



RESPIRASI SEL

1. Respirasi Anaerob:

🍏 Glikolisis

🍏 Fermentasi

- Alkohol
- Asam laktat

2. Aerobic Respiration

- Siklus Krebs
- Rantai transport Electron

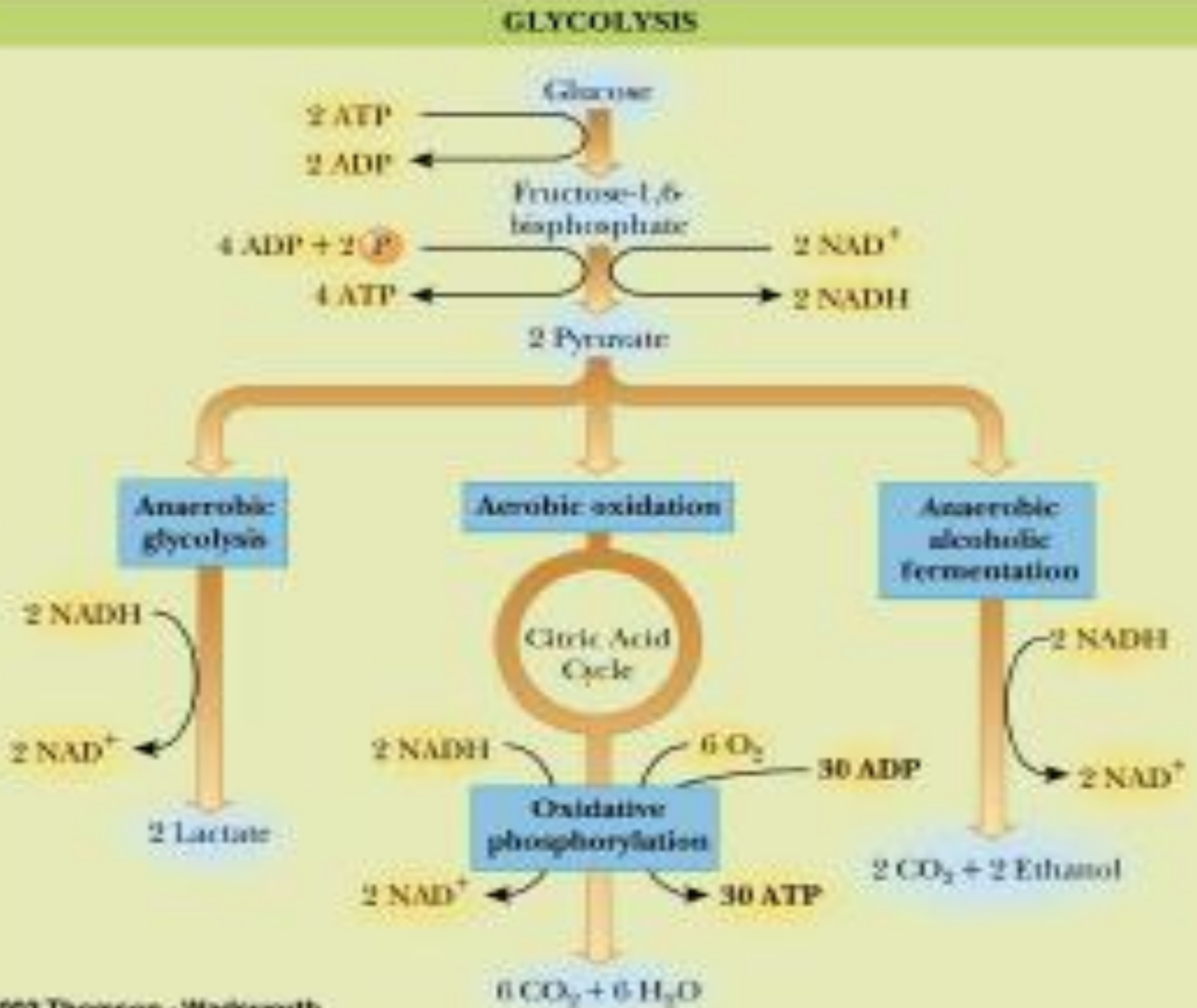


Respirasi Sel

Terjadi melalui 3 tahap (secara ringkas):

1. **Glikolisis:** terjadi pada sitosol, merubah molekul glukosa menjadi dua molekul piruvat.
 2. **Siklus Krebs:** terjadi pada matriks mitokondria, merubah derivat piruvat (asetil coA) menjadi CO₂. Pada beberapa tahap glikolisis dan siklus Krebs terjadi transfer electron ke NAD⁺ dan mereduksinya menjadi NADH, dan ada juga dari FAD menjadi FADH₂.
 3. **Transport elektron dan oksidasi-fosforilasi.** Terjadi pada membran dalam mitokondria. NADH dan FADH₂ menghantarkan electron ke sistem transport electron yang digunakan dalam pembentukan air dari ion hydrogen dan oksigen. Seluruh energi yang dilepas selama tahap transport electron digunakan untuk sintesa ATP melalui oksidasi fosforilasi. Sekitar 38ATP dibentuk dari setiap molekul glukosa.
-

Ringkasan respirasi sel



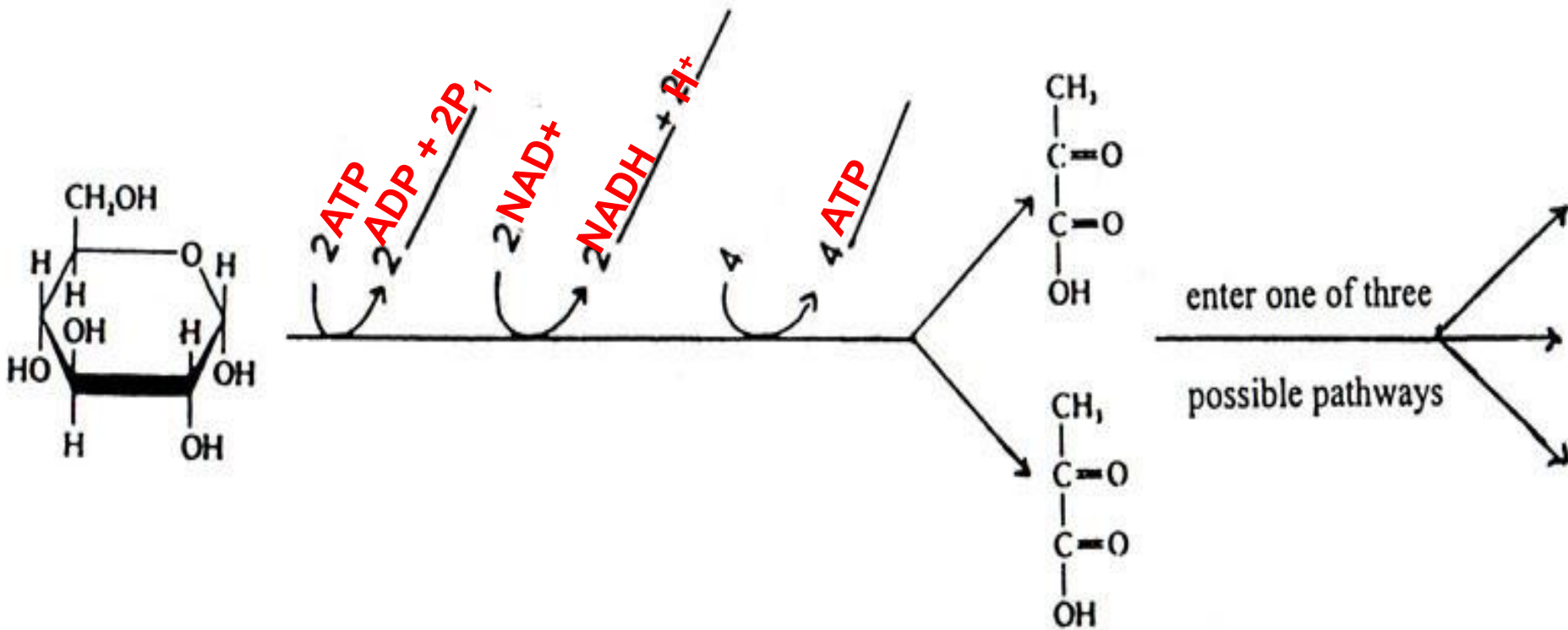
1. Glikolisis

- Melalui 9 tahap reaksi, masing-masing dikatalisis oleh enzim khusus, semua organisme melakukan proses ini dalam sitoplasmanya.
- Pada tahap reaksi ke 1 dan ke 3 ATP diubah menjadi ADP, memasukkan energi ke dalam reaksi dan memasukkan gugus fosfat ke glukosa. Pada tahap reaksi ke 6 dan 9, ADP diubah menjadi ATP yang energinya lebih tinggi. Pada tahap 5, NAD^+ diubah menjadi $\text{NADH} + \text{H}^+$.
- Proses ini berlangsung pada glukosa (6-C), sampai pada tahap 4 terjadi pemecahan dari 6-C menjadi 2 senyawa 3-C, yaitu Glyceraldehyde phosphate (GAP, disebut juga phosphoglyceraldehyde, PGAL). Dihydroxyacetone phosphate dapat diubah menjadi GAP oleh enzim Isomerase.
- Akhir reaksi glikolisis dihasilkan **2 molekul asam piruvat (3-C)**, **serta 2 ATP dan 2 NADH** per glukosa.

Glycolysis Outline

Glycolysis (1st step of all respiratory pathways)

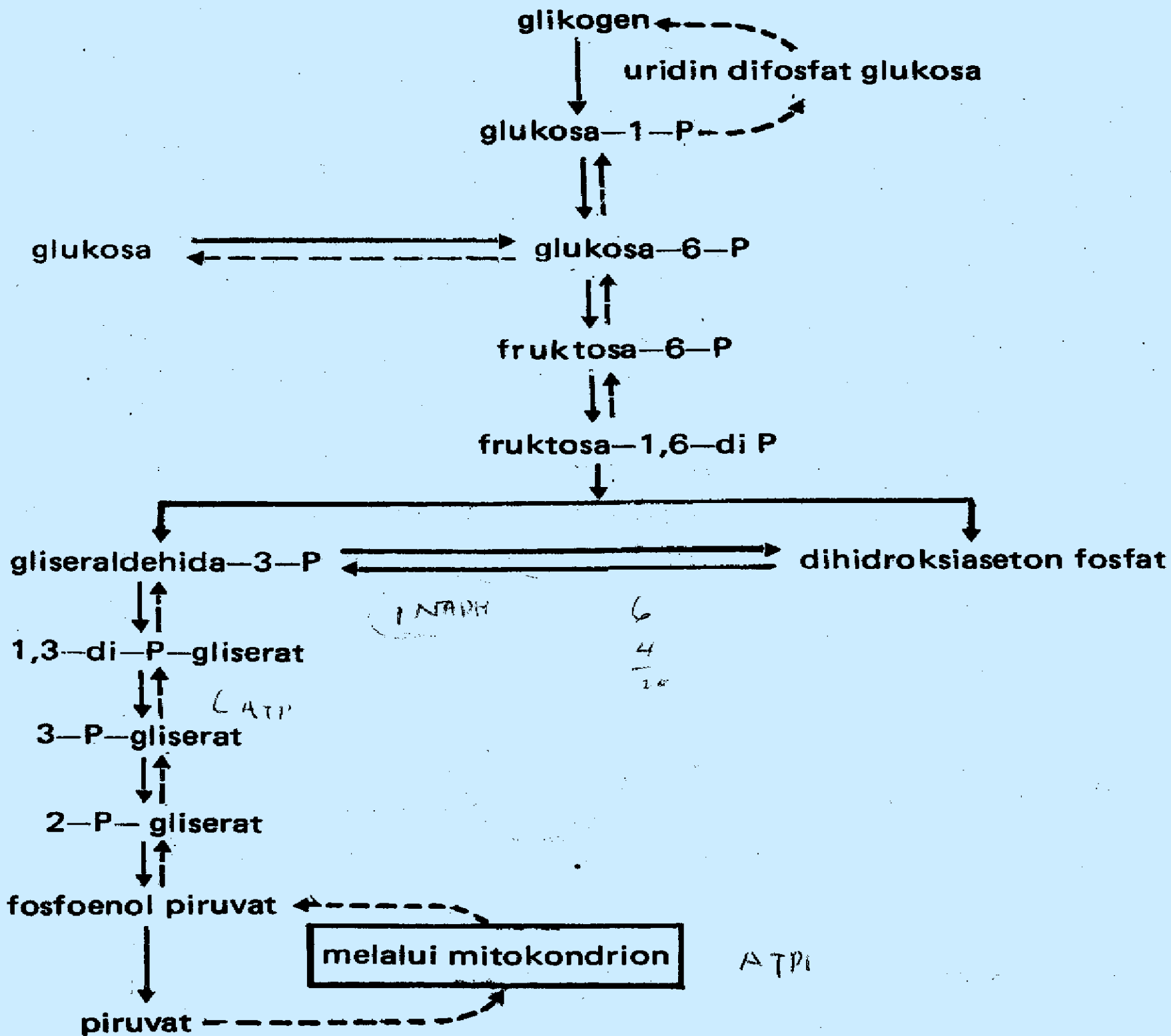
occurs in the **cytoplasm** of the cell; has **9** steps catalyzed by **9** enzymes



