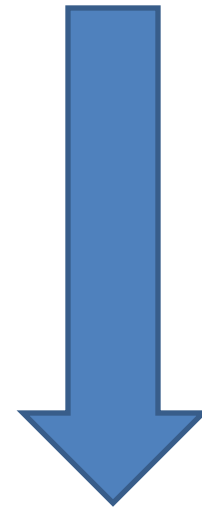


METABOLISME KARBOHIDRAT

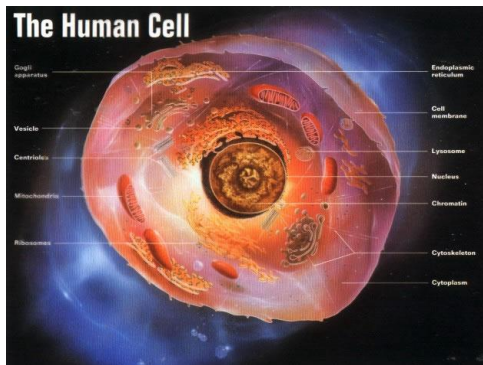
Chairul Huda Al Husna

IMAJINASI

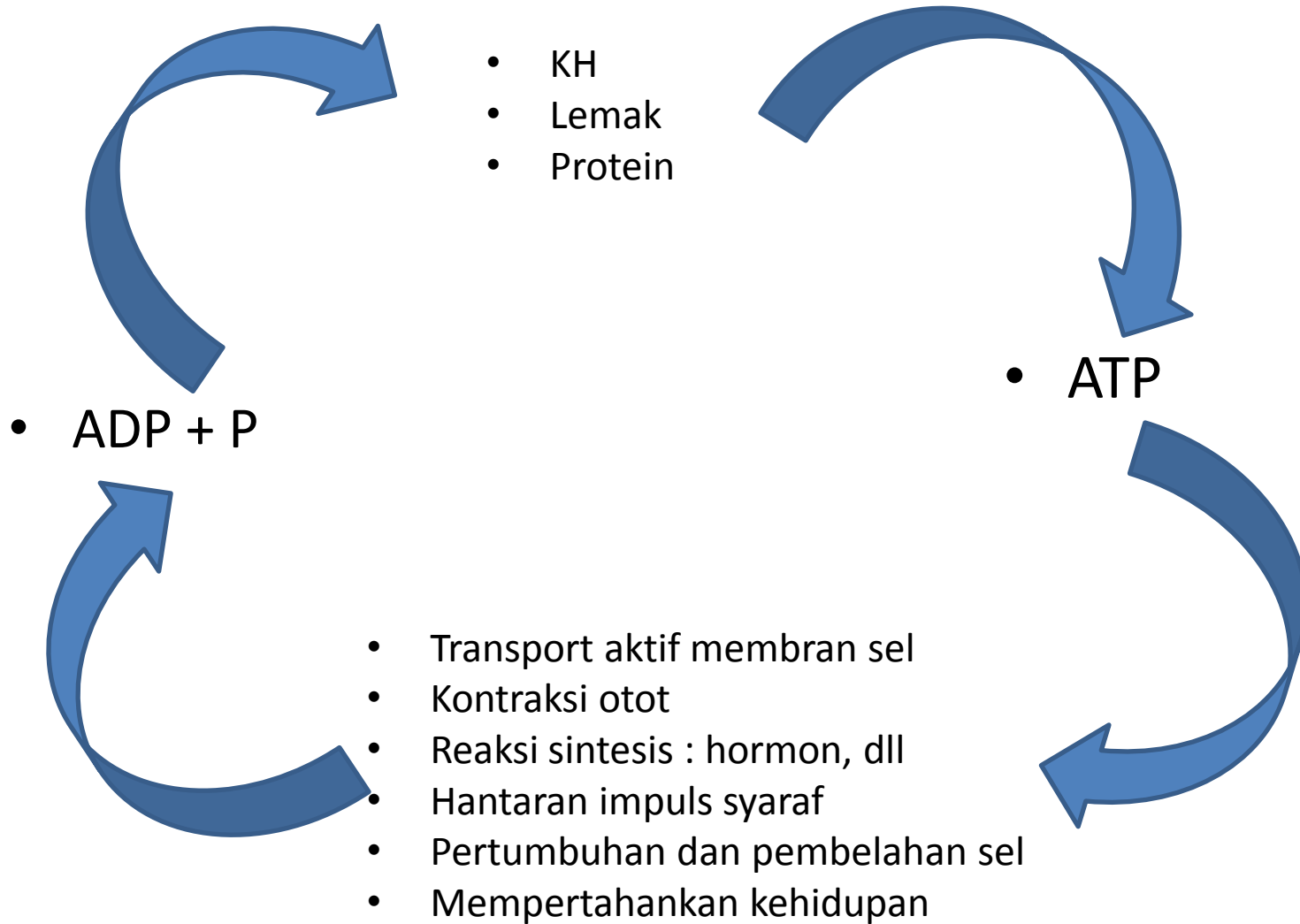




METABOLISME



ENERGI



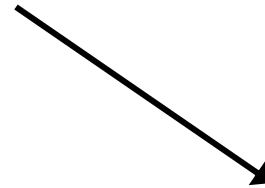
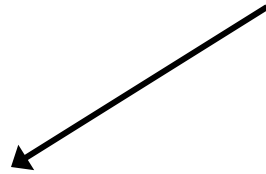
Pengantar

- Kebanyakan reaksi kimia dalam sel bertujuan untuk membuat energi
- Semua zat makanan berenergi (KH, lemak, protein) dapat dioksidasi di dalam sel, dan selama proses ini berlangsung, sejumlah energi dilepaskan
- ATP merupakan rantai penghubung yg esensial antara fungsi penggunaan energi dengan dan fungsi penghasil energi
- ATP adalah alat bayar energi
- ATP adalah senyawa kimia yg labil

Glukosa

- Produk akhir dari pencernaan karbohidrat (glukosa, fruktosa, galaktosa) – banyak fruktosa dan semua galaktosa diubah menjadi glukosa – dalam hati
- Glukosa transpor ke dalam sel melalui membran sel – tidak dapat berdifusi (100 vs 180) – **difusi terfasilitasi** (carrier)
- Insulin meningkatkan difusi **glukosa terfasilitasi** – glukosa darah rendah – glukosa masuk sel
- Glukosa bisa digunakan untuk membentuk energi, atau disimpan
- Disimpan di : hati (5-8%) dan otot (1-3%)

METABOLISME



KATABOLISME

Bertujuan untuk pembongkaran atau penguraian suatu molekul



Respirasi



Respirasi Aerob



Respirasi Anaerob

ANABOLISME

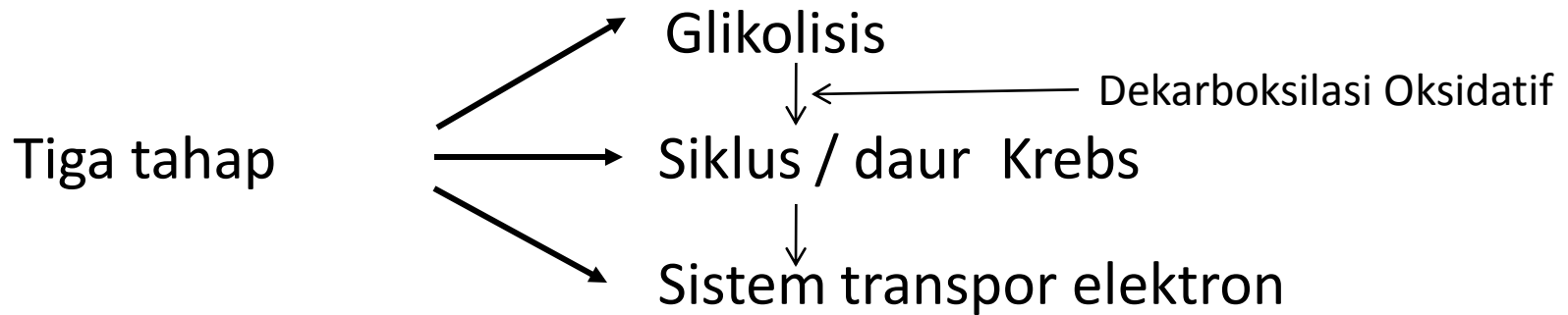
Bertujuan untuk penyusunan atau sintesis suatu molekul



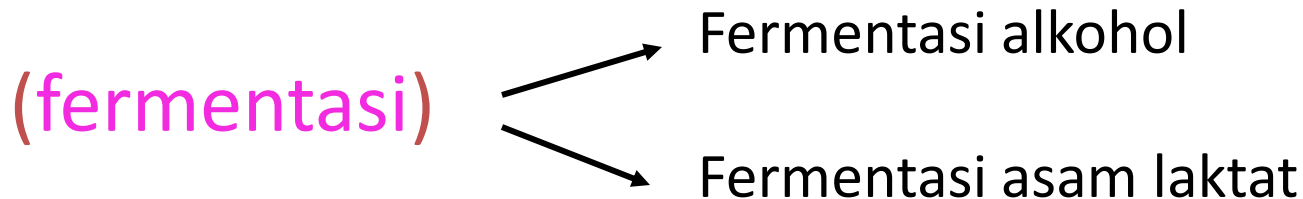
Fotosintesis / asimilasi

Katabolisme Karbohidrat

1. Respirasi aerob



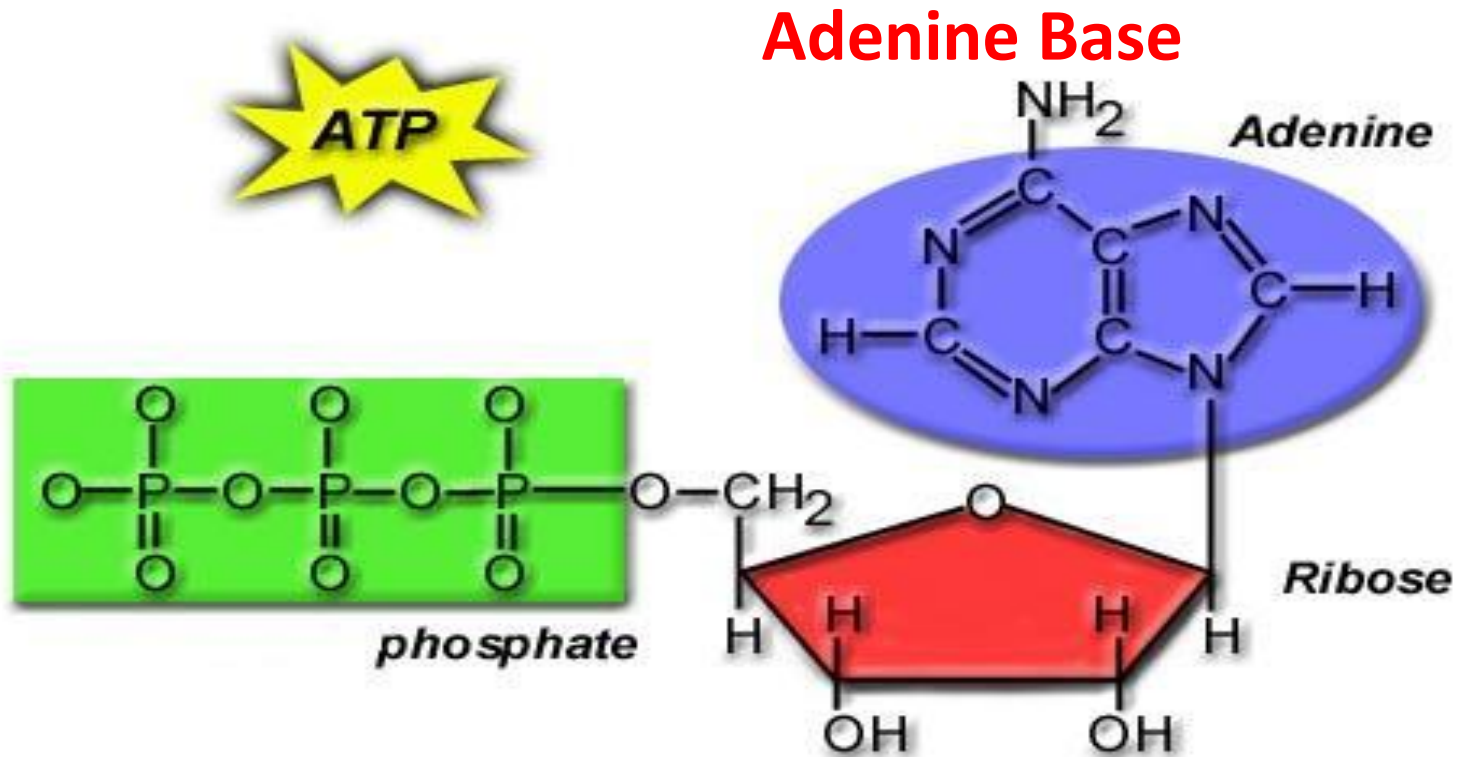
2. Respirasi anaerob



ATP = Adenosin Tripospat

- $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$
- “alat bayar energi”
- Molekul berenergi tinggi
- Merupakan ikatan tiga (tri) molekul Pospat dengan senyawa Adenosin.
- Ikatan kimianya labil (mudah lepas gugus Pospat) dari 3 (ATP) menjadi 2 (ADP)
- Lepasnya ikatan tsb diikuti dengan pembebasan energi sebanyak 7,3 kcal/mol atau 30,5 kJ/mol
- Reaksi dapat balik
 - $ATP \rightarrow ADP + P$
 - $ADP + P \rightarrow ATP$
- Sintesis ATP dari $ADP + P \rightarrow$ Fosforilasi

