



BIOKIMIA

Bioenergetika

DOSEN PENGAMPU

Dr. apt. Dian Ratih Laksmitawati, M.Biomed
dian.ratih@univpancasila.ac.id

Dr. apt. Yati Sumiyati, M.Kes
yati.Sumiyati@univpancasila.ac.id

apt. Moordiani, S.F, M.Sc
mdiani@univpancasila.ac.id

Outline sesuai RPKPS

1. Hukum termodinamika
2. Proses transfer energi dari reaksi eksergonik ke reaksi endergonik
3. Senyawa-senyawa berenergi tinggi
4. Fungsi dan peran ATP
5. Pengantar metabolisme

Pengertian

- Bioenergetika adalah bagian dari biokimia yang membahas tentang **aliran energi** di dalam tubuh makhluk hidup.
- Bioenergetika membahas tentang energi (yang dibutuhkan atau yang dilepaskan) pada saat pembentukan atau pemecahan ikatan kimia di dalam molekul yang terdapat dalam tubuh makhluk hidup.
- Merupakan bidang riset yang mencakup penelitian tentang berbagai **proses seluler**, antara lain respirasi sel dan **proses metabolisme** lainnya yang melibatkan penggunaan dan pembentukan energi dalam bentuk senyawa berenergi tinggi seperti misalnya ATP

Pengertian

- Bioenergetika atau termodinamika biokimia menerangkan berbagai macam **perubahan energi yang menyertai reaksi-reaksi biokimia**
- Bioenergetika atau termodinamika biokimia memberikan prinsip dasar untuk menjelaskan mengapa sebagian reaksi dapat terjadi sedangkan sebagian yang lain tidak.

Energi Bebas (Free Energy)

- ΔG
- Adalah **energi yang tersedia** untuk melakukan kerja
- Perubahan **energi bebas Gibbs** (ΔG) adalah bagian energi dari energi total yang dimiliki sistem, yang tersedia untuk melakukan kerja — disebut juga **potensial kimia**

Entalpi

- ΔH
- **panas** atau kalor dalam suatu sistem

Entropi

- ΔS
- Tingkat **keacakan**/kesembarangan suatu sistem
- Pada saat kesetimbangan tercapai →

ΔS positif → Jika tingkat keacakan suatu sistem bertambah

Pada suhu & tekanan tetap:

- Energi bebas : ΔG
- Entalpi : ΔH
- Entropi : ΔS

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

Hukum Termodinamika Pertama

Energi total dalam suatu sistem selalu tetap

- Energi tidak dapat dimusnahkan ataupun diciptakan
- Energi dapat di**interkonversikan** menjadi bentuk energi lain ataupun menjadi massa

$$\Delta E = E_B - E_A$$

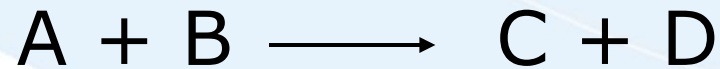
- Dalam sistem biologis, energi kimia dapat diubah menjadi energi panas, energi listrik, energi cahaya, atau energi mekanik.

Hukum Termodinamika Kedua

- Dalam suatu sistem yang **tertutup** entropi akan selalu **meningkat**
- Reaksi akan berlangsung **spontan** apabila entropi dalam sistem meningkat
- Entropi maksimum pada saat kesetimbangan tercapai

Hubungan ΔG dengan kesetimbangan reaksi

- Jika $\Delta G = 0 \rightarrow$ reaksi berada dalam **keseimbangan**
- Jika $\Delta G > 0 \rightarrow$ reaksi tidak dapat berlangsung spontan
- Jika $\Delta G < 0 \rightarrow$ reaksi berlangsung spontan



$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{\text{Hasil Reaksi}}{\text{Pereaksi}}$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K \text{ (pT konstan)}$$

Jika reaksi berada dalam keseimbangan, $K \rightarrow K_{eq}$.

Dalam keadaan setimbang (ekilibrium), $\Delta G = 0$.

Maka: $\Delta G^\circ = - RT \ln K_{eq}$

$$\ln x = 2,303 \log x$$



Tetapan keseimbangan suatu reaksi (K_{eq}) dipengaruhi oleh nilai ΔG°

- **$\Delta G^\circ = \Delta G$ pada konsentrasi pereaksi 1,0 mol/L**
- ΔG dapat lebih besar atau lebih kecil dari pada ΔG° , bergantung pada konsentrasi pereaksi-pereaksi yang terlibat

Soal-1

Tentukan arah reaksi-reaksi berikut ini apabila konsentrasi senyawa-senyawa pereaksi berada dalam keadaan ekimolar dengan senyawa-senyawa hasil reaksinya.

- a. $\text{ATP} + \text{Kreatin} \rightleftharpoons \text{Kreatin-P} + \text{ADP}$
- b. $\text{ATP} + \text{Gliserol} \rightleftharpoons \text{Gliserol-3-P} + \text{ADP}$
- c. $\text{ATP} + \text{Piruvat} \rightleftharpoons \text{Fosfoenolpiruvat} + \text{ADP}$

Diketahui, energi bebas standar (ΔG°) untuk reaksi hidrolisis ATP, kreatin fosfat, gliserol-3-fosfat, dan fosfoenolpiruvat berturut-turut -7,3; -10,3; -2,2 dan -14,8 Kcal/mol.

Diketahui:

- a. $\text{ATP} \longrightarrow \text{ADP} + \text{Pi}$ $\Delta G^\circ = - 7,3 \text{ Kcal/mol}$
- b. $\text{C-P} \longrightarrow \text{Creatin} + \text{Pi}$ $\Delta G^\circ = - 10,3 \text{ Kcal/mol}$
- c. $\text{G3P} \longrightarrow \text{G} + \text{Pi}$ $\Delta G^\circ = - 2,2 \text{ Kcal/mol}$
- d. $\text{PEP} \longrightarrow \text{piruvat} + \text{Pi}$ $\Delta G^\circ = - 14,8 \text{ Kcal/mol}$

Soal-2

- Katabolisme glukosa merupakan salah satu mekanisme penting tubuh untuk memperoleh energi. Jalur biokimia ini diawali dengan reaksi fosforilasi glukosa menjadi glukosa fosfat, yang merupakan reaksi pertama dalam jalur glikolisis
- Secara teoritis, sel-sel tubuh dapat melakukan fosforilasi glukosa langsung dengan fosfat anorganik ($\text{H}_3\text{PO}_4/\text{Pi}$)



$$\Delta G^\circ = +3,3 \text{ Kcal/mol}$$

Soal-2

Secara faktual, sel melakukan fosforilasi glukosa dengan menggunakan ATP, reaksi ini dikatalisis oleh enzim heksokinase. Hidrolisis ATP menjadi ADP berlangsung sbb:

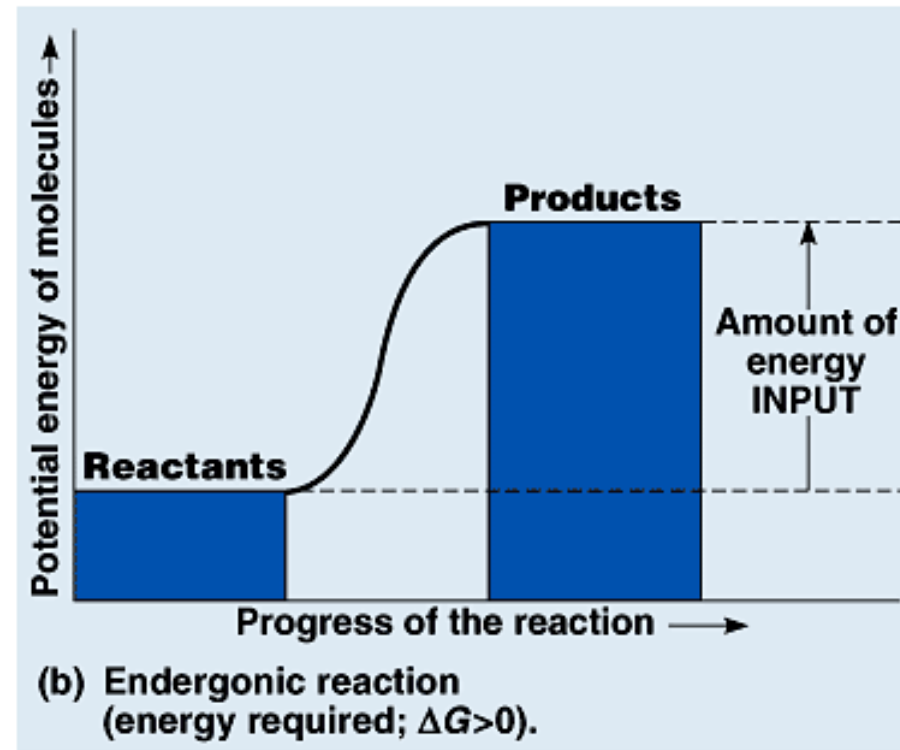
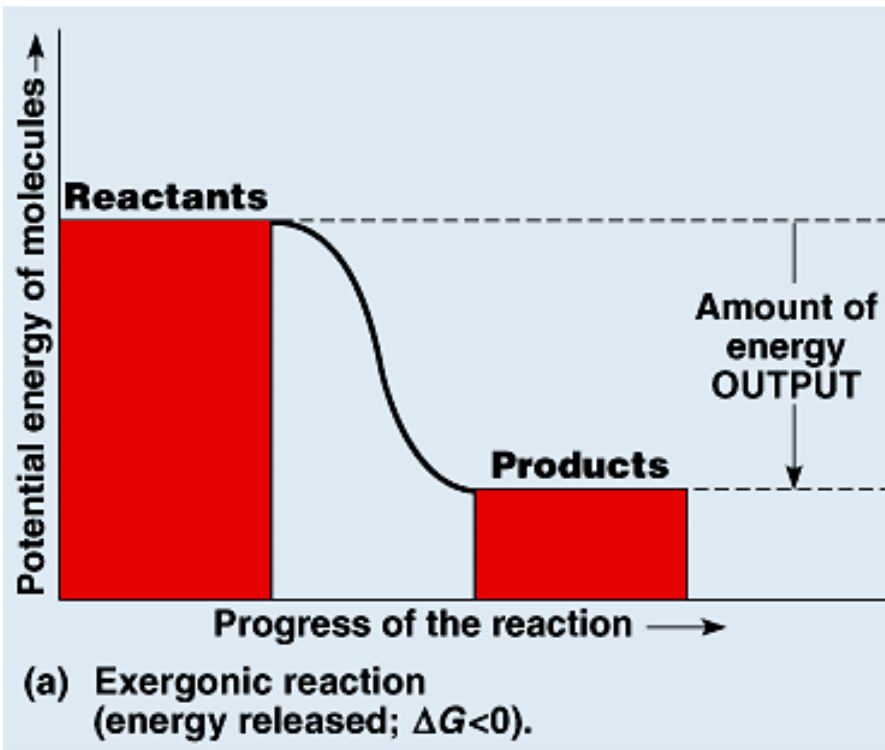


Tuliskan persamaan reaksi fosforilasi glukosa dengan menggunakan ATP tersebut, dan hitung ΔG° nya. Apakah reaksi fosforilasi glukosa dengan ATP ini dapat berjalan spontan? Jelaskan

Tipe Reaksi

- **Eksergonik**: reaksi-reaksi yang melepaskan energi bebas → yaitu reaksi-reaksi **pemecahan** atau **oksidasi** molekul bahan bakar → reaksi dalam proses **katabolisme**
- **Endergonik**: reaksi-reaksi yang memerlukan energi bebas → reaksi **sintesis** → reaksi dalam proses **anabolisme**
- Dalam proses biokimia: Reaksi-reaksi eksergonik selalu dirangsang dengan reaksi-reaksi endergonik

