrate level	4	4
Hydrogen to NAD	0	6
<b>Pyruvate to acetyl-CoA</b>		
Hydrogen to NAD	0	6
<b>Krebs cycle</b>		
Substrate level	0	2
Hydrogen to NAD	0	18
Hydrogen to FAD	0	4
Less energy for phosphorylation	<u>-2</u>	<u>-2</u>
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>38</b>

# Rantai Respiratorik (Rantai Perpindahan Elektron)

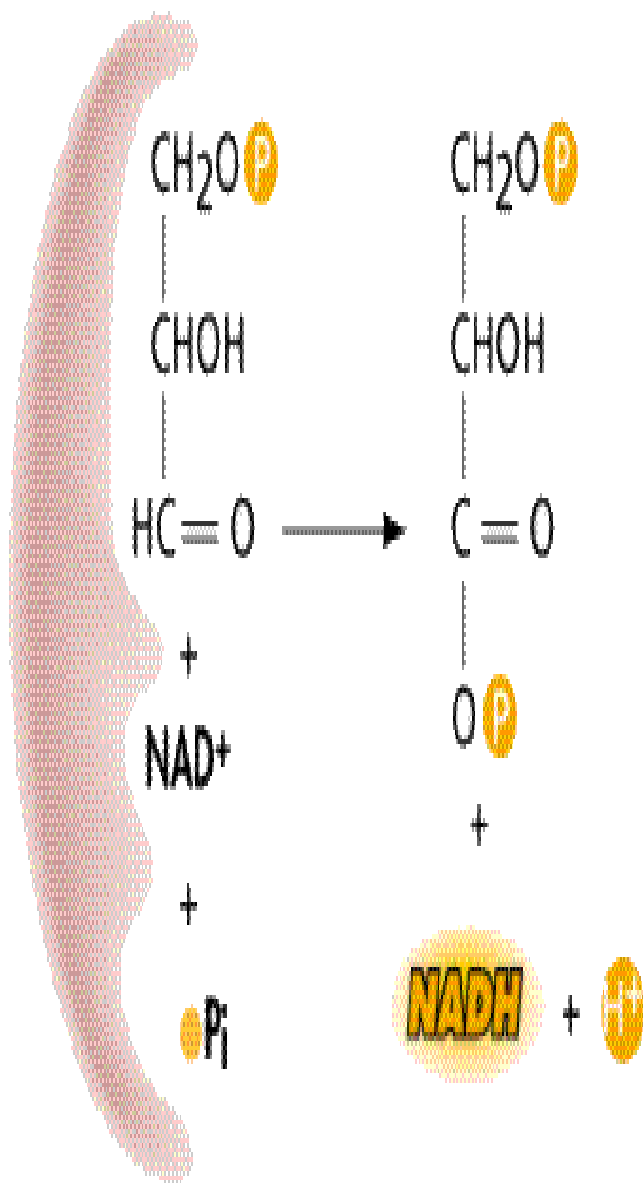


High proton concentration  
(proton-motive force)