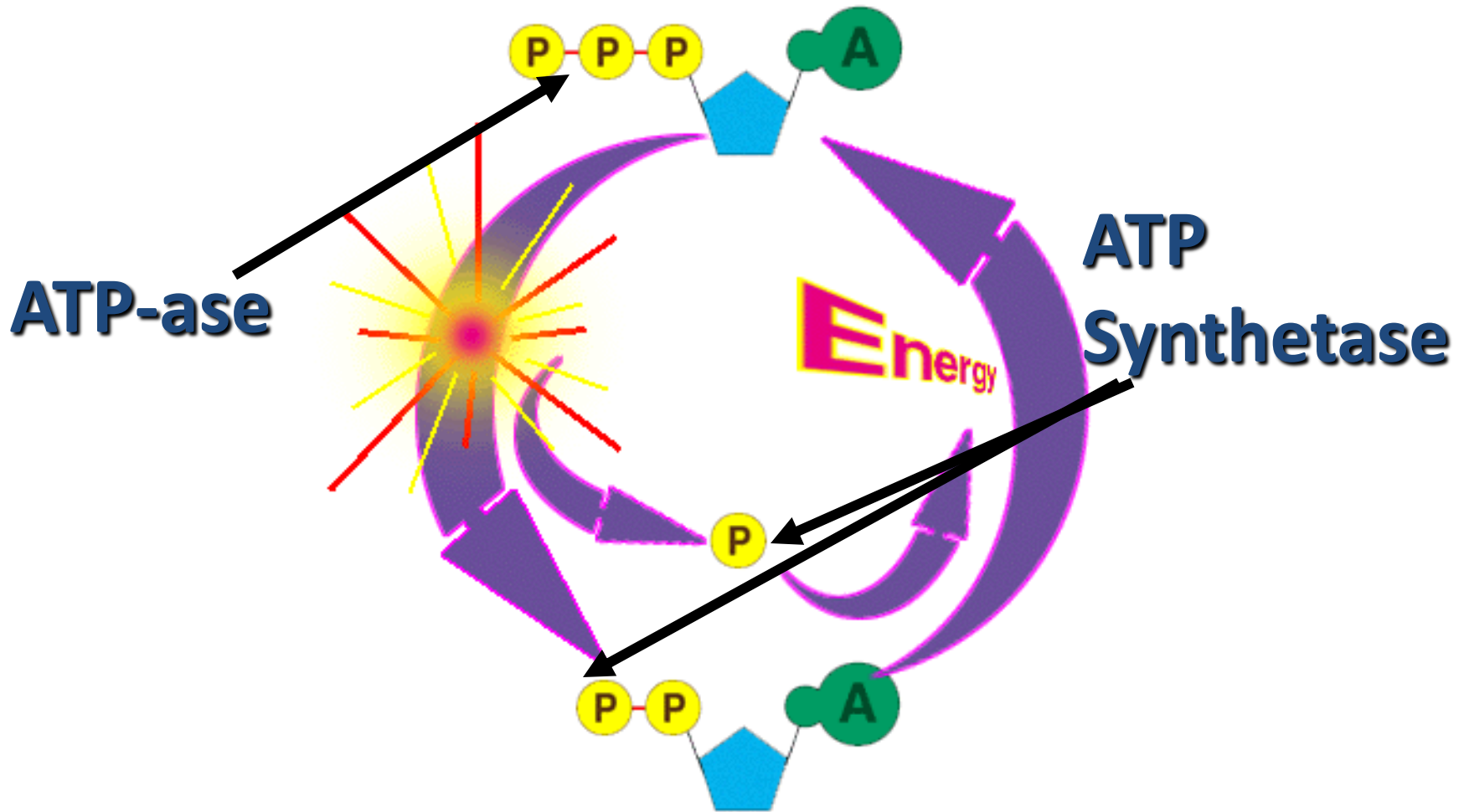
Struktur Kimia dari ATP



3 Phosphates

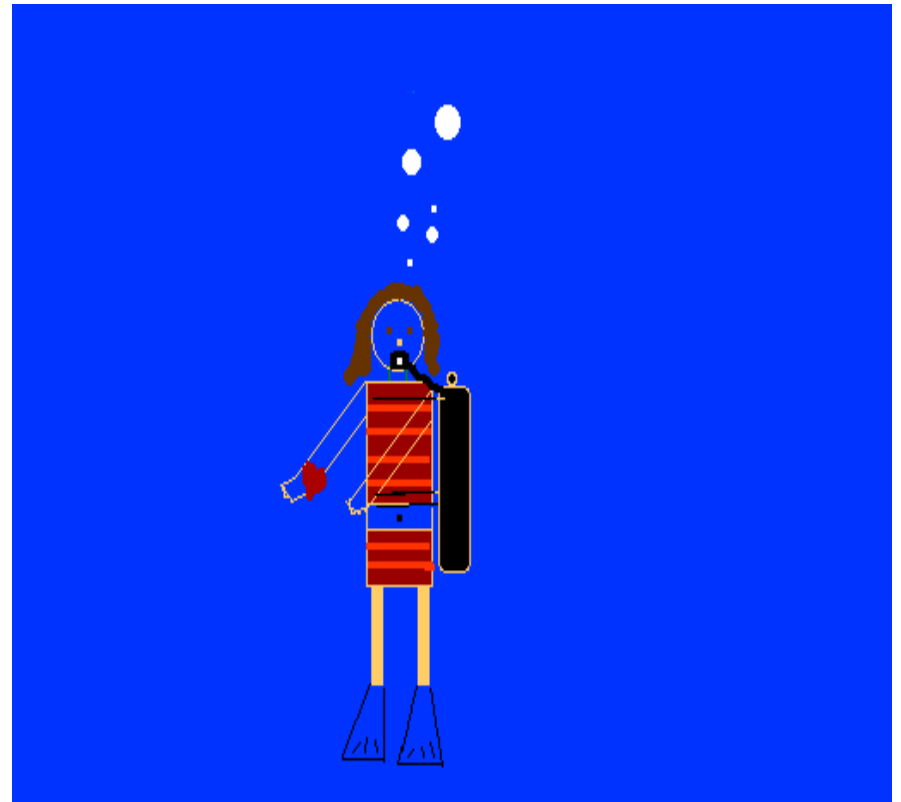
Ribose Sugar

Siklus ADP-ATP



Kapan ATP dibuat oleh tubuh?

Selama proses yang disebut **Respirasi seluler** yang terjadi pada **Tanaman & Hewan**



What Type of Process is Cellular Respiration?

- **An Oxidation-Reduction Process or REDOX Reaction**
- **Oxidation of GLUCOSE \rightarrow $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (e^- removed from $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)**
- **Reduction O_2 to H_2O (e^- passed to O_2)**

Respirasi Seluler

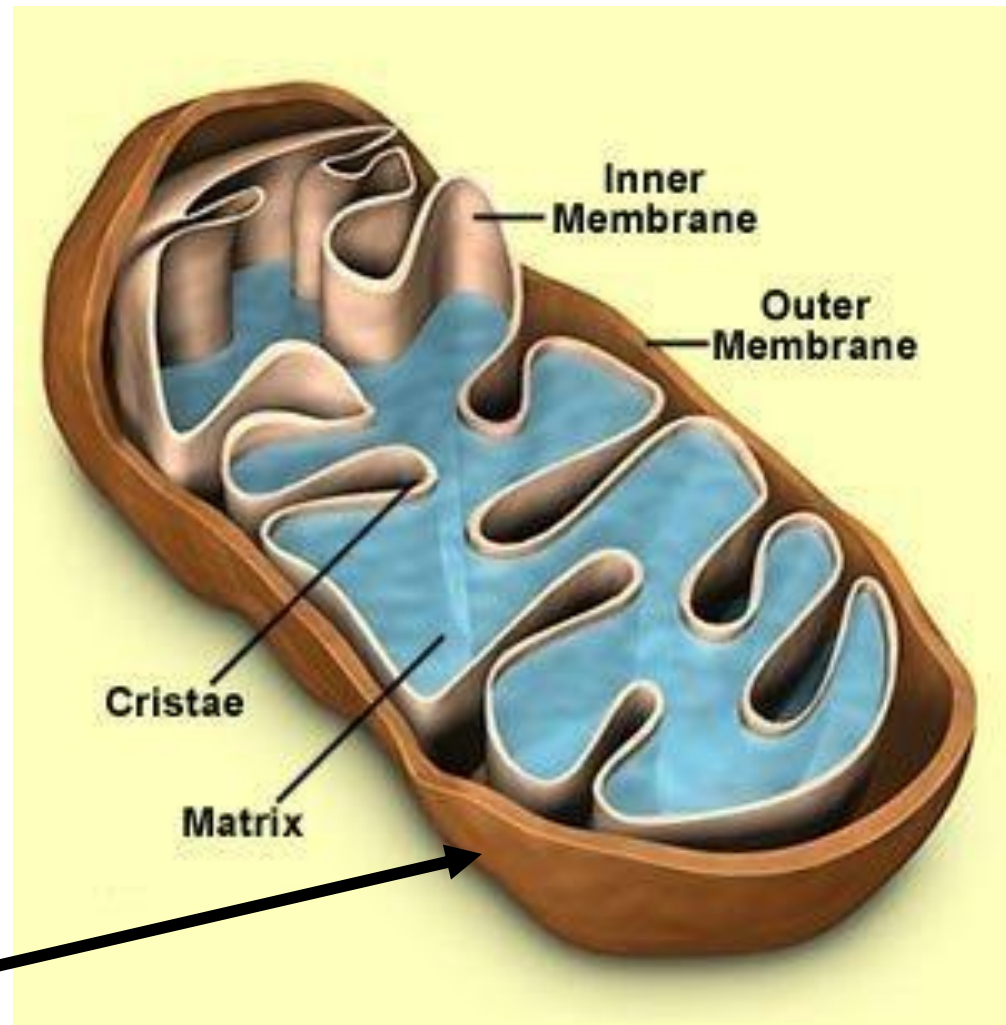
- **Glikolisis**
- **Dekarboksilasi oksidatif**
- **Siklus krebs**
- **Transpor elektron**

Dimana Proses Terjadinya Respirasi Seluler?

- **Terjadi pada 2 tempat dalam sel:**

Glikolisis terjadi di sitoplasma

Siklus Krebs dan Transport Elektron terjadi di Mitokondria



Review struktur Mitokondria

- Membran luar **Halus**
- Membran dalam **berlipat**
- Lipatan disebut **Cristae**
- Ruang antar **cristae** disebut **Matrix**