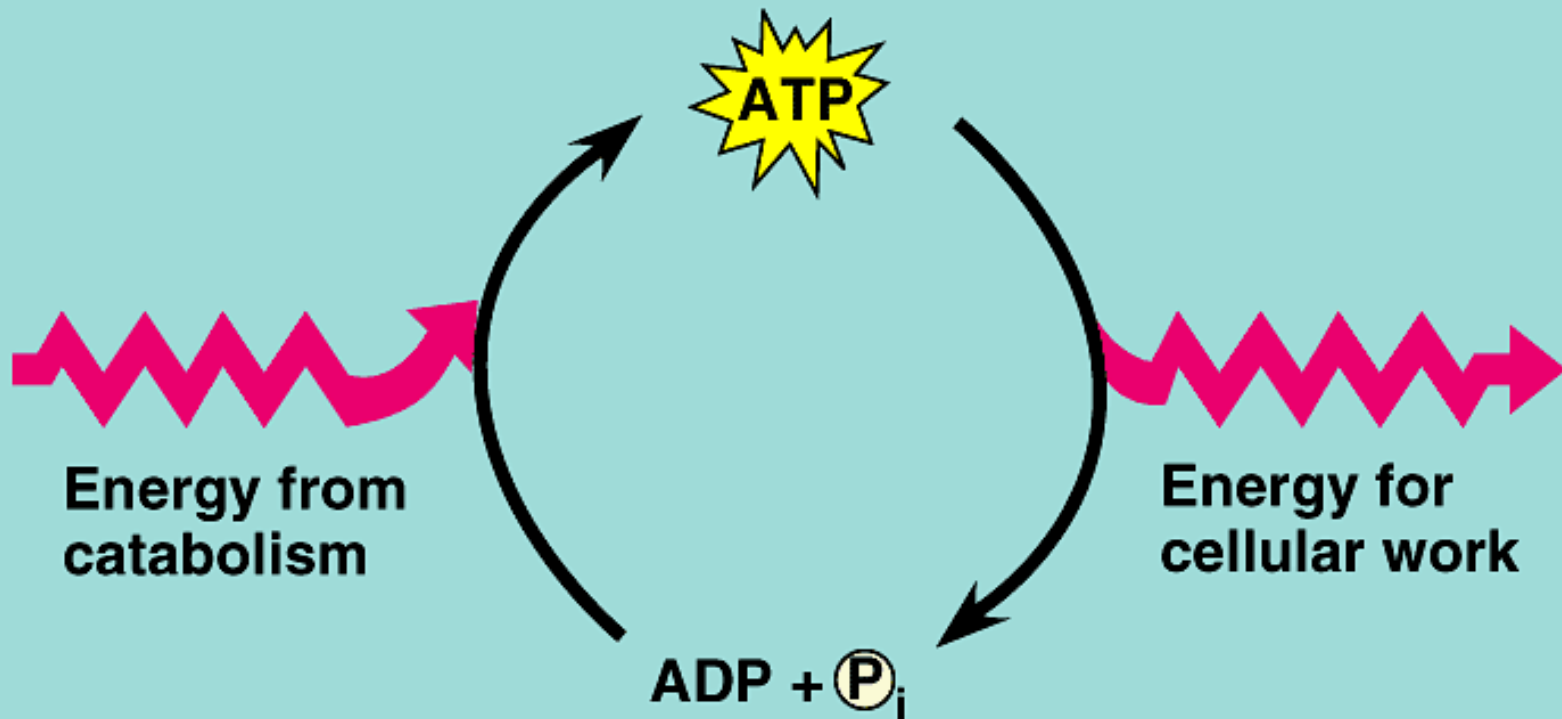
Reaksi endergonik & eksegonik



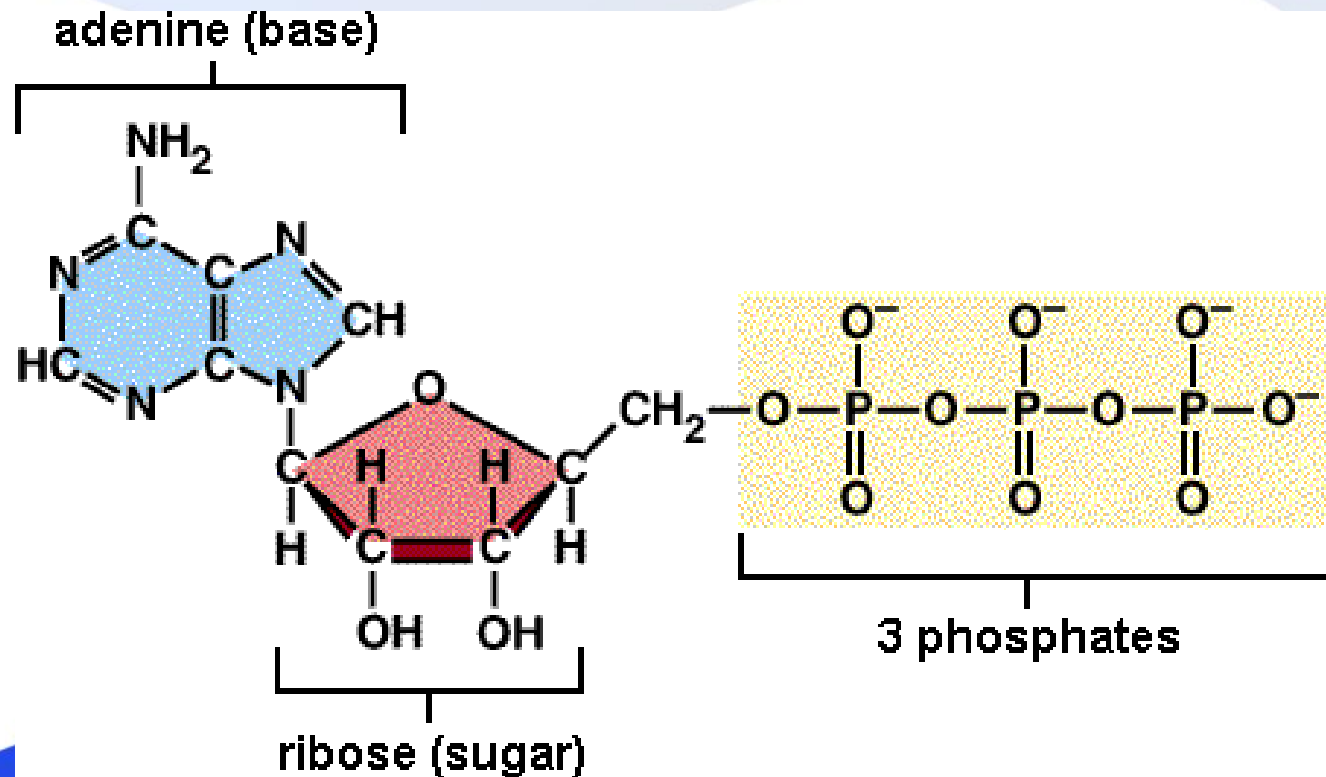
Reaksi endergonik berjalan terangkai pada reaksi endergonik