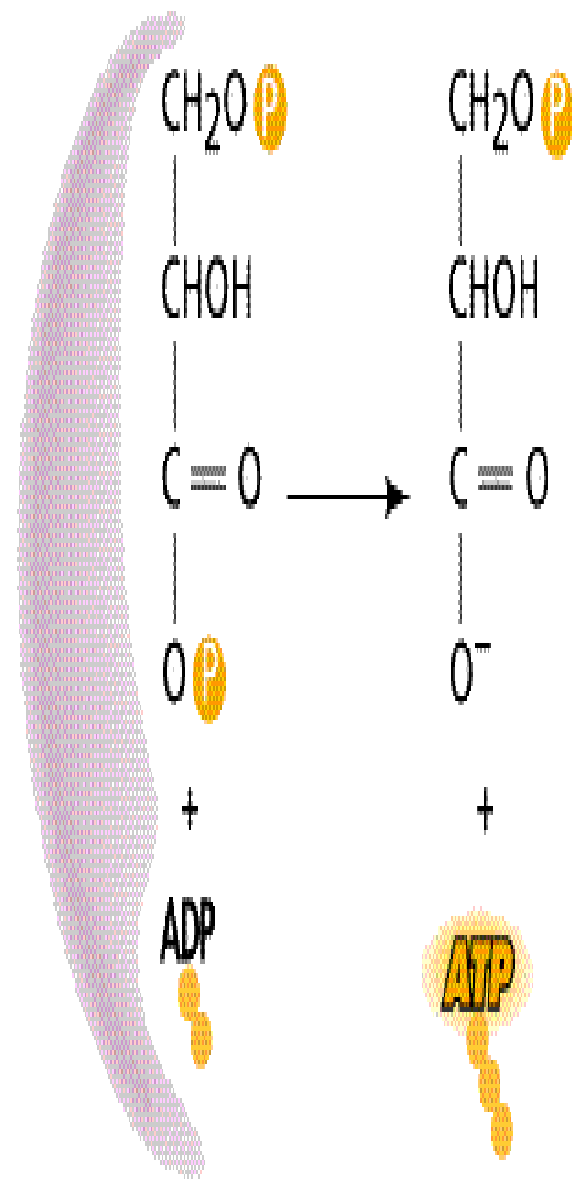




Enzyme  
I



Enzyme  
II



# PEMECAHAN ZAT-ZAT GIZI

## SUMBER ENERGI

- **SUMBER ENERGI : MENGANDUNG CHO**
  - **GLUKOSA**
  - **ASAM LAKTAT**
  - **ALKOHOL**
  - **GLISEROL + ASAM LEMAK**
  - **ASAM AMINO**