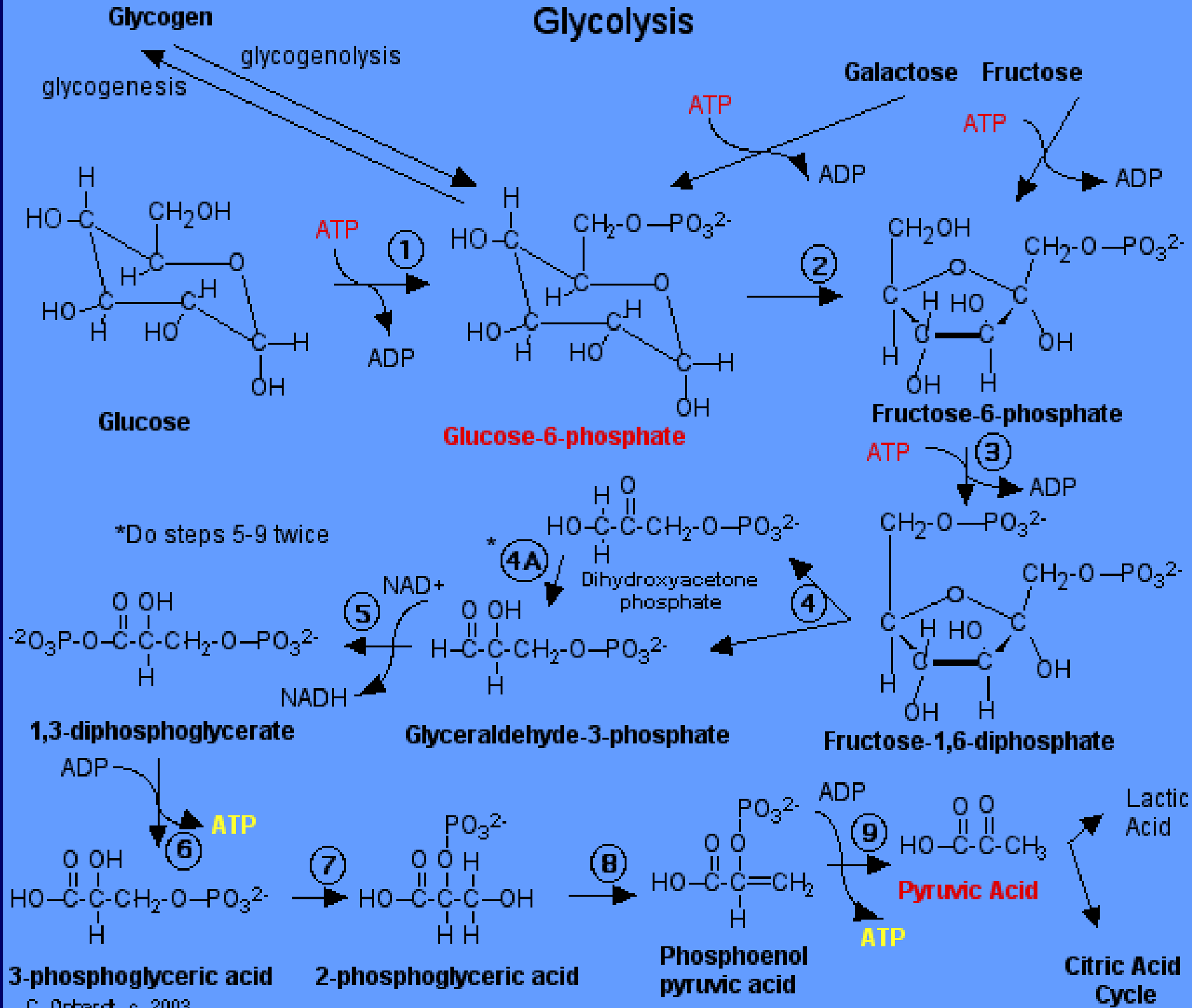
glucose

2 pyruvic acid

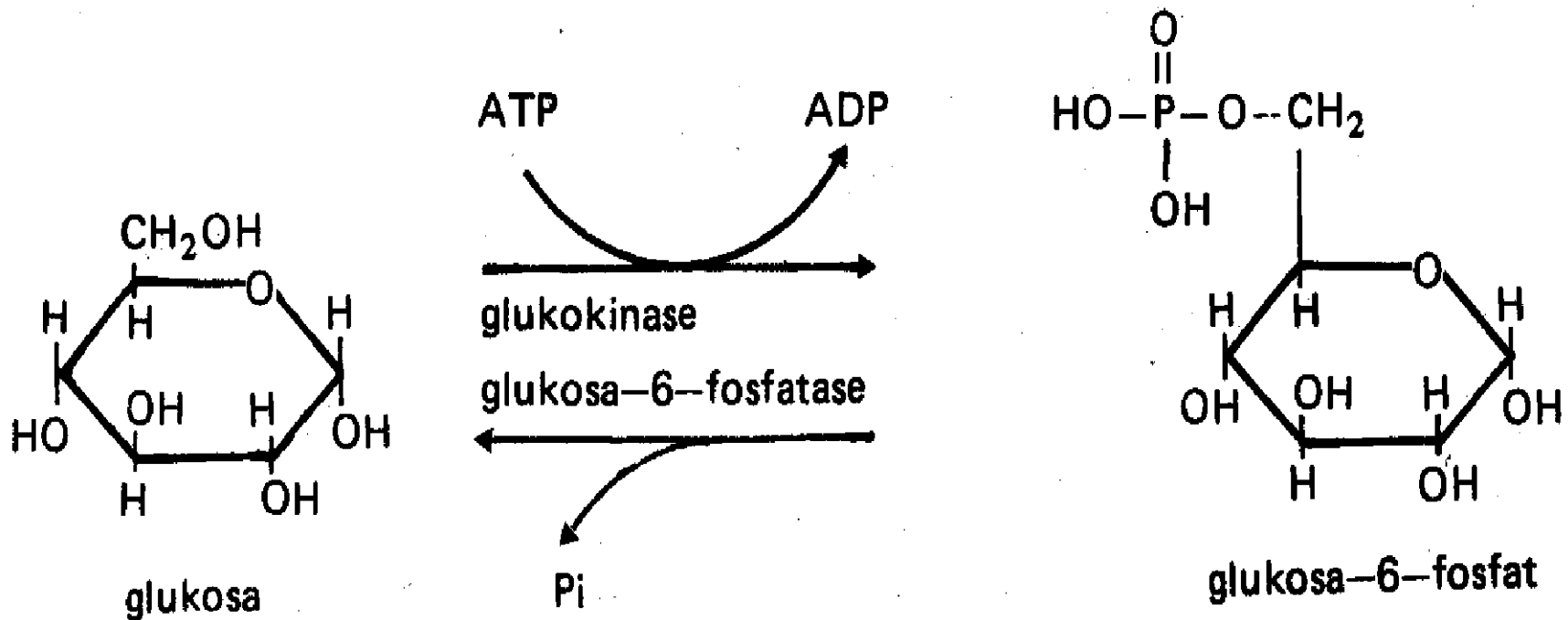
(each with much potential energy available in its bonds)



Glycolysis

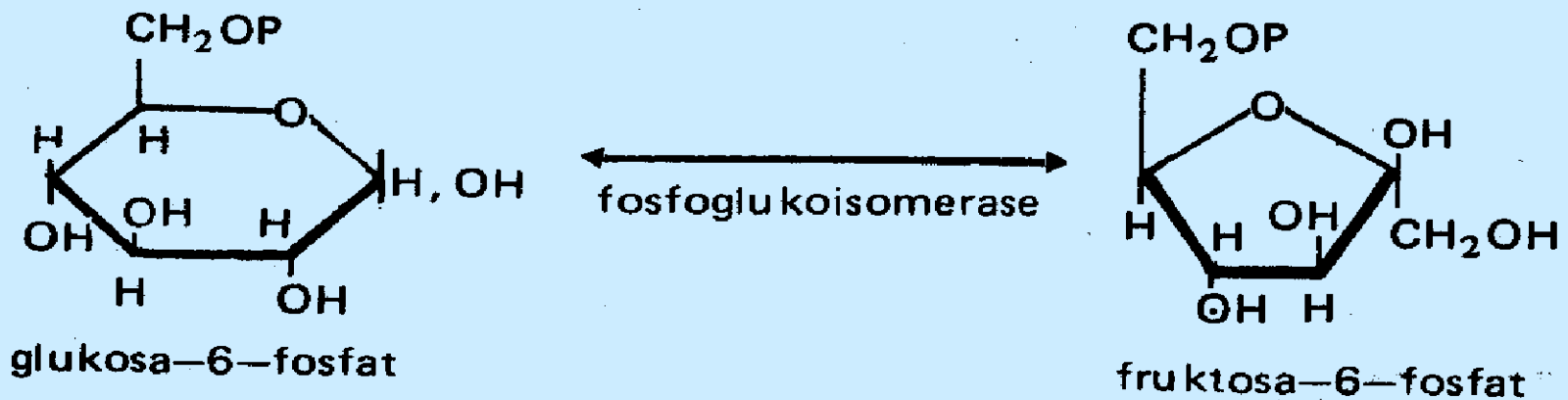


Tahapan Reaksi Glikolisis

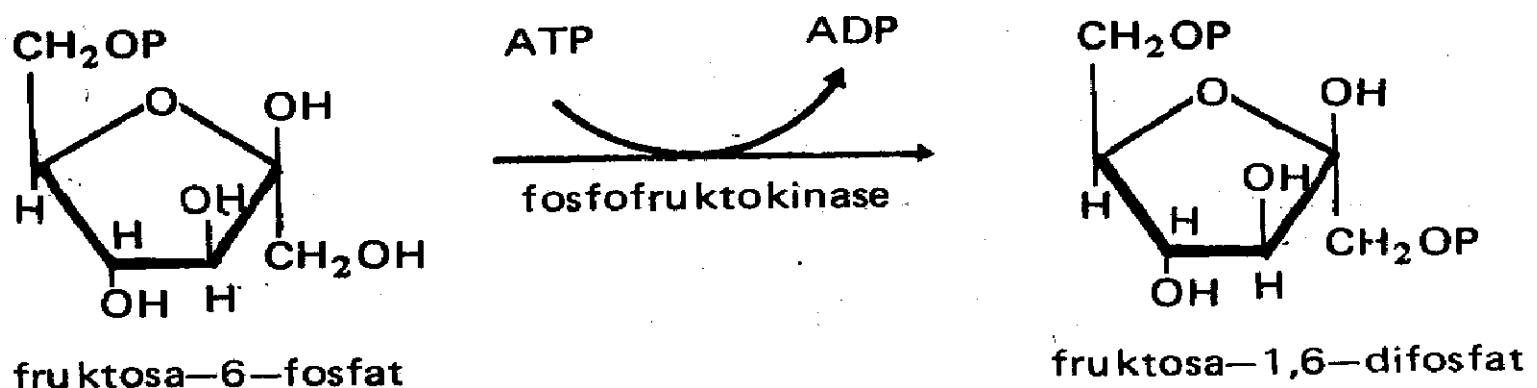


Gambar 3.12 Reaksi perubahan glukosa menjadi glukosa-6-fosfat, dikatalisis oleh enzim *glukokinase* (reaksi fosforilasi) dan enzim *glukosa-6-fosfatase* (reaksi defosforilasi).

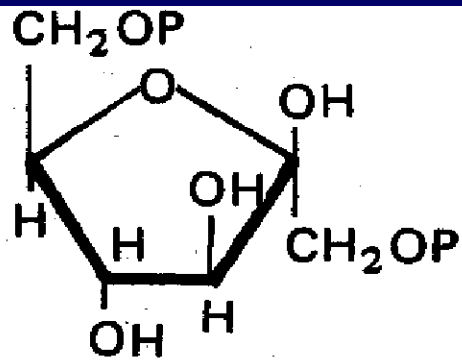
Tahapan Reaksi Glikolisis



Gambar 3.13 Glikolisis: reaksi enzim *fosfoglukoisomerase*.

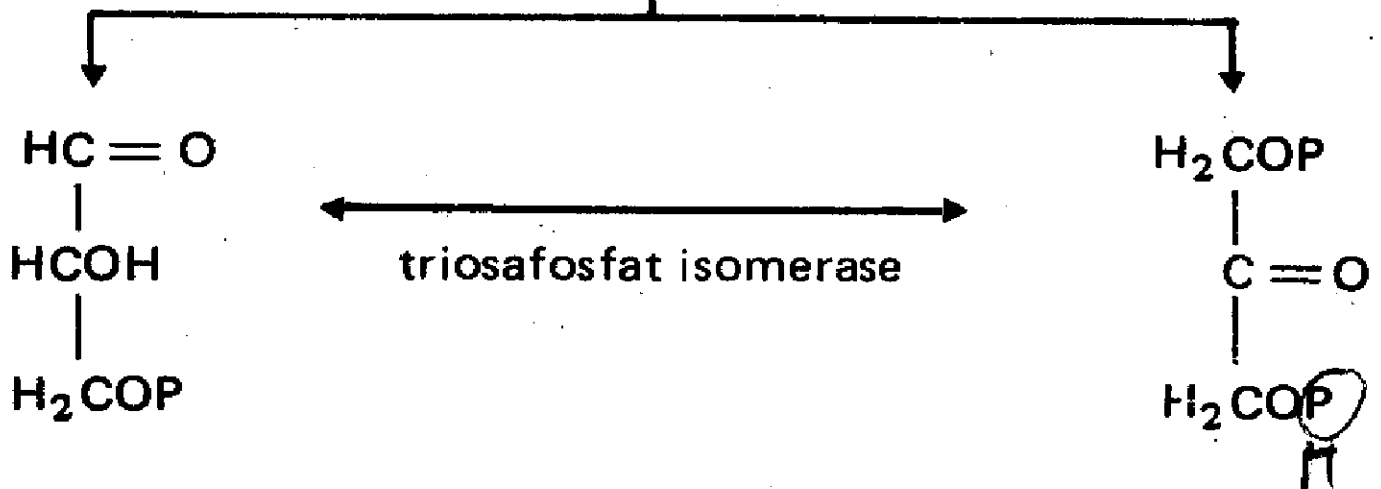


Gambar 3.14 Glikolisis: reaksi enzim *fosfofruktokinase*.