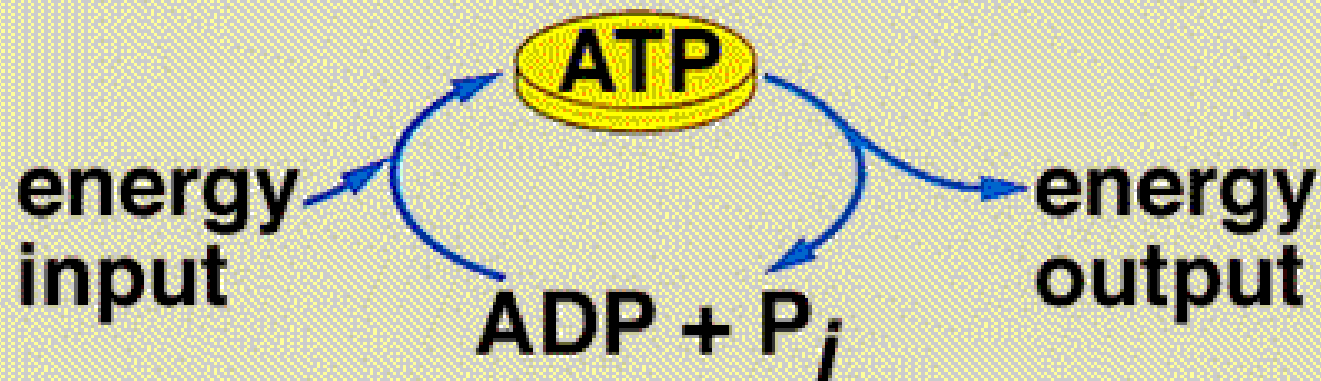
Reaksi endergonik berjalan dengan terangkai pada reaksi endergonik



ATP = Adenosin Tri Fosfat



The ATP/ADP Cycle



ΔG° hidrolisis beberapa senyawa organofosfat

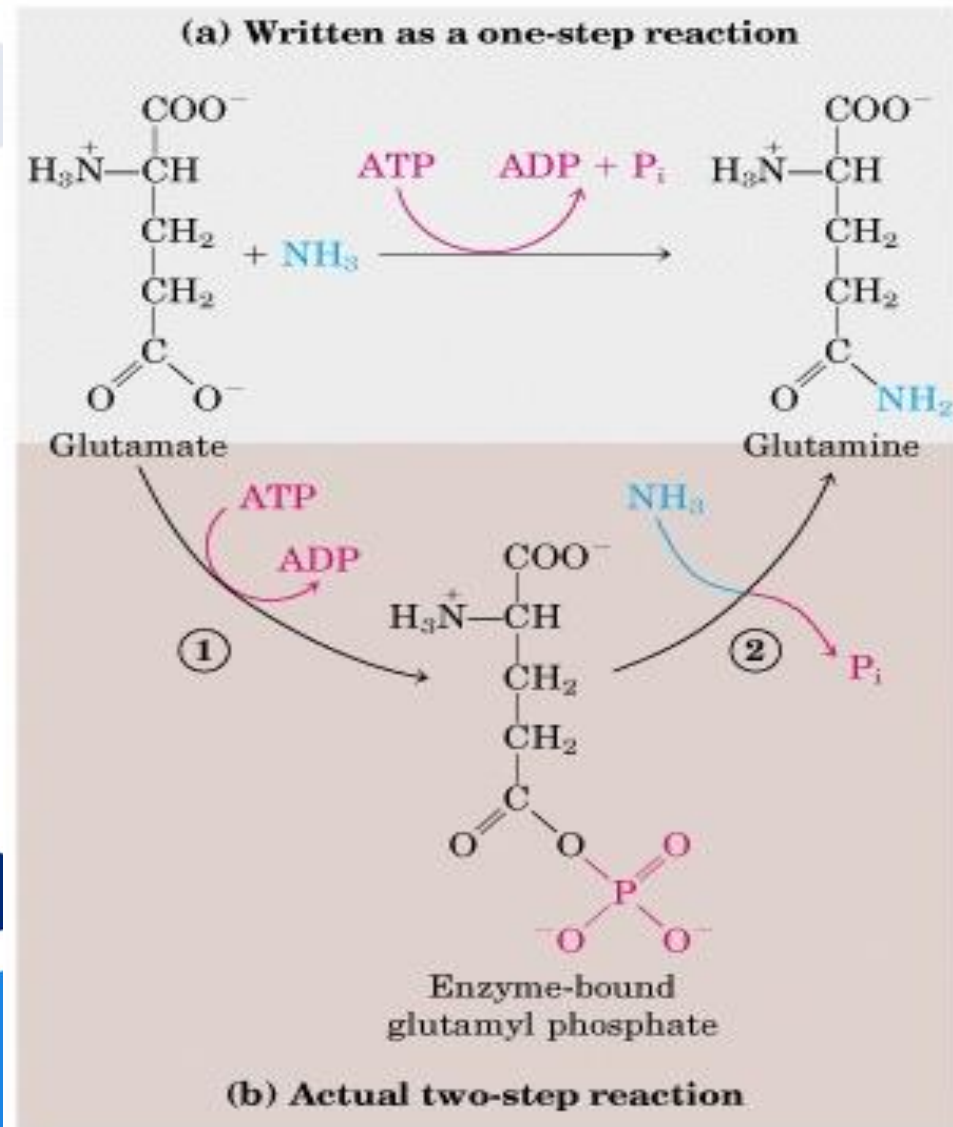
Compound	ΔG°	
	kJ/mol	kcal/mol
Phosphoenolpyruvate	-61.9	-14.8
Carbamoyl phosphate	-51.4	-12.3
1,3-Bisphosphoglycerate (to 3-phosphoglycerate)	-49.3	-11.8
Creatine phosphate	-43.1	-10.3
ATP $\rightarrow$ ADP + P_i	-30.5	-7.3
ADP $\rightarrow$ AMP + P_i	-27.6	-6.6
Pyrophosphate	-27.6	-6.6
Glucose 1-phosphate	-20.9	-5.0
Fructose 6-phosphate	-15.9	-3.8
AMP	-14.2	-3.4
Glucose 6-phosphate	-13.8	-3.3
Glycerol 3-phosphate	-9.2	-2.2

