

A circular petri dish containing a dense, overlapping layer of small, rod-shaped bacterial cells, likely Bacillus subtilis, used for fermentation studies.

# FERMENTASI MIKROBA

---

JURUSAN BIOLOGI UNIVERSITAS LAMPUNG

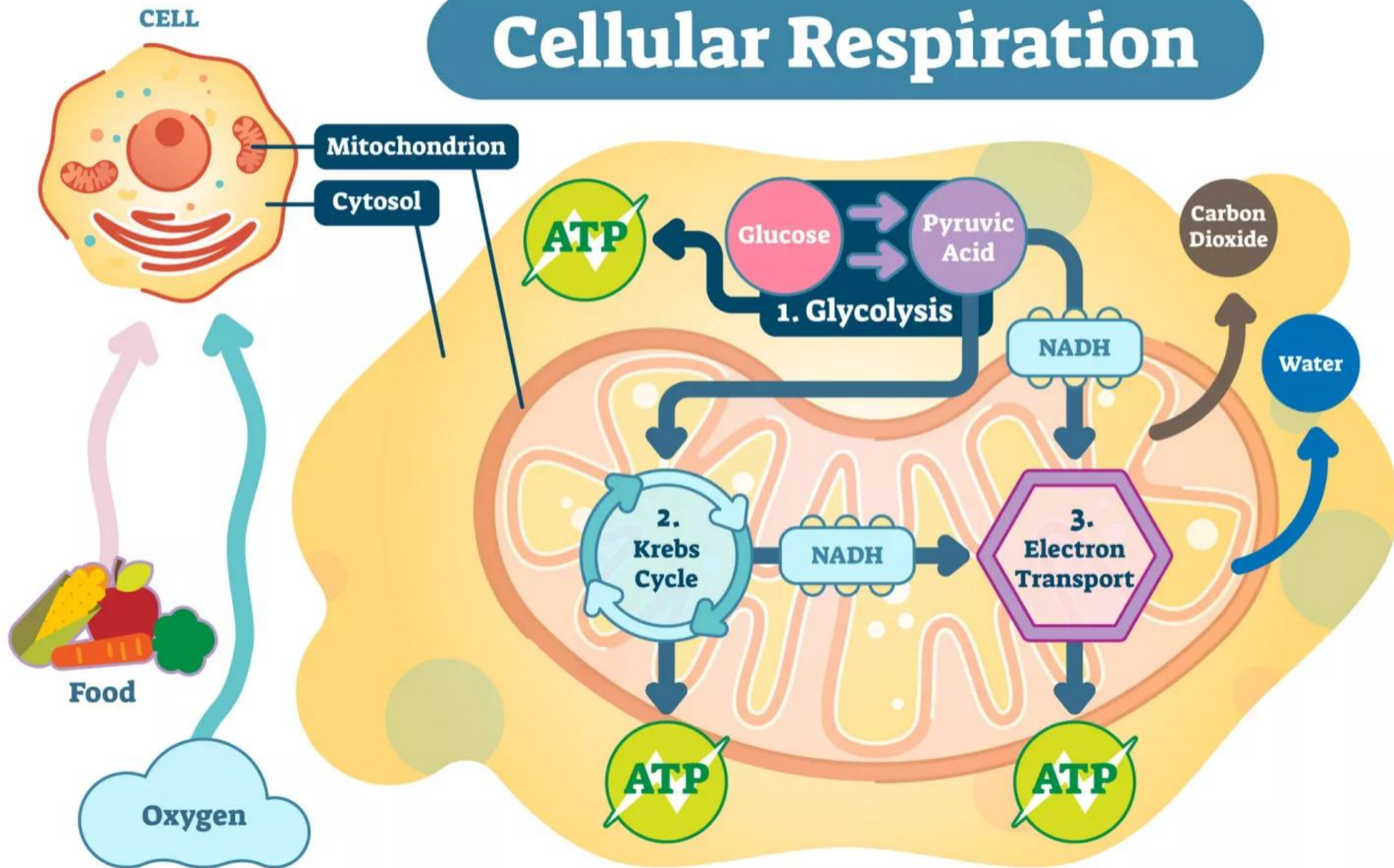
# APA ITU FERMENTASI?



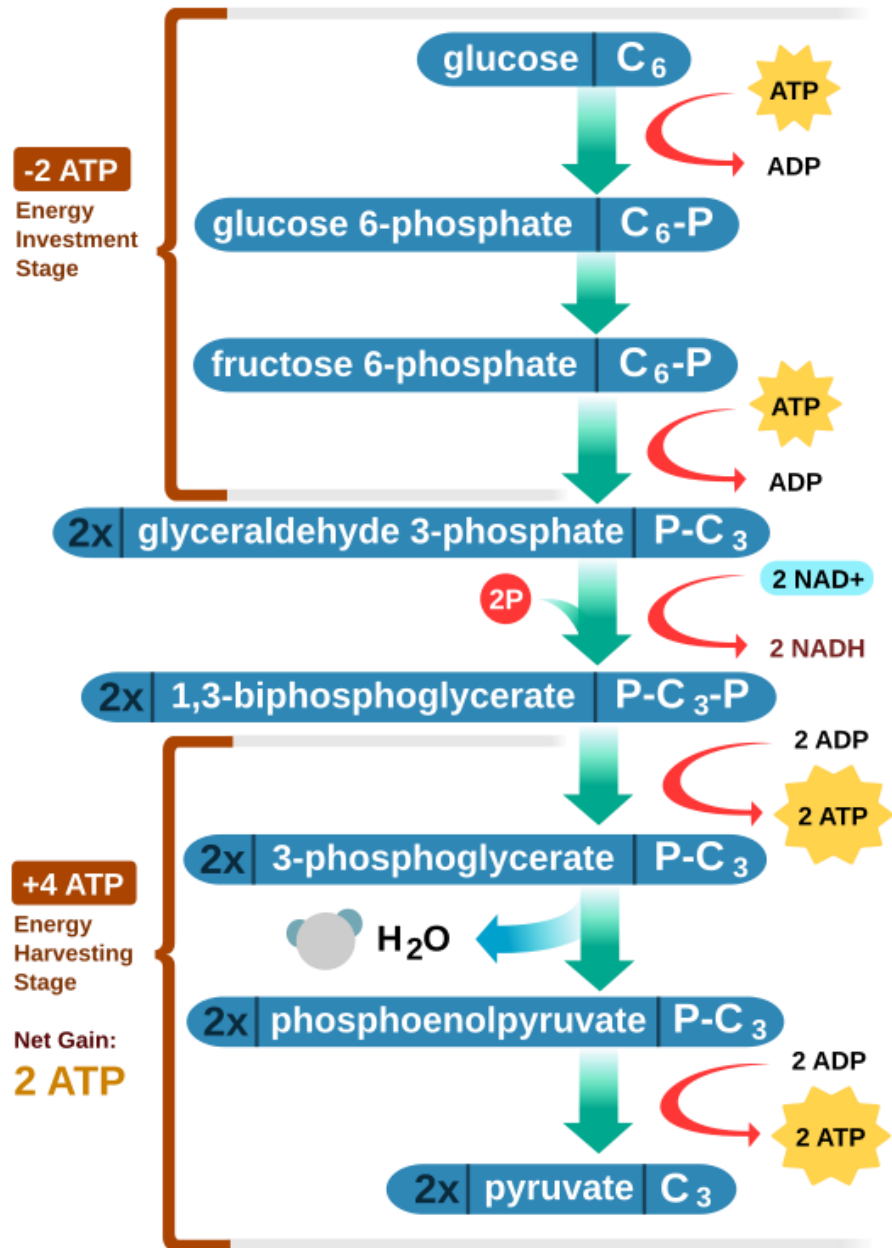
The background image shows three glass jars with metal clasps, each containing a different type of fermented food. The leftmost jar contains several small, round, light-brown pickled eggs. The middle jar is filled with a thick, white, textured substance, likely rice or a similar grain-based ferment. The rightmost jar contains several sliced pickles submerged in a clear liquid. The text is overlaid on this image in a large, bold, black font.