fruktosa-1,6-difosfat

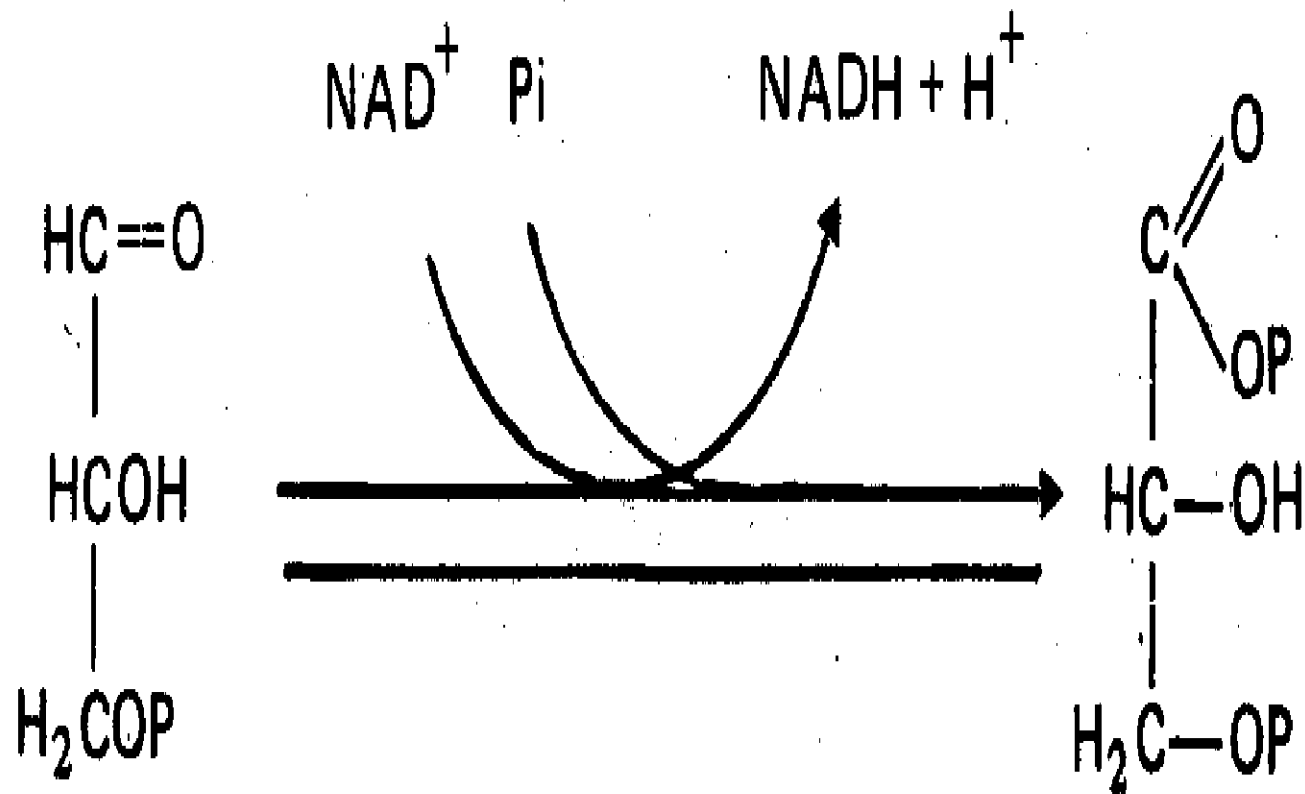
aldolase



gliseraldehida-3-fosfat

dihidroksiaseton fosfat

Gambar 3.15 Glikolisis: reaksi enzim *aldolase* dan *triosafosfat isomerase*.

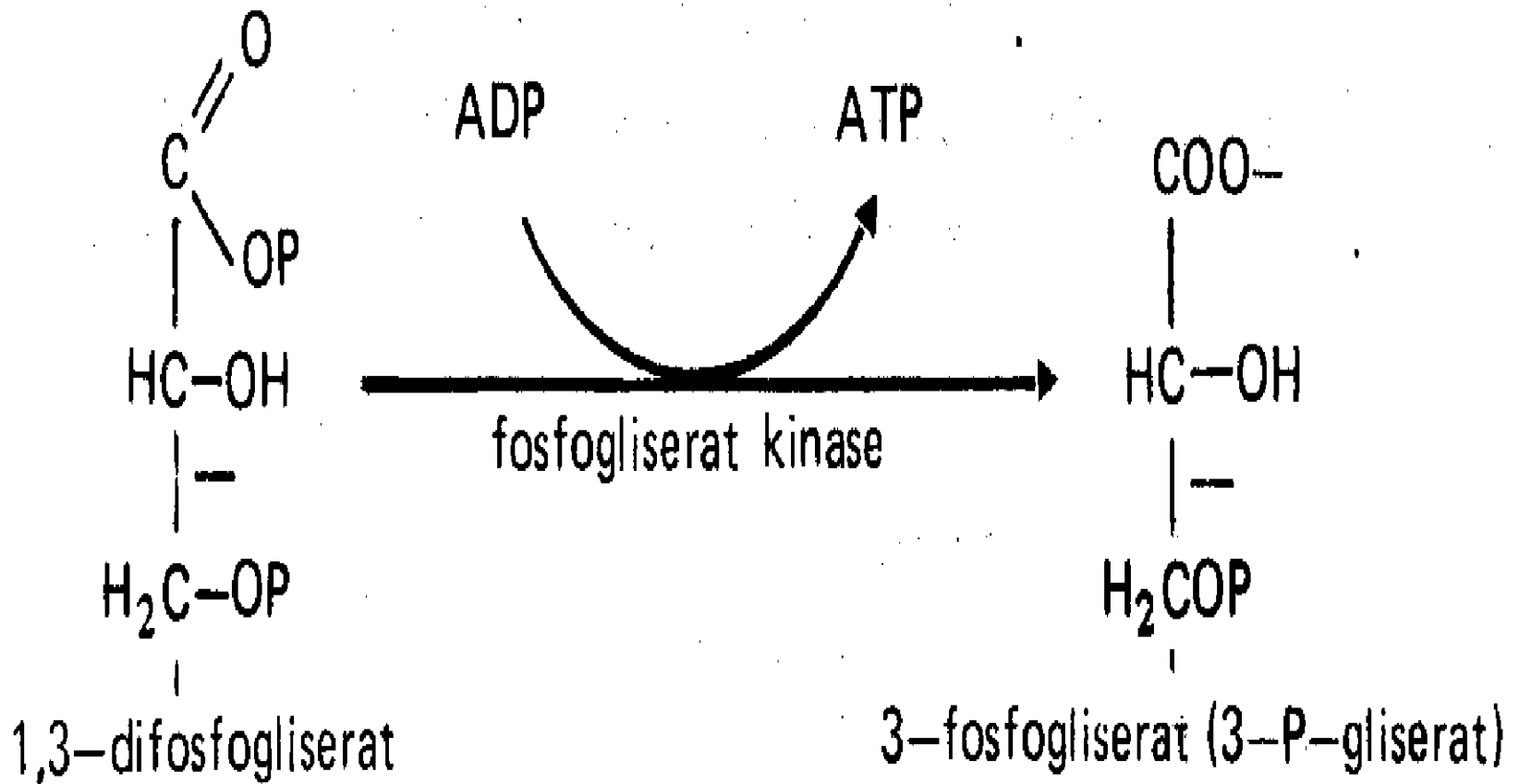


gliseraldehida-3-fosfat

1,3-difosfogliserat

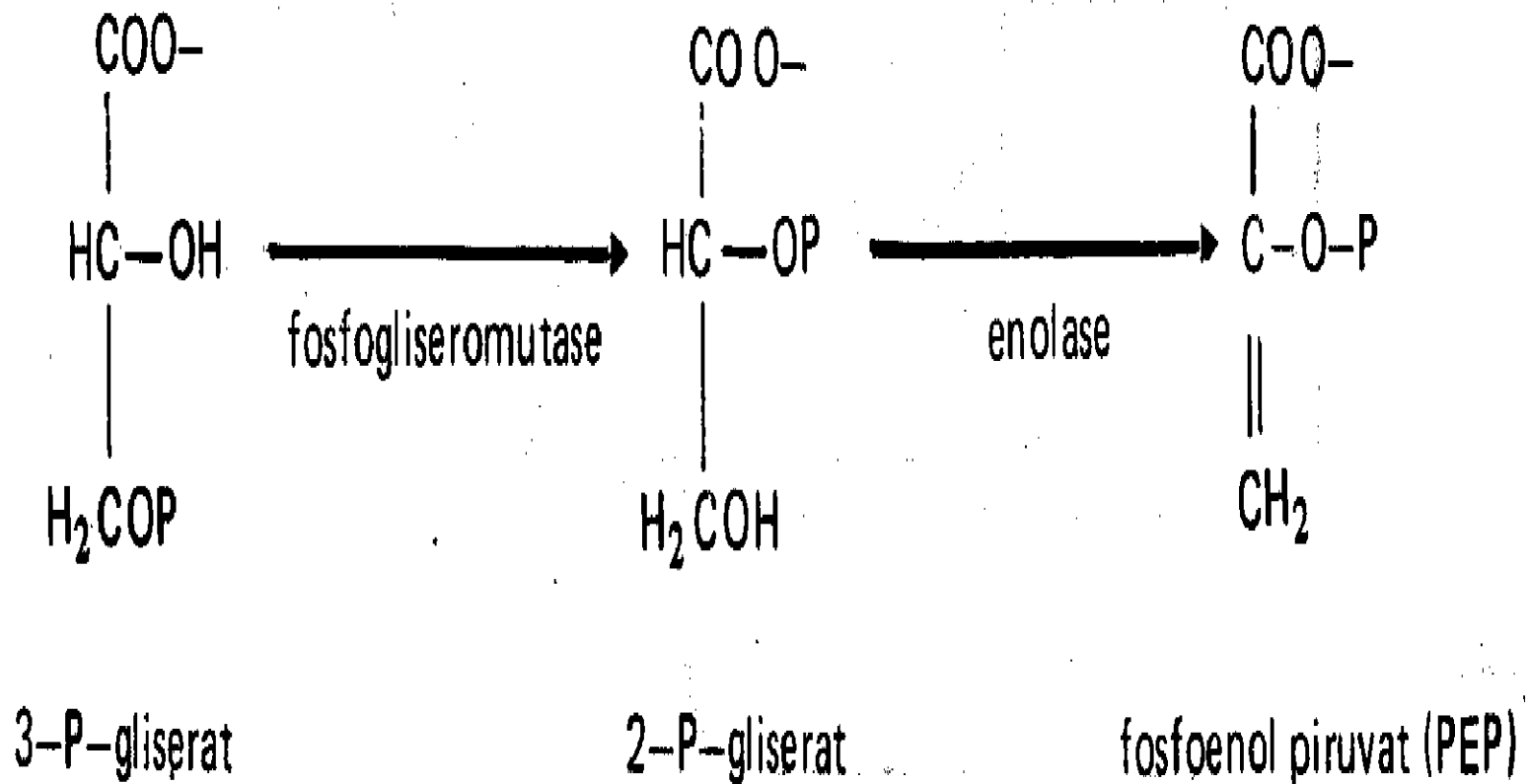
Gambar 3.16 Glikolisis: reaksi enzim *gliseraldehida fosfat dehidrogenase*.

Reaksi enzim fosfogliserat kinase



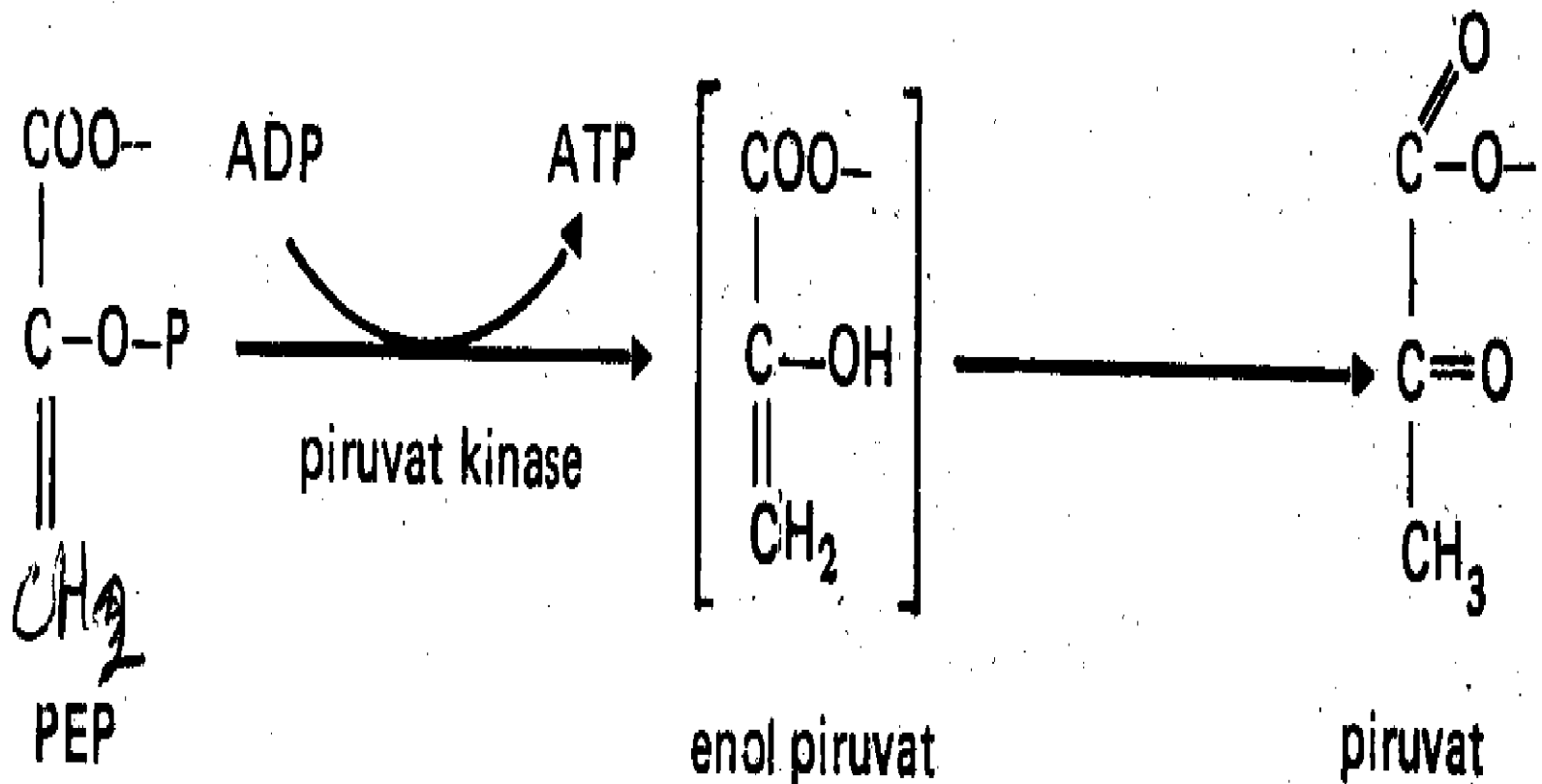
Gambar 3.18 Glikolisis: reaksi enzim *fosfogliserat kinase*.