ATP berfungsi seperti uang dalam pertukaran energi sel

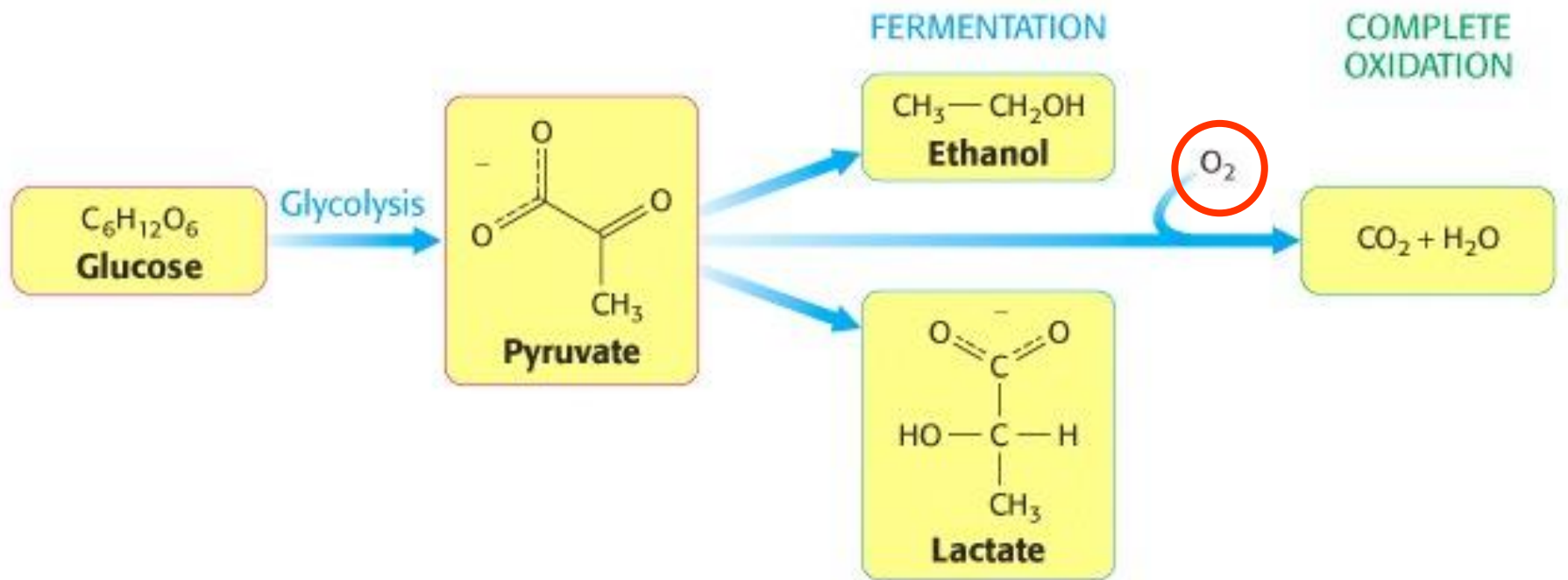
- ▶ Senyawa ber**fosfor** dengan **energi tinggi** yang terbentuk selama **katabolisme**
- ▶ Sebagai senyawa yang dapat **mengaktifkan senyawa lain** untuk transformasi kimia selanjutnya
- ▶ Senyawa kaya energi yang **stabil** secara kinetika
 - Memiliki potensi **mentransfer gugus intermediate**
 - Penerima gugus intermediate sangat beragam
- ▶ Mengubah senyawa berenergi rendah menjadi reaktif

Hidrolisis ATP merupakan cara mentransfer gugus

- ▶ Hidrolisis ATP yang mendorong reaksi (a) sebenarnya adalah **transfer gugus fosfat** ke substrat membentuk senyawa antara (b) yang meningkat energinya



Zat nutrisi adalah sumber energi yang
“dibakar” di dalam sel



Langkah awal pembakaran glukosa: Glikolisis

- ▶ Setengah awal dari jalur 10-langkah adalah **pemecahan glukosa** yang berkarbon-6 menjadi 2 senyawa berkarbon-3, **membutuhkan energi** (2 ATP)
- ▶ Setengah akhir adalah langkah-langkah **penataan dan oksidasi** senyawa berkarbon-3, menghasilkan piruvat, 4 ATP, dan senyawa pereduksi (2 NADH)

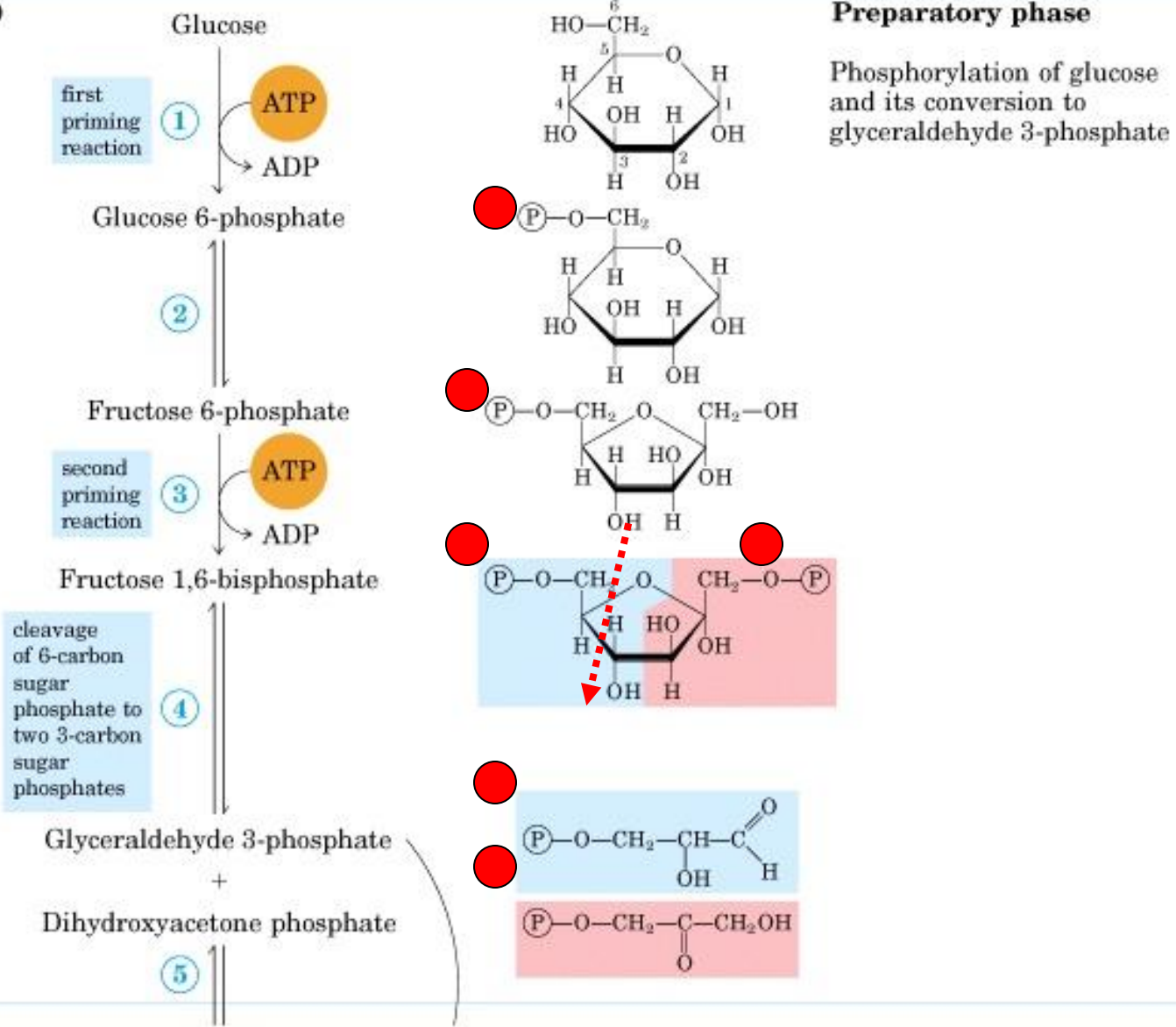
Glikolisis - Bioenergetika

- ▶ 5 langkah awal adalah **fase persiapan**
 - Glukosa diaktivasi (2 kali, dengan menambahkan gugus fosfat dari ATP)
 - Pemecahan menjadi dua molekul berkarbon-3, masing-masing terfosforilasi dan dapat dikonversi