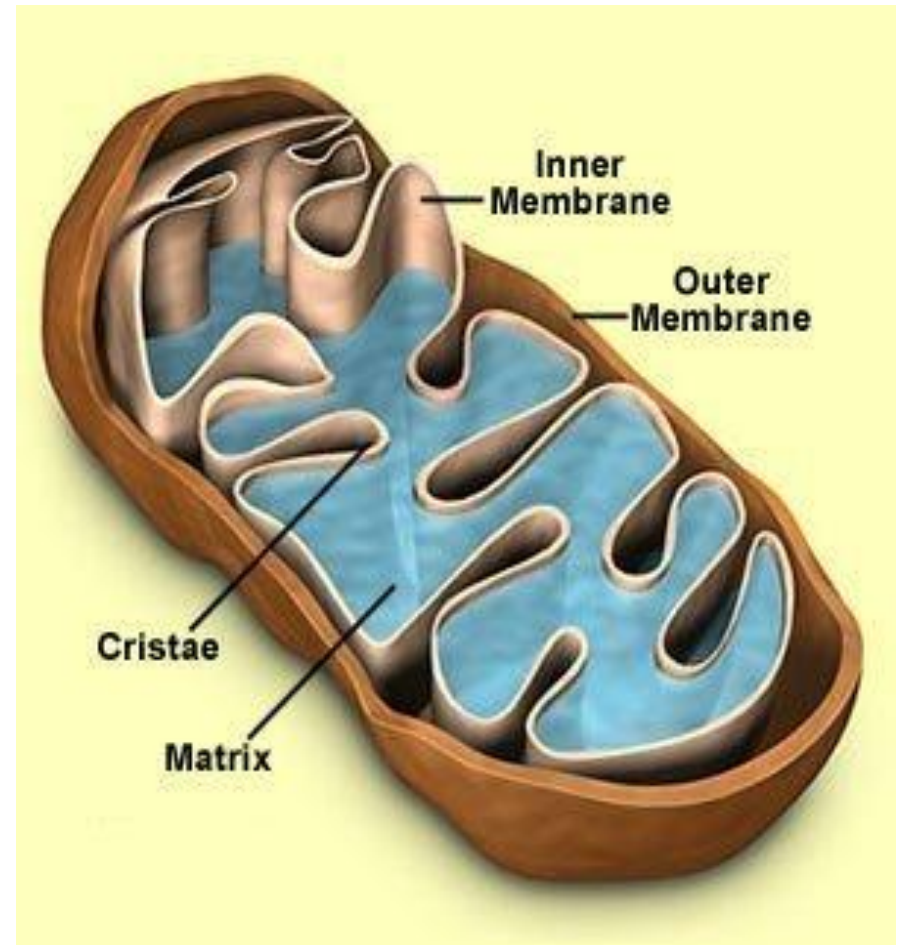
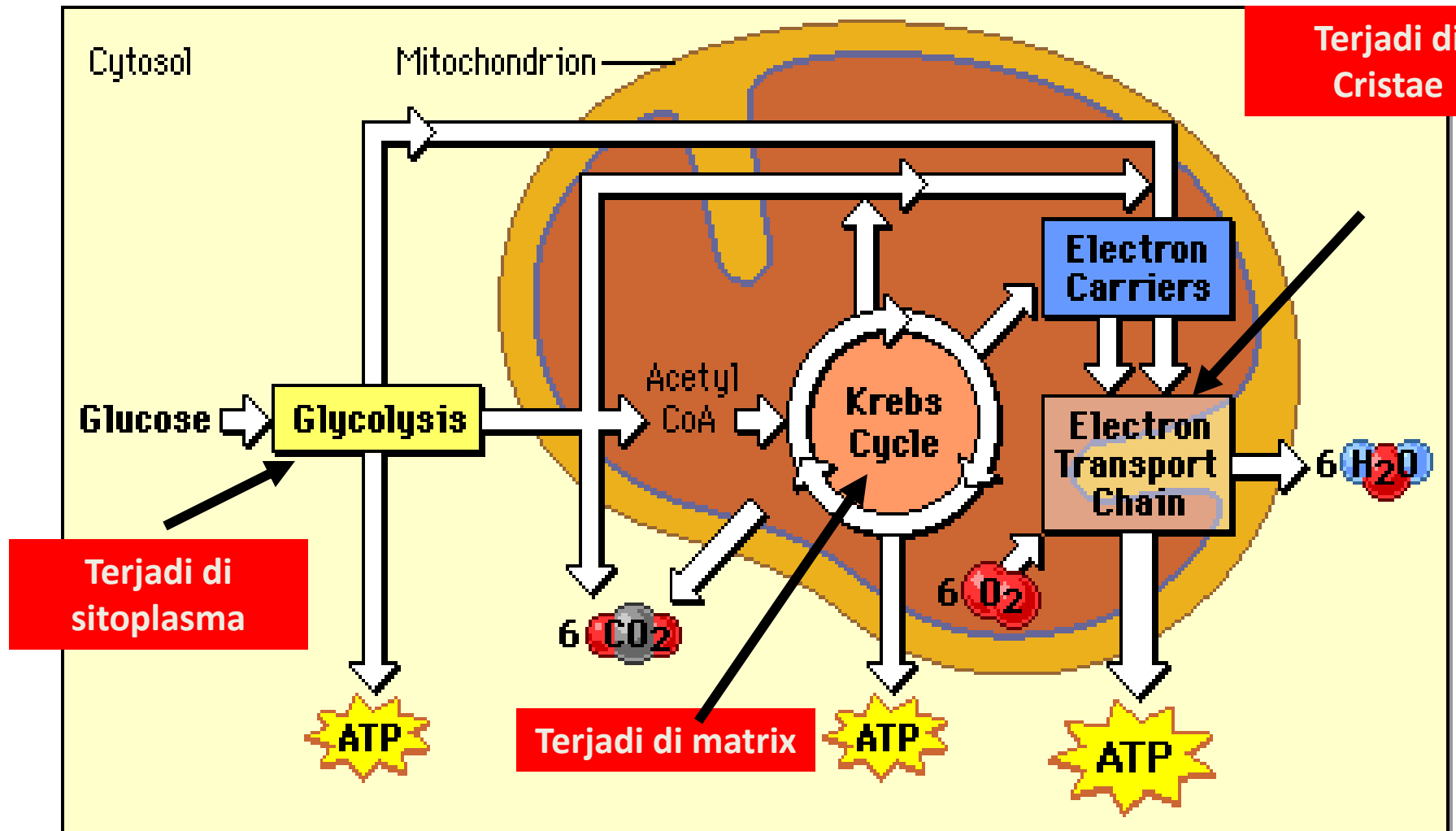
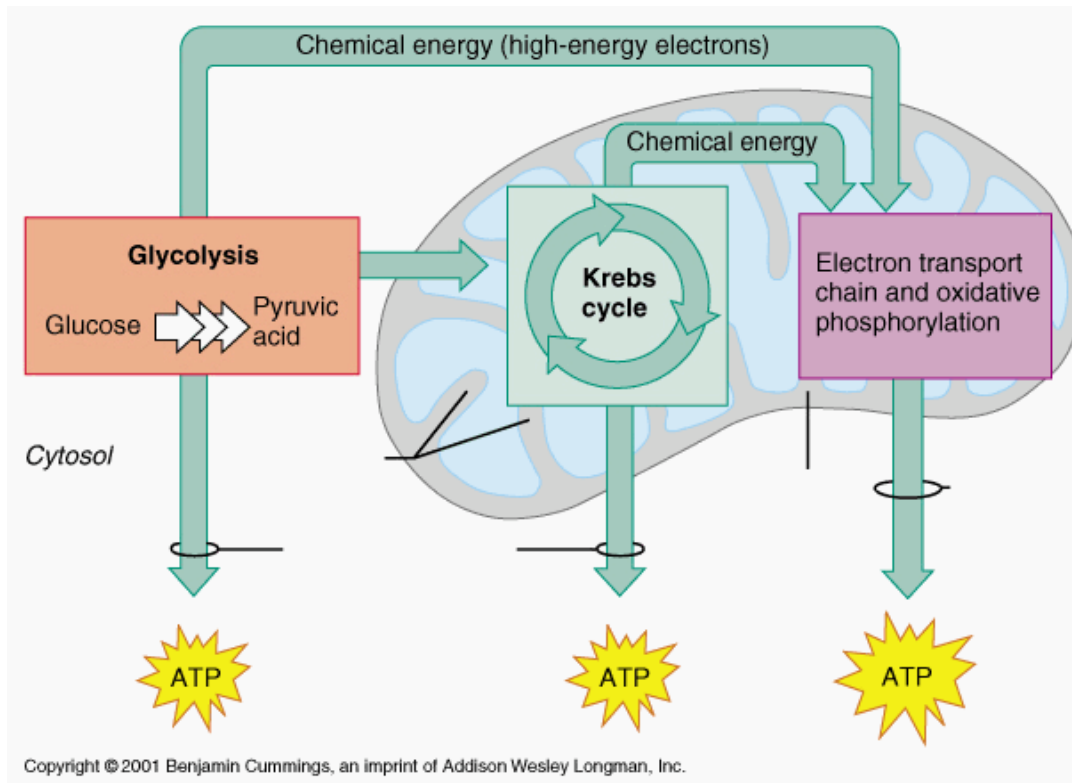
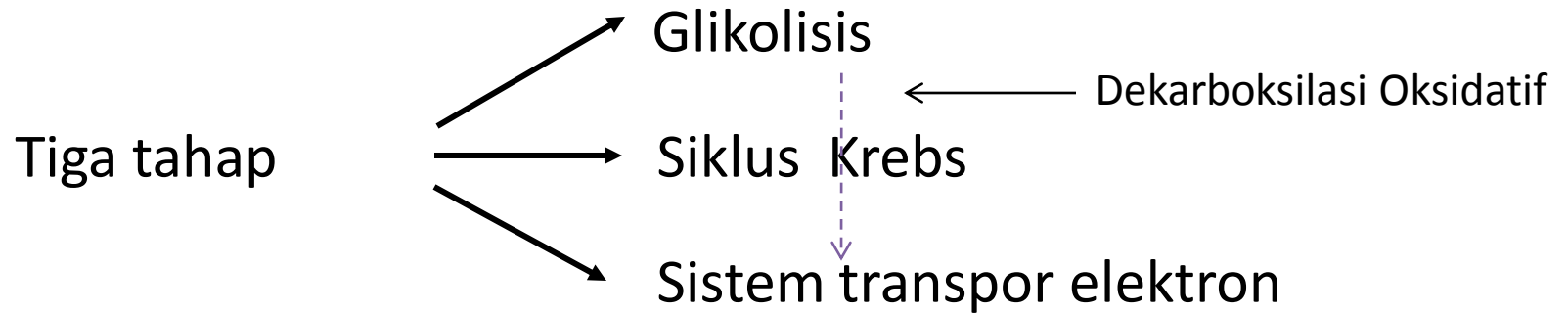


Diagram of the Process



RESPIRASI AEROB



Transpor Glukosa Melalui Membran Sel

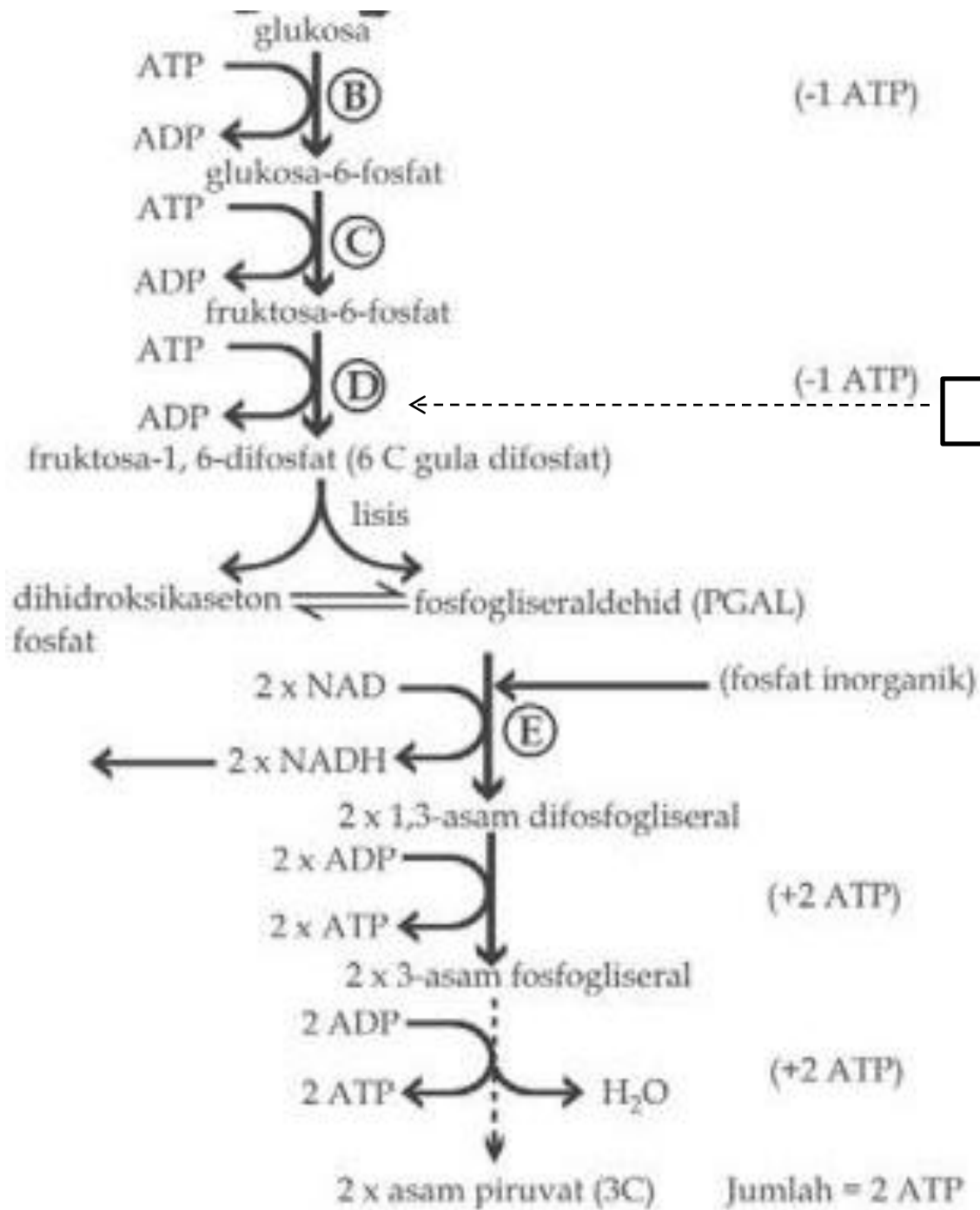
- Glukosa tidak dapat berdifusi melalui membran sel dengan mudah
- 180 (glukosa) vs 100 (membran)
- Difusi terfasilitasi – karier (pembawa)
- Perbedaan konsentrasi – dari yg tinggi ke yg rendah
- Insulin meningkatkan daya angkut glukosa ke dalam sel
- Segera setelah masuk sel, glukosa terfosforilasi, menjadi glukosa 6 fosfat – hambat difusi keluar

Penyimpanan Glukosa di Hati dan Otot

- Setelah masuk sel : digunakan atau disimpan
- Digunakan – respirasi seluler
- Disimpan – simpan di hati dan otot (paling besar) dalam bentuk glikogen – glikogenesis
- Disimpan dlm bentuk lemak
- Pemecahan simpanan glikogen – glikogenolisis

GLIKOLISIS

- Di sitoplasma
- Pemecahan glukosa untuk menjadi asam piruvat
 - Glukosa + 2ADP + 2P_o4 – 2 asam piruvat+ **2ATP + 4H**
- Lalu asam piruvat akan mengalami degradasi glukosa (dekarboksilasi oksidatif) menjadi Asetil koenzim A
 - Asam piruvat + 2KoA – **Asetil koA + 2CO₂ + 4H**
- Glukosa → 2 asam piruvat → 2 asetil KoA
- Asetil koA masuk ke **Siklus Krebs**



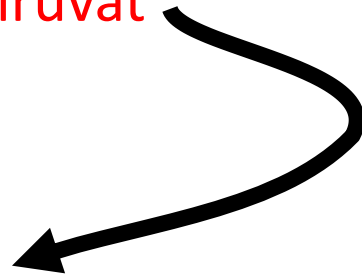
1. GLIKOLISIS

- Rangkaian reaksi yang menguraikan 1 molekul glukosa yang terjadi di sitolaplasma sel menghasilkan:

- 2 **Asam Piruvat**

- 2 NADH

- 2 ATP



2 **Asam Piruvat** mengalami dekarboksilasi oksidatif (merupakan reaksi antara **Glikolisis** dengan **siklus Krebs**) menjadi 2 **Asetil Ko-A**, 2 NADH dan 2 CO₂

GLIKOLISIS

- Disebut juga **EMBDEN MEYER HOFF PATHWAY**
- Terjadi di dalam **sitosol**
- Glikolisis : oksidasi glukosa → energi (ATP)

Aerob

(**asam piruvat**)

Anaerob

(**asam laktat**)

- Pada keadaan aerob :

