



unisa
Universitas 'Aisyiyah
Yogyakarta



Karbohidrat dan Metabolismenya

Farida Noor Irfani, S.Si., M.Biomed
faridairfani@unisayogya.ac.id



رَضِيتُ بِاللَّهِ رَبًّا وَبِالْإِسْلَامِ دِينًا وَبِمُحَمَّدٍ نَبِيًّا وَرَسُولًا
رَبِّي زِدْنِي عِلْمًا وَارْزُقْنِي فَهْمًا

“Kami ridho Allah SWT sebagai Tuhanku, Islam sebagai agamaku, dan Nabi Muhammad sebagai Nabi dan Rasul, Ya Allah, tambahkanlah kepadaku ilmu dan berikanlah aku kefahaman”

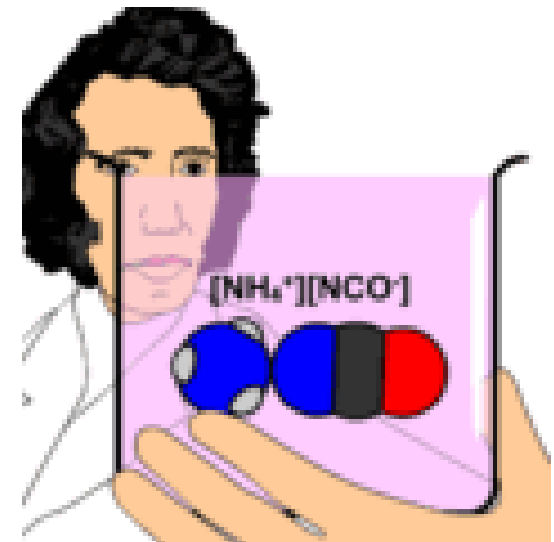
Apa itu Biokimia?

❖ Definisi *Webster's Dictionary*

Berasal dari Bahasa Yunani, Bios “Hidup”; Chemis “Kimia”

→ “Kimia makhluk hidup; kimia yang terjadi dan menjadi ciri kehidupan

❖ Kajian biokimia mencakup struktur kimia dan reaksi kimia (metabolisme) yang terjadi pada organisme hidup





No	Materi Perkuliahan
1	Karbohidrat dan Metabolismenya
2	Lipid dan Metabolismenya
3	Vitamin Larut Air dan Larut Lipid beserta Metabolismenya
4	Protein dan Asam Amino beserta Metabolismenya
5	Mineral dan Metabolismenya
6	Biokimia Enzim
7	Hormon dan Mekanisme dalam Tubuh



Topik Bahasan

A. Pengenalan Karbohidrat

B. Metabolisme Karbohidrat

C. Profil Karbohidrat dalam Tubuh Manusia

D. Penyakit Akibat Kelainan Metabolisme Karbohidrat





Capaian Pembelajaran

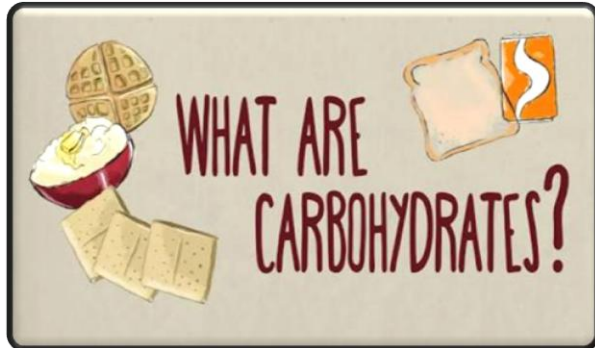


Mahasiswa mampu menjelaskan karbohidrat dan macamnya

Mahasiswa mampu menjelaskan tahapan metabolisme karbohidrat

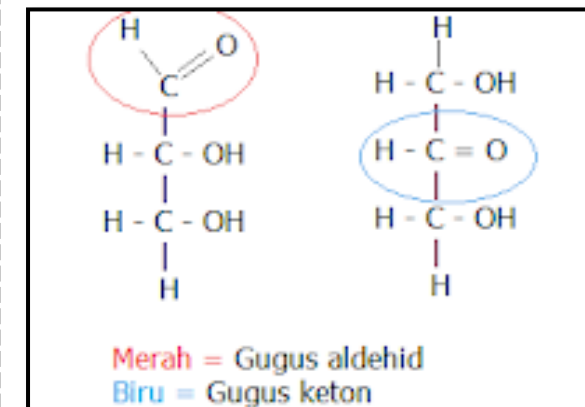
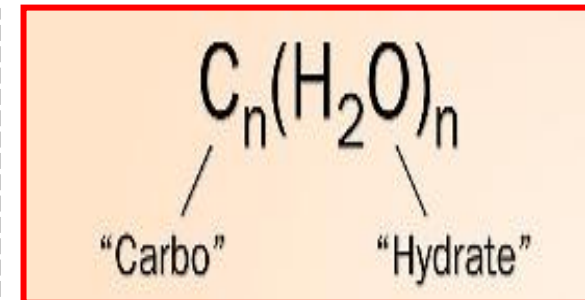
Mahasiswa mengetahui profil karbohidrat dalam tubuh manusia

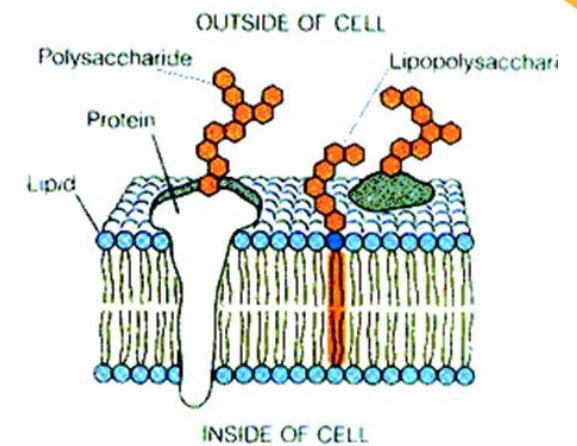
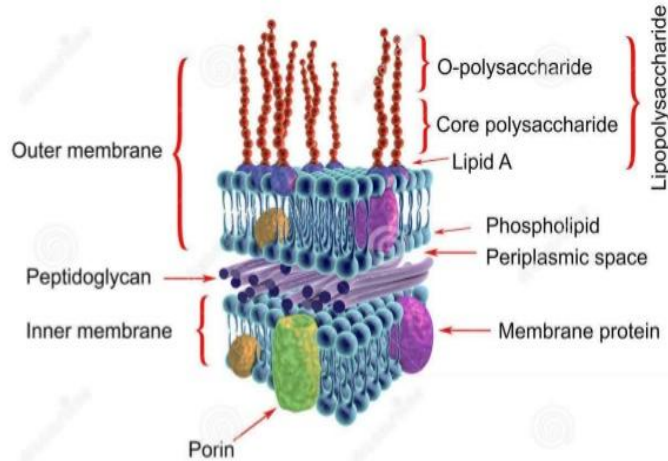
Mahasiswa mampu menjelaskan berbagai penyakit akibat kelainan metabolisme karbohidrat