Bioenergetika: - 2 ATP

Glikolisis – Fase Persiapan

(a)



Energetika aktual glikolisis

TABLE 14-2 Free-Energy Changes of Glycolytic Reactions in Erythrocytes

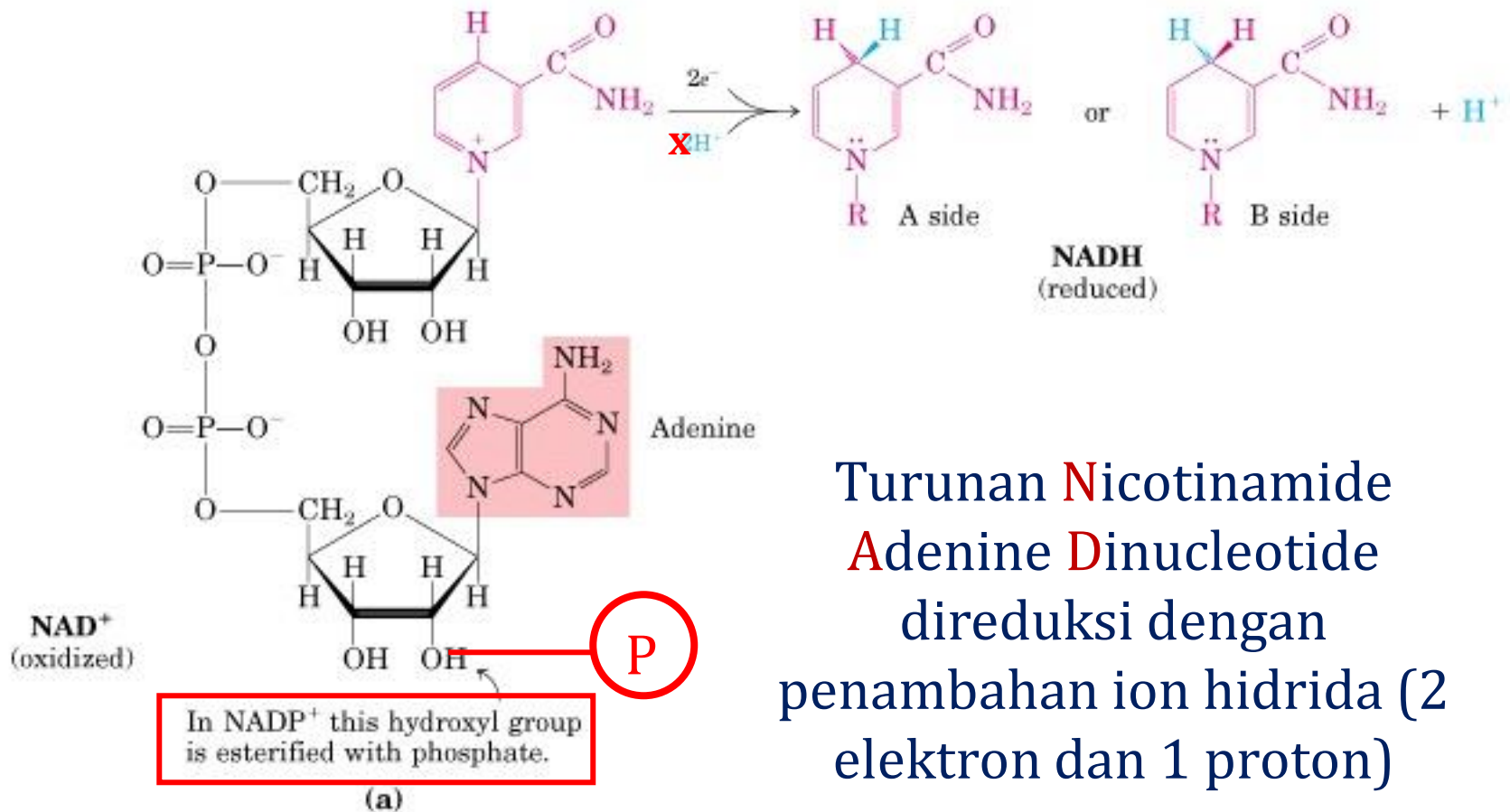
Glycolytic reaction step	$\Delta G'^{\circ}$ (kJ/mol)	ΔG (kJ/mol)
① Glucose + ATP $\rightarrow$ glucose 6-phosphate + ADP	-16.7	-33.4
② Glucose 6-phosphate $\rightleftharpoons$ fructose 6-phosphate	1.7	0 to 25
③ Fructose 6-phosphate + ATP $\rightarrow$ fructose 1,6-bisphosphate + ADP	-14.2	-22.2
④ Fructose 1,6-bisphosphate $\rightleftharpoons$ dihydroxyacetone phosphate + glyceraldehyde 3-phosphate	23.8	0 to -6
⑤ Dihydroxyacetone phosphate $\rightleftharpoons$ glyceraldehyde 3-phosphate	7.5	0 to 4
⑥ Glyceraldehyde 3-phosphate + P_i + NAD^+ $\rightleftharpoons$ 1,3-bisphosphoglycerate + $NADH + H^+$	6.3	-2 to 2
⑦ 1,3-Bisphosphoglycerate + ADP $\rightleftharpoons$ 3-phosphoglycerate + ATP	-18.8	0 to 2
⑧ 3-Phosphoglycerate $\rightleftharpoons$ 2-phosphoglycerate	4.4	0 to 0.8
⑨ 2-Phosphoglycerate $\rightleftharpoons$ phosphoenolpyruvate + H_2O	7.5	0 to 3.3
⑩ Phosphoenolpyruvate + ADP $\rightarrow$ pyruvate + ATP	-31.4	-16.7

► Catatan: 7 reaksi hampir tidak mengubah energi bebas (ekuilibrium) – hanya 3 reaksi yang secara energetik tidak dapat balik.