Reaksi pembentukan PEP



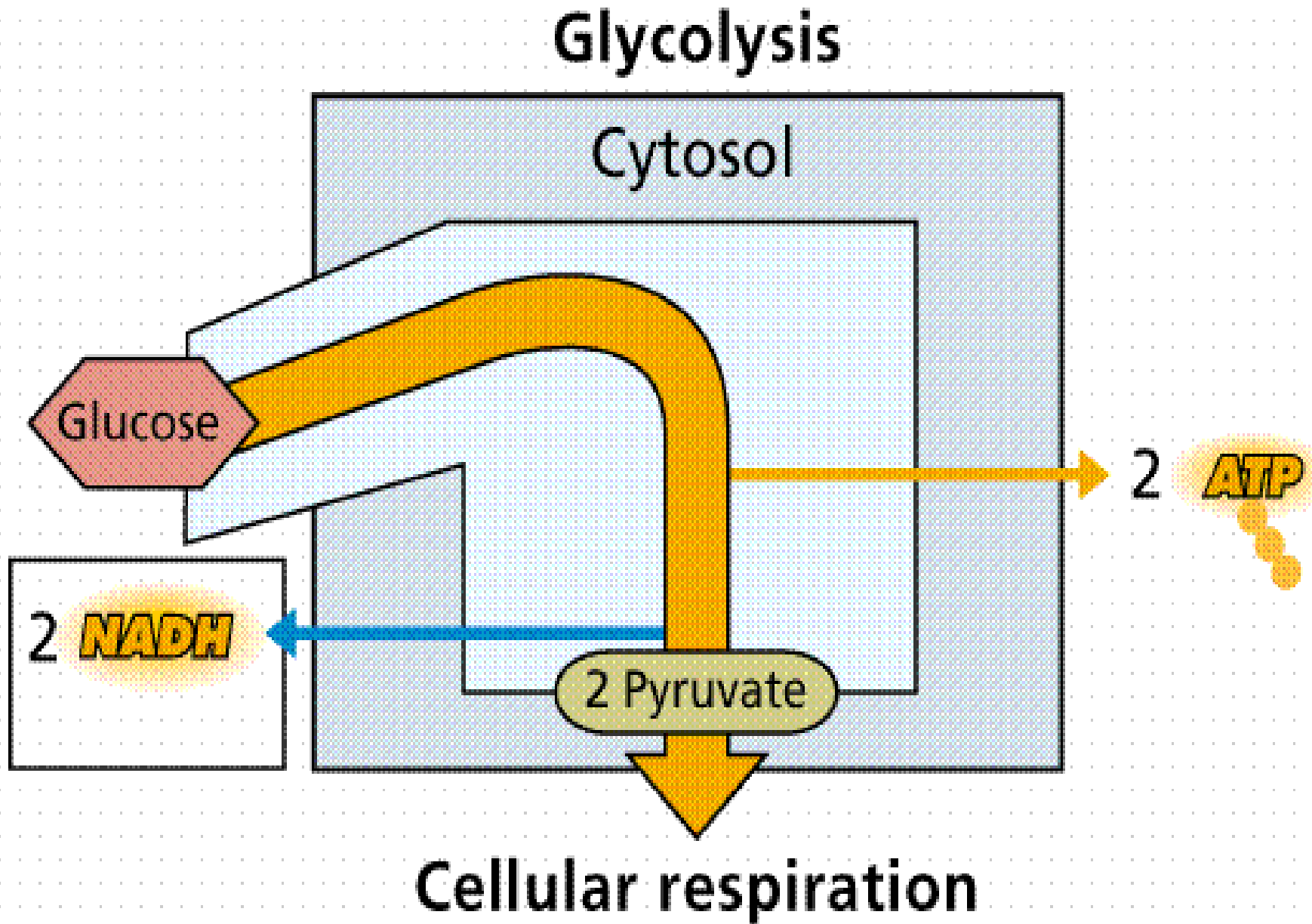
Gambar 3.19 Glikolisis: reaksi pembentukan fosfoenol piruvat dari 3-P-gliserat.

Reaksi pembentukan piruvat dari PEP



Gambar 3.20 Glikolisis: reaksi pembentukan piruvat dari fosfoenol piruvat.

Summary of the glycolysis process.





Energi/ ATP yang dihasilkan oleh glikolisis

- - 2ATP
 - $2\text{NADH}_2 = 6 \text{ ATP}$
 - 4ATP
 - Total = 8ATP dari 1 mol glukosa
-



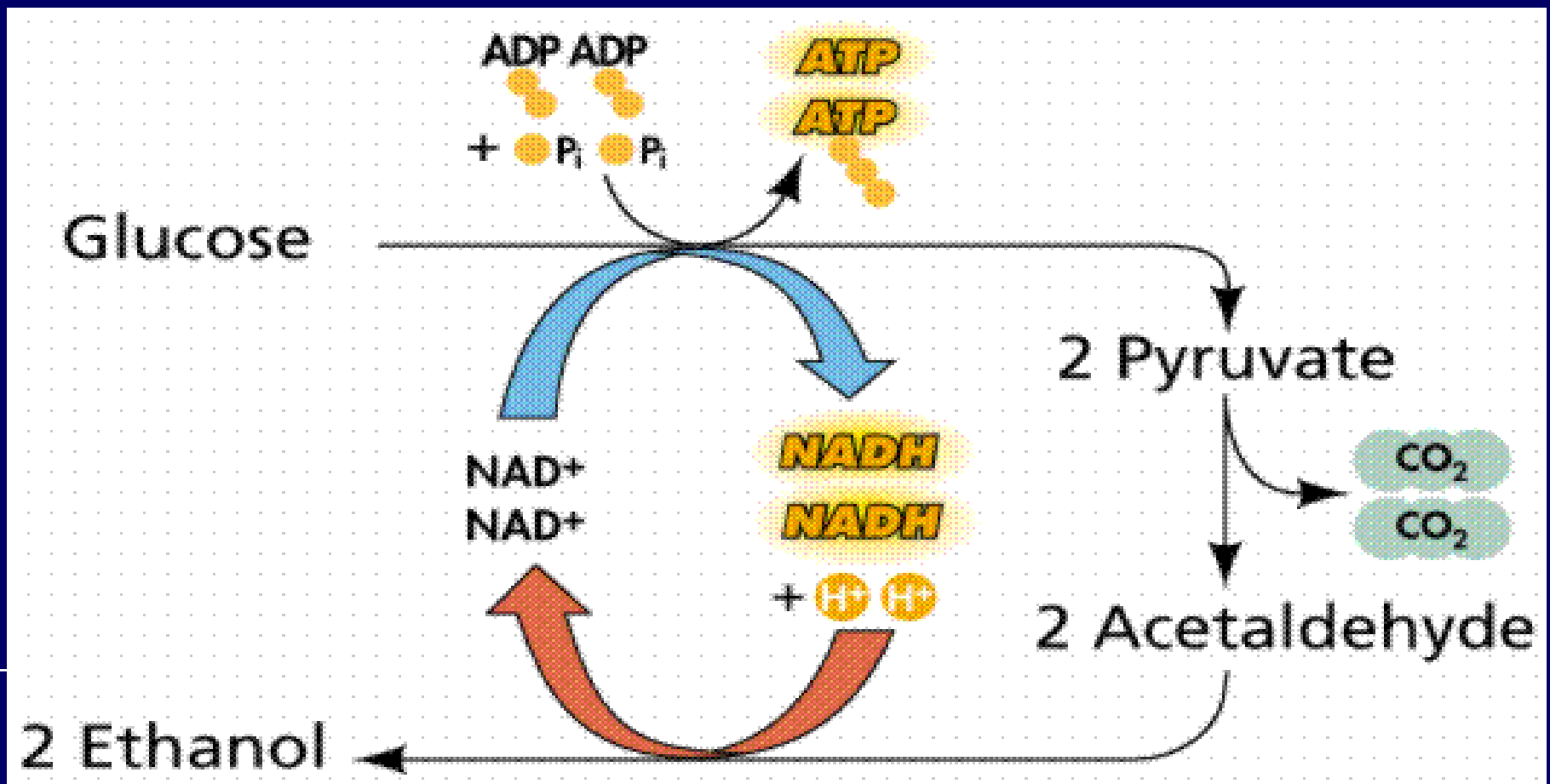
Jalur Anaerob

- Pada kondisi anaerob (tidak ada oksigen), asam piruvat dapat dilewatkan salah satu dari jalur anaerob berikut oleh organisme ybs:
 - **Fermentasi asam laktat**
 - **Fermentasi alkohol**
-

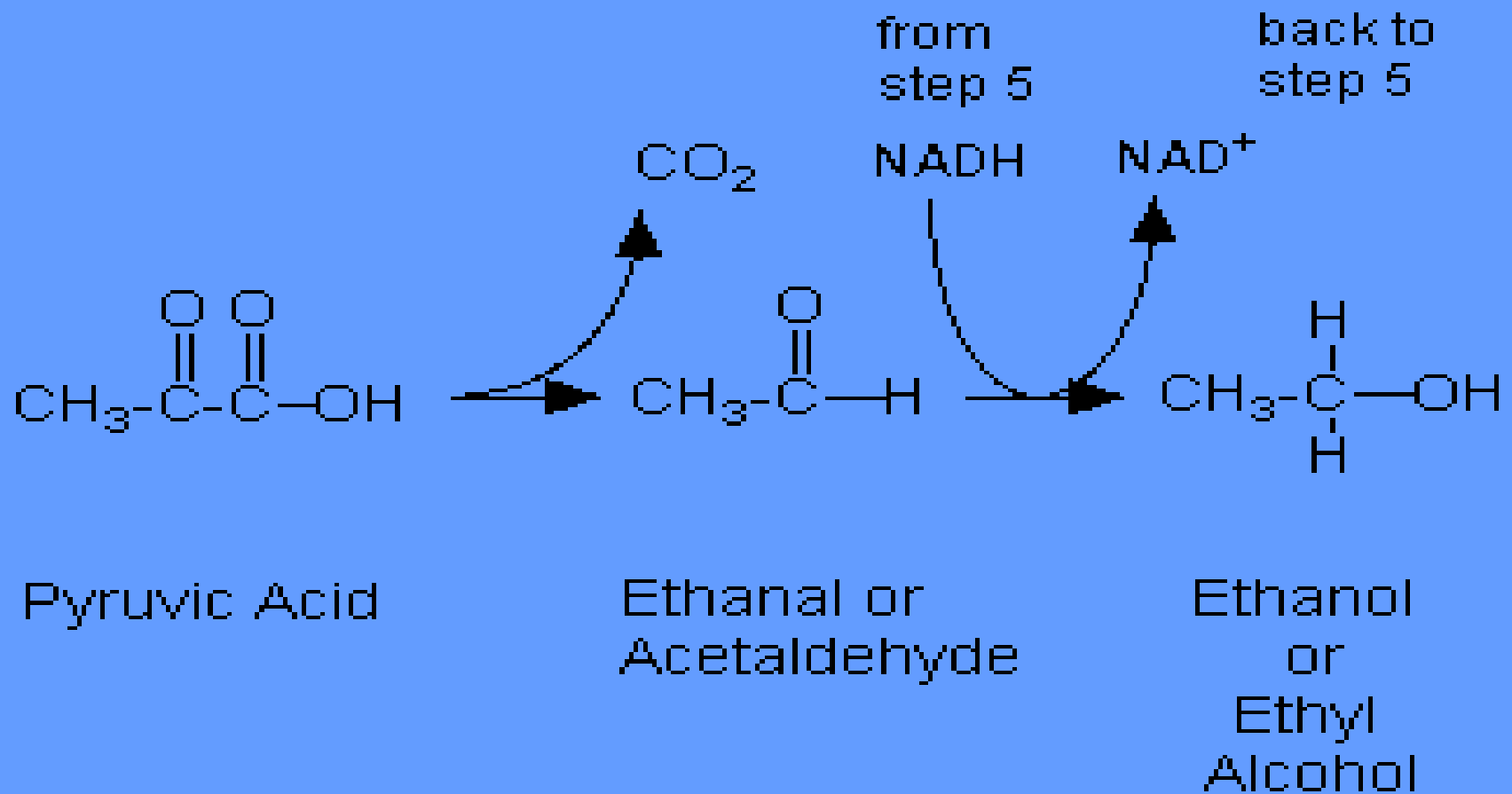
Fermentasi alkohol

Fermentasi alkohol merupakan proses pembentukan alkohol dari gula

Ragi, dalam kondisi anaerob, merubah glukosa menjadi asam piruvat melalui jalur glikolisis, kemudian menuju satu tahap lagi berikutnya, yaitu merubah asam piruvat menjadi ethanol.