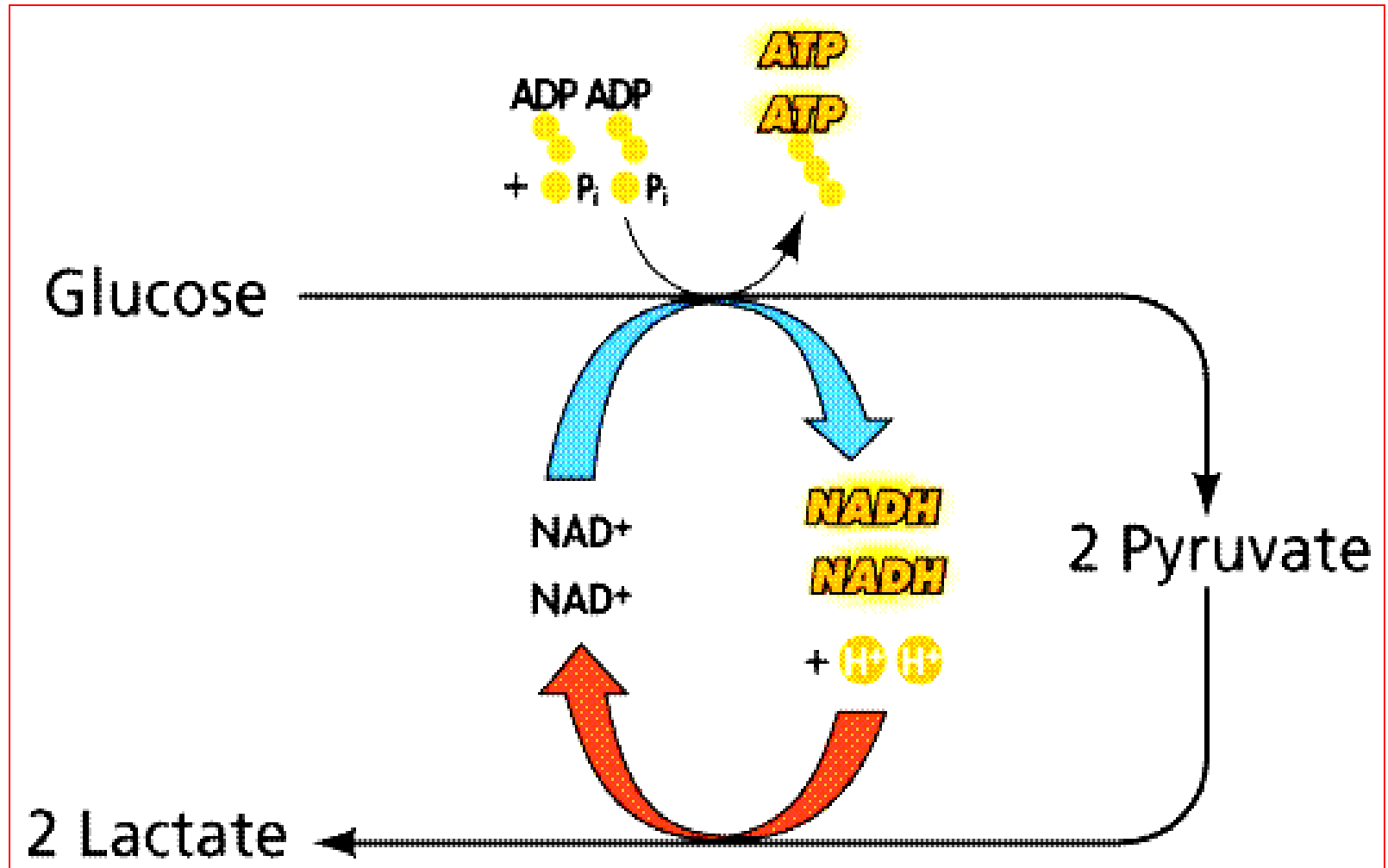


# METABOLISME GLUKOSA

## JALUR PEMBENTUKAN ENERGI :

- **GLIKOLISIS ANAEROB** : PEMECAHAN GLUKOSA (OKSIDASI) DALAM KEADAAN ANAEROB =TANPA OKSIGEN (SEDIKIT OKSIGEN)
  - **HASIL AKHIR = ASAM LAKTAT**
  - **JUMLAH ATP = 2 ATP**
- **GLIKOLISIS AEROB** = PEMECAHAN GLUKOSA (OKSIDASI) DALAM KEADAAN AEROB = MEMERLUKAN OKSIGEN (CUKUP OKSIGEN)
  - **HASIL AKHIR : 6 CO<sub>2</sub> + 38 ATP**