Hasil akhirnya **asam piruvat** → Masuk ke dalam mitokondria → **Asetil KoA**

↓
Siklus Krebs → **ATP + CO₂ + H₂O**

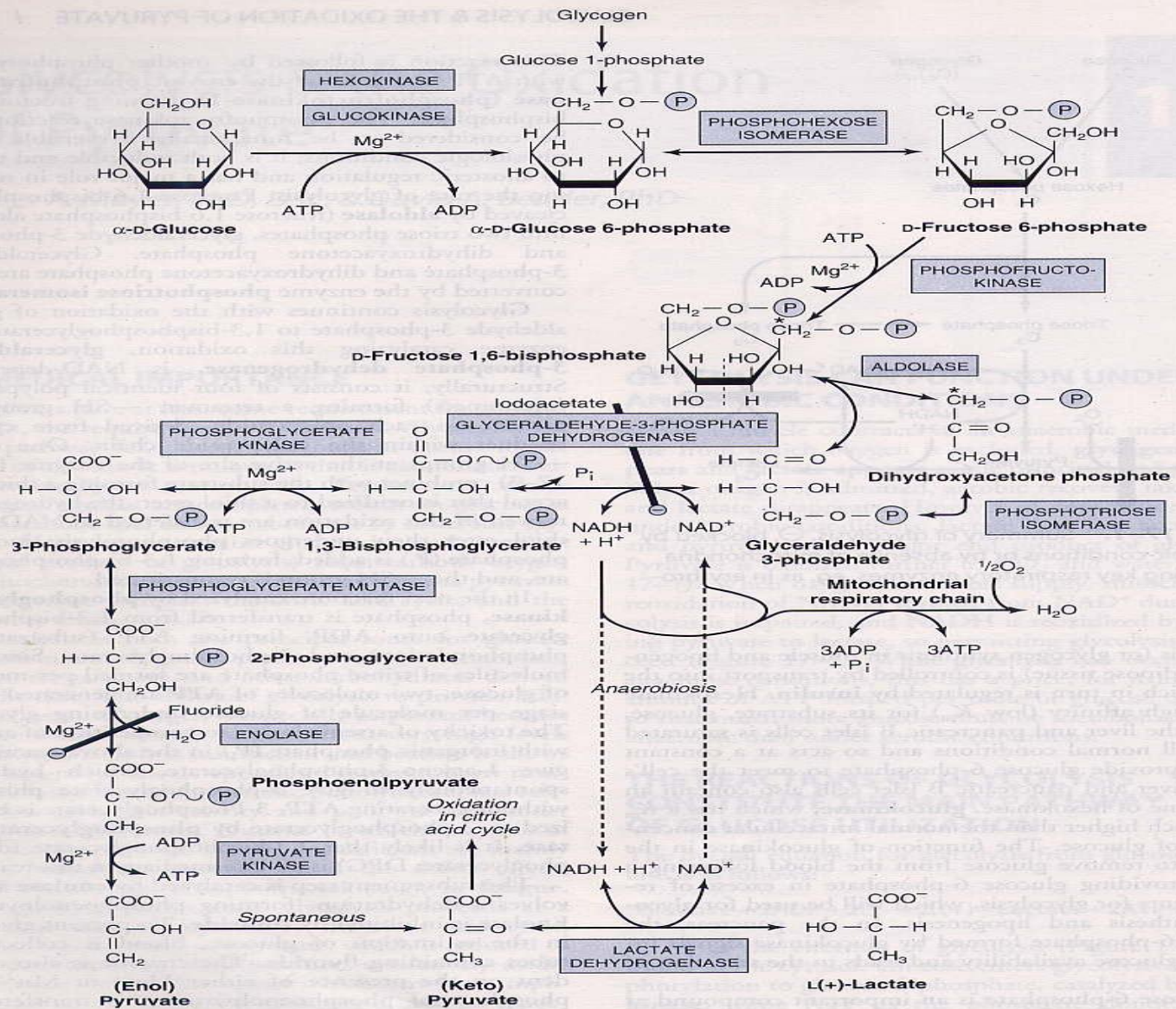
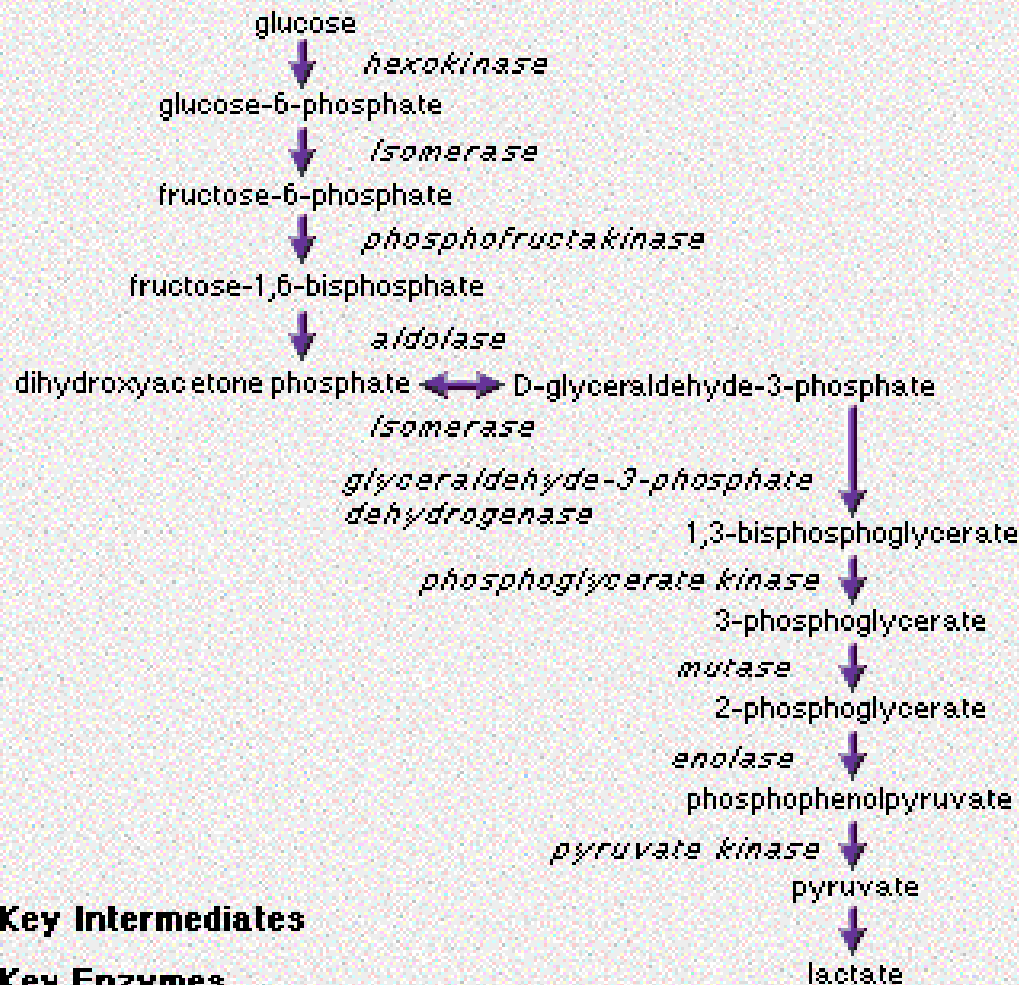


Figure 17-2. The pathway of glycolysis. (Ⓟ, —PO₃²⁻; P_i, HOPO₃²⁻; ⊖, inhibition.) At asterisk: Carbon atoms 1-3 of fructose bisphosphate form dihydroxyacetone phosphate, whereas carbons 4-6 form glyceraldehyde 3-phosphate. The term "bis-," as in bisphosphate, indicates that the phosphate groups are separated, whereas diphosphate, as in adenosine diphosphate, indicates that they are joined.

Jalur Glikolisis

The Glycolytic Pathway



Jalur Glikolisis

- Reaksi2 pd Glikolisis pada umumnya berjalan searah, kecuali 3 reaksi :

1. Glukosa  Glukosa 6-p

Dikatalisis oleh enzim : Heksokinase dan Glukokinase

* Enzim Heksokinase :



- terdapat di sel otot (selain hati dan pankreas)
- dihambat secara allosterik oleh produk akhirnya
- mempunyai afinitas tinggi terhadap glukosa

* Enzim Glukokinase :

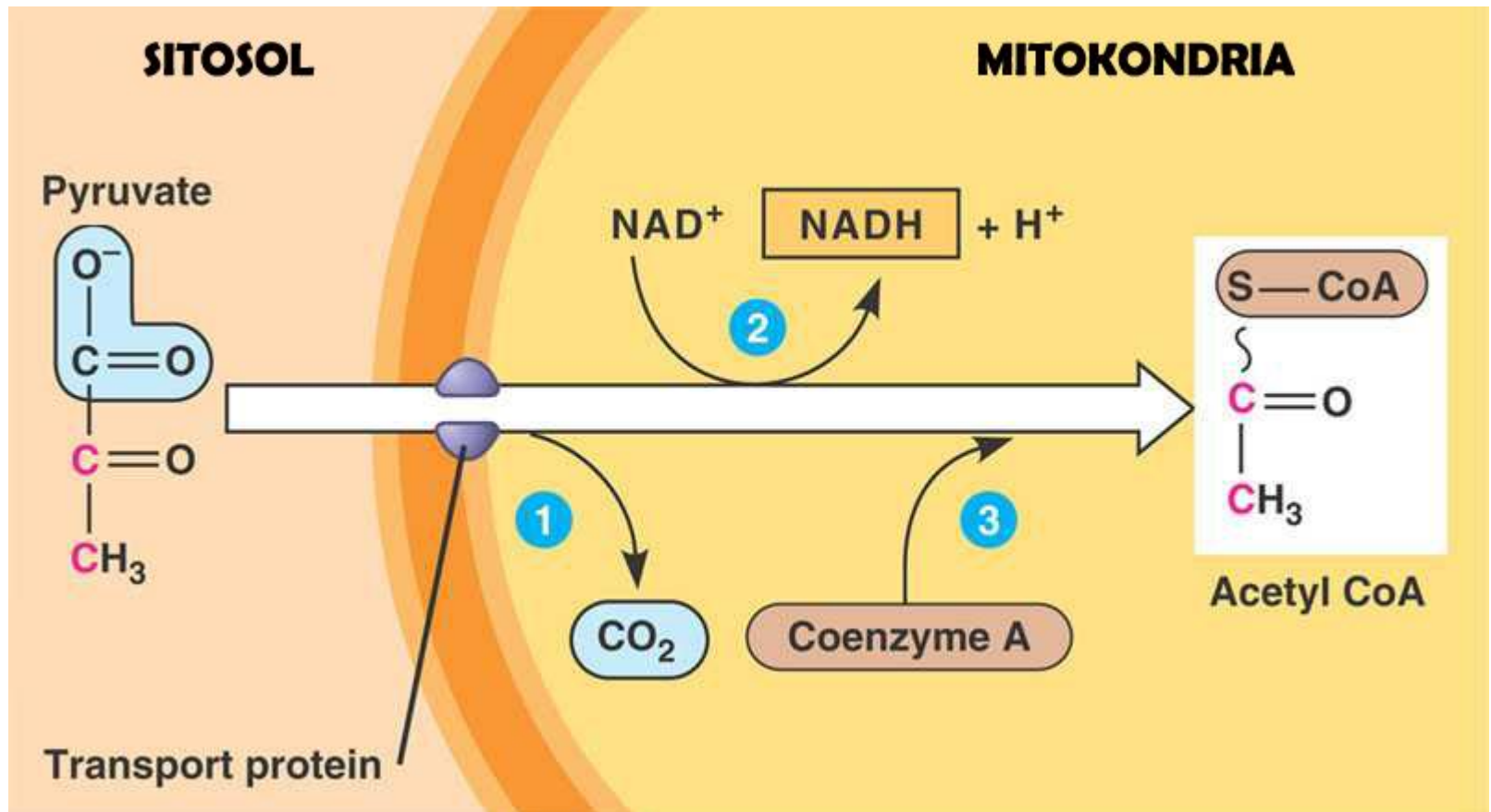
- terdapat di sel hati dan pankreas ↑
- aktif pada saat konsentrasi glukosa darah

* di jar. selain hati & pankreas, glukosa masuk glikolisis dikontrol oleh h. insulin