- Biomolekul yang paling banyak diproduksi oleh organisme
- Senyawa polimer yang tersusun dari unit-unit monomernya → ikatan glikosida
- Sering disebut **hidrat arang** atau **sakarida**

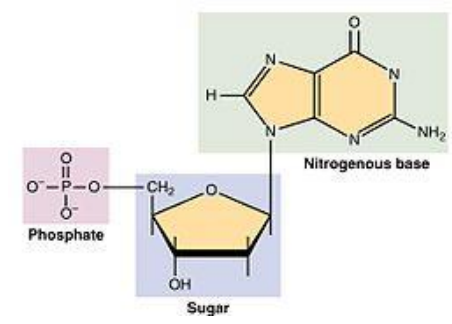
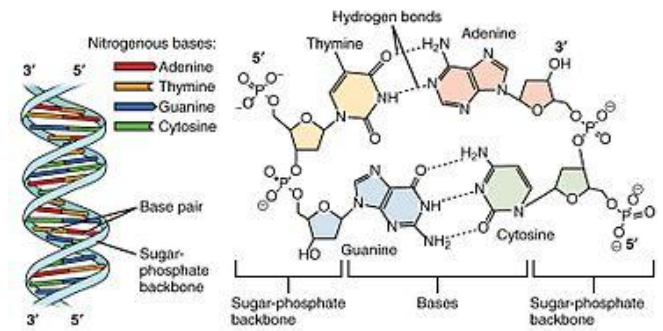
- Terdiri dari *carbon* (C) dan *hydrate* (air → H₂O) dengan perbandingan unsur C : H : O = 1 : 2 : 1
- Rumus empiris → **(C.H₂O)_n** atau **C_nH_{2n}O_n** misalnya glukosa C₆H₁₂O₆
- Karbohidrat merupakan senyawa polihidroksialdehid atau polihidroksiketon dan derivatnya dalam bentuk unit tunggal yang sederhana maupun unit kompleks
- Dapat berikatan dengan biomolekul lain melalui ikatan kovalen (glikokonjugasi) untuk melakukan fungsi tertentu





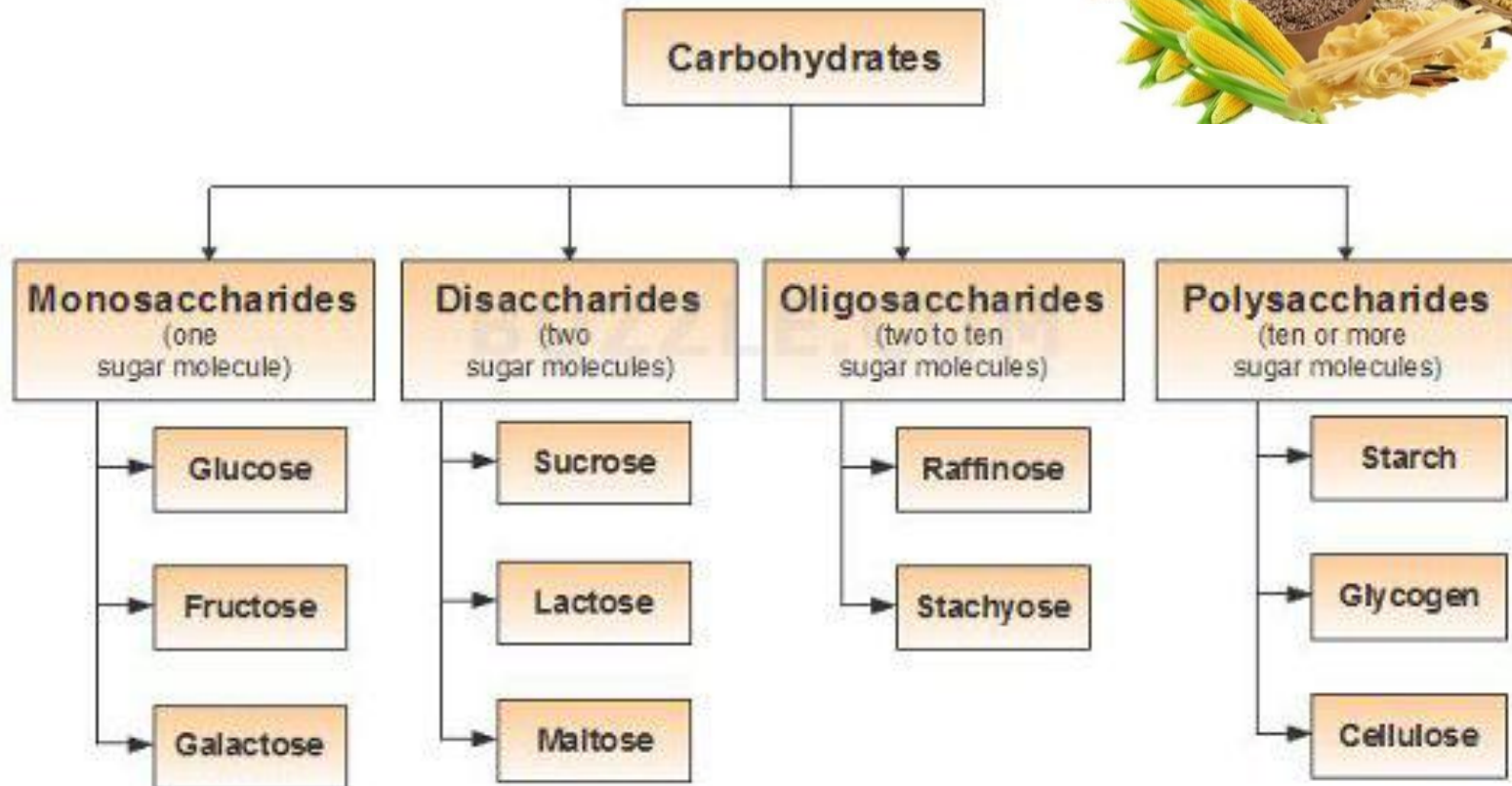
Fungsi karbohidrat :

- Sumber energi
- Simpanan energi
- Sumber karbon untuk sintesis biomolekul lain
- Komponen bahan sekretorik struktural maupun selular organisme
- Bagian kerangka struktural pada nukleotida
- Identitas sel → berikatan dengan protein atau lipid dan berfungsi dalam proses pengenalan antar sel (*cell-cell recognition*)