# Glikolisis Anaerob





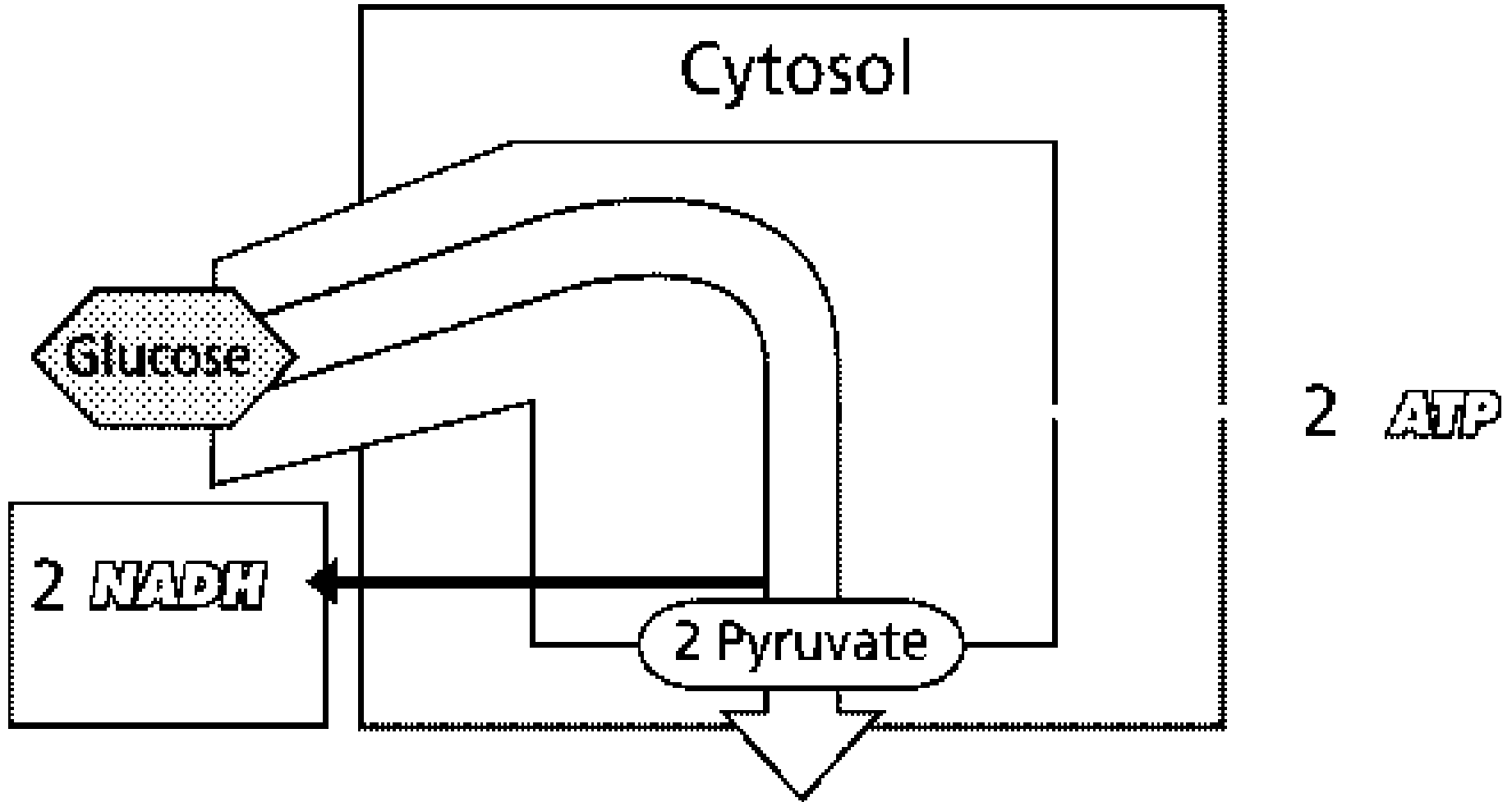
# JUMLAH ATP PADA JALUR GLIKOLISIS

- **TOTAL : 10 ATP**
- **DIGUNAKAN PADA JALUR INI : 2 ATP**
  - Terbentuk Asam Laktat : menggunakan 6 ATP dari NADH+ H+
  - Sehingga Total ATP :  $10 \text{ ATP} - 8 \text{ ATP} = 2 \text{ ATP}$