**APA PERBEDAAN  
FERMENTASI DAN  
RESPIRASI ANAEROB?**

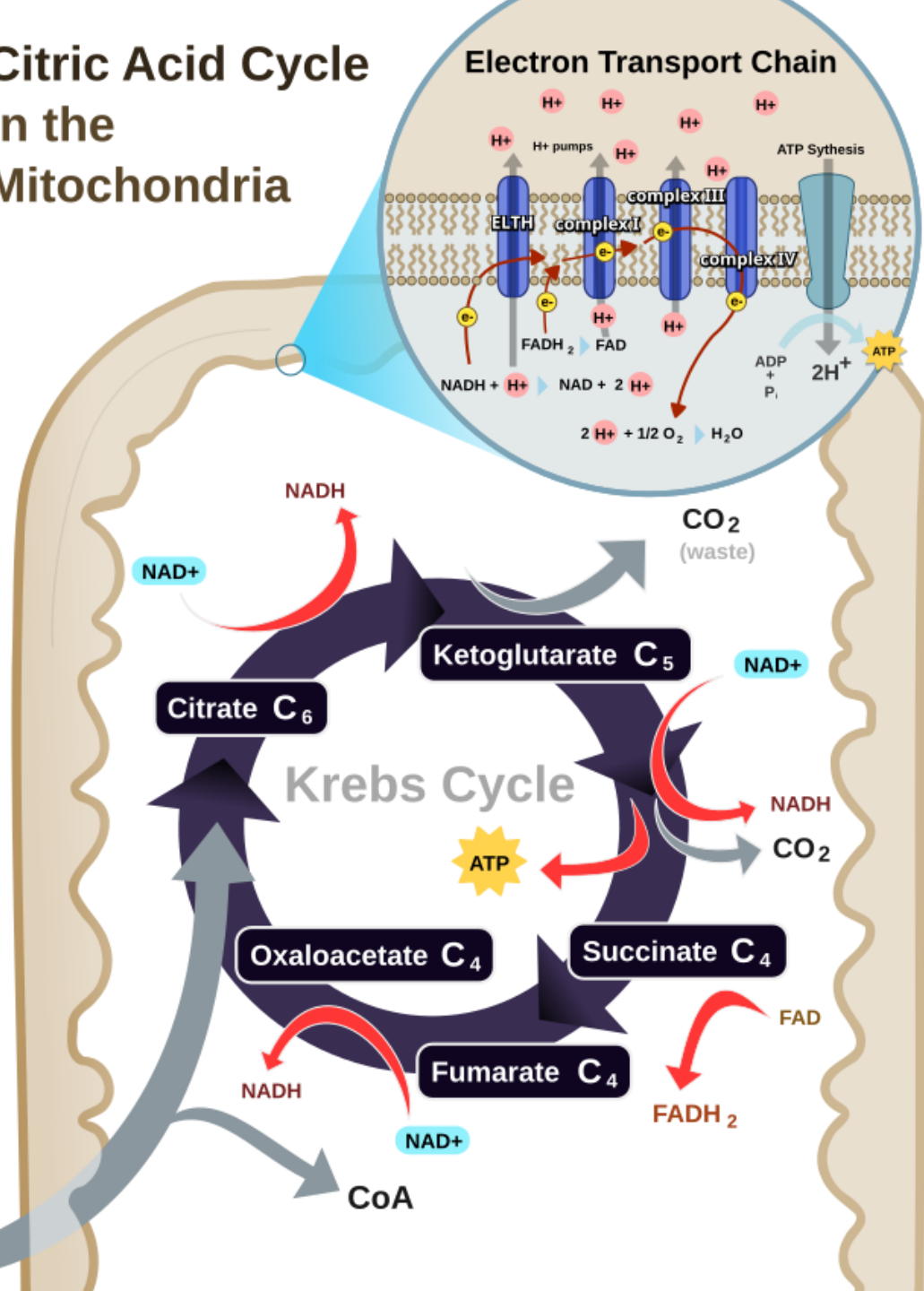
# Cellular Respiration



# Glycolysis in the Cytoplasm



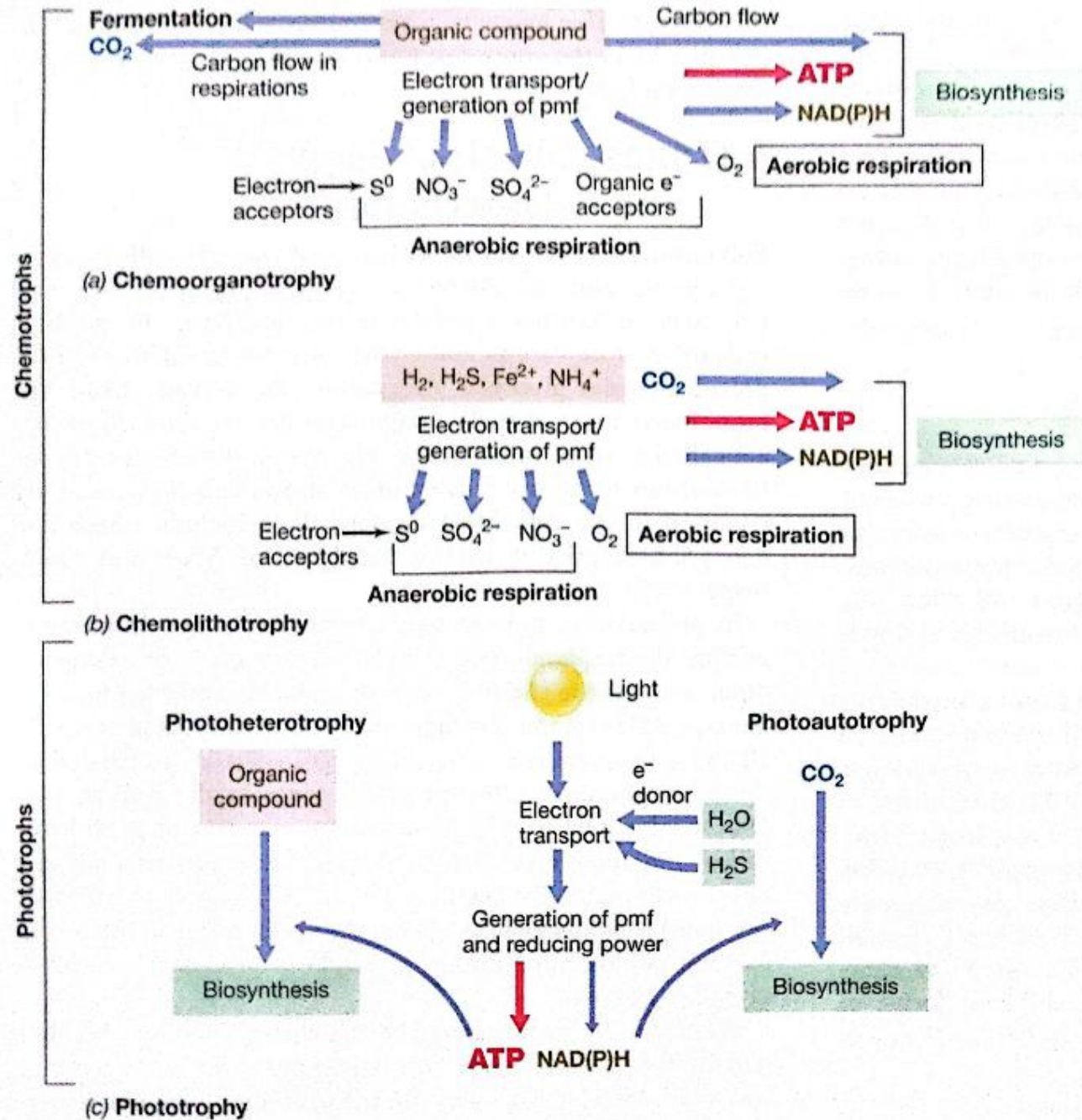
# Citric Acid Cycle in the Mitochondria



# — FERMENTASI

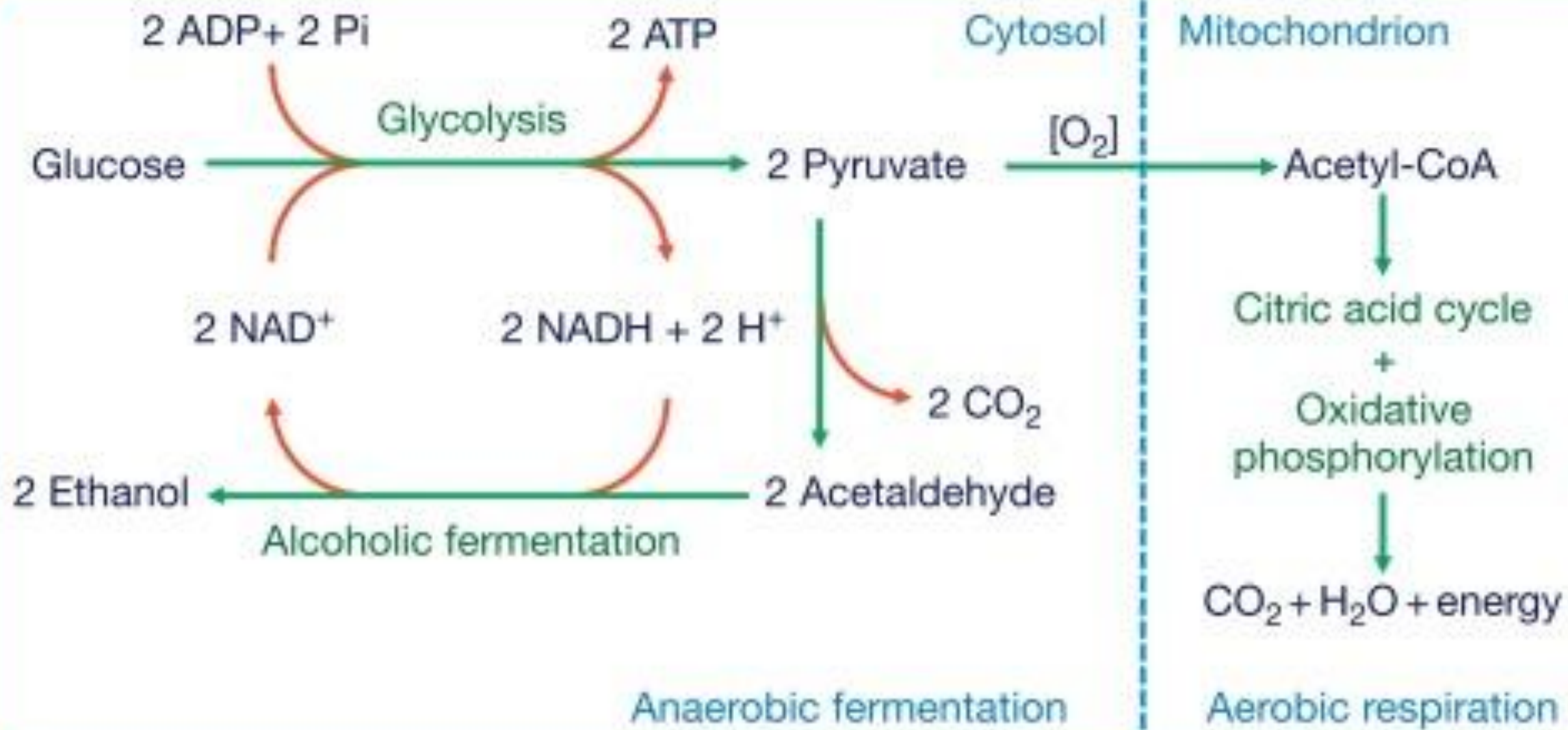
Fermentasi adalah reaksi katabolisme pada kondisi anoksik, yang tidak melibatkan siklus Krebs dan rantai transport electron dalam proses produksi energi. Fermentasi terjadi ketika akseptor electron terakhir selain oksigen tidak tersedia pada kondisi anoksik.