Klasifikasi Karbohidrat

Berdasarkan jumlah molekul gula



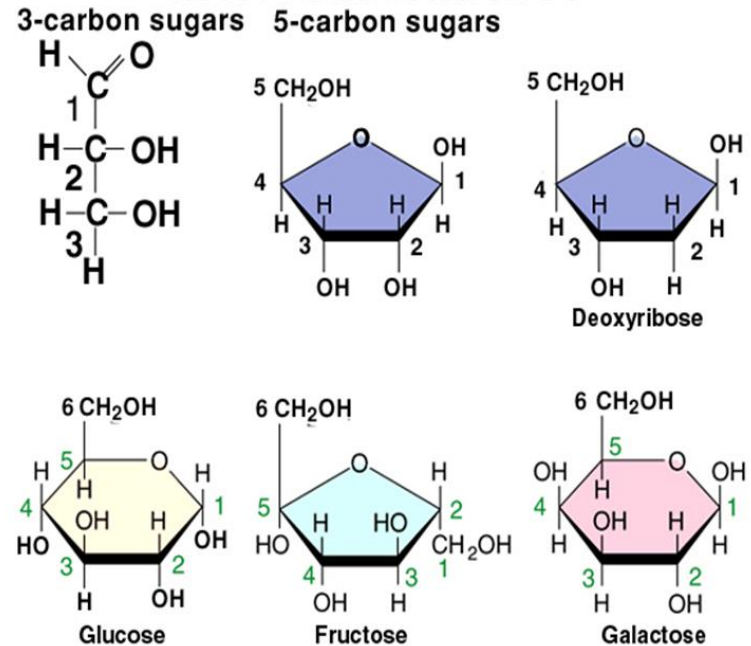
Monosakarida

Sifat :

- Gula paling sederhana (*simple sugars*)
- Merupakan bentuk dasar dari karbohidrat dan penyusun karbohidrat lain yang lebih kompleks
- Tidak dapat dihidrolisis lagi
- Berupa kristal padat yang tidak berwarna
- Larut dalam air
- Tidak larut dalam pelarut non-polar
- Memiliki rasa manis

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Monosaccharides

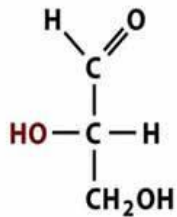


Monosakarida

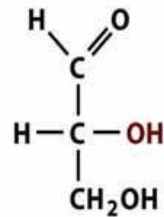
Penggolongan Monosakarida

❖ Berdasarkan **lokasi gugus karbonil** (-C=O)

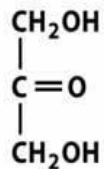
- Aldosa → gugus fungsi aldehyd/-COH
Contoh : gliseraldehyd
- Ketosa → gugus fungsi keton/R-CO-R
Contoh : dihidroksiaseton



L-Glyceraldehyde



D-Glyceraldehyde



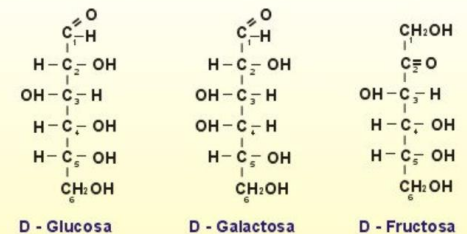
Dihydroxyacetone

❖ Berdasarkan **jumlah atom karbon (C)**

Jumlah atom C	Aldosa	Ketosa
Triosa (C ₃ H ₆ O ₃)	Gliserosa	Dihidroksiaseton
Tetrosa (C ₄ H ₈ O ₄)	Eritrosa	Eritrulosa
Pentosa (C ₅ H ₁₀ O ₅)	Ribosa	Ribulosa
Heksosa (C₆H₁₂O₆)	Glukosa	Fruktosa

❖ Menurut Sunita Almatsier, terdapat tiga jenis heksosa yang penting dalam ilmu gizi, yaitu **glukosa, fruktosa, dan galaktosa.**

HEXOSAS



Glukosa:

- Terdapat di dalam sirkulasi darah
- Sumber energi (ATP) utama pada respirasi seluler
- Tersimpan dalam bentuk polimer → pati (amilum) dan glikogen (cadangan energi)
- Fungsi struktural → selulosa



Galaktosa:

- Dikenal sebagai gula dalam susu dan yoghurt sebagai bagian dari laktosa
- Terdapat dalam polimer sebagai agar



Fruktosa :

- Gula buah (levulosa)
- Banyak terdapat dalam madu dan buah-buahan
- Juga berasal dari hasil hidrolisis sukrosa
- Susunan atom dalam fruktosa merangsang jonjot kecapan lidah sehingga menimbulkan rasa manis



Oligosakarida-Disakarida

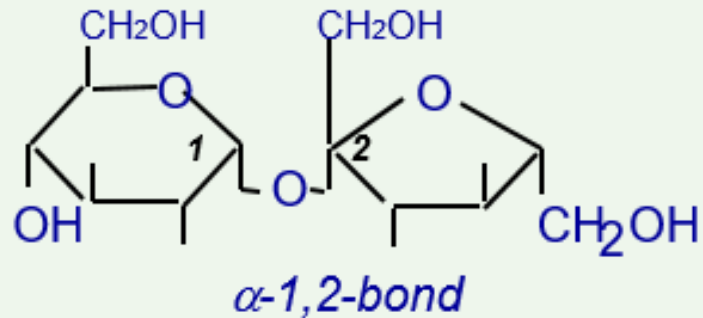
- Oligosakarida → Suatu molekul karbohidrat yang mengandung 2 sampai 10 unit monosakarida
- Oligosakarida yang paling sederhana adalah disakarida ($C_n(H_2O)_{n-1}$); tersusun dari **dua** satuan molekul monosakarida yang digabungkan oleh ikatan glikosida (ikatan kovalen)
- Terdapat tiga jenis disakarida penting yang melimpah di alam, yakni **sukrosa, laktosa, dan maltosa**

Nama	Monosakarida penyusun	Ikatan glikosidik	Nama umum
maltosa	Glukosa + Glukosa	1 → 4	α -D-glikopiranosil-(1→4)- β -D-glukopiranosida
selobiosa	Glukosa + Glukosa	1 → 4	β -D-glikopiranosil-(1→4)- β -D-glukopiranosida
gentiobiosa	Glukosa + Glukosa	1 → 6	β -D-glikopiranosil-(1→6)- β -D-glukopiranosida
sukrosa	Glukosa + fruktosa	2 → 1	β -D-fruktofuranosil-(2→1)- α -D-glukopiranosida
laktosa	Glukosa + galaktosa	1 → 4	β -D-galaktopiranosil-(1→4)- β -D-glukopiranosida
trehalosa	Glukosa + Glukosa	1 → 1	α -D-glikopiranosil-(1→1)- α -D-glukopiranosida