# Glikolisis Aerob

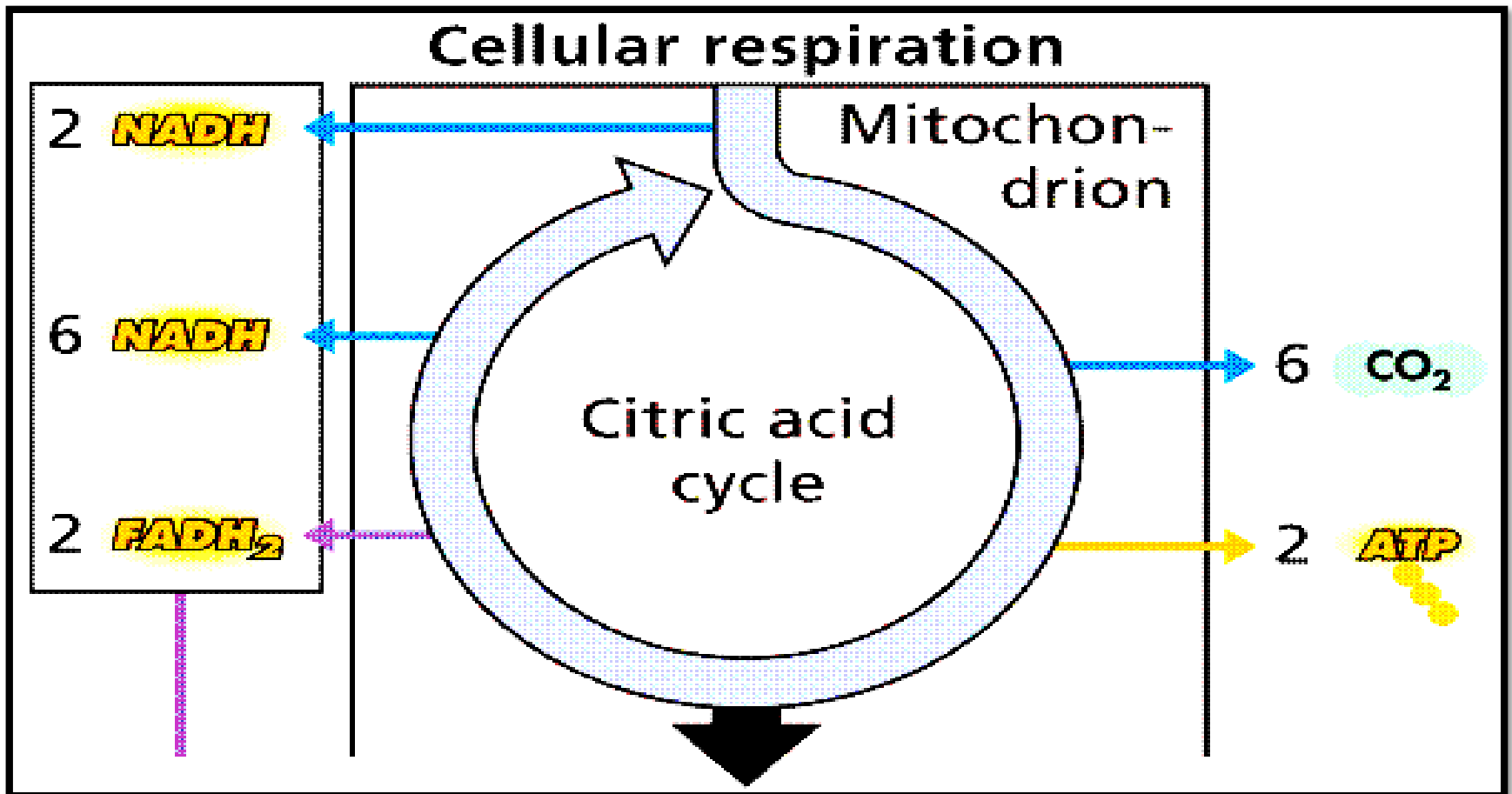
- **Glikolisis Glukosa** → Asam Piruvat =  $10 \text{ ATP} - 2 \text{ ATP} = 8 \text{ ATP}$ .
- **Dekarboksilasi Oksidasi Asam Piruvat**
  - Asam Piruvat -----→ Hidroksietil tiamin difosfat -----→ Asetil Lipoamida --→ Asetil Ko-A +  $\text{NADH}^+ + \text{H}^+$  (1 mol Glukosa →  $2 \text{ NADH}^+ + \text{H}^+ = 2 \times 3 \text{ ATP} = 6 \text{ ATP}$ ).
- **Siklus Asam Sitrat**
  - Kondensasi Oksalo asetat + asetil ko-a → Sitrat dst sampai terbentuk kembali Oksalo asetat (C-C-C-C) menghasilkan =  $2 \text{ Co}_2 + 12 \text{ ATP}$  tiap 1 mol Asetil Ko-A
    - **2  $\text{Co}_2$**
    - **3  $\text{NADH}^+ + \text{H}^+ = 3 \times 3 \text{ ATP}$**
    - **1  $\text{FADH}_2 = 2 \text{ ATP}$**
    - **1  $\text{GTP} = 1 \text{ ATP}$**
  - 1 mol Glukosa = 2 Asetil Ko-A =  $2 \times (2 \text{ CO}_2 + 12 \text{ ATP}) = 4 \text{ Co}_2 + 12 \text{ ATP}$