*Reaksi ini bersifat **irreversible**, ATP sbg donor gugus fosfat

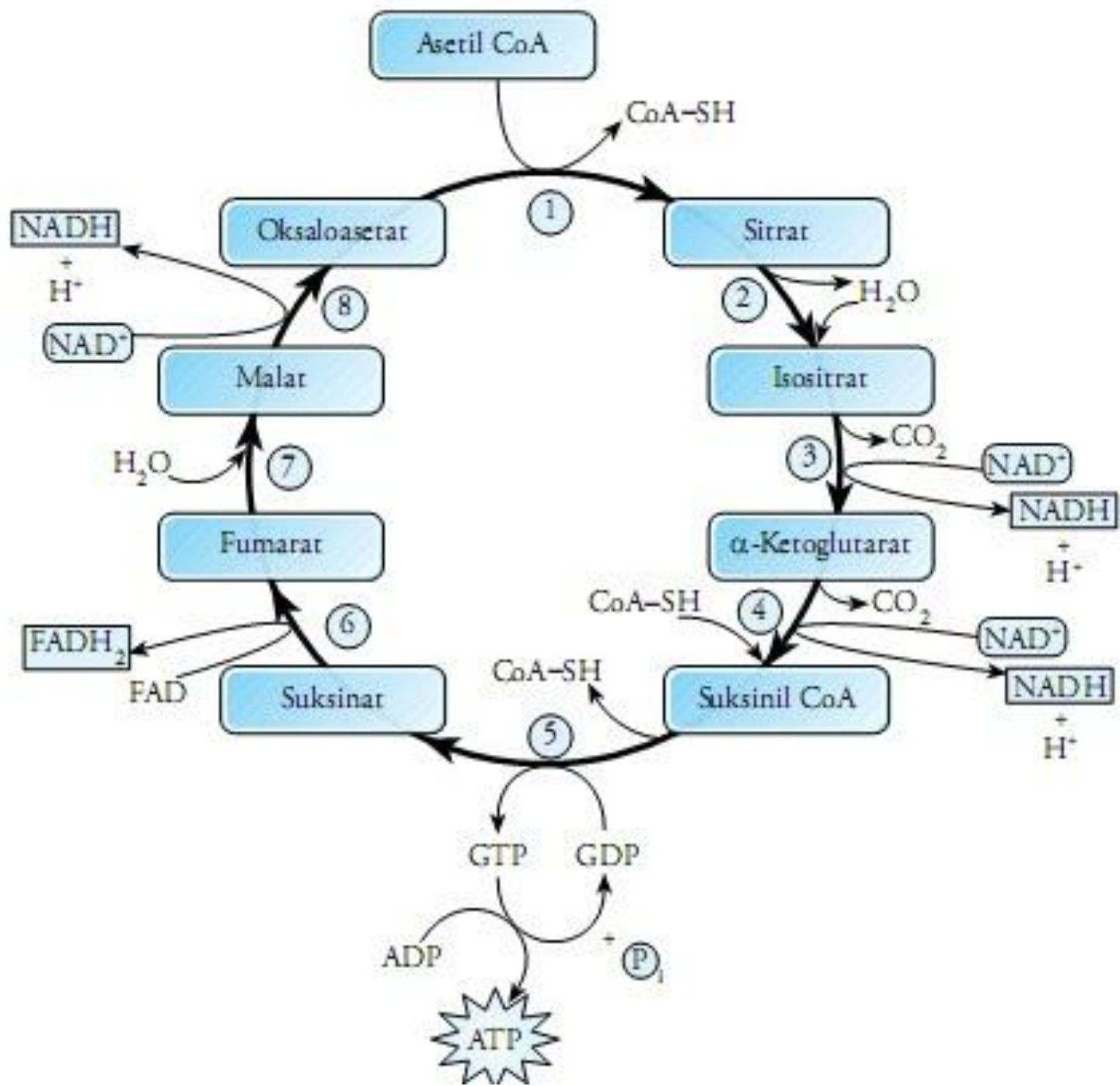
- 2. Fruktosa 6-p  Fruktosa 1,6-bi-p
 - * Dikatalisis oleh enzim : **Fosfofruktokinase**
 - * bersifat irreversible
 - * Merupakan enzim pengendali kecepatan alur glikolisis (**rate limiting enzyme**)
- 3. Fosfoenol piruvat  Enol piruvat
 - * Dikatalisis oleh enzim : **Piruvat kinase**

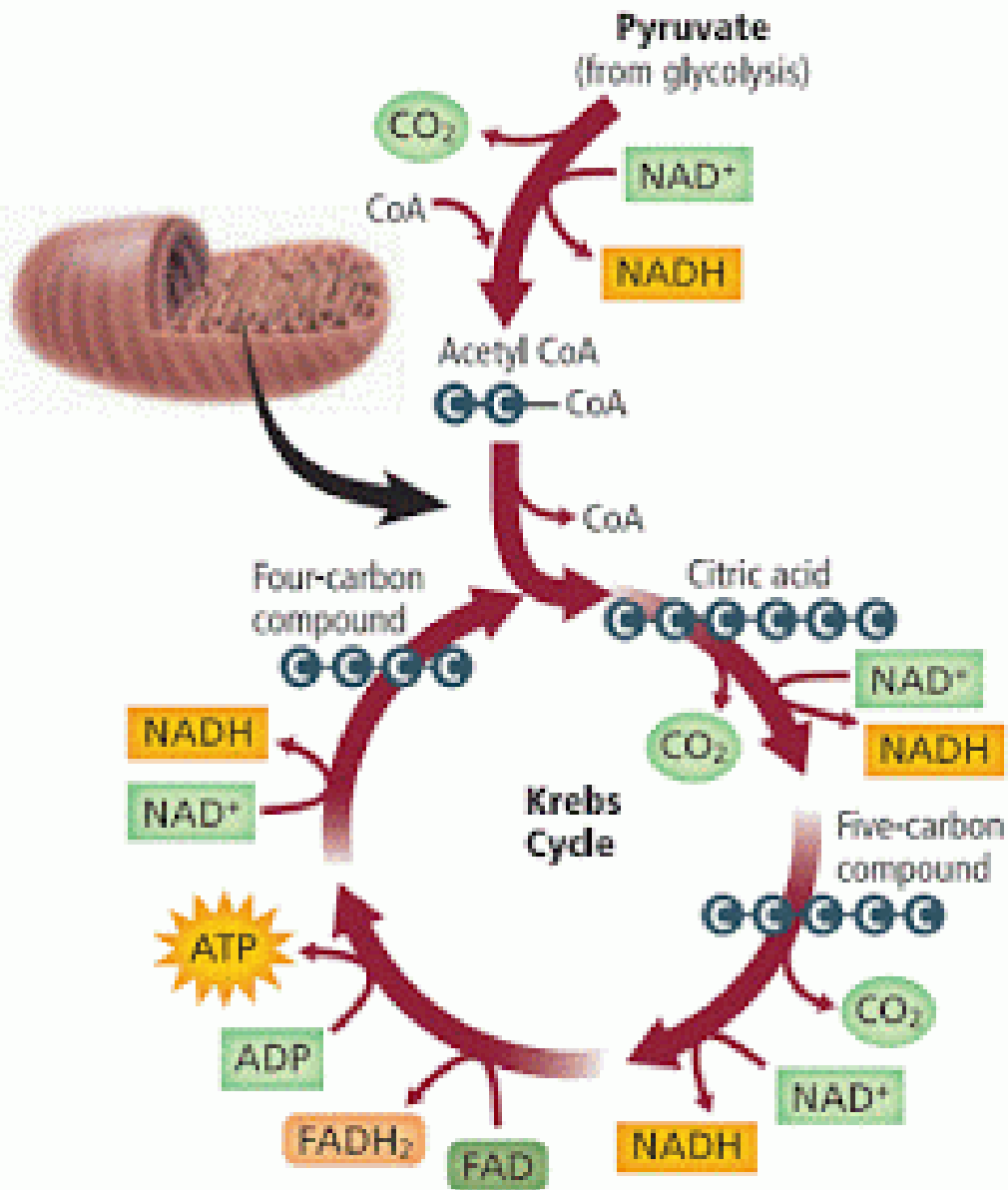
Dekarboksilasi Oksidatif



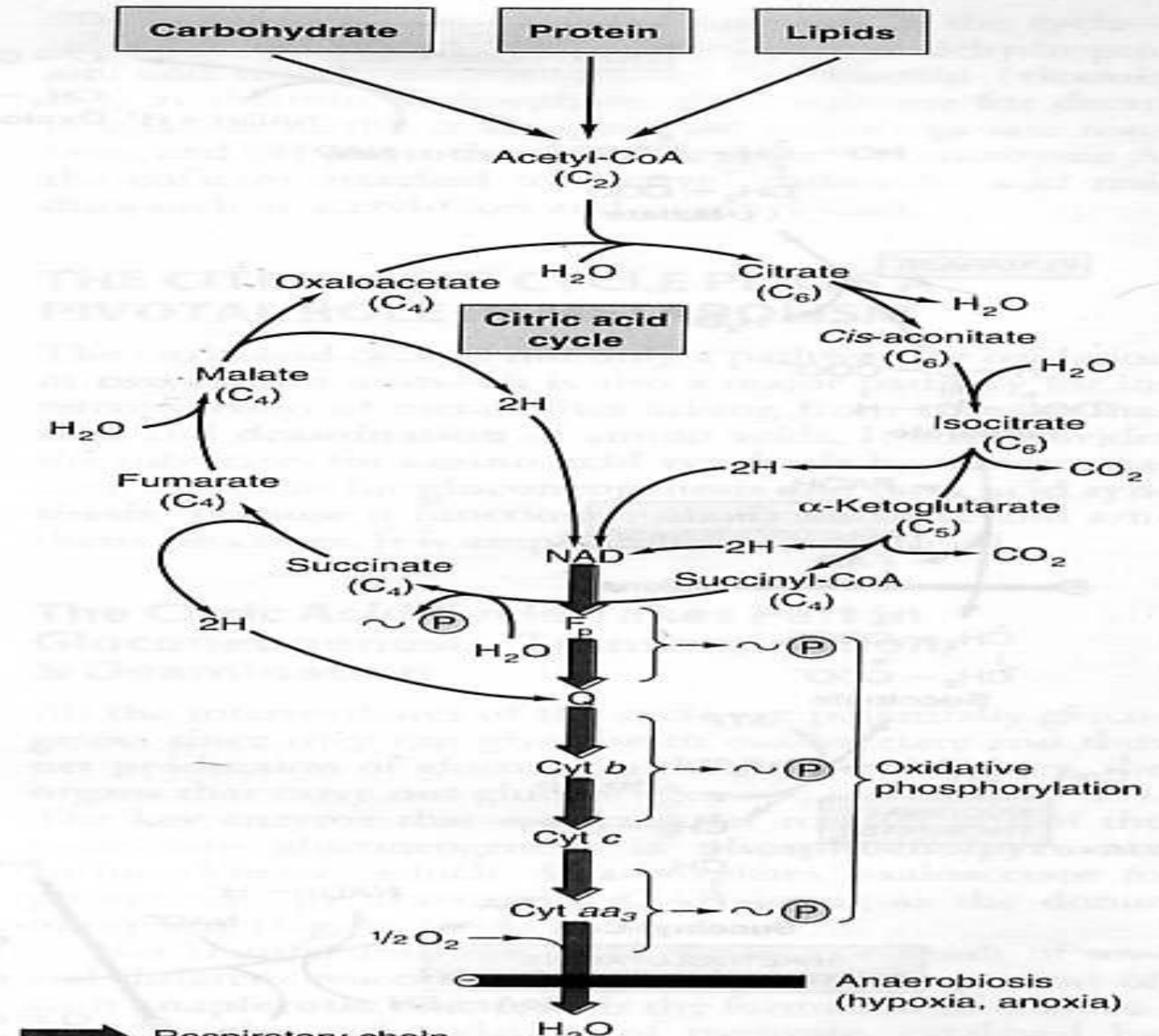
SIKLUS KREBS

- Disebut juga siklus asam sitrat
- Degradasi 1 asam piruvat → **2 asetil KoA**
- Asetil KoA masuk ke dalam siklus asam sitrat (Krebs)
- Siklus ini dapat berlangsung berulang kali
- Asetil KoA sebagai pemicu reaksi siklus
- Asetil koA bergabung dengan asam oksaloasetat – asam sitrat – gugus koA dilepaskan – dapat digunakan berulang kali untuk pembentukan lebih banyak lagi asetil koA dari asam piruvat (dekarboksilasi oksidatif)
- Siklus ini menghasilkan 1 ATP dari 1 asetil koA
- $2 \text{ Asetil koA} + 6\text{H}_2\text{O} + 2\text{ADP} - 4\text{CO}_2 + \mathbf{16\text{H}} + \mathbf{2\text{CoA}} + \mathbf{2\text{ATP}}$

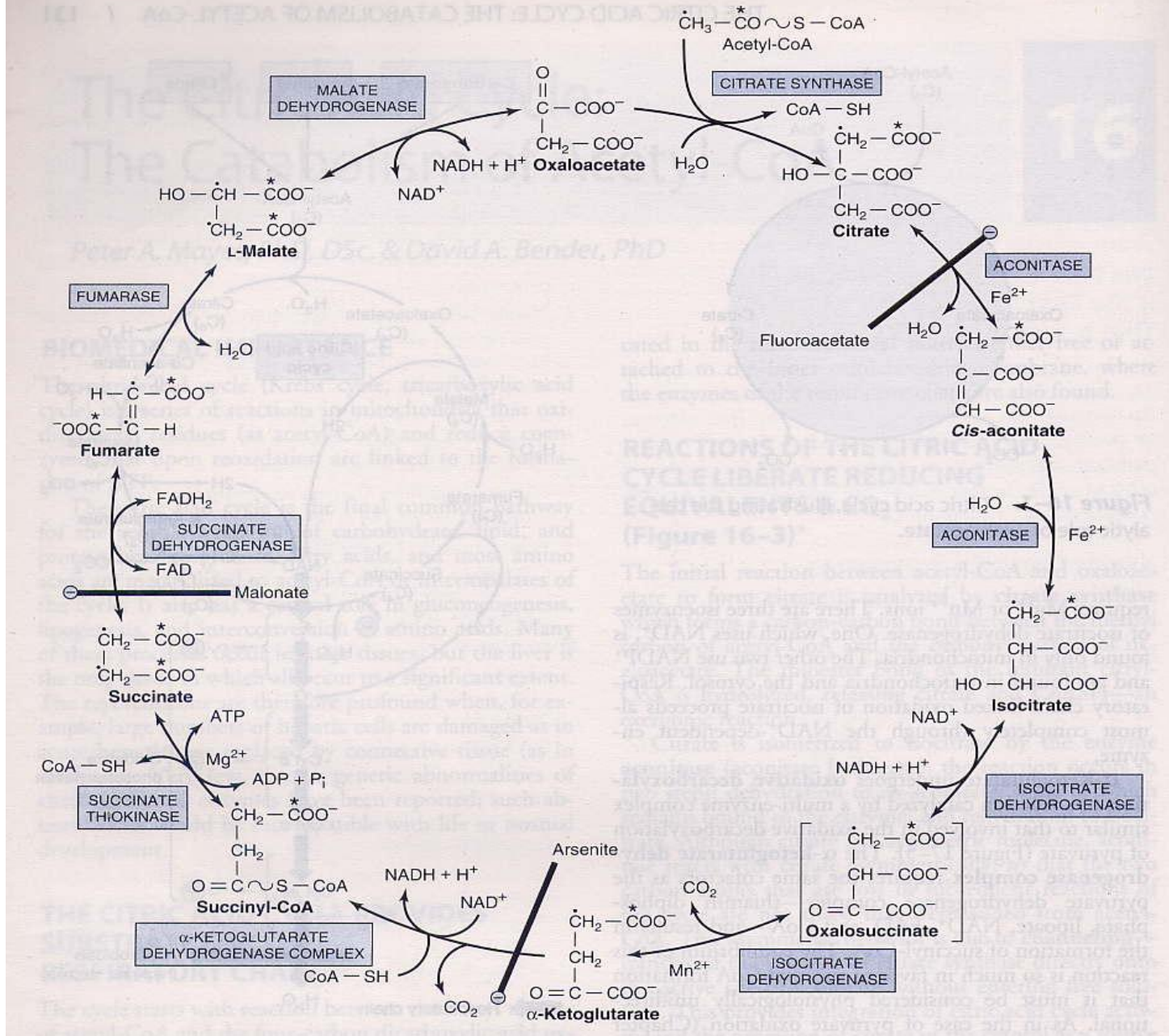




- Disebut juga siklus asam trikarboksilat (**tricarboxylic acid cycle = TCA cycle**) atau **siklus krebs**
- Letak : di dalam **mitokondria**
- Lokasi selular :
 - di dalam sel-sel jaringan hewan mamalia semua komponen siklus asam sitrat terdapat di dalam matriks mitokondria
 - ke luar masuknya metabolit daur ini melalui membran mitokondria merupakan proses yg aktif dan terkendali