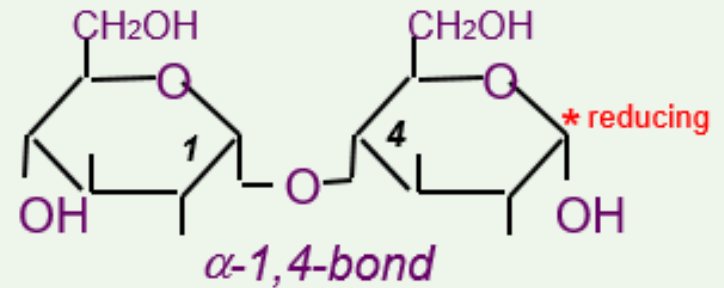


Oligosakarida-Disakarida

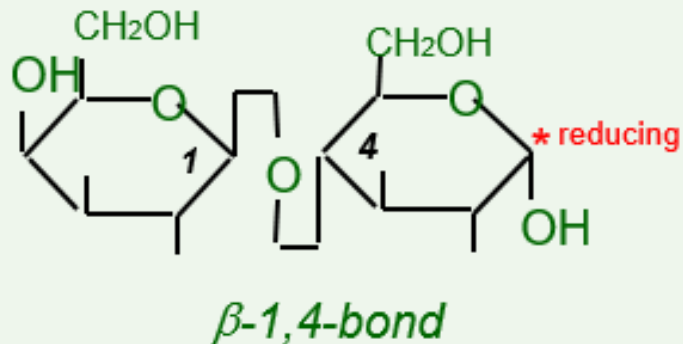
SUCROSE (glucose-fructose)



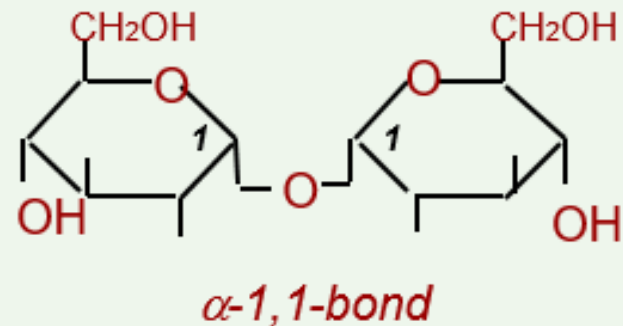
MALTOSE (glucose-glucose)



LACTOSE (galactose-glucose)

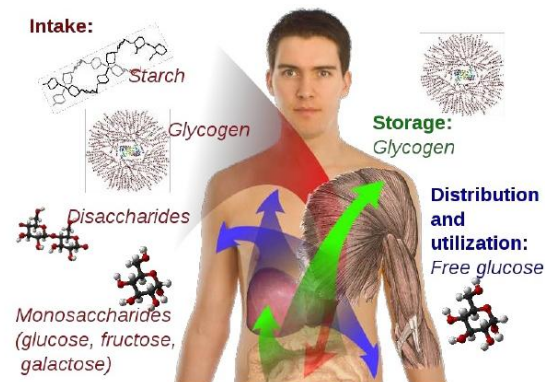
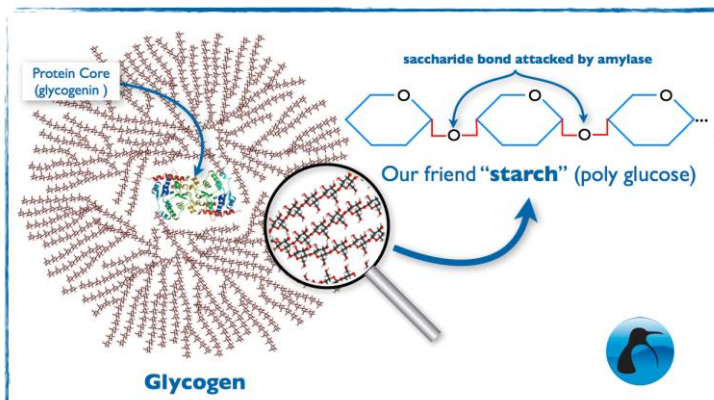


TREHALOSE (glucose-glucose)

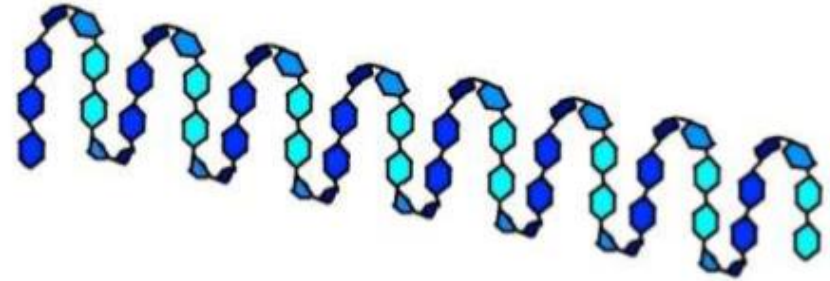
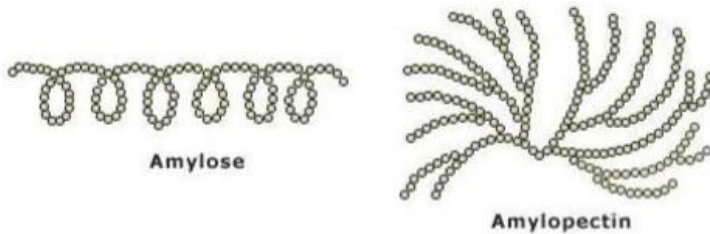


Polisakarida

- ❑ Polisakarida merupakan suatu molekul karbohidrat yang mengandung banyak monosakarida → Berat molekul >>
- ❑ Hidrolisis polisakarida secara sempurna oleh asam atau enzim spesifik dapat menghasilkan satu jenis monosakarida atau derivatnya
- ❑ Peran → (1) sebagai bentuk simpanan energi; (2) sebagai fungsi struktur seperti dalam dinding sel dan jaringan pengikat
- ❑ Polisakarida dibedakan dalam dua jenis :
 - A. **Homopolisakarida**, polisakarida yang mengandung satu unit jenis monosakarida saja. Misalnya polisakarida yang saat hidrolisis menghasilkan heksosa (disebut heksosan) → glikogen, pati dan selulosa.
 - B. **Heteropolisakarida**, polisakarida yang mengandung dua atau lebih jenis monosakarida yang berbeda. Misalnya asam hialuronat pada jaringan pengikat yang mengandung N-asetil glukosamin dan asam glukoronat