**Kemolitotrof** merupakan organisme yang menggunakan senyawa anorganik sebagai donor elektron, misalnya  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $Fe^{2+}$ , dan  $NH_3$ . Mikroorganisme yang tergolong dalam kelompok ini biasanya melakukan respirasi secara aerobik. **Perbedaan** kelompok kemolitotrof dan **kemoorganotrof** terletak pada **sumber karbon untuk biosintesis**. Kemoorganotrof menggunakan senyawa organik seperti glukosa dan asetat sebagai sumber karbon, sedangkan kemolitotrof menggunakan  $CO_2$  sebagai sumber karbon.

**Fototrof** yang menggunakan energi ATP untuk asimilasi  $CO_2$  sebagai sumber karbon untuk biosintesis disebut sebagai **fotoautotrof**, sedangkan fototrof yang menggunakan senyawa organik sebagai sumber karbon dengan cahaya sebagai sumber energi disebut sebagai **fotoheterotrof**.



# KLASIFIKASI/TIPE FERMENTASI

Fermentasi dikelompokkan berdasarkan substrat dan produk yang terbentuk. Penamaan tipe fermentasi didasarkan pada produk atau substrat yang digunakan dalam fermentasi.

**Table 14.2** Common bacterial fermentations and some of the organisms carrying them out

Type	Reaction	Organisms
Alcoholic	Hexose $\rightarrow$ 2 ethanol + 2 CO <sub>2</sub>	Yeast, <i>Zymomonas</i>
Homolactic	Hexose $\rightarrow$ 2 lactate <sup>-</sup> + 2 H <sup>+</sup>	<i>Streptococcus</i> , some <i>Lactobacillus</i>
Heterolactic	Hexose $\rightarrow$ lactate <sup>-</sup> + ethanol + CO <sub>2</sub> + H <sup>+</sup>	<i>Leuconostoc</i> , some <i>Lactobacillus</i>
Propionic acid	3 Lactate <sup>-</sup> $\rightarrow$ 2 propionate <sup>-</sup> + acetate <sup>-</sup> + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	<i>Propionibacterium</i> , <i>Clostridium propionicum</i>
Mixed acid <sup>a,b</sup>	Hexose $\rightarrow$ ethanol + 2,3-butanediol + succinate <sup>2-</sup> + lactate <sup>-</sup> + acetate <sup>-</sup> + formate <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	Enteric bacteria including <i>Escherichia</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Enterobacter</i>
Butyric acid <sup>b</sup>	Hexose $\rightarrow$ butyrate <sup>-</sup> + 2 H <sub>2</sub> + 2 CO <sub>2</sub> + H <sup>+</sup>	<i>Clostridium butyricum</i>
Butanol <sup>b</sup>	2 Hexose $\rightarrow$ butanol + acetone + 5 CO <sub>2</sub> + 4 H <sub>2</sub>	<i>Clostridium acetobutylicum</i>
Caproate/Butyrate	6 Ethanol + 3 acetate <sup>-</sup> $\rightarrow$ 3 butyrate <sup>-</sup> + caproate <sup>-</sup> + 2 H <sub>2</sub> + 4 H <sub>2</sub> O + H <sup>+</sup>	<i>Clostridium kluyveri</i>
Acetogenic	Fructose $\rightarrow$ 3 acetate <sup>-</sup> + 3 H <sup>+</sup>	<i>Clostridium aceticum</i>

<sup>a</sup>Not all organisms produce all products. In particular, butanediol production is limited to only certain enteric bacteria. Reaction not balanced.

<sup>b</sup>Stoichiometry shows major products. Other products include some acetate and a small amount of ethanol (butanol fermentation only).

**Table 14.3** Some unusual bacterial fermentations

Type	Reaction	Organisms
Acetylene	$2 \text{C}_2\text{H}_2 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ethanol} + \text{acetate}^- + \text{H}^+$	<i>Pelobacter acetylenicus</i>
Glycerol	$4 \text{Glycerol} + 2 \text{HCO}_3^- \rightarrow 7 \text{acetate}^- + 5 \text{H}^+ + 4 \text{H}_2\text{O}$	<i>Acetobacterium</i> spp.
Resorcinol (aromatic)	$2 \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{acetate}^- + \text{butyrate}^- + 5 \text{H}^+$	<i>Clostridium</i> spp.
Phloroglucinol (aromatic)	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{acetate}^- + 3 \text{H}^+$	<i>Pelobacter massiliensis</i> <i>Pelobacter acidigallici</i>
Putrescine	$10 \text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2 + 26 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6 \text{acetate}^- + 7 \text{butyrate}^- + 20 \text{NH}_4^+ + 16 \text{H}_2 + 13 \text{H}^+$	Unclassified gram-positive nonsporulating anaerobes
Citrate	$\text{Citrate}^{3-} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{formate}^- + 2 \text{acetate}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	<i>Bacteroides</i> spp.
Aconitate	$\text{Aconitate}^{3-} + \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{acetate}^- + \text{H}_2$	<i>Acidaminococcus fermentans</i>
Glyoxylate	$4 \text{Glyoxylate}^- + 3 \text{H}^+ + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2 + \text{glycolate}^-$	Unclassified gram-negative bacterium
Benzoate	$2 \text{Benzoate}^- \rightarrow \text{cyclohexane carboxylate}^- + 3 \text{acetate}^- + \text{HCO}_3^- + 3 \text{H}^+$	<i>Syntrophus aciditrophicus</i>

---

# FERMENTASI



- FERMENTASI ASAM LAKTAT
- FERMENTASI ASAM CAMPURAN
- FERMENTASI ASAM AMINO
- FERMENTASI TANPA FOSFORILASI TINGKAT SUBSTRAT
- SYNTROPHY

# FERMENTASI ASAM LAKTAT

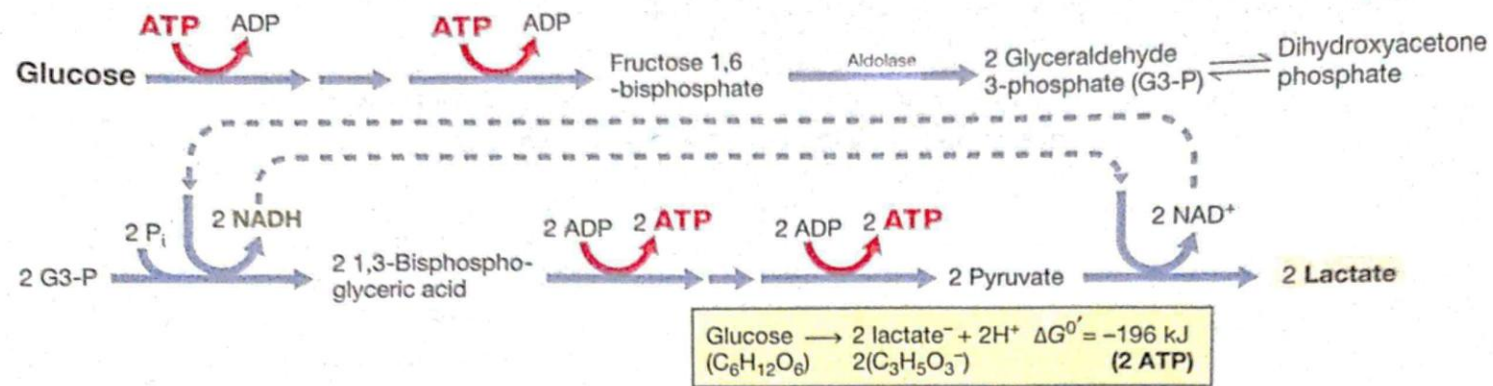
Dilakukan oleh bakteri gram-positif. Terdapat dua jenis fermentasi asam laktat, yakni homofermentative dan heterofermentative.