- ➔** Respiratory chain
- F_p** Flavoprotein
- Cyt** Cytochrome
- ~P** High-energy phosphate



Jalur reaksi Siklus Krebs's

• FUNGSI TCA CYCLE

- Fungsi utama :

1. **Oksidasi asetil KoA** menjadi CO_2 , H_2O dan energi (1 mol asetil KoA menghasilkan 12 mol ATP oleh karena daur ini banyak melepas H^+ dan elektron yg akan masuk rantai respirasi)
2. Anggota TCA cycle **bersifat amfibolik**, artinya : dapat dioksidasi lebih lanjut menjadi energi, atau disintesis menjadi senyawa lain

- **ANGGOTA TCA CYCLE BERSIFAT AMFIBOLIK**
- Dapat dioksidasi lebih lanjut menjadi energi
 - katabolisme asam amino --> anggota tca cycle --> energi
 - oksidasi beta asam lemak --> asetil --> anggota siklus krebs --> energi
 - oksidasi glukosa --> piruvat --> asetil KoA --> anggota siklus krebs --> energi
- Dapat disintesis menjadi senyawa lain, misalnya menjadi :
 - glukosa (melalui glukoneogenesis)
 - asam amino tertentu
 - asam lemak (lipogenesis)

- **TAHAPAN REAKSI SIKLUS ASAM SITRAT**

- Tahap 1. **sitrat sintase**

Asetil KoA + oksaloasetat + H₂O --> sitrat + KoA-SH

Merupakan reaksi kondensasi aldol yg disertai hidrolisis dan berjalan searah

- Tahap 2

Sitrat diubah menjadi isositrat oleh enzim akonitase yg mengandung Fe⁺⁺ --> caranya : mula2 terjadi dehidrasi menjadi cis-akonitat (yg tetap terikat enzim) --> kemudian terjadi rehidrasi menjadi **isositrat**

Reaksi ini dapat dihambat oleh **fluoroasetat**

Tahap 3

- Isositrat dioksidasi menjadi **oksalosuksinat** (terikat enzim) oleh isositrat dehidrogenase yg memerlukan NAD^+
- Reaksi ini diikuti dekarboksilasi oleh enzim yg sama menjadi **α -ketoglutarat**. Enzim ini memerlukan Mn^{++} / Mg^{++}
- Ada 3 jenis isozim isositrat dehidrogenase :
 - satu jenis isozim menggunakan NAD^+ --> isozim ini hanya ditemukan di dalam mitokondria --> $\text{NADH} + \text{H}^+$ yg terbentuk akan diteruskan dalam rantai respirasi
 - Dua jenis isozim yg lain menggunakan NADP^+ dan ditemukan dalam mitokondria dan sitosol

Tahap 4

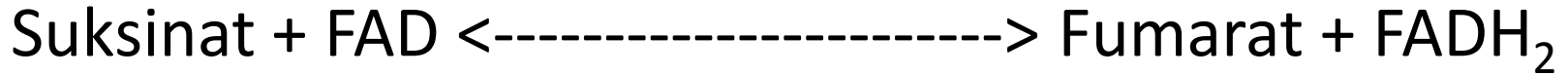
- **Dekarboksilasi oksidatif α -ketoglutarat** (caranya seperti pada dekarboksilasi oksidatif piruvat) menjadi **suksinil KoA** oleh enzim **α -ketoglutarat dehidrogenase kompleks**
- Enzim ini memerlukan **kofaktor** seperti : **TPP, Lipoat, NAD⁺, FAD** dan **KoA-SH**
- Reaksi ini secara fisiologis berjalan **searah**
- Reaksi ini dapat dihambat oleh **arsenit** --> mengakibatkan akumulasi / penumpukan α -ketoglutarat

Tahap 5

Suksinat thikonase

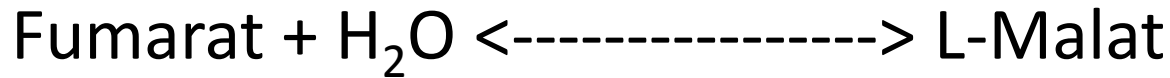
- Suksinil KoA -----> Suksinat
- Reaksi ini memerlukan ADP atau GDP yg dengan Pi akan membentuk ATP atau GTP. Juga memerlukan Mg^{++}
- Reaksi ini merupakan satu2nya dalam TCA cycle yg membentuk senyawa fosfat berenergi tinggi pada tingkat substrat
- Pada jaringan dimana glukoneogenesis terjadi (hati & ginjal) terdapat 2 jenis isozim suksinat thiokonase, satu jenis spesifik GDP, satu jenis untuk ADP.
- Pada jaringan nonglukoneogenik hanya ada isozim yg menggunakan ADP

- Tahap 6 **Suksinat dehidrogenase**

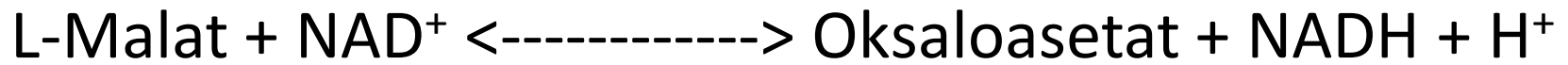


Reaksi ini tidak lewat NAD, dihambat oleh **malonat**

- Tahap 7 **Fumarase**

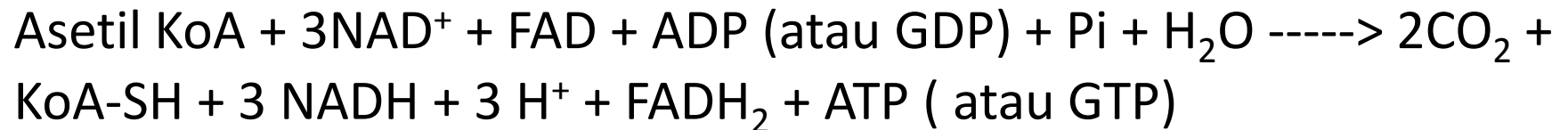


- Tahap 8 **Malat dehidrogenase**



Reaksi ini membentuk kembali oksaloasetat

- **Reaksi total :**



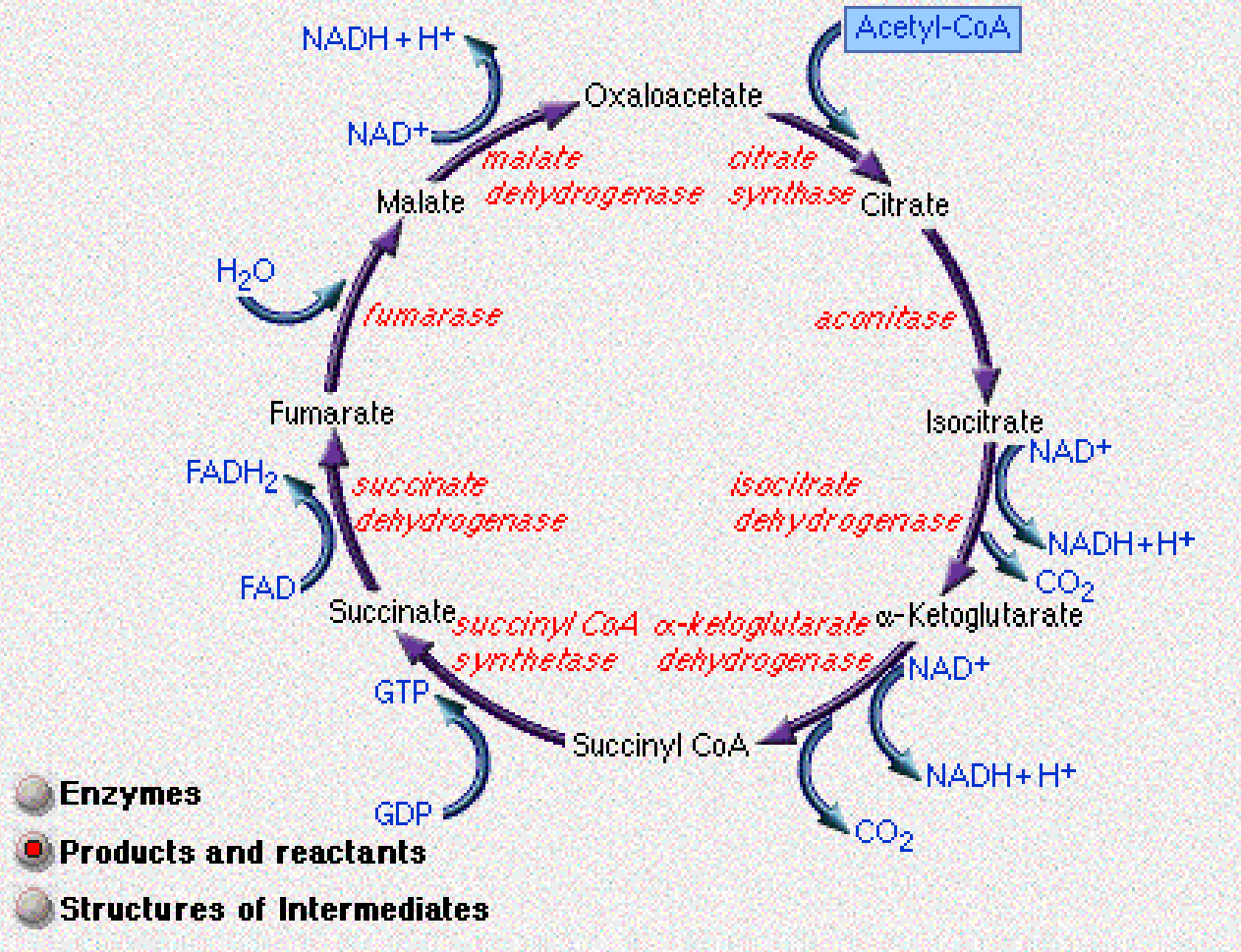
LIHAT GAMBAR SIKLUS ASAM SITRAT

- REAKSI DEHIDROGENASE
 - * yg menggunakan NAD^+ -----> 3 ATP
 - * yg menggunakan FAD (tak lewat NAD^+) ----> 2 ATP
- Suksinat thikonase : 1 ATP atau 1 GTP
- Reaksi yg menghasilkan CO_2 (dekarboksilasi oksidatif) : reaksi yg dikatalisis oleh isositrat dehidrogenase dan α -ketoglutarat dehidrogenase kompleks
- Vitamin B yg berperan pada TCA cycle sbg bentuk koenzimnya :
 - Thiamin -----> TPP
 - Niacin -----> NAD
 - Riboflavin -----> FAD
 - Asam pantotenat -----> KoA

JUMLAH ENERGI YANG TERBENTUK

- Oksidasi 1 mol asetil KoA lewat TCA cycle menghasilkan :
 - 3 mol (NADH + H⁺) yg akan masuk rantai respirasi menghasilkan 3 x 3 mol ATP = 9 mol AP
 - 1 mol FADH₂ yg akan masuk rantai respirasi menghasilkan 2 mol ATP
 - Enzim suksinat thiokinase menghasilkan 1 mol ATP (atau GTP)
 - Jadi dari 1 mol asetil KoA dihasilkan 12 mol senyawa fosfat berenergi tinggi

The Citric Acid Cycle



PRODUK TCA CYCLE

INHIBITOR SIKLUS ASAM SITRAT

- **Fluoroasetat :**
 - Dgn KoA-SH membentuk fluoroasetil-KoA
 - Fluoroasetil-KoA berkondensasi dgn oksaloasetat membentuk fluorositrat (dikatalisis oleh sitrat sintase)
 - Fluorositrat menghambat akonitase -----> terjadi akumulasi sitrat
Fluoroasetat didapatkan misalnya pada **pestisida**
- **Malonat :** menghambat suksinat dehidrogenase
- **Arsenit :** menghambat α -ketoglutarat dehidrogenase kompleks