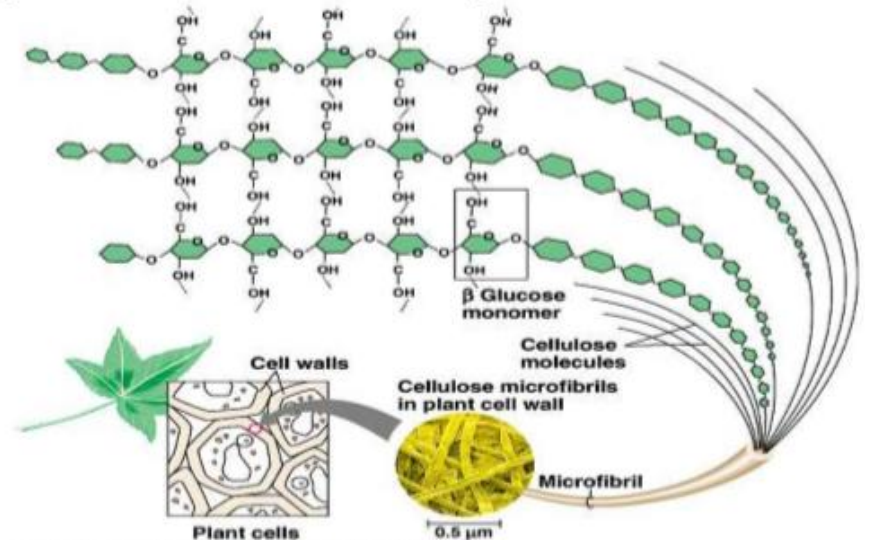
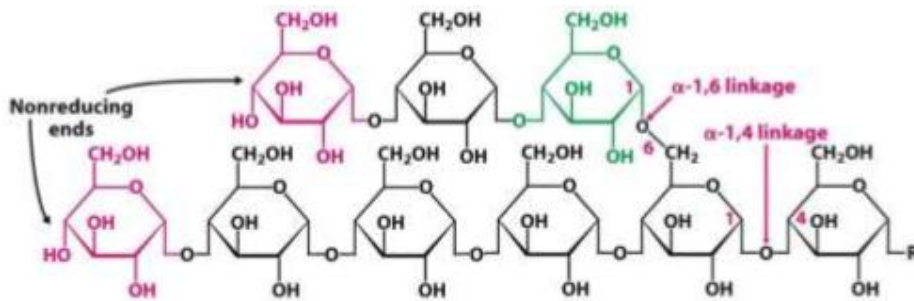


Amilosa-amilopektin



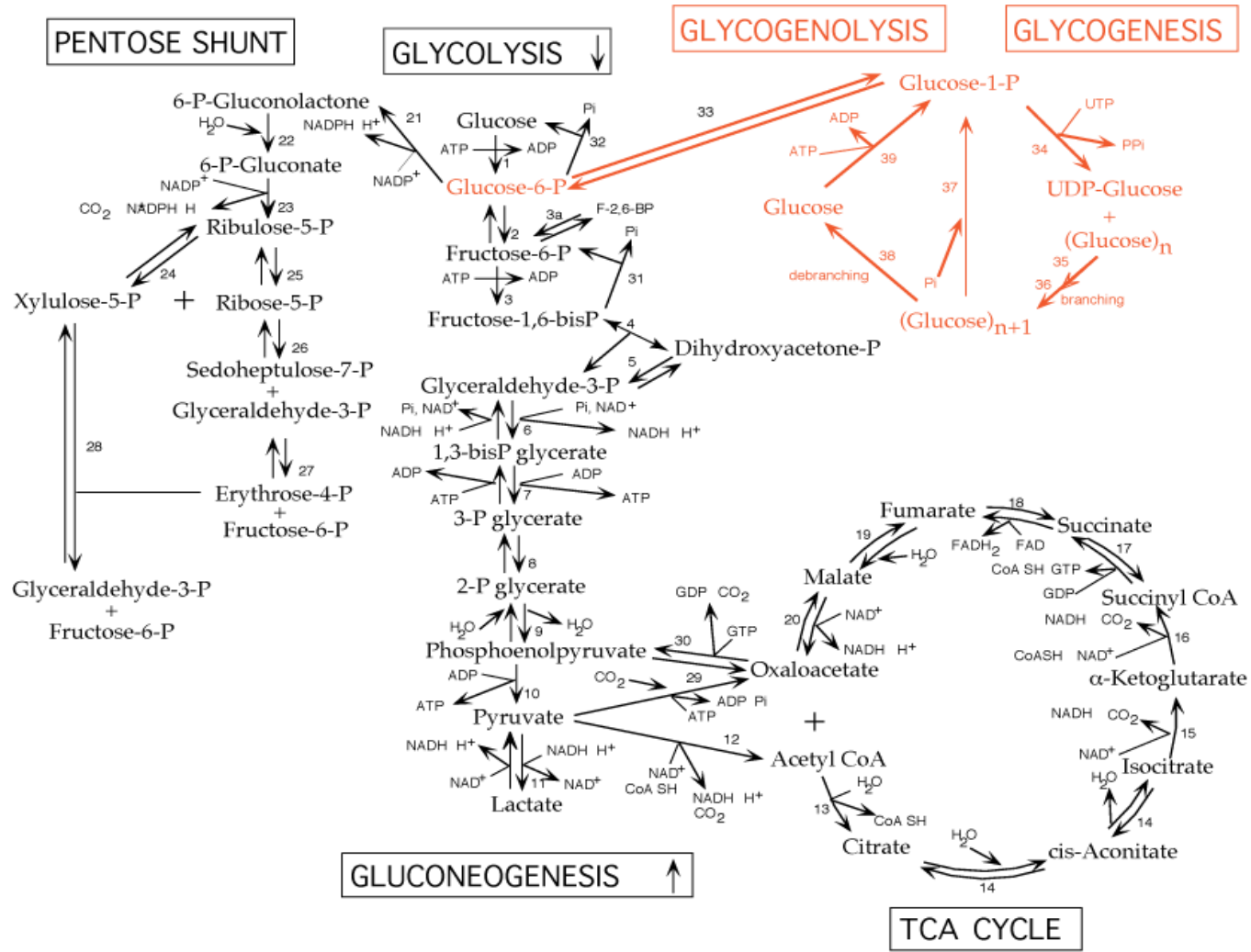
Selulosa

Glikogen



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Gambar 1.14 Selulosa Pembentuk Mikrofilbril