Fermentation - Ethanol

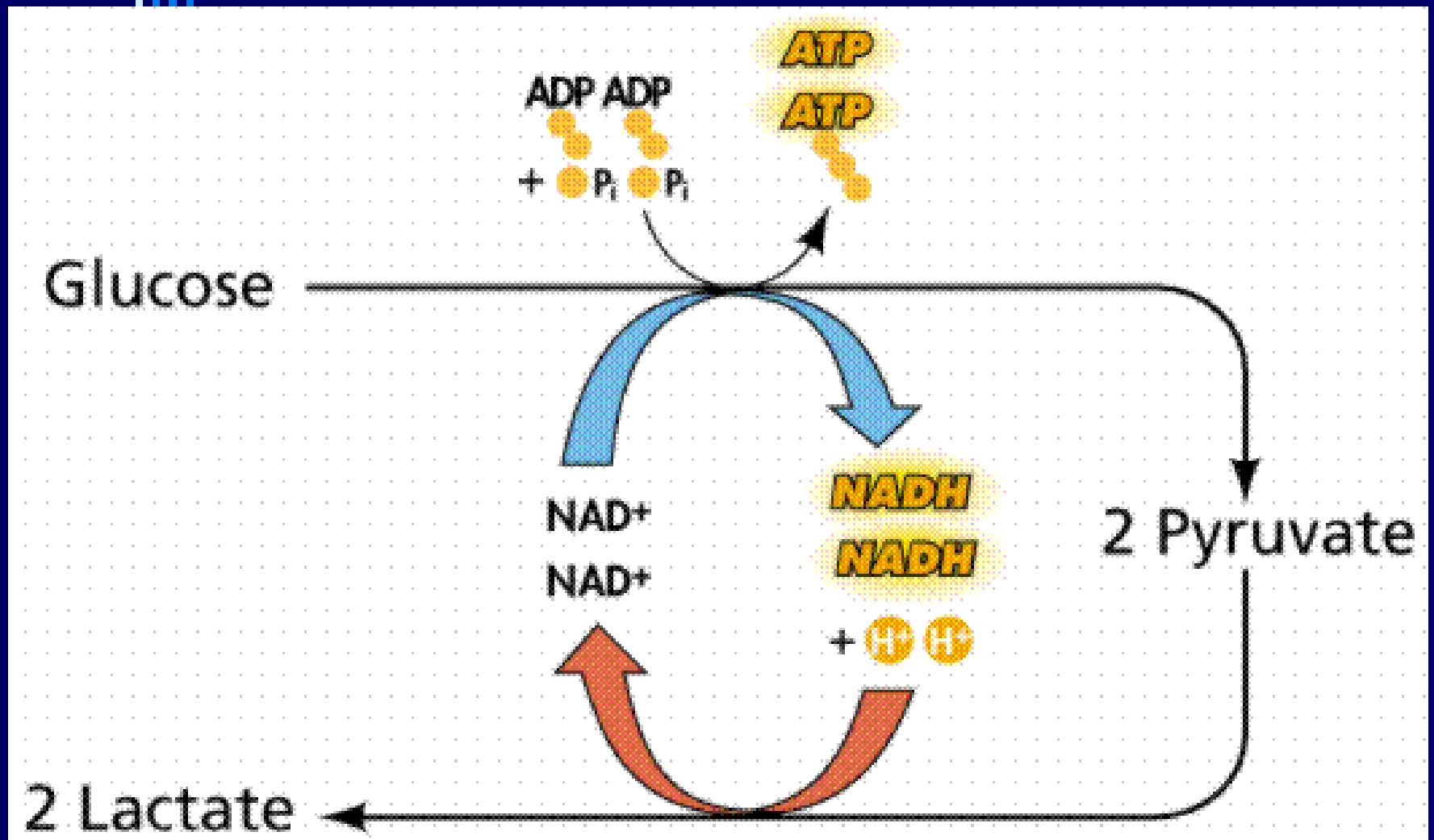




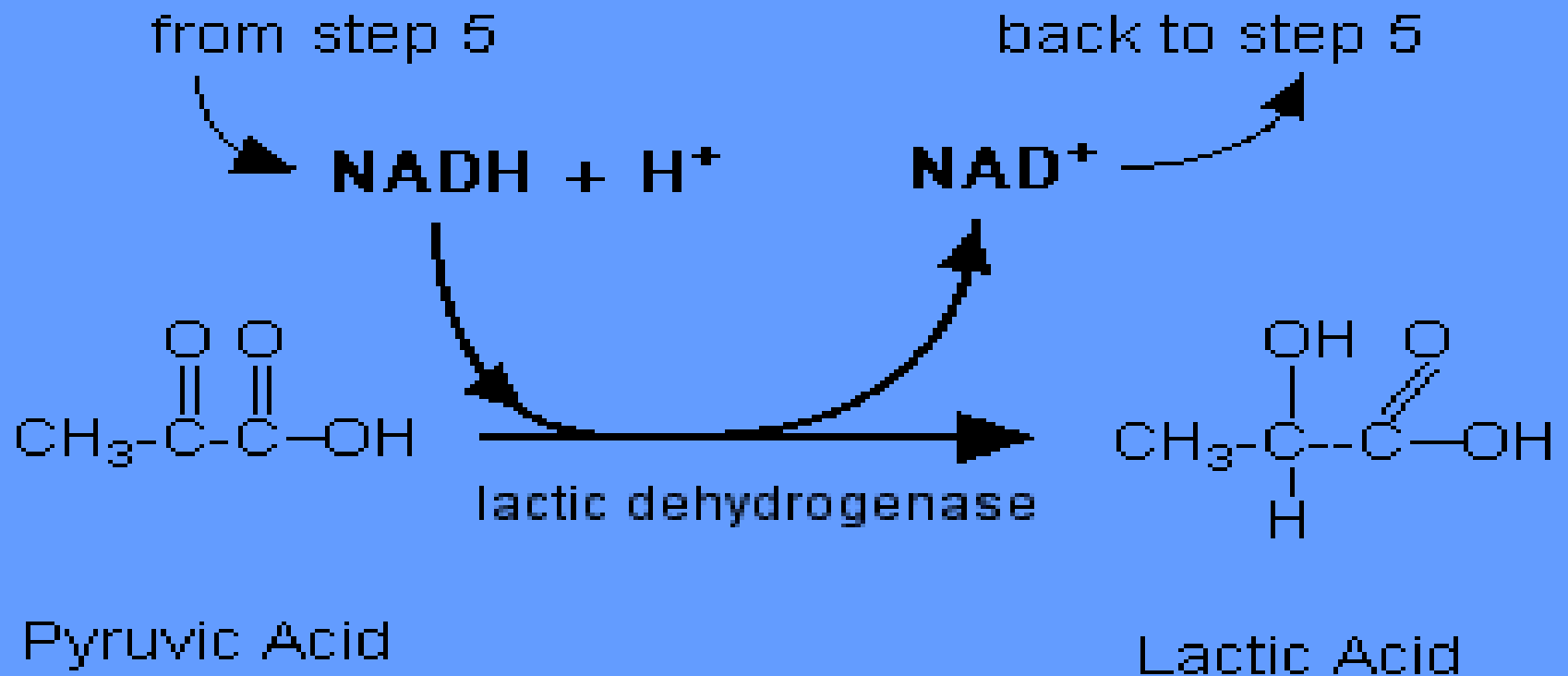
Fermentasi asam laktat

- Beberapa organisme juga melakukan fermentasi asam piruvat menjadi senyawa kimia yang lain, misalnya asam laktat.
 - **Manusia melakukan fermentasi asam laktat** di dalam otot yang kekurangan oksigen (kondisi anaerobik lokal)
 - Asam laktat ini menyebabkan rasa kekakuan otot (stiffness) setelah olahraga. Stiffness akan hilang dengan sendirinya setelah beberapa hari setelah kondisi aerobik otot kembali, dan asam laktat dikonversi ATP melalui jalur respirasi aerob yang normal.
-

Fermentasi asam laktat



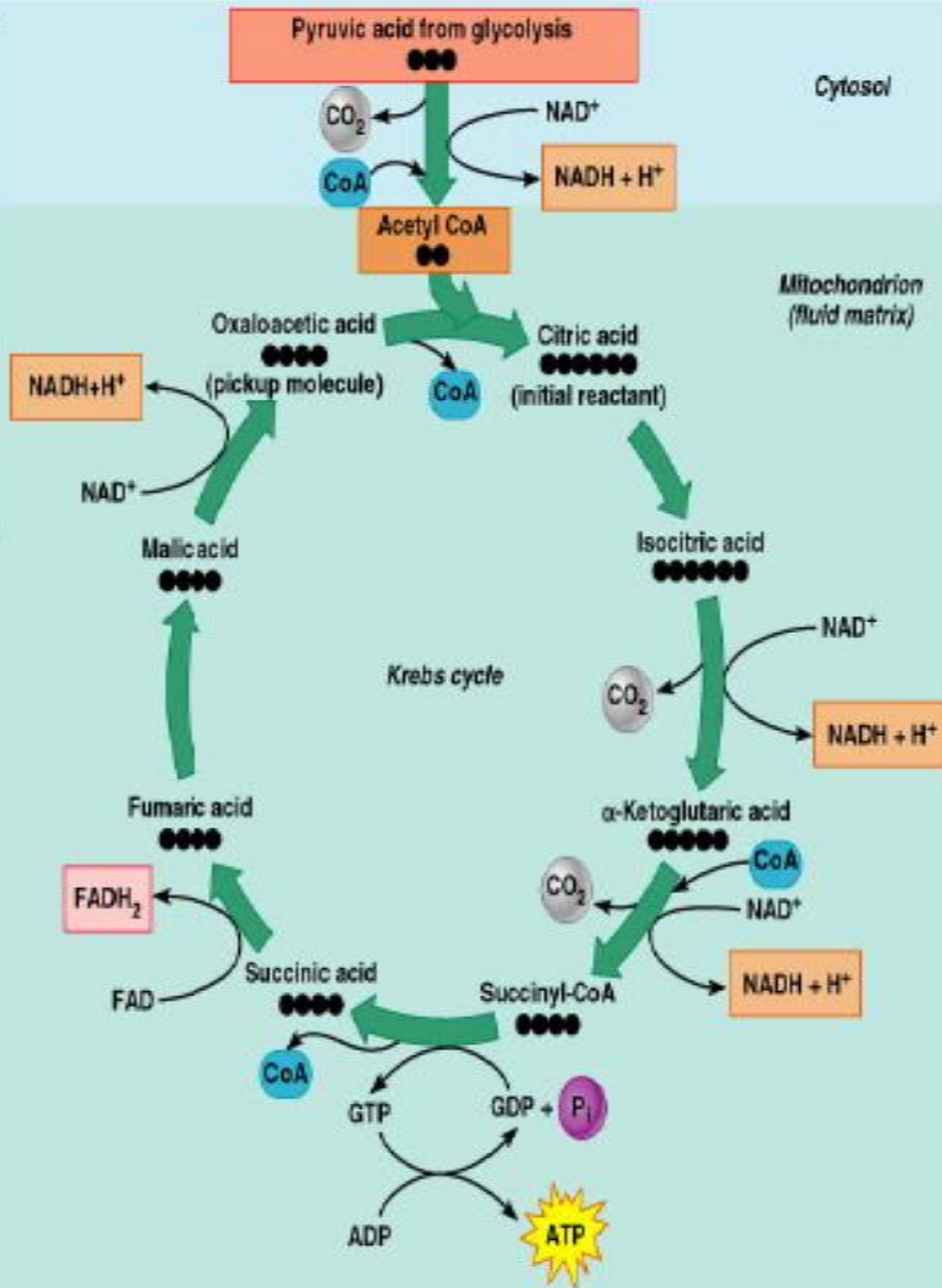
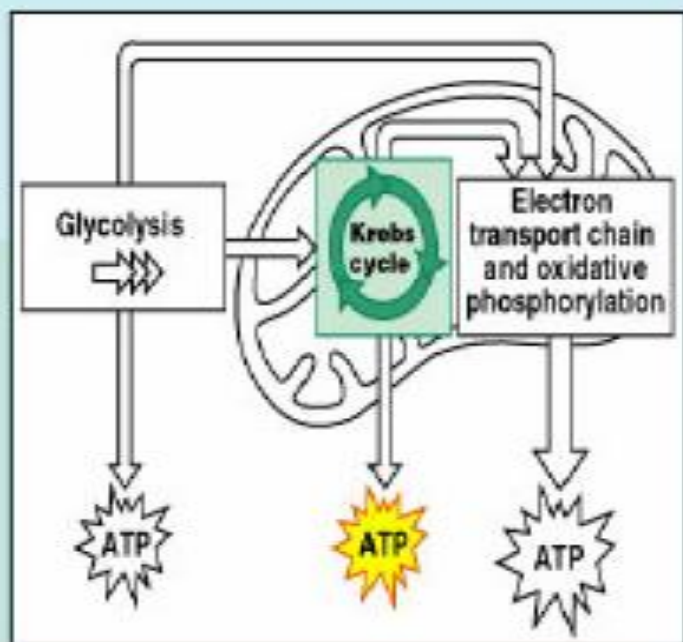
Anaerobic - Lactic Acid





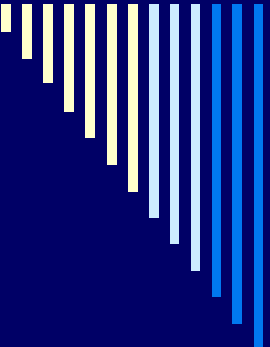
2. Siklus Krebs

- Dalam kondisi aerob (terdapat oksigen), sebagian besar makhluk hidup akan melakukan 2 tahap lanjutan:
 - **1. Siklus Krebs, dan**
 - **2. Transport elektron, untuk menghasilkan ATP.**
 - Pada eukaryot proses ini berlangsung pada **mitokondria**, sedang pada prokaryot terjadi pada sitoplasma.
-



Key:

- = Carbon atom
- P_i = Inorganic phosphate
- CoA = Coenzyme A



Siklus Kreb/ Siklus asam sitrat (Kreb's Cycle/ Citric Acid Cycle)

- Acetyl Co-A (2-C) kemudian bereaksi dengan satu senyawa asam oksalat (4-C). Co-A nya dilepas dan kembali ke asam piruvat yg lain.
- 2-C dan 4-C ini membentuk senyawa **Citric acid** (asam sitrat, memiliki 6-C).
- Proses lanjut setelah asam sitrat adalah pelepasan CO₂, dan pelepasan energi dalam bentuk **ATP, GTP, NADH dan FADH₂**, dan kemudian membangkitkan lagi siklus berikutnya.