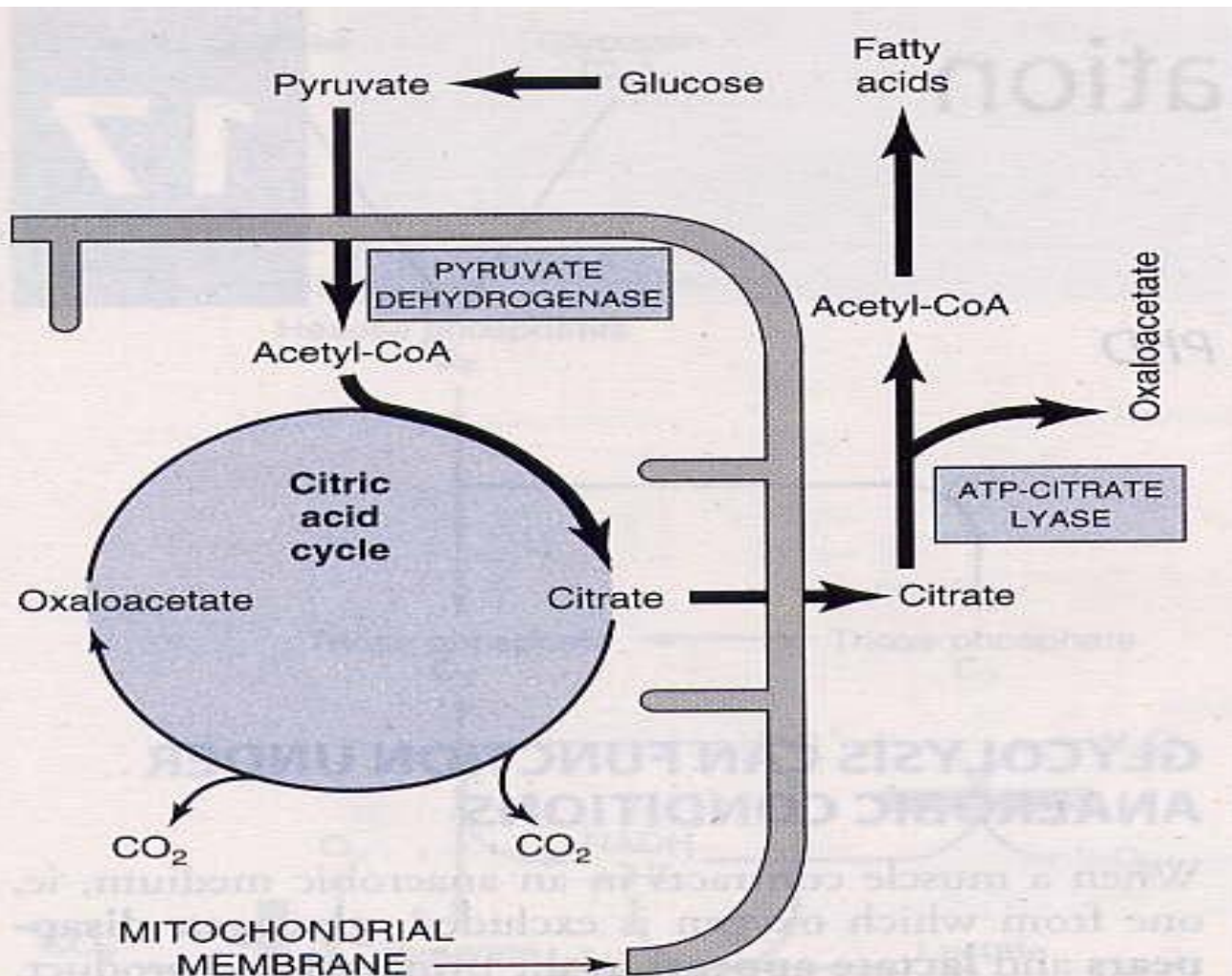
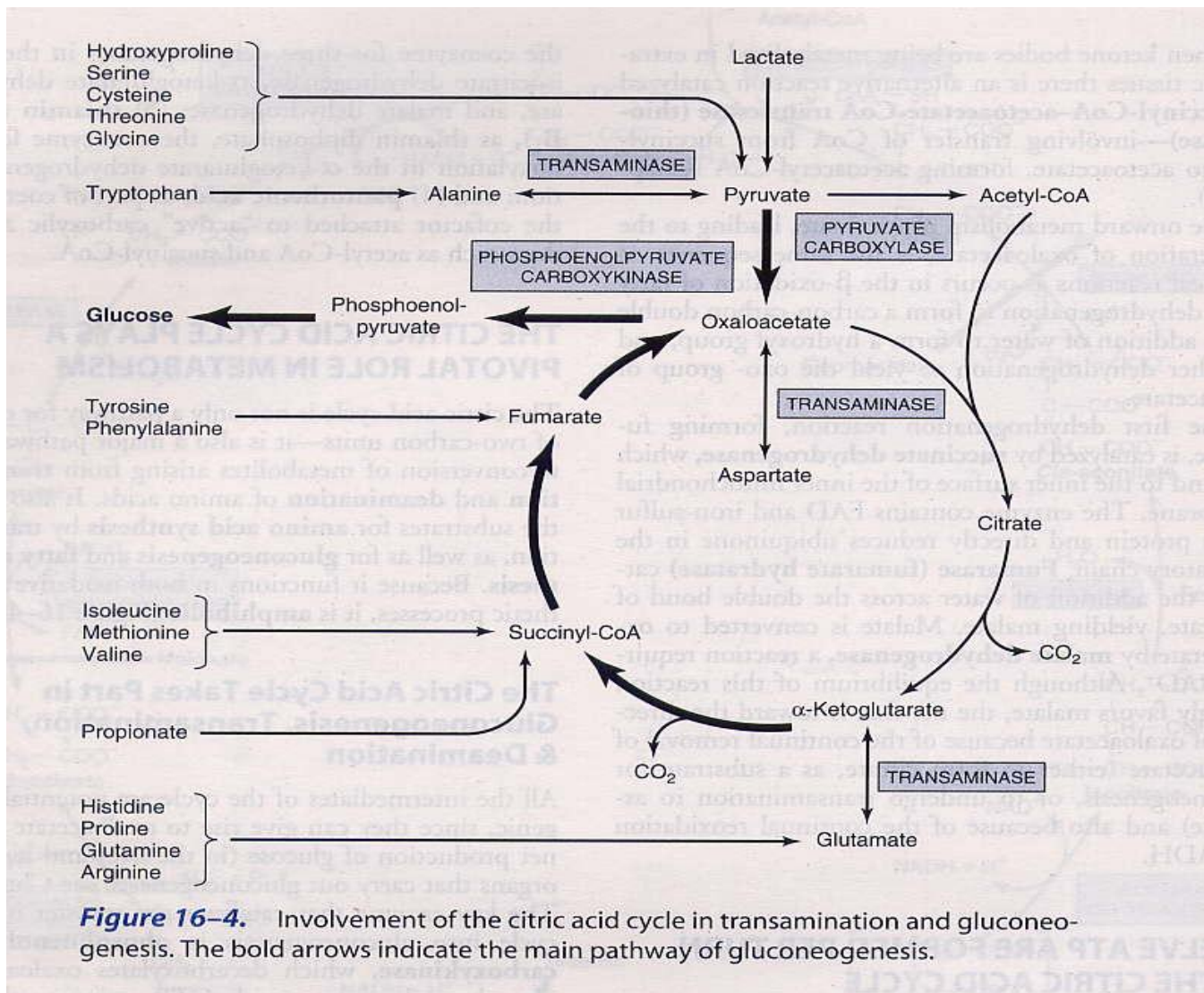


Figure 16-5. Participation of the citric acid cycle in fatty acid synthesis from glucose. See also Figure 21-5.

Partisipasi Siklus Kreb's pd perubahan glukosa menjadi asam lemak

- PERANAN TCA CYCLE PD SINTESIS ASAM LEMAK DR GLUKOSA :

- Piruvat dehidrogenase adalah enzim mitokondrial
- **Asetil KoA** adalah bahan baku sintesis asam lemak rantai panjang pada nonruminansia
- Asetil KoA (yg terbentuk dr piruvat oleh enzim piruvat dehidrogenase) tak dapat menembus membran mitokondria ---> jadi dibentuk dulu menjadi sitrat baru kemudian menembus membran menuju sitosol ---> selanjutnya oleh enzim ATP-sitrat liase dibentuk lagi menjadi asetil-KoA untuk sintesis asam lemak dalam sitosol

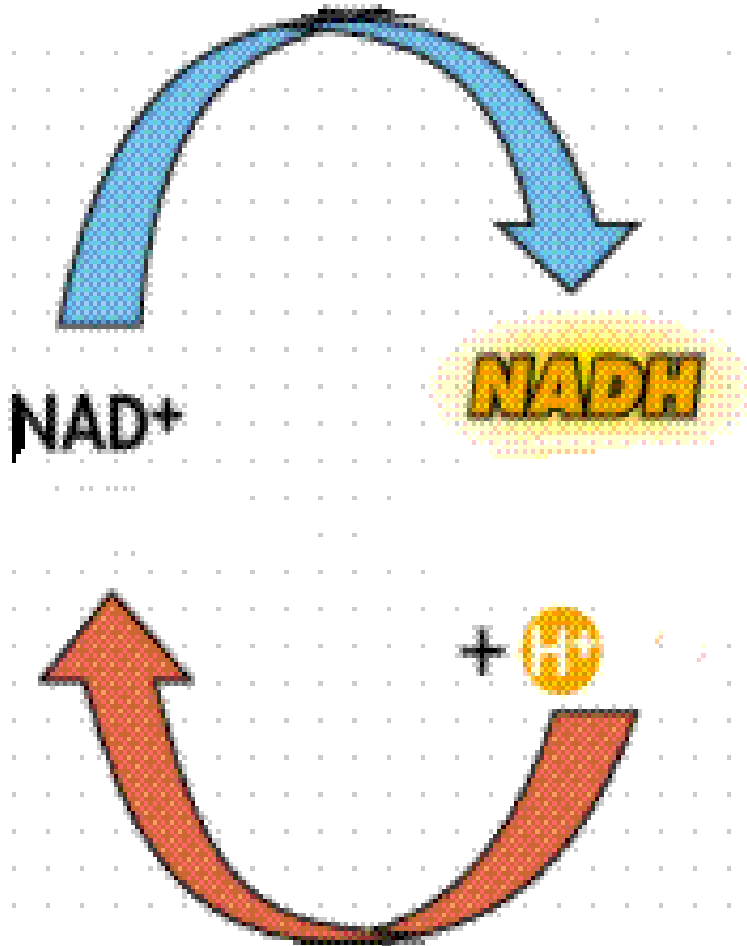


Peranan Siklus Kreb's pada Glukoneogenesis dari asam amino

- **REGULASI :**
- **Piruvat dehidrogenase :**
 - * dihambat oleh : asetil-KoA, NADH, ATP
 - * AMP : sbg aktivator allosterik
- **Siklus Asam Sitrat :**

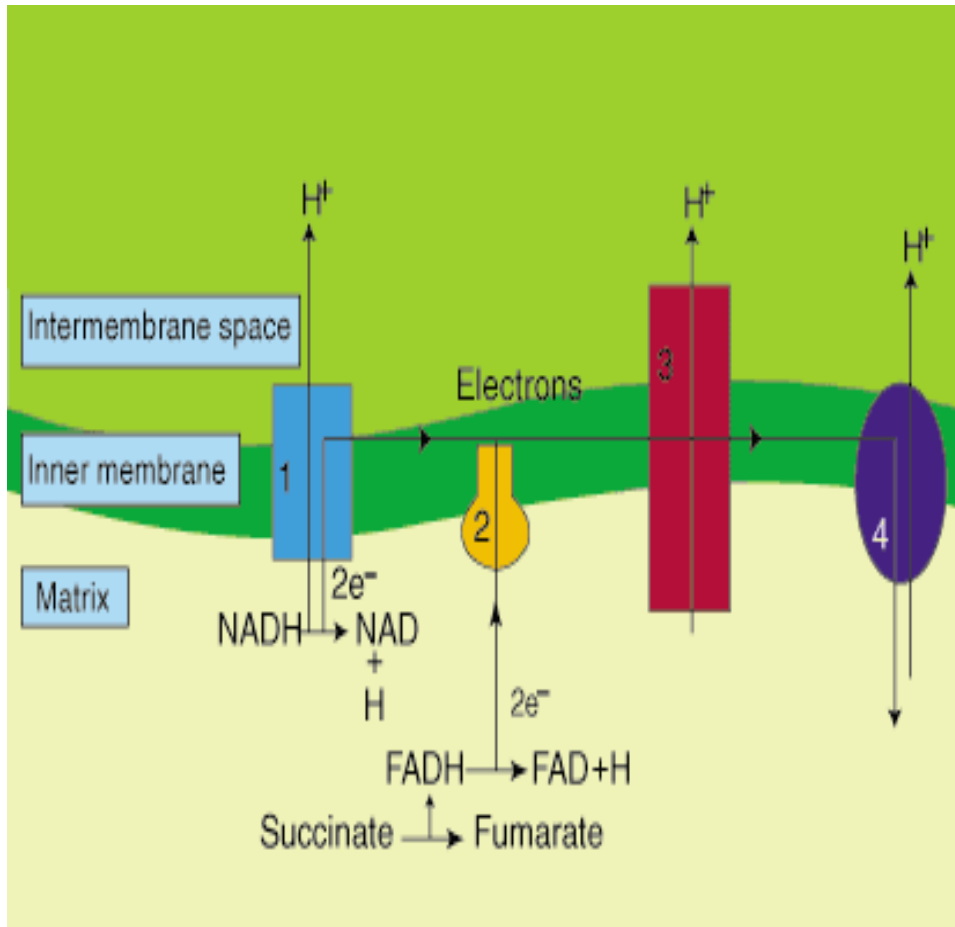
terutama dikendali oleh kadar NAD^+ dan NADH intra-mitokondrial (ratio NAD^+ dan NADH intramitokondrial)
- **Isositrat dehidrogenase :**
 - * diaktifkan oleh ADP, dihambat oleh NADH
- **α -ketoglutarat dehidrogenase :**
 - * dihambat oleh suksinil KoA
 - * dihambat oleh NADH
- **Malat dehidrogenase :** dihambat oleh NADH

Carrier (Pembawa) Energi



- NAD + (nicotinadenine dinukleotida) bertindak sebagai pembawa (carrier) energi
- NAD + adalah koenzim
- Berubah menjadi NADH ketika mengambil 2 elektron dan 1 ion hidrogen

Adakah pembawa energi yg lain?