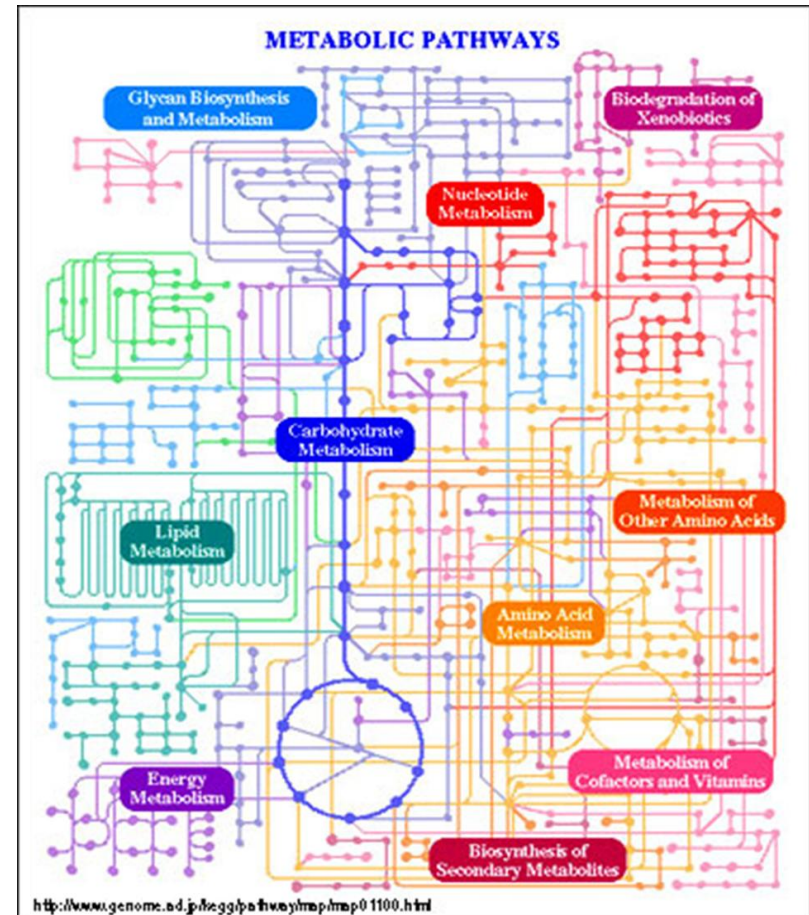
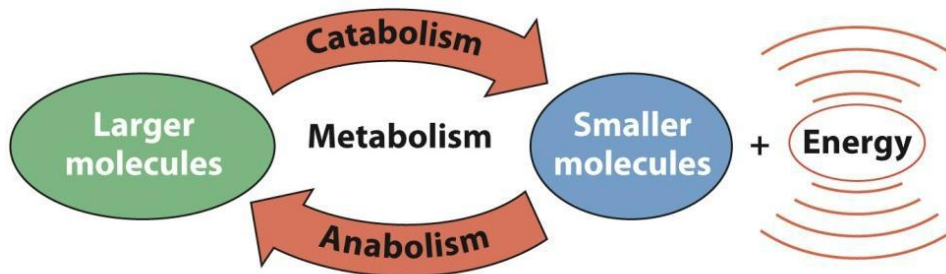


Apa itu metabolisme?

Keseluruhan reaksi **perubahan kimiawi** yang terjadi di dalam sel suatu organisme, meliputi proses **penguraian** dan **sintesis** molekul kimia yang **menghasilkan** maupun **membutuhkan** panas (**energi**) serta dikatalisis oleh berbagai enzim

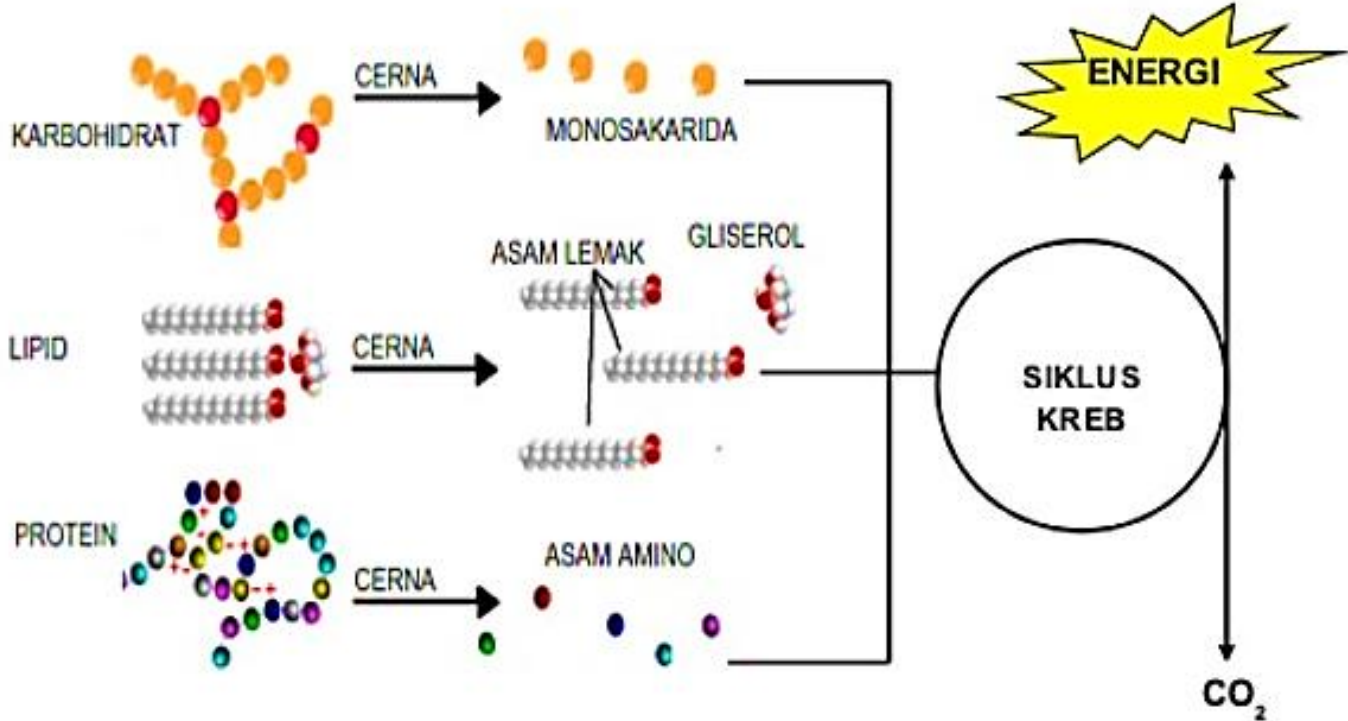
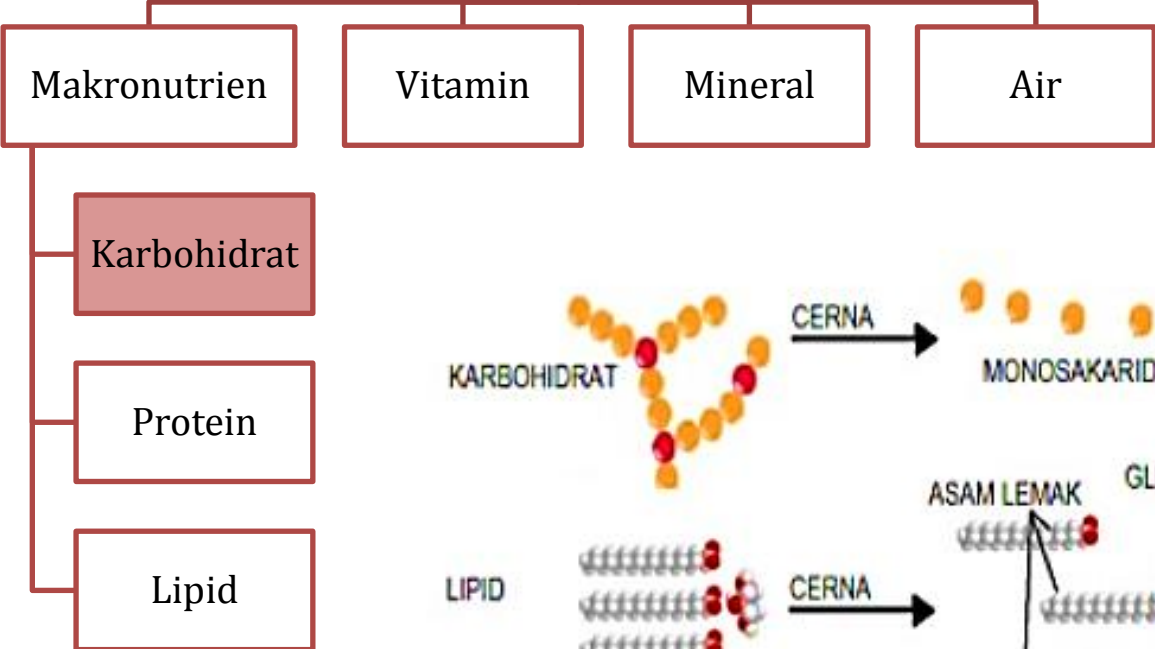
Metabolisme meliputi :