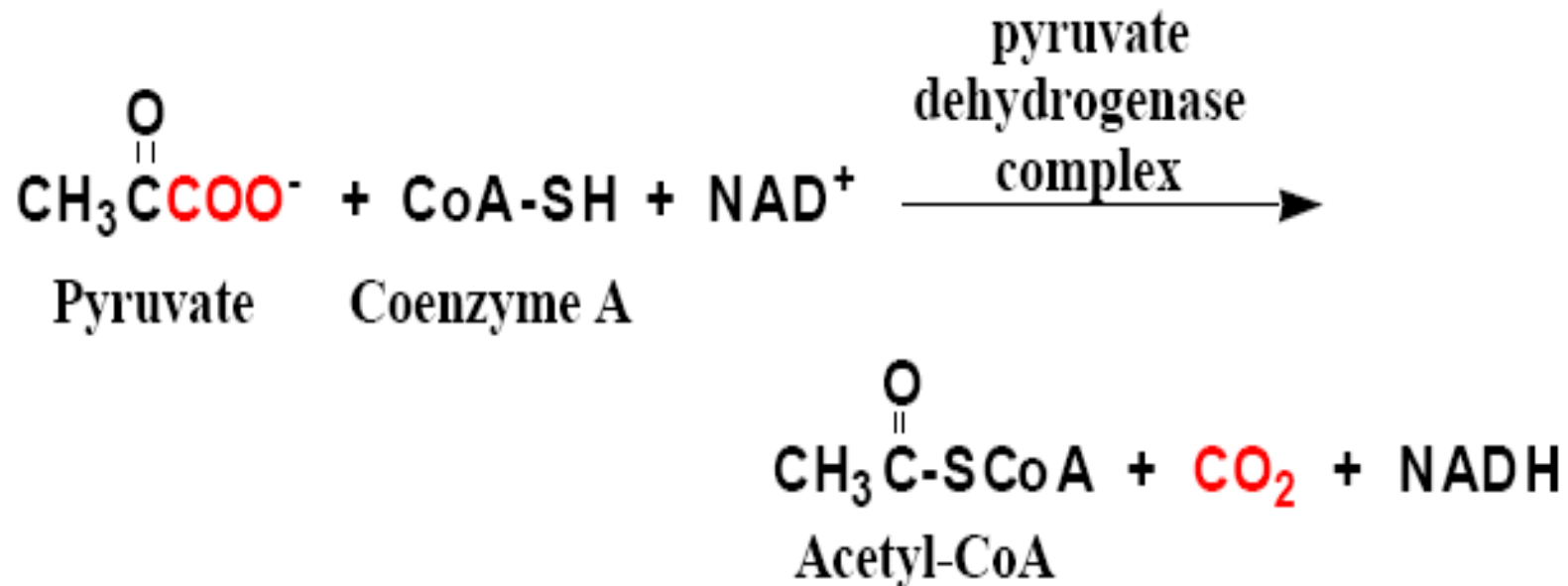


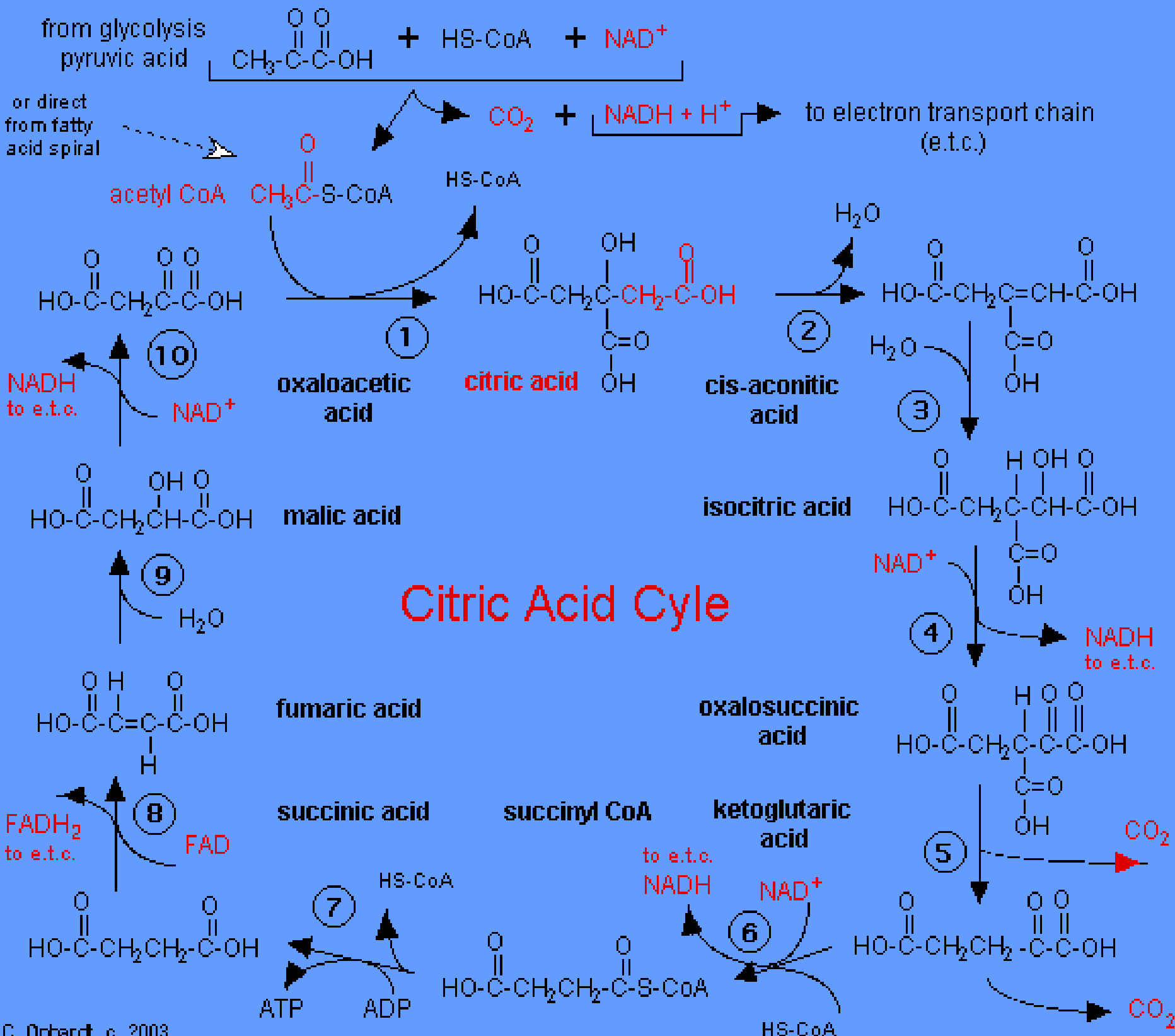
Acetyl Co-A: The Transition Reaction

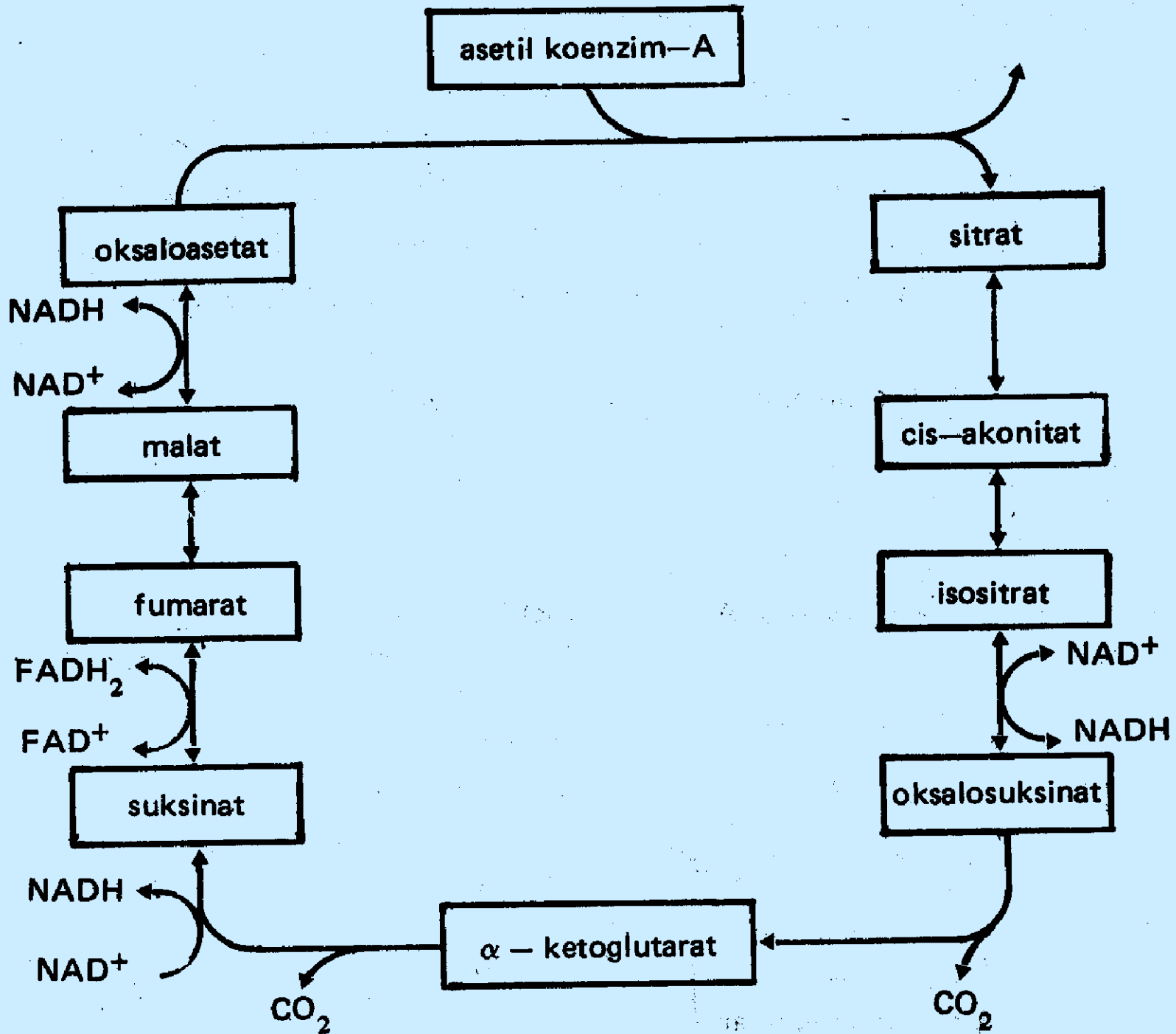
- Pyruvic acid is first altered in the transition reaction by removal of a carbon and two oxygens (which form carbon dioxide).
 - When the carbon dioxide is removed, energy is given off, and NAD⁺ is converted into the higher energy form NADH. Coenzyme A attaches to the remaining 2-C (acetyl) unit, forming acetyl Co-A.
 - This process is a prelude to the Krebs's Cycle.
-

Pyruvate to Acetyl-CoA

- Oxidation by NAD⁺ and formation of a thioester

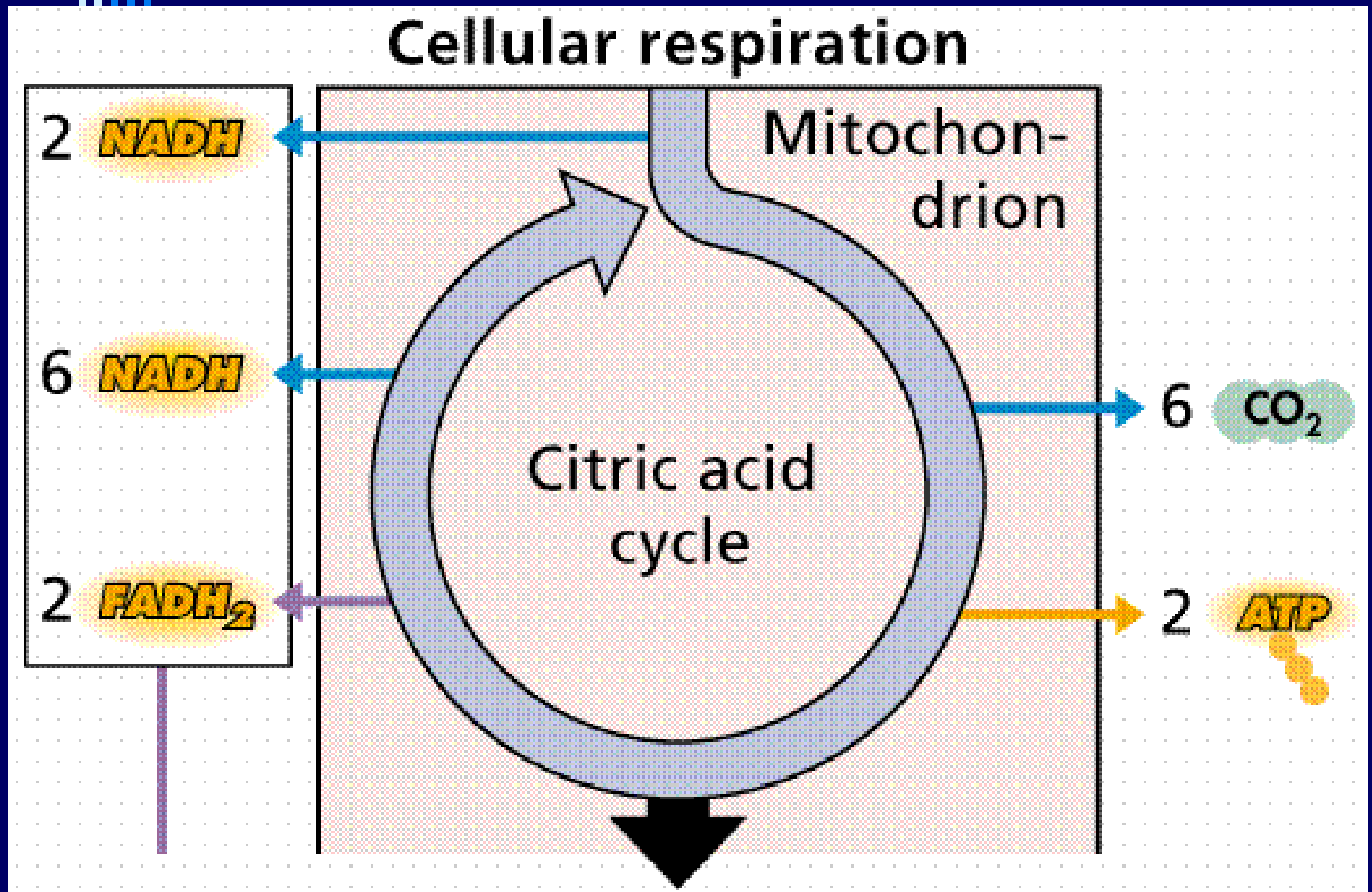






Gambar 3.49 Ringkasan keseluruhan daur asam trikarboksilat atau daur asam sitrat atau daur Krebs.