**Homofermentatif:** produk fermentasi hanyalah asam laktat

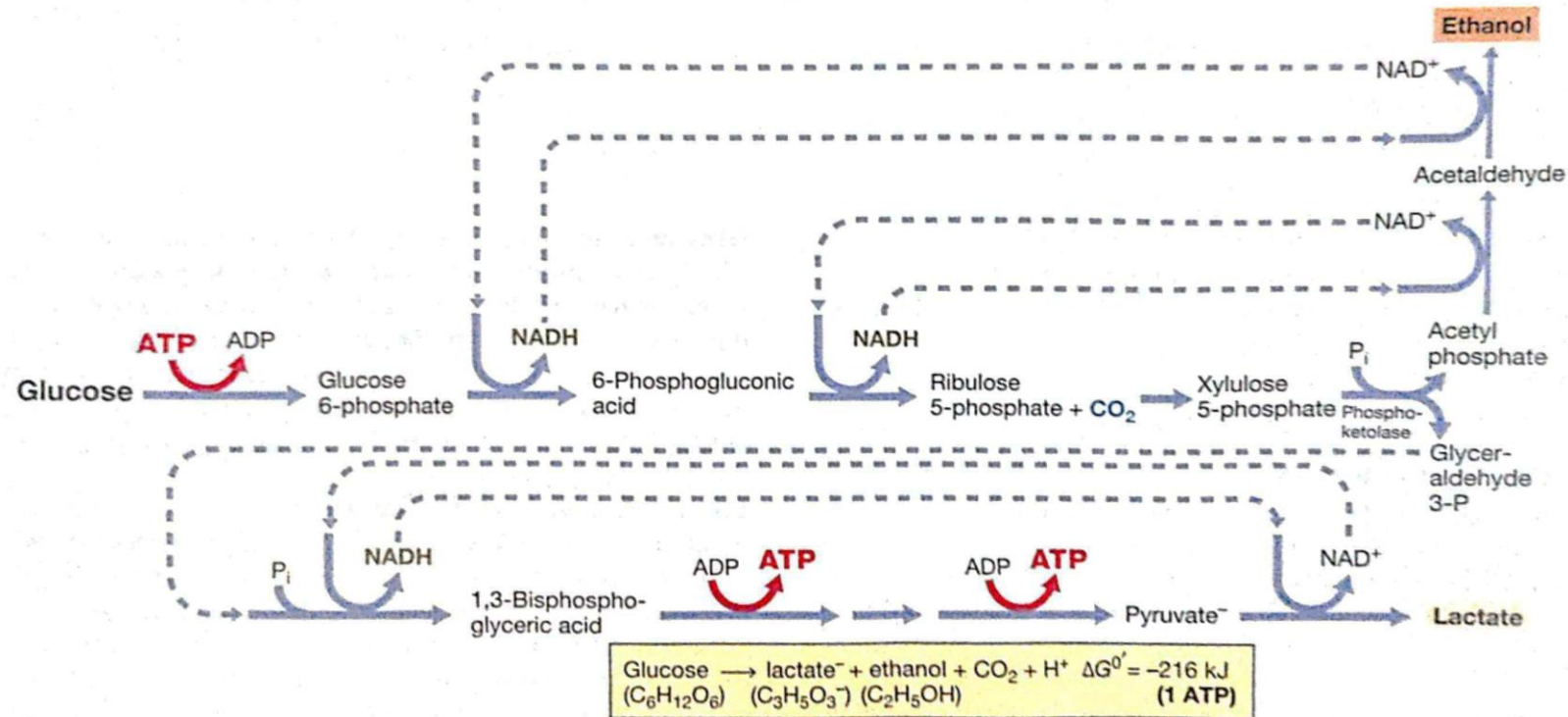
**Heterofermentatif:** Produk yang dihasilkan adalah asam laktat dan produk tambahan, biasanya berupa etanol+CO<sub>2</sub>.

**Enzim kunci yang membedakan keduanya adalah aldolase.** Bakteri homofermentatif memiliki enzim aldolase dan menghasilkan dua molekul laktat dari glukosa melalui glikolisis.

Jalur glikolisis pada heterofermentative adalah **jalur Entner-Doudoroff** sebagai varian glikolisis, dimana G6P dioksidasi menjadi asam 6-fosfoglukonat. Umumnya jalur ini terjadi pada kebanyakan **spesies Pseudomonas dan Zymomonas.**