- A. Jalur sintesis (anabolisme/endorgenik)
 - Molekul kecil → kompleks
 - Butuh energi
- B. Jalur degradatif (katabolisme/eksorgenik)
 - Molekul kompleks → sederhana
 - Melepas energi
- C. Jalur amfibolik (persimpangan)
 - Penghubung jalur sintesis-degradatif



Bahan makanan sumber energi

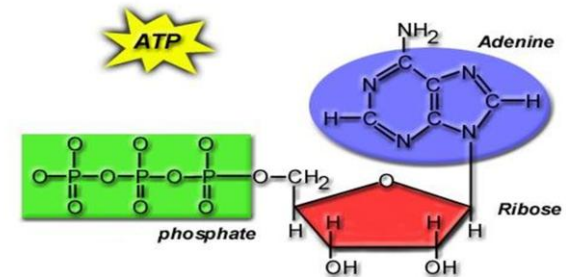
Nutrien Utama



ATP merupakan energi universal sebagai “alat tukar” energi dalam sel hidup

- **Adenosin Tri Fosfat (ATP)** merupakan suatu senyawa fosforil berenergi tinggi yang dibentuk selama katabolisme
- Empat fungsi penting senyawa ATP dalam metabolisme adalah :

1. Menyediakan energi yang diperlukan dalam reaksi biosintesis
2. Sebagai sumber energi untuk gerakan kontraksi sel otot (hewan, manusia)
3. Berperan dalam proses transportasi nutrisi melalui sistem membran terutama dalam menghadapi perbedaan konsentrasi (transpot aktif)
4. Digunakan dalam proses transfer informasi genetik, yakni metabolisme asam nukleat

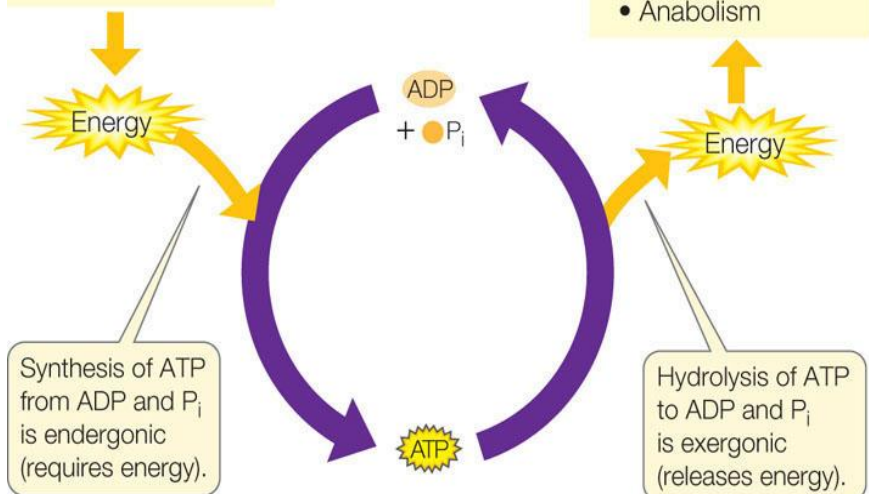


Exergonic reaction:
(releases energy)

- Cell respiration
- Catabolism

Endergonic reaction:
(requires energy)