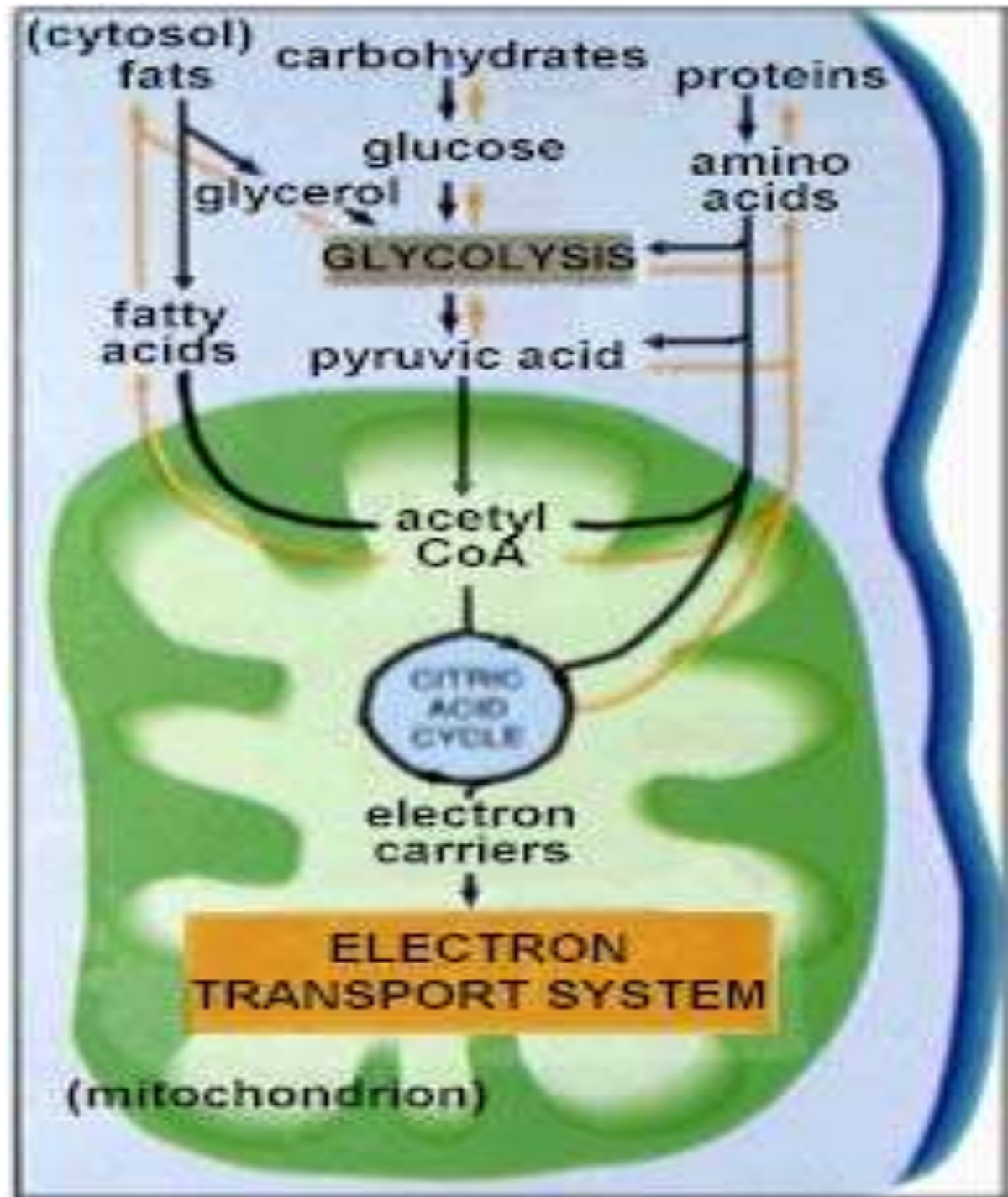
# Glycolysis



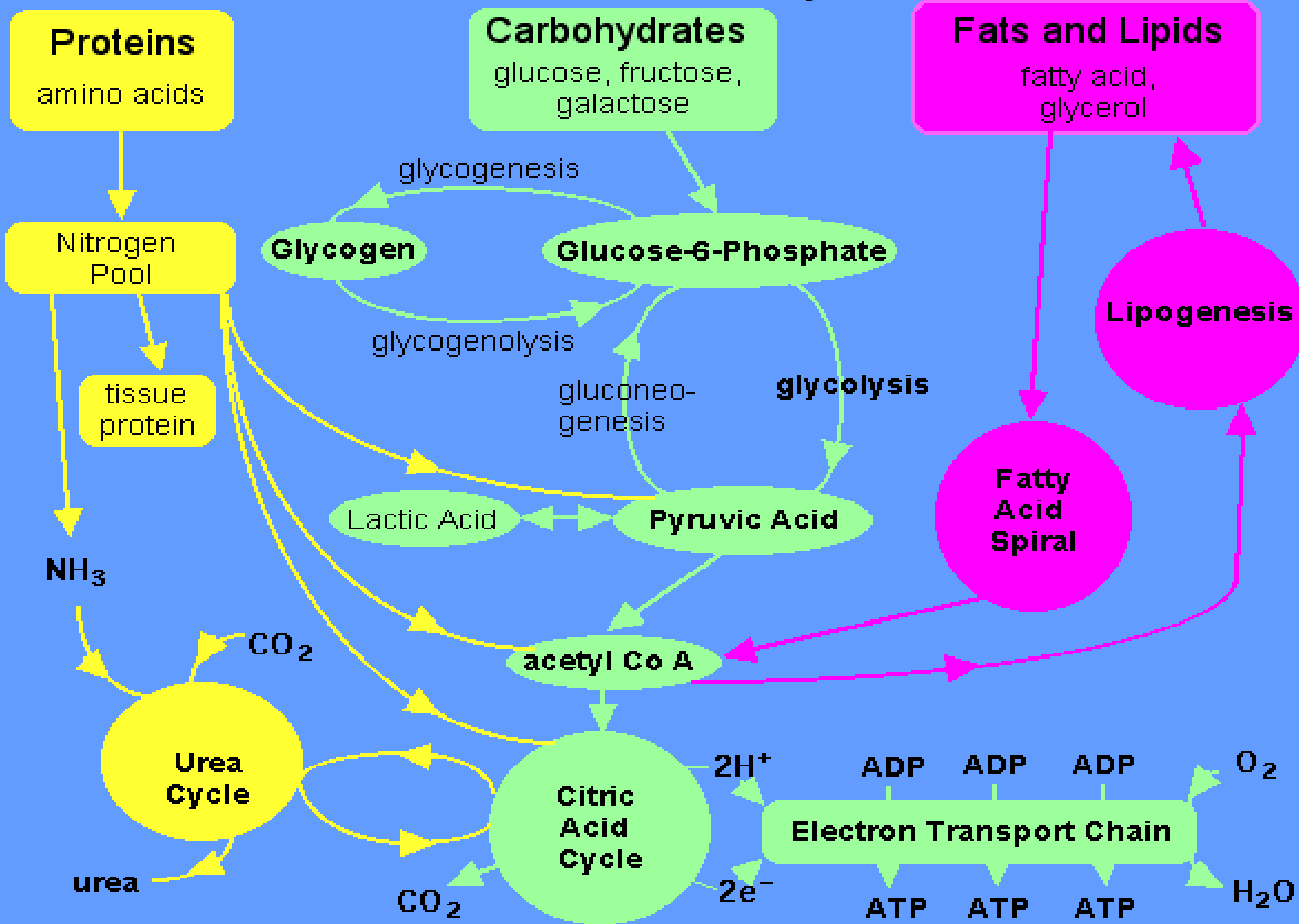
Cellular respiration

# Siklus Pembentukan Sumber ATP secara Glikolisis Aerob





# Metabolism Summary





**SUKSES SLALU**



Sukses selalu