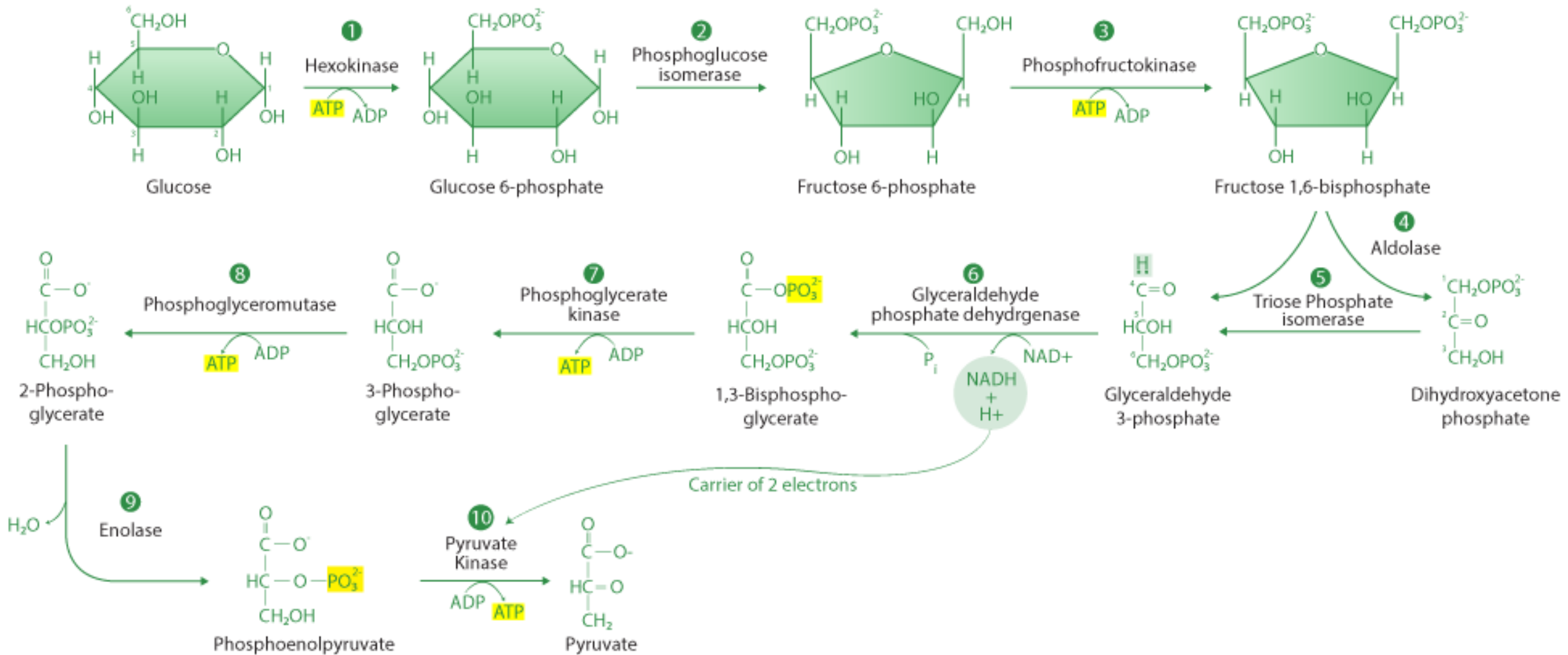
(a) Homofermentative



(b) Heterofermentative

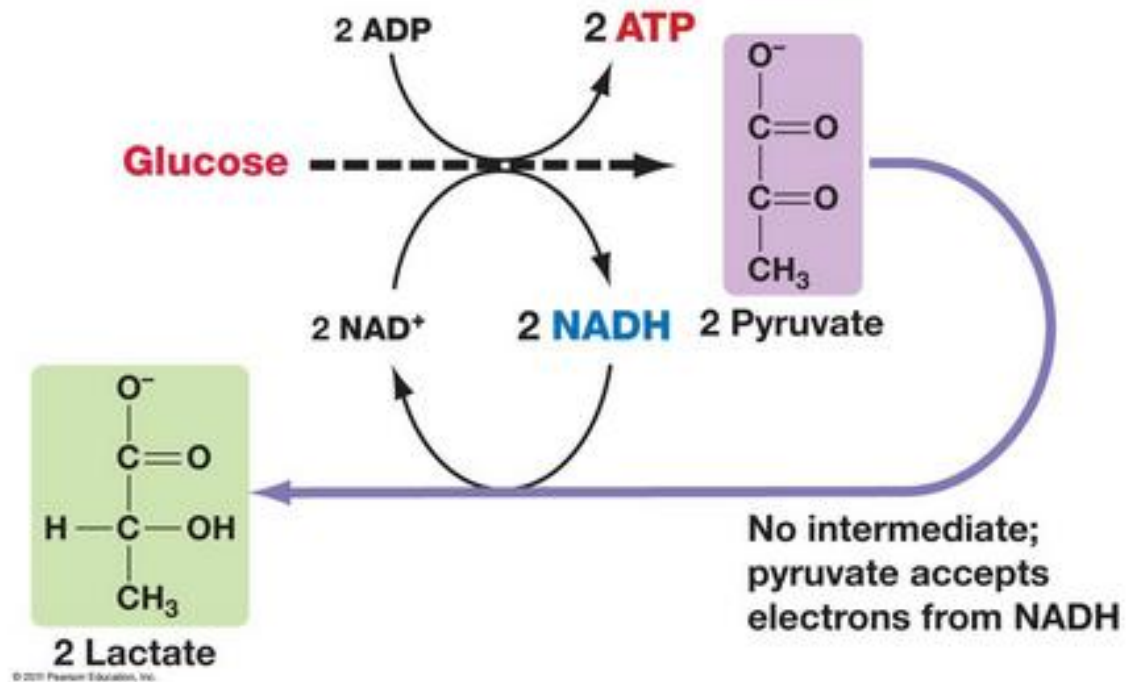
**Figure 14.3** The fermentation of glucose in (a) homofermentative and (b) heterofermentative lactic acid bacteria. Note that no ATP is made in reactions leading to ethanol formation in heterofermentative organisms.

# Rekasi Glikolisis



## Lactate pathway

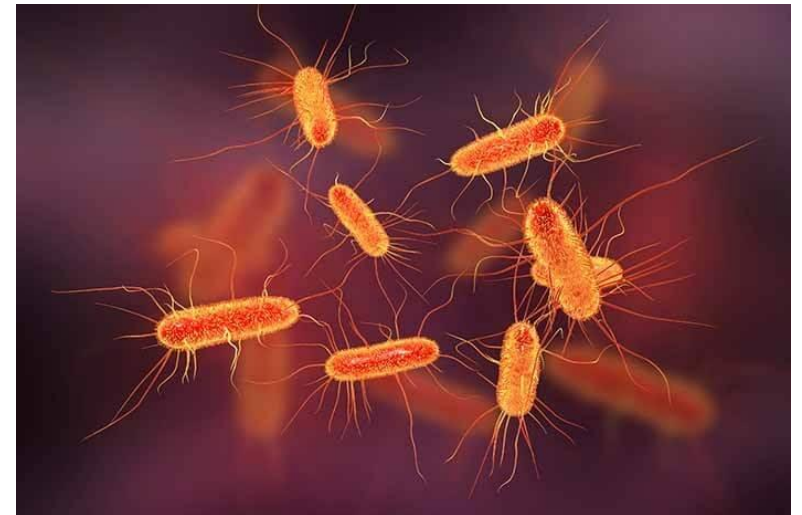
Lactic acid fermentation occurs in humans.



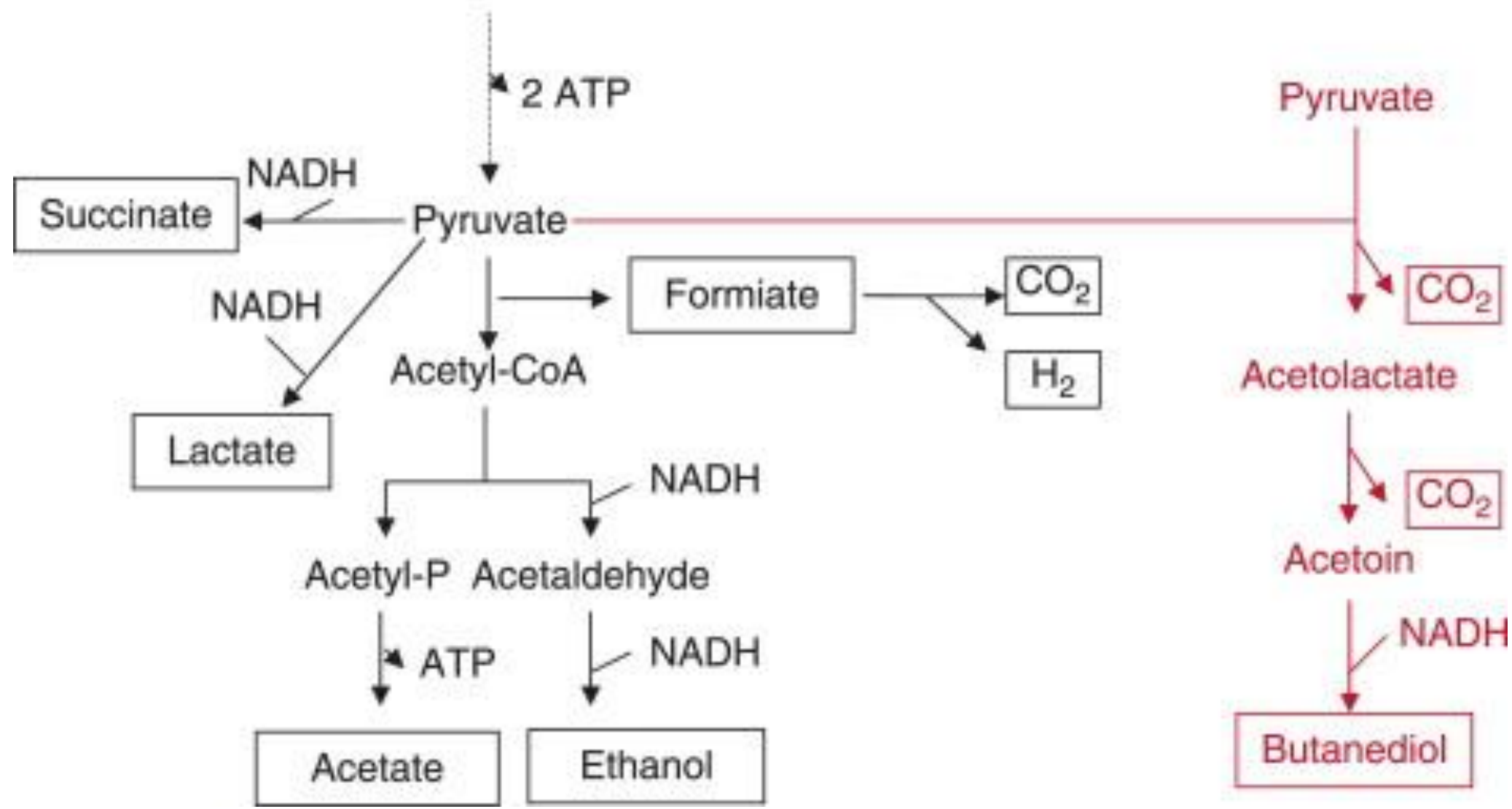
# FERMENTASI ASAM CAMPURAN

Merupakan karakteristik dari **bakteri enteric**, yakni bakteri yang tergolong gram-negative, berbentuk batang, motil dg flagella atau nonmotile, tidak membentuk spora. Contohnya adalah Gammaproteobacteria, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*

Tiga asam terbentuk melalui fermentasi ini, yakni asetat, laktat, dan suksinat. Proses ini juga menghasilkan etanol, karbondioksida, dan H<sub>2</sub>