Pembebasan energi dalam oksidasi glukosa terjadi secara bertahap

- ▶ Perubahan energi bebas total dalam perubahan glukosa menjadi CO_2 dan H_2O adalah sebesar **- 2840 kJ/mol**
- ▶ Setiap langkah oksidasinya hanya menghasilkan $\sim 60 \text{ kJ/mol}$
- ▶ Hanya cukup untuk membentuk 1 molekul ATP,
- ▶ Elektron yang hilang dalam langkah oksidasi tersebut ditransfer ke molekul koenzim yang memiliki kemampuan membawa elektron, misalnya [NAD⁺](#) dan [FAD](#)

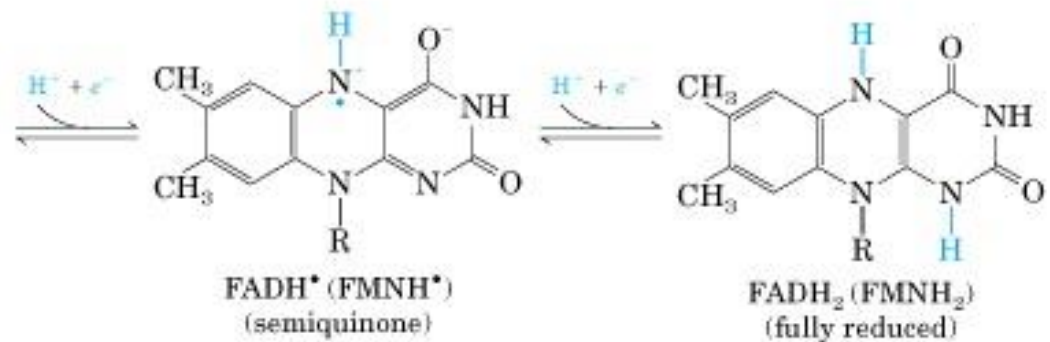
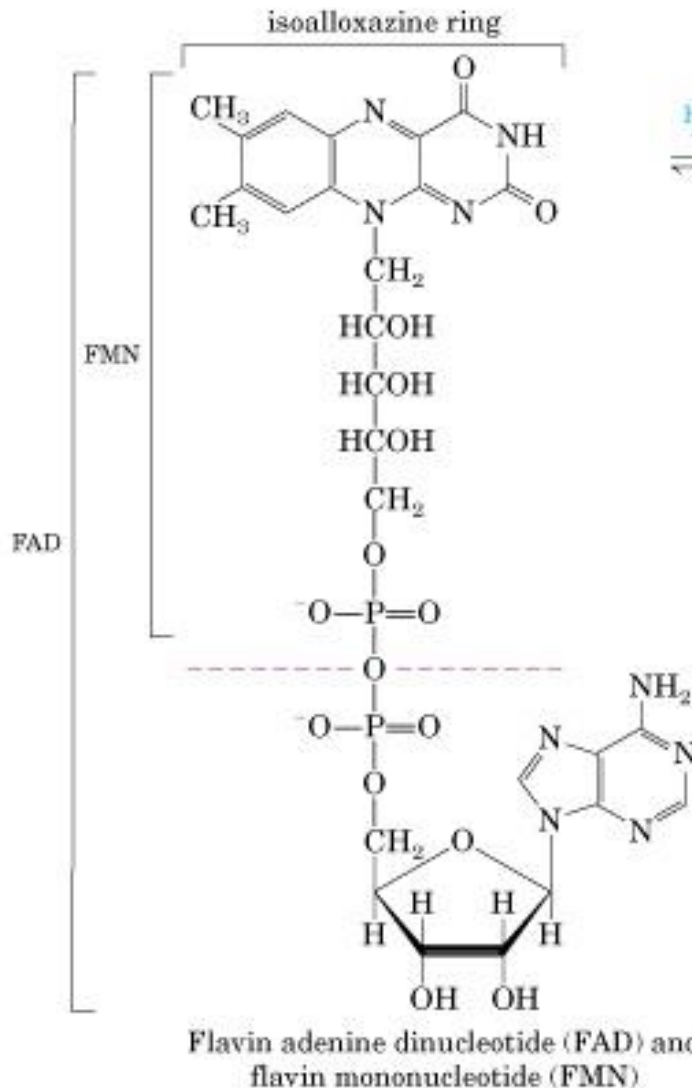
Bagaimana NAD^+ (atau NADP^+) membawa elektron



Turunan **N**icotinamide
Adenine **D**inucleotide
direduksi dengan
penambahan ion hidrida (2
elektron dan 1 proton)

Sebagai koenzim, NAD^+ (atau NADP^+) memiliki ikatan yang lemah dengan protein penyusun enzimnya, dan berfungsi sebagai pembawa elektron yang larut air

Bagaimana Turunan Riboflavin membawa elektron



Turunan flavin direduksi melalui penambahan secara bertahap 2 atom hidrogen (2 elektron dan 2 proton)

Sebagai koenzim, molekul ini terikat kuat dengan kompleks *flavoprotein*

Glikolisis - Bioenergetika

- ▶ 5 langkah selanjutnya adalah **fase perolehan**
 - Senyawa berkarbon-3 diaktivasi lebih lanjut (dengan fosfat anorganik)
 - Membentuk senyawa berenergi tinggi (1,3 BPG dan PEP)
 - Energi kemudian dibebaskan ketika senyawa-senyawa tersebut berkonversi menjadi **piruvat** oleh enzim *piruvat kinase* (4 ATP + 2 NADH)