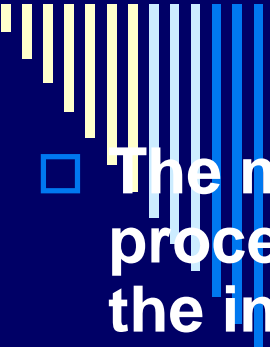
Summary of the Krebs' (or citric acid) cycle.






3. Electron Transport

- Whereas Krebs's Cycle occurs in the matrix of the mitochondrion, the Electron Transport System (ETS) chemicals are embedded in the membranes known as the cristae.
 - Krebs's cycle completely oxidized the carbons in the pyruvic acids, producing a small amount of **ATP, and reducing NAD and FAD** into higher energy forms. In the ETS those higher energy forms are cashed in, producing ATP.
 - Cytochromes are molecules that pass the electrons along the ETS chain. Energy released by the "downhill" passage of electrons is captured as ATP by ADP molecules. The ADP is reduced by the gain of electrons. ATP formed in this way is made by the process of **oxidative phosphorylation**.
-

- 
- The mechanism for the oxidative phosphorylation process is the gradient of H^+ ions discovered across the inner mitochondrial membrane. This mechanism is known as chemiosmotic coupling.
 - This involves both chemical and transport processes. Drops in the potential energy of electrons moving down the ETS chain occur at **three points**.
 - **These points turn out to be where ADP + P are converted into ATP**. Potential energy is captured by ADP and stored in the pyrophosphate bond.
 - **NADH enters the ETS chain at the beginning, yielding 3 ATP per NADH. FADH₂ enters at Co-Q, producing only 2 ATP per FADH₂.**



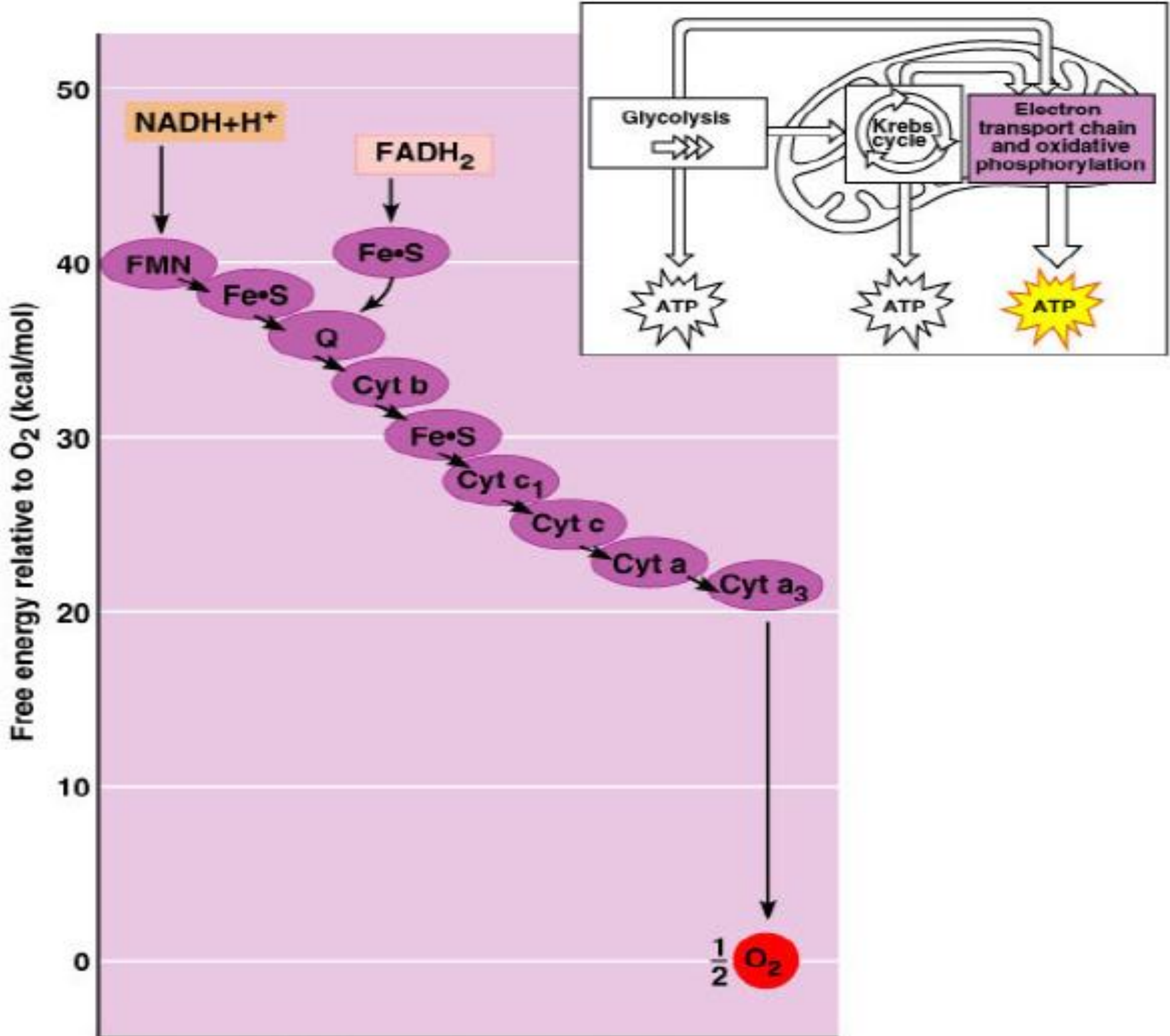
□ Proses reaksi mengalirkan elektron dari NADH ke O_2 dirangkaikan dengan proses fosforilasi bersifat oksidasi (pembentukan ATP dari ADP dan P_i) pd tiga tahap pengangkutan elektron, yaitu:

□ 1. Dari NAD ke FMN

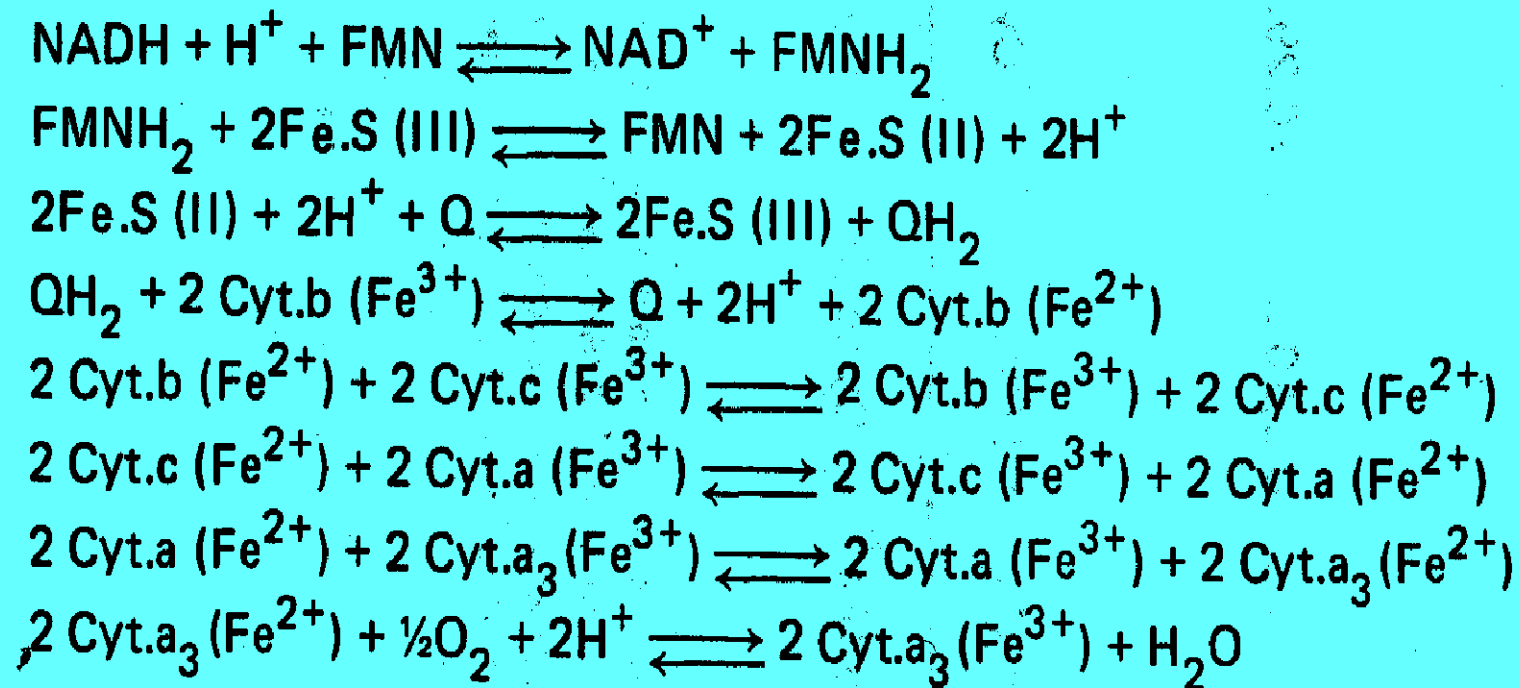
□ 2. Dari sitokrom b ke sitokrom c1

□ 3. Dari sitokrom cyt a3 ke O_2

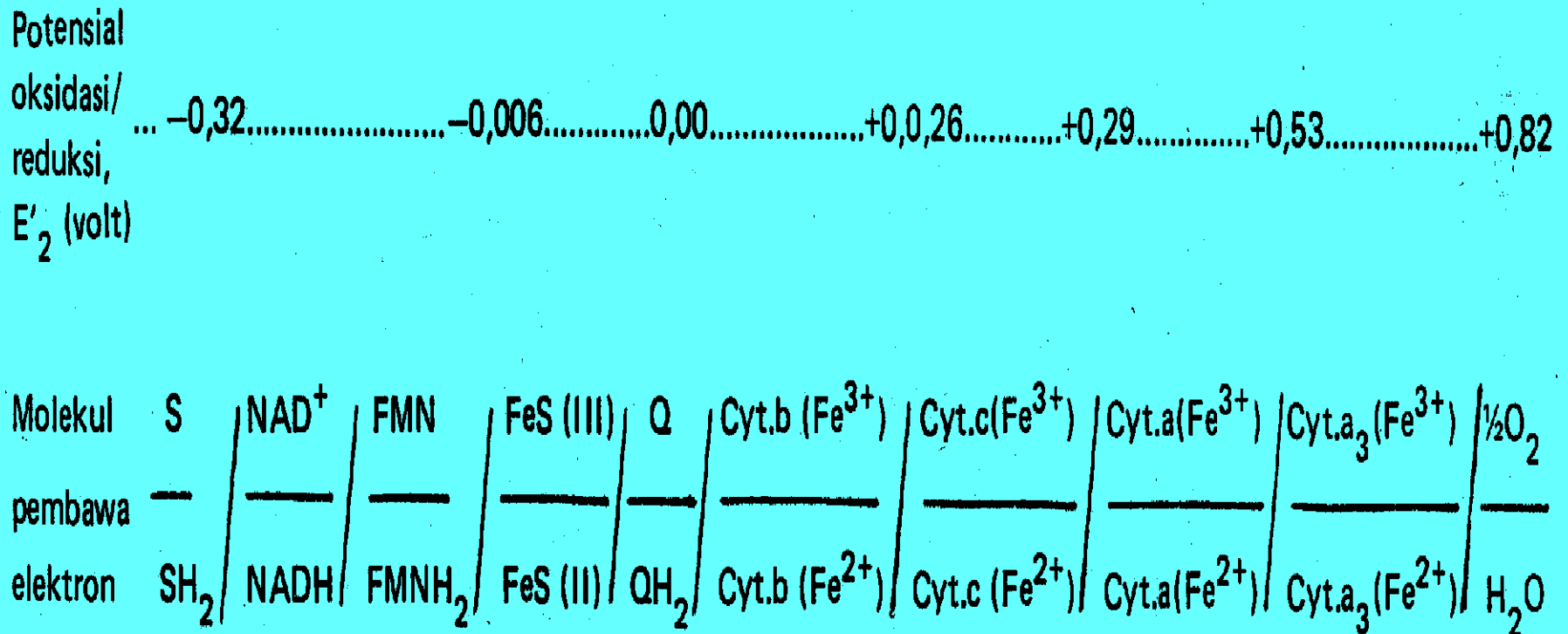
□ Dengan demikian, pasangan elektron dr senyawa substrat pernafasan yang masuk rantai pernafasan melalui **NAD** (malat, isositrat dan a-ketoglutarat) akan menghasilkan **3ATP** per satu atom O ($1/2 O_2$) yg dipakai; sedangkan yang masuk melalui **koenzim Q** (suksinat) menghasilkan **2ATP**.