# Glycolysis

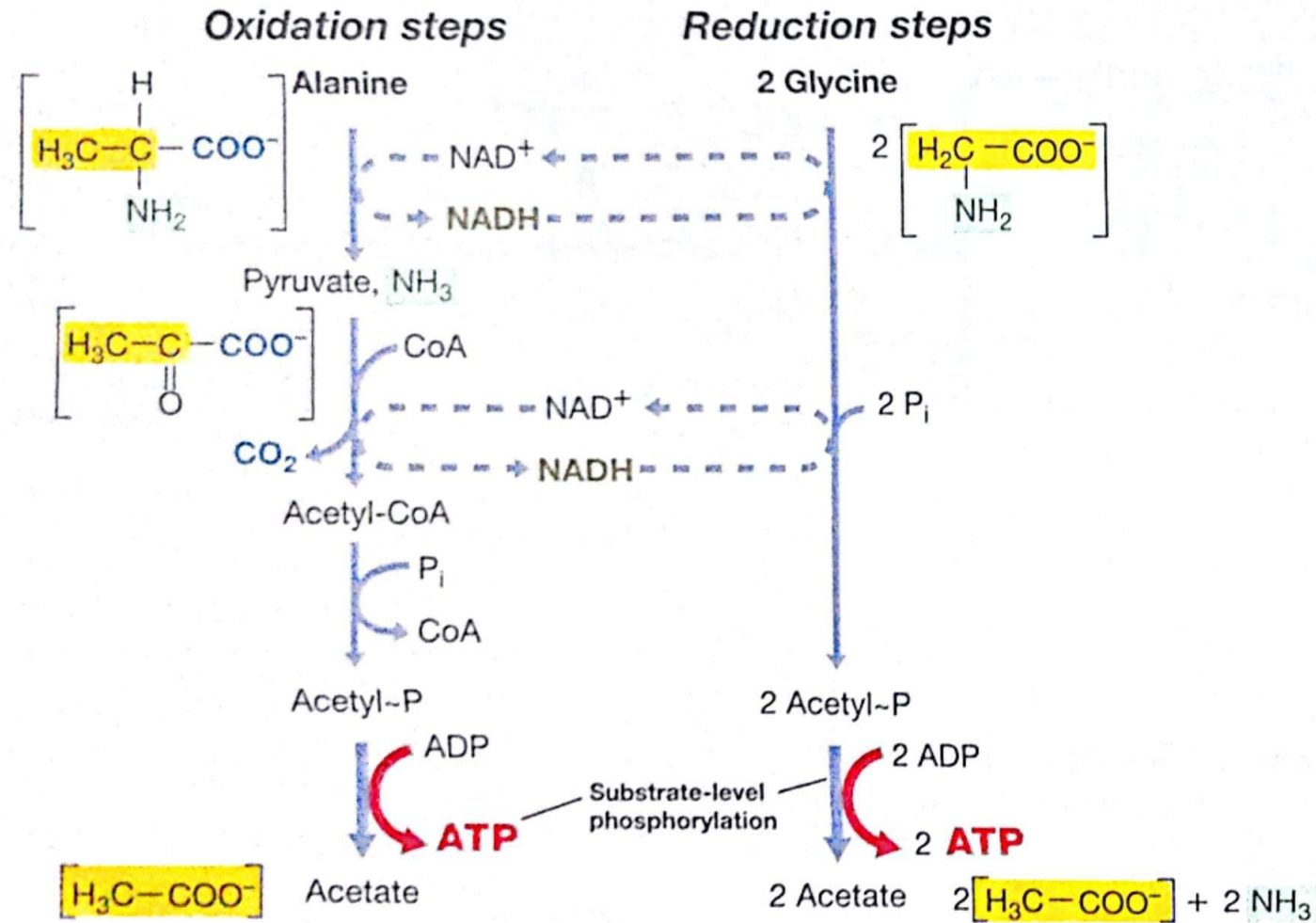


# FERMENTASI ASAM AMINO

Fermentasi asam amino dilakukan oleh beberapa spesies *Clostridium* yang termasuk dalam golongan bakteri proteolitik clostridia. Organisme ini mendegradasi protein dari organisme yang sudah mati di alam. **Beberapa clostridia memfermentasikan satu asam amino (mis. alanin, cysteine, histidine, serine, atau treonin), Sebagian lainnya memfermentasikan sepasang asam amino secara berpasangan, dikenal sebagai reaksi Stickland.**

Satu asam amino berperan sebagai donor elektron dan dioksidasi pada reaksi Stickland, sebaliknya pada reaksi ini asam amino lainnya berperan sebagai akseptor electron dan direduksi. Contoh spesies yang melakukan fermentasi asam amino melalui reaksi Stickland adalah *Clostridium sporogenes* yang mengatabolisasi campuran glisin dan alanin, Dimana glisin berperan sebagai akseptor electron. Produk yang dihasilkan dari fermentasi clostridia kebanyakan berbau busuk, hasil dari putrefaksi. Senyawa berbau busuk dapat berupa hydrogen sulfida, methylmercaptan (dari S asam amino), cadaverine (dari lysine), putrescine (dari ornithine), dan NH<sub>3</sub>.

# Reaksi Stickland pada *Clostridium sporogenes*

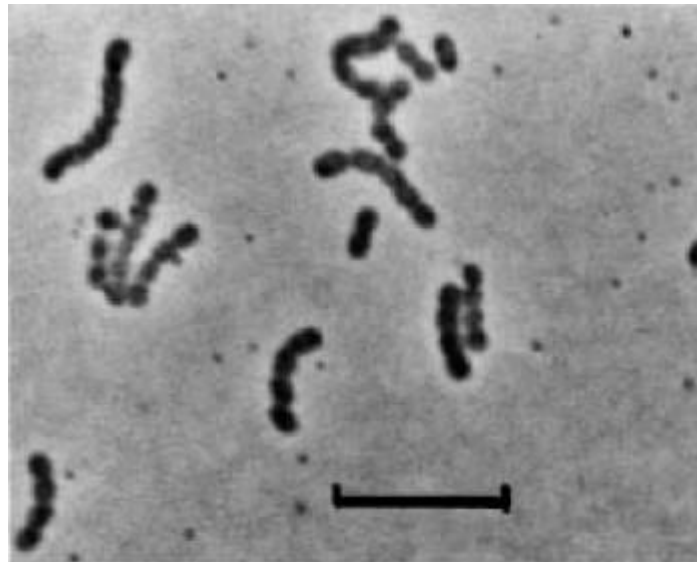


Asam amino yang dapat berperan sebagai donor  
— dan akseptor pada rekasi Stickland

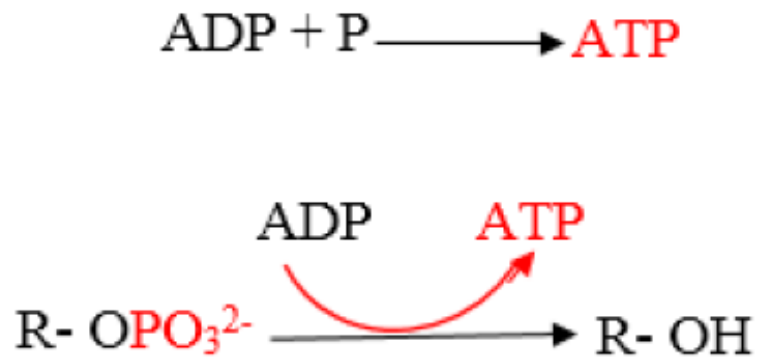
<b>Amino acids participating in coupled fermentations (Stickland reaction)</b>	
<b>Amino acids oxidized:</b>	<b>Amino acids reduced:</b>
Alanine	Glycine
Leucine	Proline
Isoleucine	Hydroxyproline
Valine	Tryptophan
Histidine	Arginine

# FERMENTASI TANPA FOSFORILASI TINGKAT SUBSTRAT

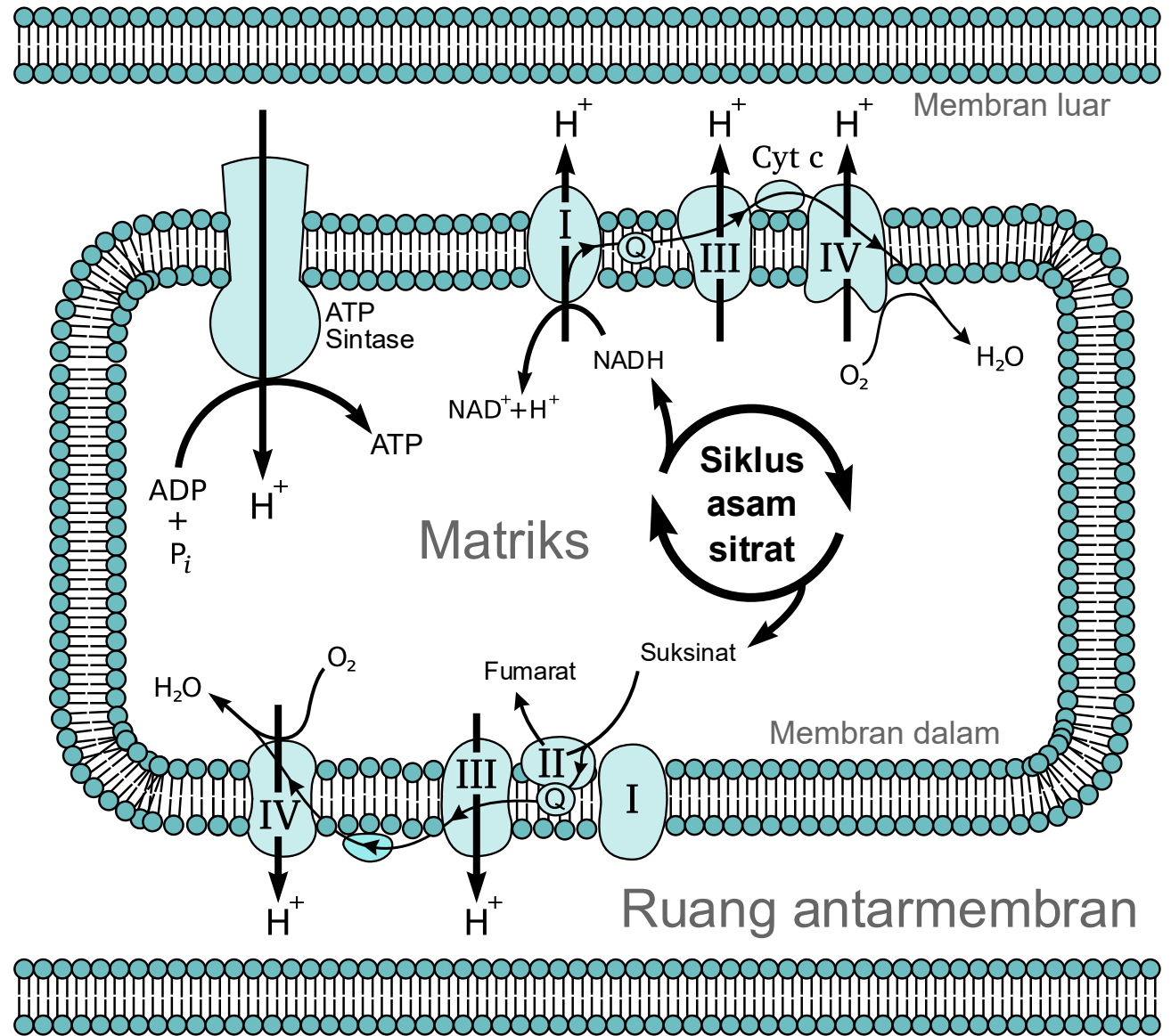
Beberapa hasil fermentasi tidak memiliki cukup energi untuk menyintesis ATP melalui fosforilasi tingkat substrat, namun tetap dapat mendukung pertumbuhan. Katabolisme senyawa pada kasus ini dihubungkan dengan pompa proton yang membentuk pergerakan melewati membrane plasma, contohnya fermentasi suksinat oleh *Propionigenium modestum*.