Bioenergetika: + 2 ATP, + 2 NADH

Glikolisis – Fase Perolehan

6. Gliseraldehida 3-Fosfat dehidrogenase

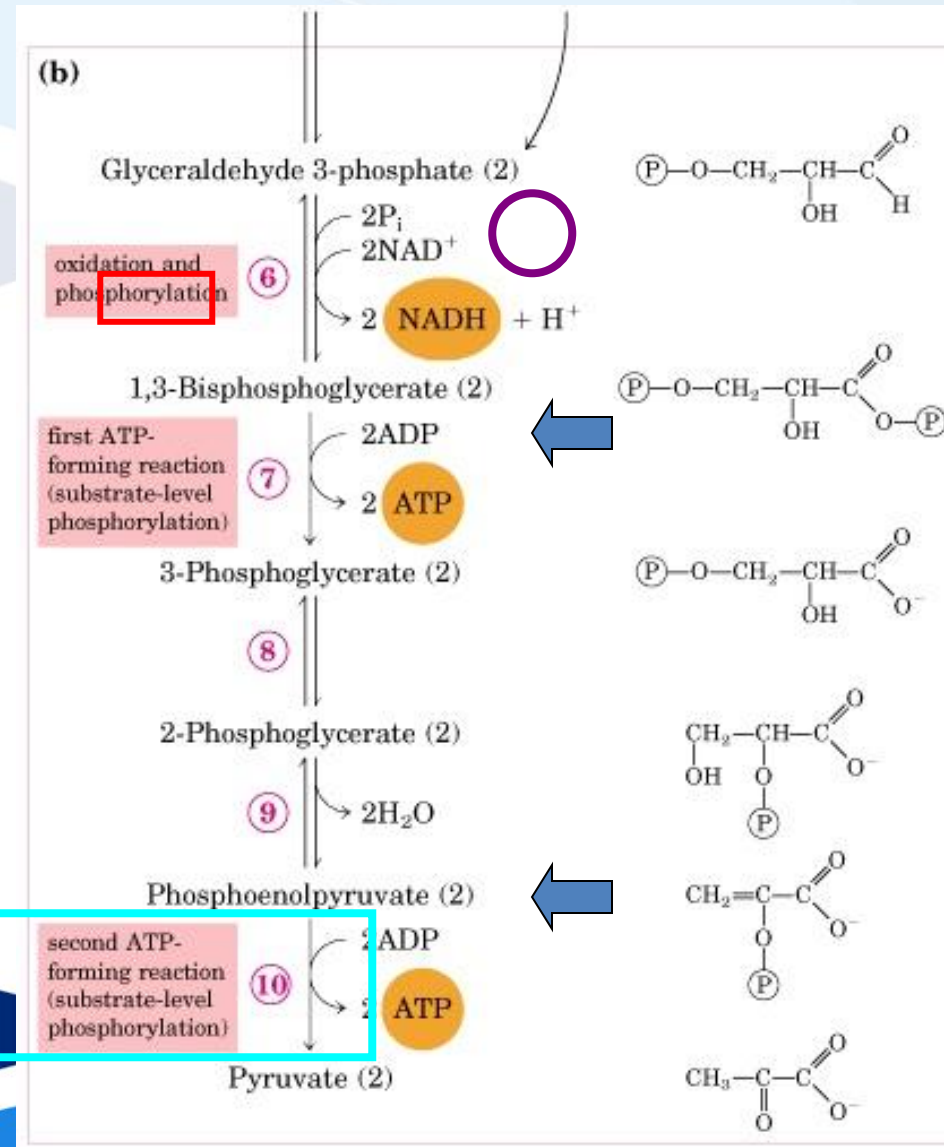
7. Fosfogliserat kinase

8. Fosfogliserat mutase

9. Enolase

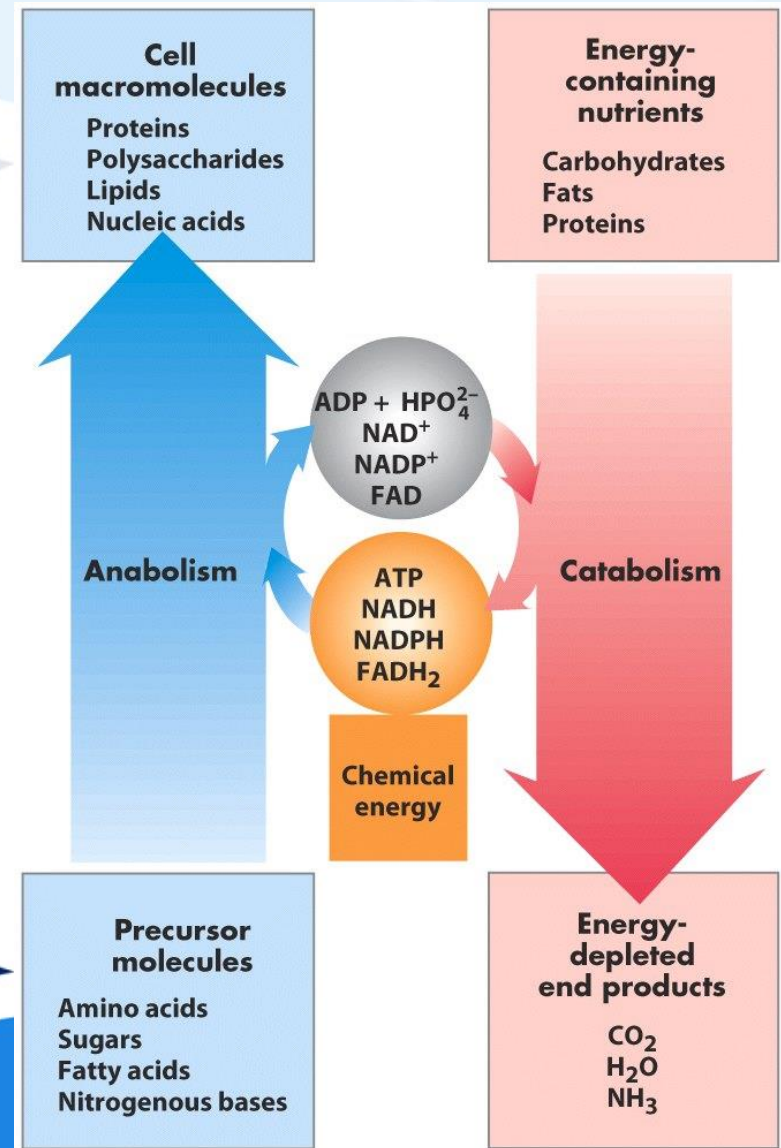
10. Piruvat kinase

$$\Delta G^{\circ} = - 31,4 \text{ kJ/mol}$$



Jalur metabolik dan energi

- ▶ **Nutrien berenergi** biasanya tingkat oksidasinya rendah (bentuk tereduksi). Contoh: lemak dan polisakarida.
- ▶ **Hasil akhir** yang habis energinya memiliki tingkat oksidasi tinggi (bentuk teroksidasi). Contoh: CO_2 .
- ▶ **NADH** dan **FADH₂** adalah senyawa **pereduksi** yang dapat mengubah prekursor berenergi rendah menjadi makromolekul.





**UNIVERSITAS
PANCASILA**
"A PLACE TO CREATE YOUR SUCCESS"

Terakreditasi "A" BAN-PT



UP Green Campus

TERIMA KASIH



KAMPUS PROGRAM DIPLOMA (D3), SARJANA (S1) & PROFESI :

Srengseng Sawah, Jagakarsa Jakarta Selatan
Telp. 021 - 7270086 ext. 123, 126, 139 / 7270130 / 7874344
Fax. 021 7271868 / 78880305
Email. humas@univpancasila.ac.id

SEKOLAH PASCASARJANA (S2) & (S3) :

Jalan Borobudur No.7. Jakarta Pusat

www.univpancasila.ac.id