Tabel 4.1 Delapan tahap reaksi oksidasi-reduksi pengangkutan elektron

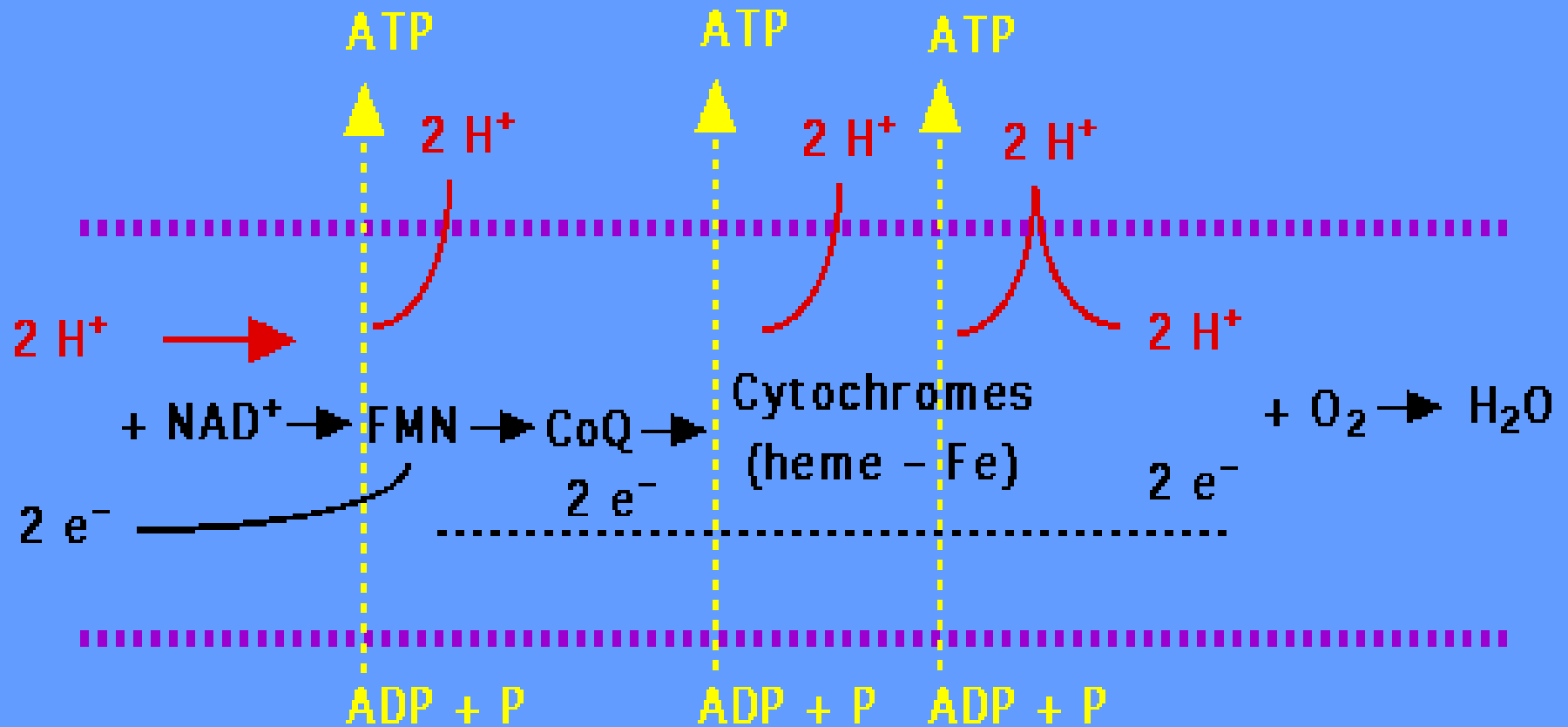


Elektron mengalir dari molekul pembawa elektron yg mempunyai potensial oksidasi-reduksi yg lebih negatif ke yang kurang negatif



Gambar 4.2 Potensial oksidasi-reduksi (E'_0 , volt) dari molekul pembawa elektron dalam rantai pernafasan. Elektron mengalir dari molekul dengan potensial oksidasi-reduksi yang lebih negatif, atau yang lebih positif. S/SH₂ adalah sistem substrat dengan E'_0 yang lebih negatif dari -0,32 volt, seperti sistem substrat α -ketoglutarat/isositrat, suksinil-CoS/ α -ketoglutarat dan oksalasetat/malat (lihat daur Krebs). Sistem substrat fumarat/suksinat, yang mempunyai E'_0 sedikit lebih besar dari -0,32 volt, mengalirkan elektronnya langsung ke sistem FMN/FMNH₂ jadi tak melalui NAD⁺/NADH.

Simplified Electron Transport



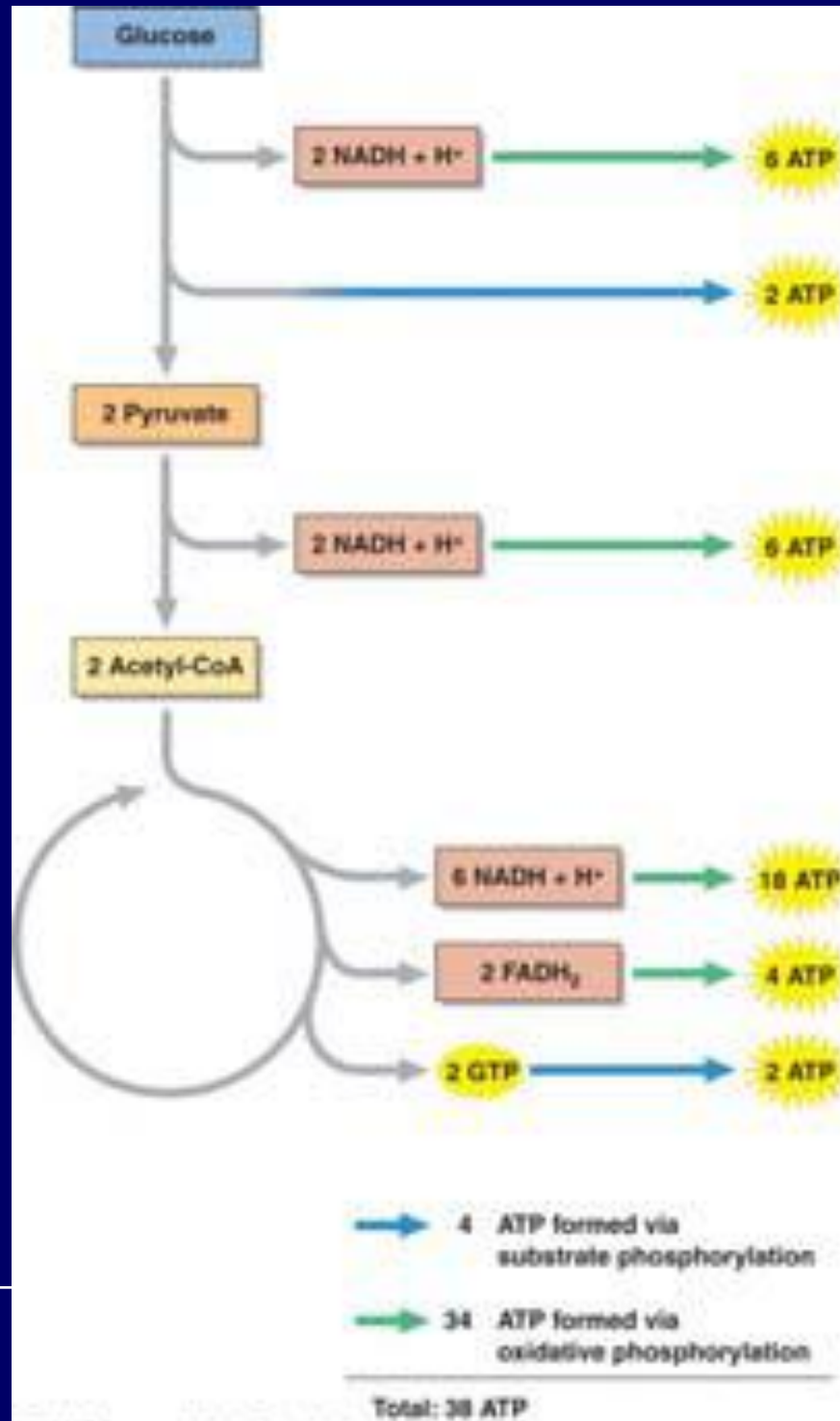


ATP Production

- $\text{NADH} : \text{ATP} \rightarrow 1 : 3$
 - In glycolysis 1 : 2 outside mitochondria
- $\text{FADH}_2 : \text{ATP} \rightarrow 1 : 2$
- $\text{GTP} : \text{ATP} \rightarrow 1 : 1$

ATP Formation from Glucose Catabolism

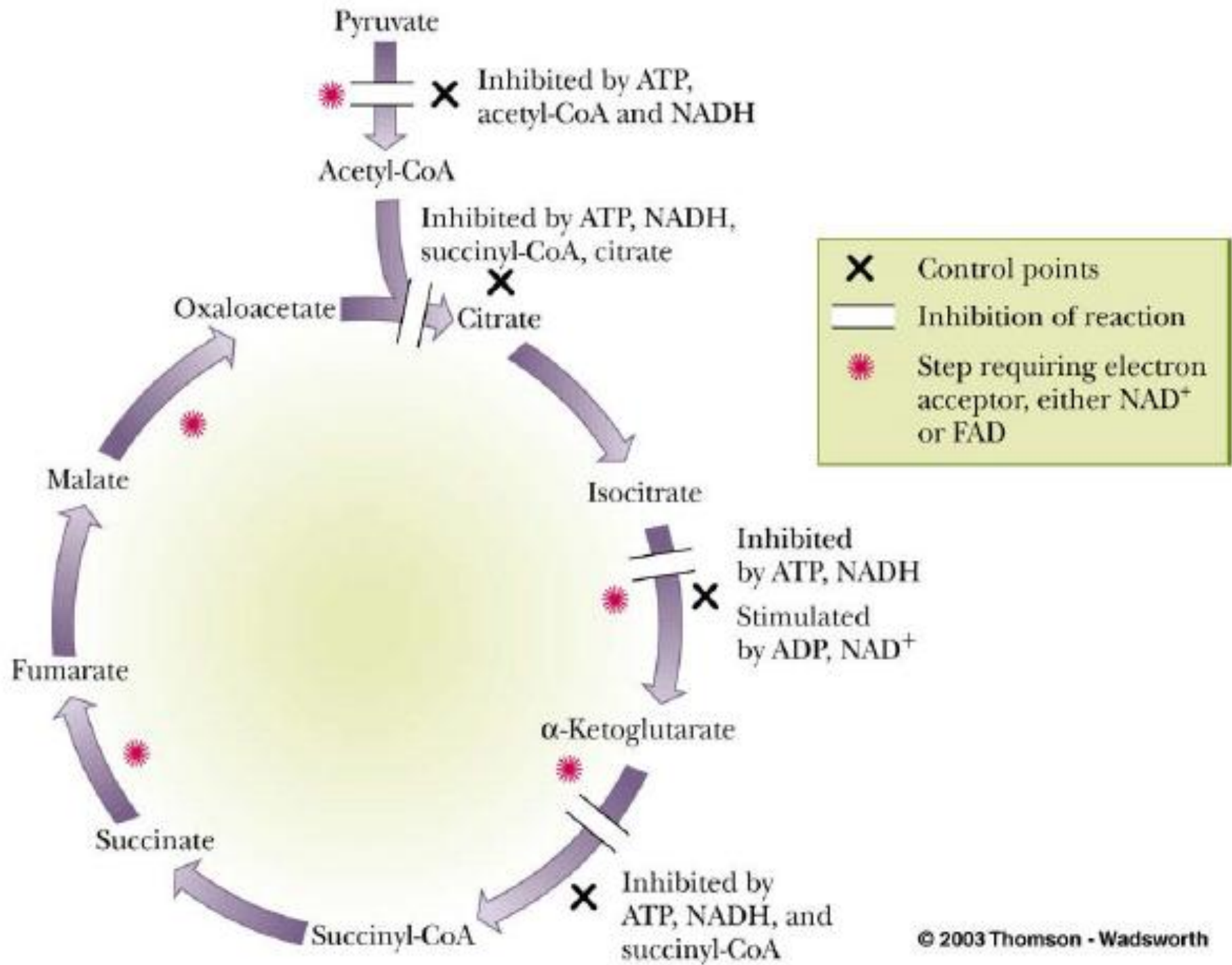
Most ATP generated through oxidative phosphorylation via electron transport chain





Pengaturan siklus Krebs

- Three control points within the cycle
 - citrate synthase, isocitrate dehydrogenase, and α - ketoglutarate dehydrogenase, are the rate limiting and reglulatory enzymes of the citric acid cycle.
 - The citrate cycle is regulated by feedback mechanisms that coordinate NADH production with ATP use.
- One control point outside the cycle
 - The decarboxylation of pyruvate to acetyl-CoA is irreversible. Therefore, it is critical that the reaction be regulated.
 - Pyruvate dehydrogenase is inhibited by products of energy products of aerobic metabolism (ATP and NADH) and product inhibition by acetyl-CoA
 - Pyruvate dehydrogenase is activated by AMP, NAD and Co A



Carbohydrate Summary