# Fosforilasi tk. Substrat



# Fosforilasi Oksidatif

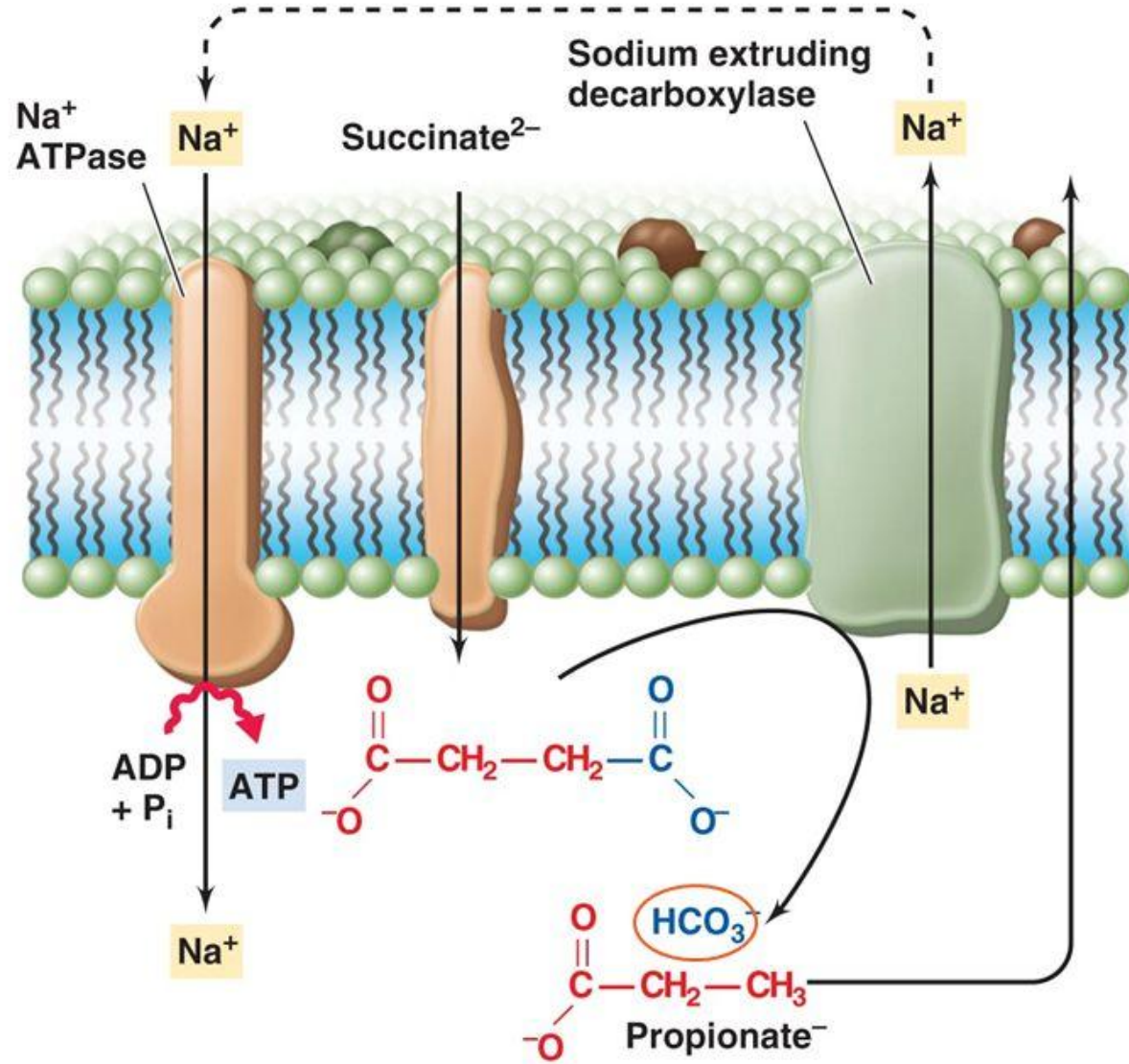


# Fermentasi suksinat oleh *Propiogenium modestum*

---

*Propiogenium modestum* merupakan bakteri gram negative yang hidup pada sedimen air laut dan tawar. Bakteri ini dapat pula diisolasi dari rongga mulut manusia. *P. modestum* membutuhkan NaCl untuk tumbuh dan mengatabolisasi suksinat di bawah kondisi anoksik. Ekspor sodium ke luar sel dihubungkan dengan energi yang dihasilkan oleh dekarboksilasi suksinat, dan ATP-ase translokasi-sodium yang menghasilkan ATP. Dekarboksilasi suksinat akan melepaskan cukup energi bebas untuk mendukung sintesis ATP melalui fosforilasi tingkat substrat. Energi konservasi pada *P. modestum* dihubungkan dengan tenaga penggerak natrium yang berasal dari pemompaan Na<sup>+</sup>. ATPase translokasi-sodium menggunakan gaya Gerak sodium untuk menggerakkan sintesis ATP.

# Succinate Fermentation by *Propionigenium modestum*



(a)

Figure 21.9a

# SYNTROPHY

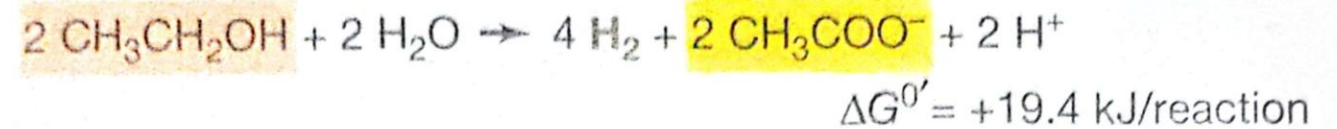
Syntrophy adalah proses metabolisme dari dua organisme berbeda yang bersama-sama mendegradasi suatu substrat. Kebanyakan reaksi syntrophy berupa fermentasi sekunder. Contohnya adalah fermentasi yang menghasilkan metana. Banyak senyawa yang dapat didegradasi secara syntrophs, misalnya hidrokarbon aromatic dan alifatik.

# Syntrophy

H<sub>2</sub> diproduksi oleh salah satu partner syntrophy yang dihubungkan dengan konsumsi H<sub>2</sub> oleh partner lainnya. Konsumer H<sub>2</sub> bisa jadi berupa bakteri denitrifikasi, bakteri pereduksi besi, bakteri pereduksi sulfat, acetogenes, atau methanogens.

Fermentasi etanol menghasilkan asetat dan H<sub>2</sub>, kemudian H<sub>2</sub> ditransfer untuk memproduksi methana oleh methanogens.

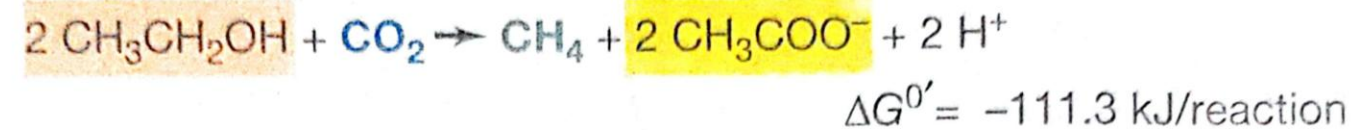
Ethanol fermentation:



Methanogenesis:



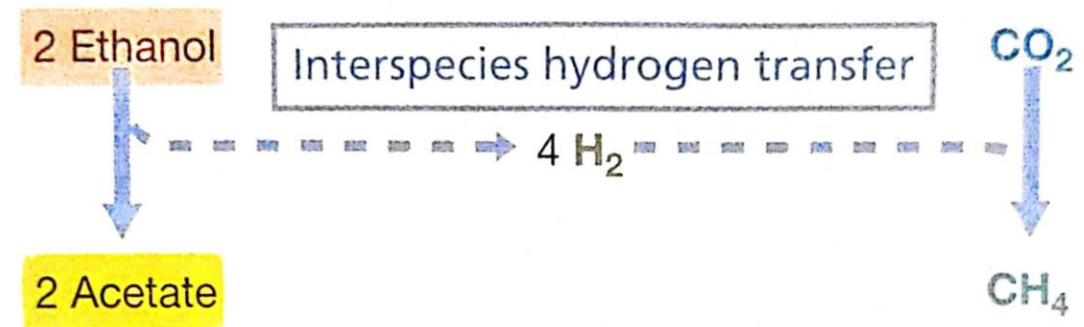
Coupled reaction:




(a) Reactions

Ethanol fermenter

Methanogen



(b) Syntrophic transfer of H<sub>2</sub>

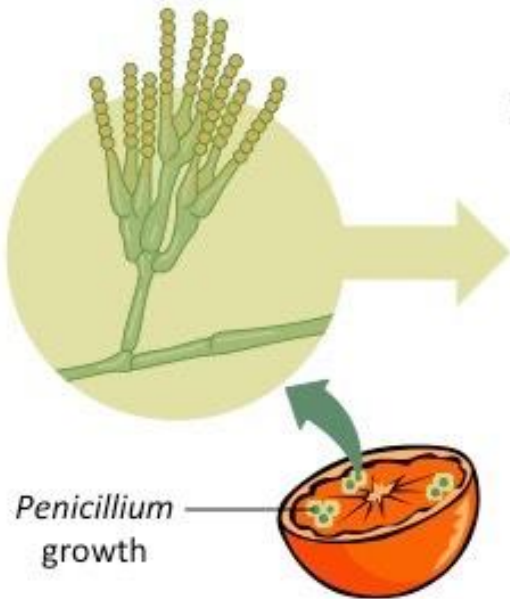


Pemanfaatan mikroba dalam pembuatan suatu produk dalam skala industri melibatkan proses **fermentasi** yang terjadi di dalam tanki fermentasi atau fermentor atau bioreaktor

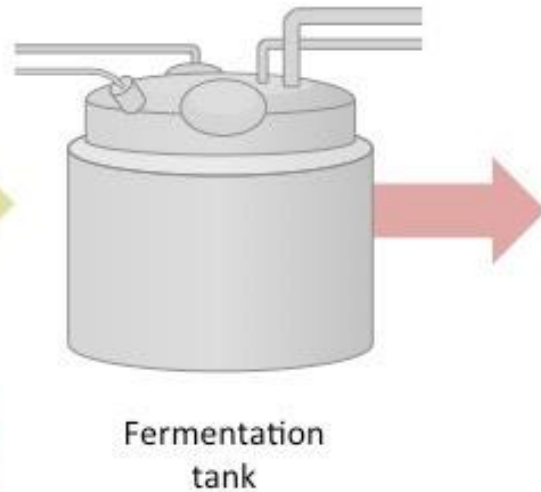
# Pemanfaatan Kapang

Kapang digunakan dalam produksi antibiotic dan berbagai zat kimia, enzim, dan produk pangan. Salah satu contohnya adalah pemanfaatan kapang dalam pembuatan produk penisilin yang berfungsi sebagai antibiotic.

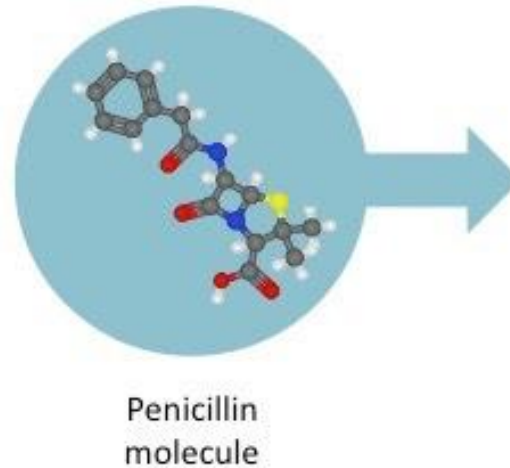
1 *Penicillium* mold produces the antibiotic penicillin



2 Scientists grow mold in deep batch fermenters by adding sugar and other key ingredients



3 Scientists separate the penicillin from the mold

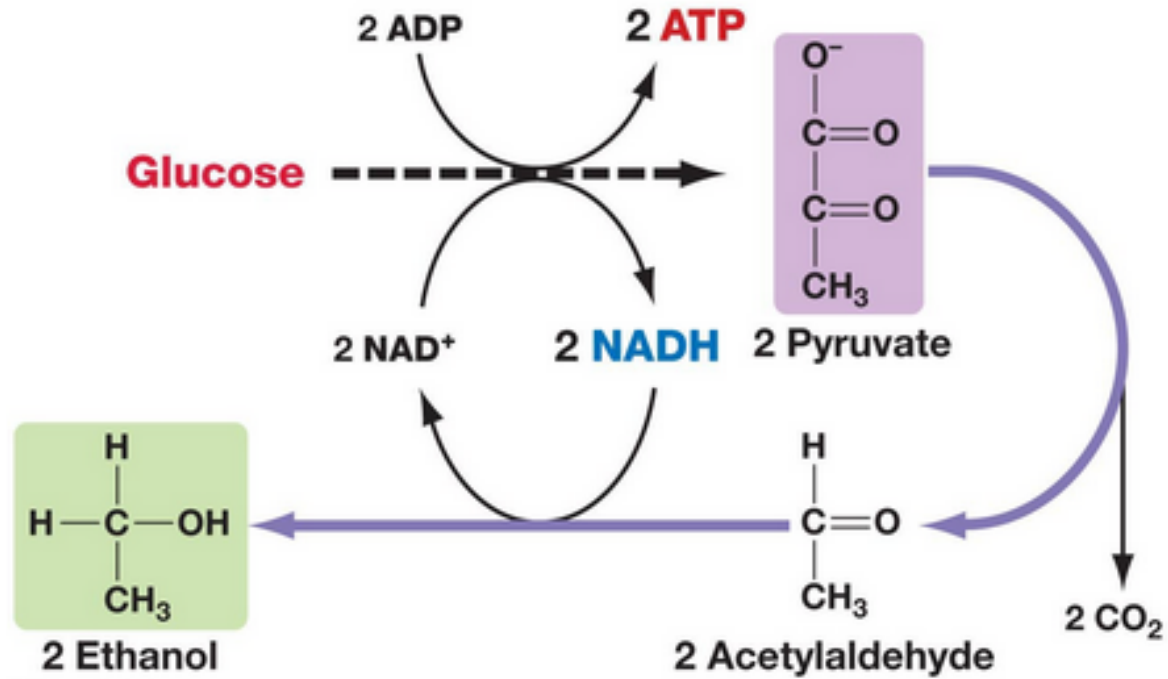


4 Penicillin is purified for use as an antibiotic medicine



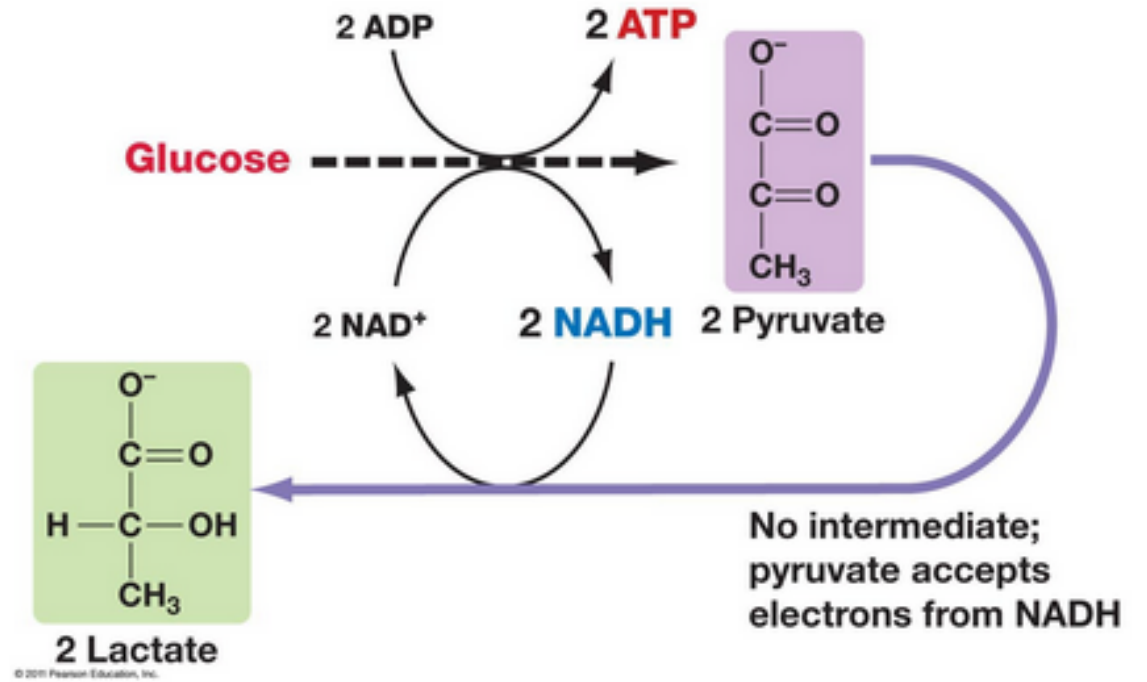
## Ethanol pathway

Alcohol fermentation occurs in yeast.



## Lactate pathway

Lactic acid fermentation occurs in humans.



# Fermentasi Acetate