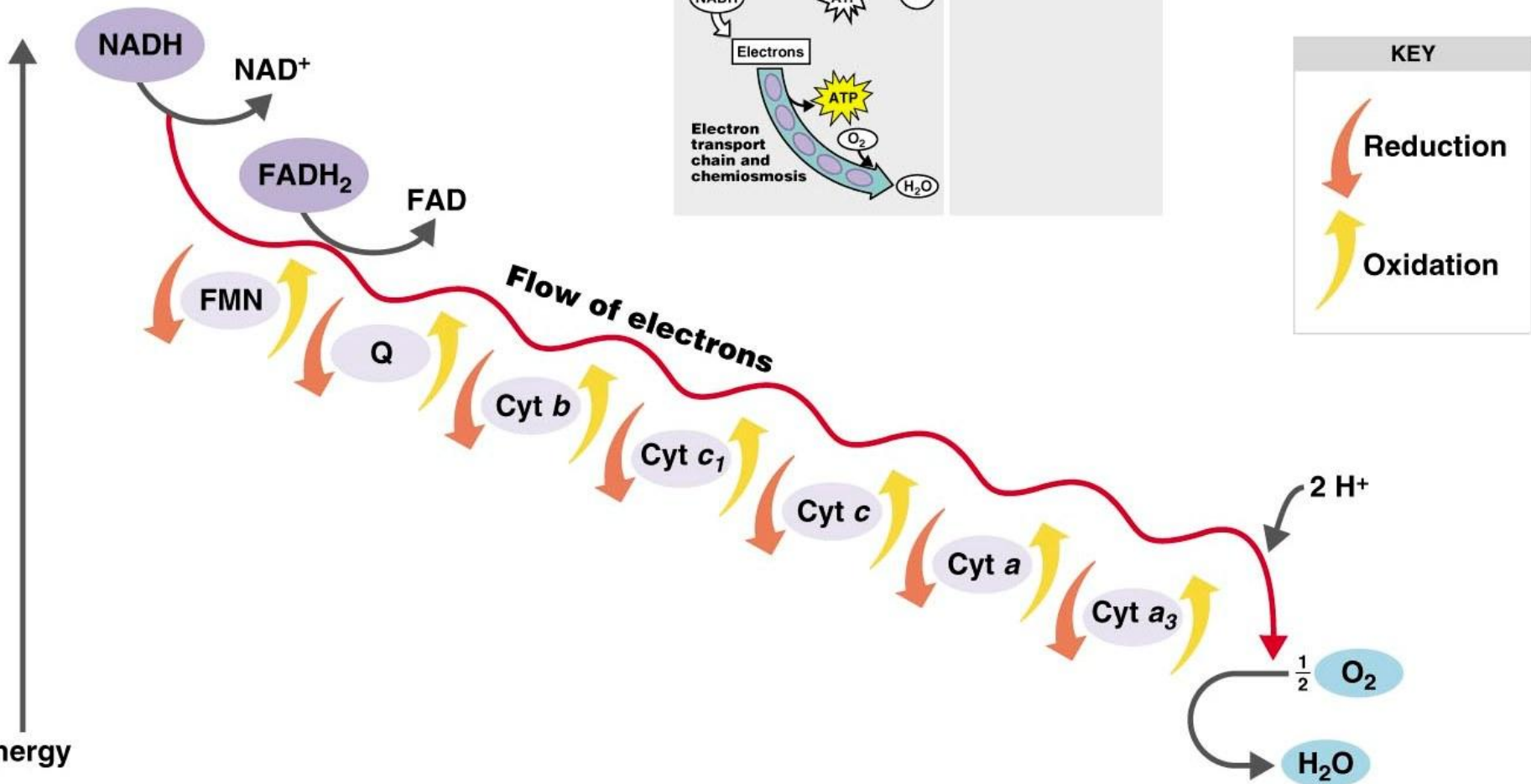


- **ADA, Koenzim lain!**
- **FAD + (Flavin adenine dinukleotida)**
- **Diubah menjadi FADH₂**

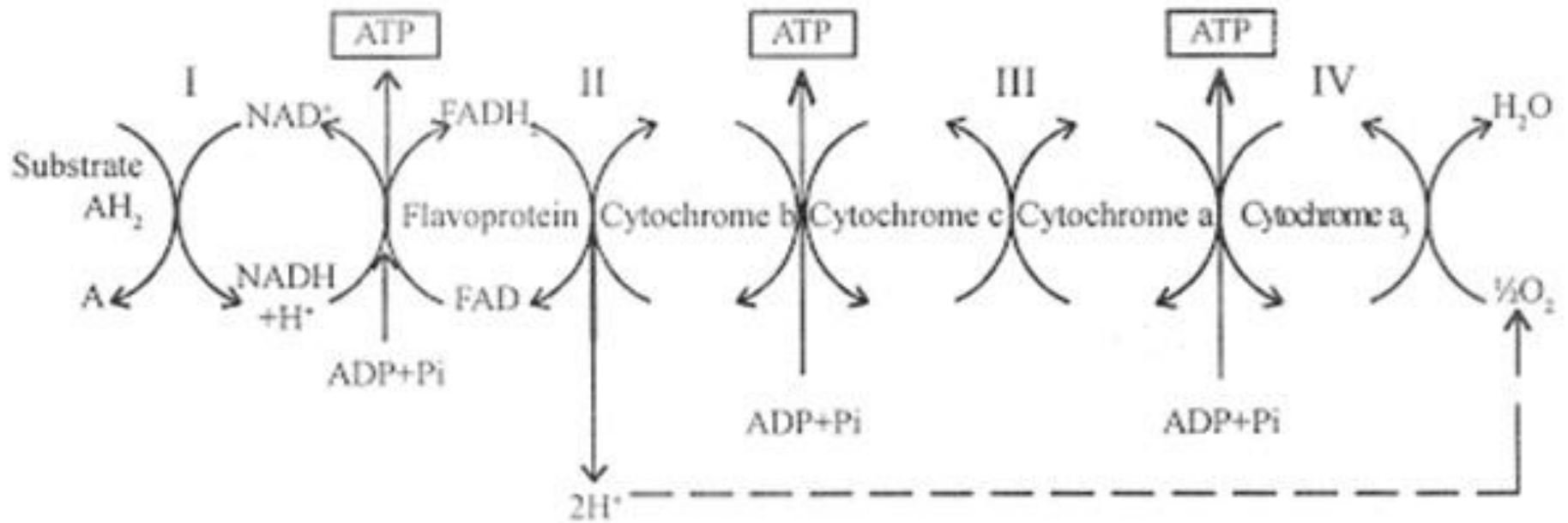
Transpor Elektron

- Selanjutnya NADH dan FADH₂ yang terbentuk akan menjalani rangkaian terakhir respirasi seluler – Transpor Elektron – ATP
- Pada proses ini dihasilkan H₂O dan terjadi konversi energi :
 - 1 NADH : 3 ATP
 - 1 FADH : 2 ATP
- Membutuhkan koenzim Q, Sitokrom b, sitokrom c, dan sitokrom a
- Paling akhir sitokrom a₃ – sitokrom oksidase
- Hasil transpor elektron :
 - Glikolisis : 2 NADH = 6 ATP
 - Dekarboksilasi oksidatif : 2 NADH = 6 ATP
 - Siklus krebs : 6 NADH + 2 FADH = 18 ATP + 4 ATP = 22 ATP
 - TOTAL = 6 + 6 + 22 = **34 ATP**

Transpor Elektron



Transpor Elektron



Pengaturan Pelepasan Energi

- Konsentrasi ATP
 - Bila tinggi – hambat Enzim fosfofruktokinase – hambat glikolisis
- Konsentrasi ADP
 - Bila tinggi – pembentukan ATP meningkat
- Ion sitrat – siklus krebs
 - Bila berlebih/tinggi – hambat Enzim fosfofruktokinase
 - mencegah glikolisis

Glikolisis Anaerob

- Oksigen tidak cukup – fosforilasi oksidatif tidak terjadi
- Menghasilkan sejumlah kecil energi (ATP) – 3% saja dari keseluruhan energi yg dihasilkan 1 molekul glukosa
- Untuk mempertahankan hidup saat kurang oksigen
- Bila oksigen normal kembali – asam laktat dapat diubah mjd asam piruvat lagi/glukosa

- Pada Glikolisis Anaerob :

- * Rantai respirasi tidak berjalan

- * Hasil akhirnya asam laktat

Laktat dehidrogenase





- Energi yg dihasilkan :

Reaksi 6 & 9 : 4 ATP

Reaksi 1 & 3 : -2 ATP

= 2 ATP

- Anaerob  Rantai Respirasi tak berjalan
- ↓
- $\text{NADH} + \text{H}^+$ yg dihasilkan dari reaksi 5 tak dapat dibentuk kembali menjadi NAD^+ lewat rantai respirasi
- ↓
- Padahal NAD^+ harus selalu tersedia untuk kelangsungan Glikolisis
- ↓
- Untuk mengatasinya : $\text{NADH} + \text{H}^+$ akan dibentuk menjadi NAD^+ lewat pertolongan enzim **Laktat Dehidrogenase (LDH)** yg akan mengubah **Piruvat**  **Laktat**

Jalur Pentosa Fosfat

- Jalur alternatif/khusus – selain glikolisis dan oksidasi
- Disebut juga *jalur fosfoglukonat*
- Tidak bergantung pada enzim di glikolisis ataupun siklus krebs
- $\text{Glukosa} + 12\text{NADP} + 6\text{H}_2\text{O} - 6\text{CO}_2 + 12\text{H} + 12\text{NADPH}$

Pembentukan Lemak dari Konversi Glukosa

- Bila glukosa tidak segera diubah menjadi energi – disimpan dalam bentuk glikogen (hati dan otot), atau dalam bentuk lemak
- Lemak disimpan dalam hati, otot, dan jaringan lemak
- Metabolisme lipid...

GLIKOGENESIS

- Sintesis glikogen dari glukosa
- Terjadi di dalam **hati dan otot**

- Reaksi 1 :

Mg^{++}



Glukokinase / Heksokinase

- Reaksi 2 :



Fosfoglukomutase

- Reaksi 3 :



UDPG Pirofosforilase

GLIKOGENOLISIS

- Proses pemecahan glikogen
- Dalam otot :
 - * tujuannya untuk mendapat energi bagi otot
 - * hasil akhirnya : piruvat / laktat \longrightarrow sebab glukosa 6-p yg dihasilkan dr glikogenolisis masuk ke jalur glikolisis di otot
- Dalam hati :
 - * tujuannya : untuk mempertahankan kadar glukosa darah di antara dua waktu makan
 - * Glukosa 6-p akan diubah menjadi glukosa



Glukosa 6-fosfatase

- Enzim Glukosa 6-fosfatase terdapat di : hati, ginjal dan epitel usus (tetapi tidak terdapat di otot)
- Enzim Glikogen fosforilase \longrightarrow memutus ikatan α -1,4 glikosidik dr glikogen
- Debranching enzyme \longrightarrow memutus ikatan α -1,6 glikosidik

GLUKONEOGENESIS

- Pembentukan glukosa dari bahan bukan karbohidrat
- Pada mamalia terutama terjadi di : hati dan ginjal
- Substrat :
 1. Asam laktat \longrightarrow dr. otot, eritrosit
 2. Gliserol \longrightarrow dr. hidrolisis Triasilgliserol dlm. jar. lemak (adiposa)
 3. Asam amino glukogenik
 4. Asam propionat \longrightarrow pd ruminansia
- Glukoneogenesis penting sekali untuk penyediaan glukosa bila karbohidrat tidak cukup dlm diet

Resume 1

- **Glikolisis** = pemecahan **glukosa** menjadi **asam piruvat**
- **Glikogenesis** = pembentukan **glikogen** dari **glukosa** – *untuk disimpan*
- **Glikogenolisis** = pemecahan **glikogen** menjadi **glukosa** – *untuk digunakan*
- **Glukoneogenesis** = pembentukan glukosa dari **bahan lain** (lipid, protein, laktat, dll)

Resume 2

- ATP GLIKOLISIS : 2 ATP, 2 NADH = 8
- ATP DEKARBOKSILASI OKSIDATIF : 2 NADH = 6
- ATP SIKLUS KREBS : (3 NADH + 1 FADH + 1 ATP)
X 2 = 24
- TOTAL ATP RESPIRASI AEROB = 38 ATP

Resume 3

- Glikolisis : menghasilkan 2 asam piruvat, **2NADH**, **2 ATP**
- Dekarboksilasi oksidatif dari 1 asam piruvat : menghasilkan 2 asetil KoA, **2CO₂**, **2 NADH**
- Siklus krebs : menghasilkan 4 CO₂, **6NADH**, **2FADH₂**, **2 ATP**, asam sitrat
- Transport electron :
 - Glikolisis – **2NADH** = **6 ATP**
 - Dekarboksilasi oksidatif – **2NADH** = **6 ATP**
 - Siklus Krebs – **6NADH** & **2FADH₂** = 18 ATP + 4 ATP = **22 ATP**
 - TOTAL = 6 + 6 + 22 = **34 ATP**
- TOTAL SEMUA PROSES RESPIRASI AEROB = 2 (glikolisis) + 2 (siklus krebs) + 34 (transpor elektron) = **38 ATP**
- Hasil akhir aerobik – CO₂ dan H₂O
- Hasil akhir anaerobik – asam laktat – menumpuk dalam otot – menghambat kontraksi otot & menyebabkan nyeri

SEMOGA BERMANFAAT

Terima Kasih