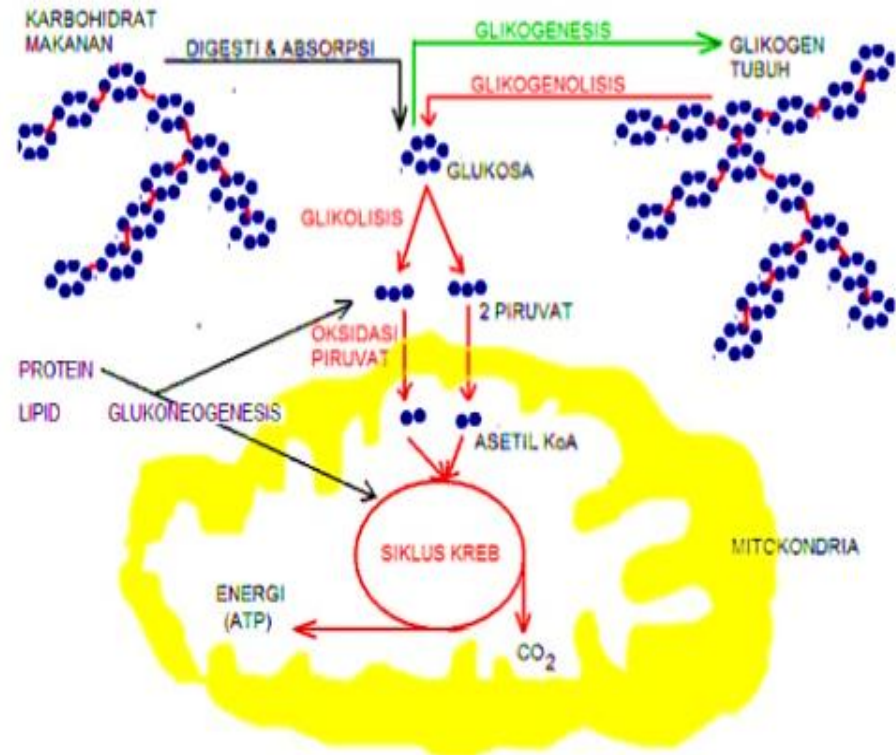
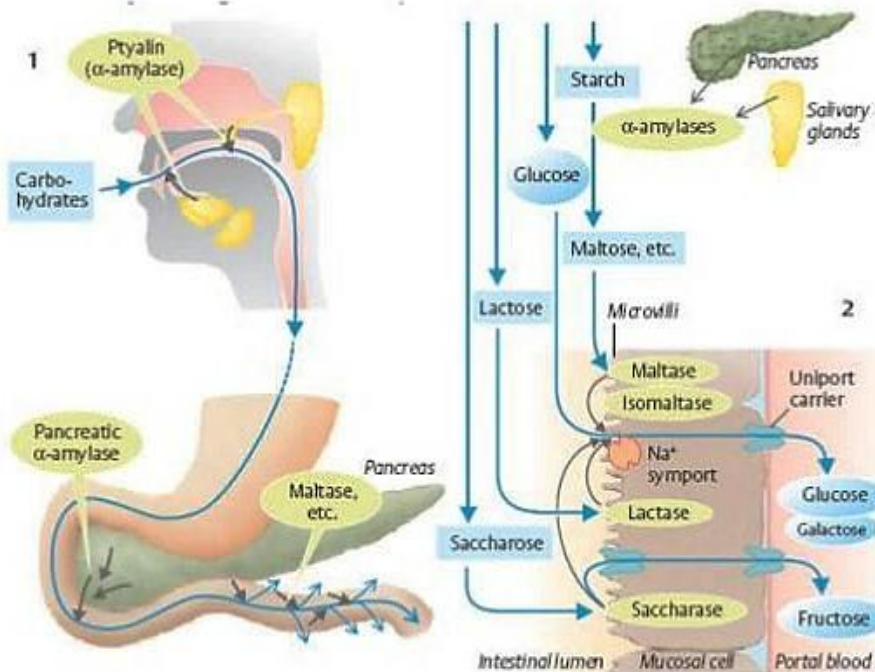
- Active transport
- Cell movements
- Anabolism

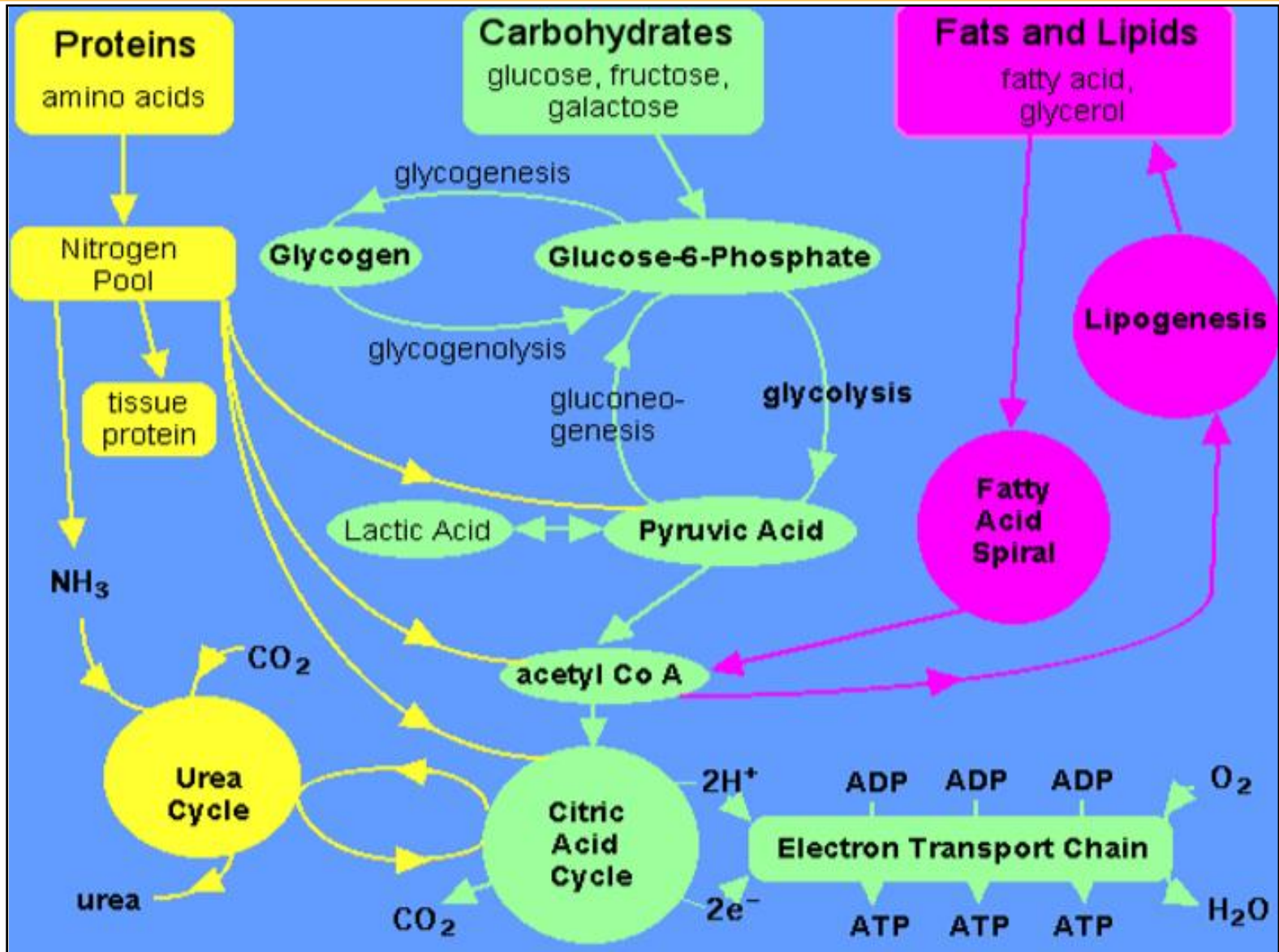


Metabolisme Karbohidrat

- ❑ Sebagian besar diabsorpsi dalam bentuk **glukosa**
- ❑ Konsentrasi glukosa plasma sangat penting → hanya glukosa yang dapat dimetabolisme oleh otak
- ❑ Komposisi karbohidrat dalam diet dianjurkan sebesar 55% dari total kalori
- ❑ Energi akan dilepaskan melalui perubahan glukosa menjadi bentuk teroksidasi

Pencernaan Karbohidrat





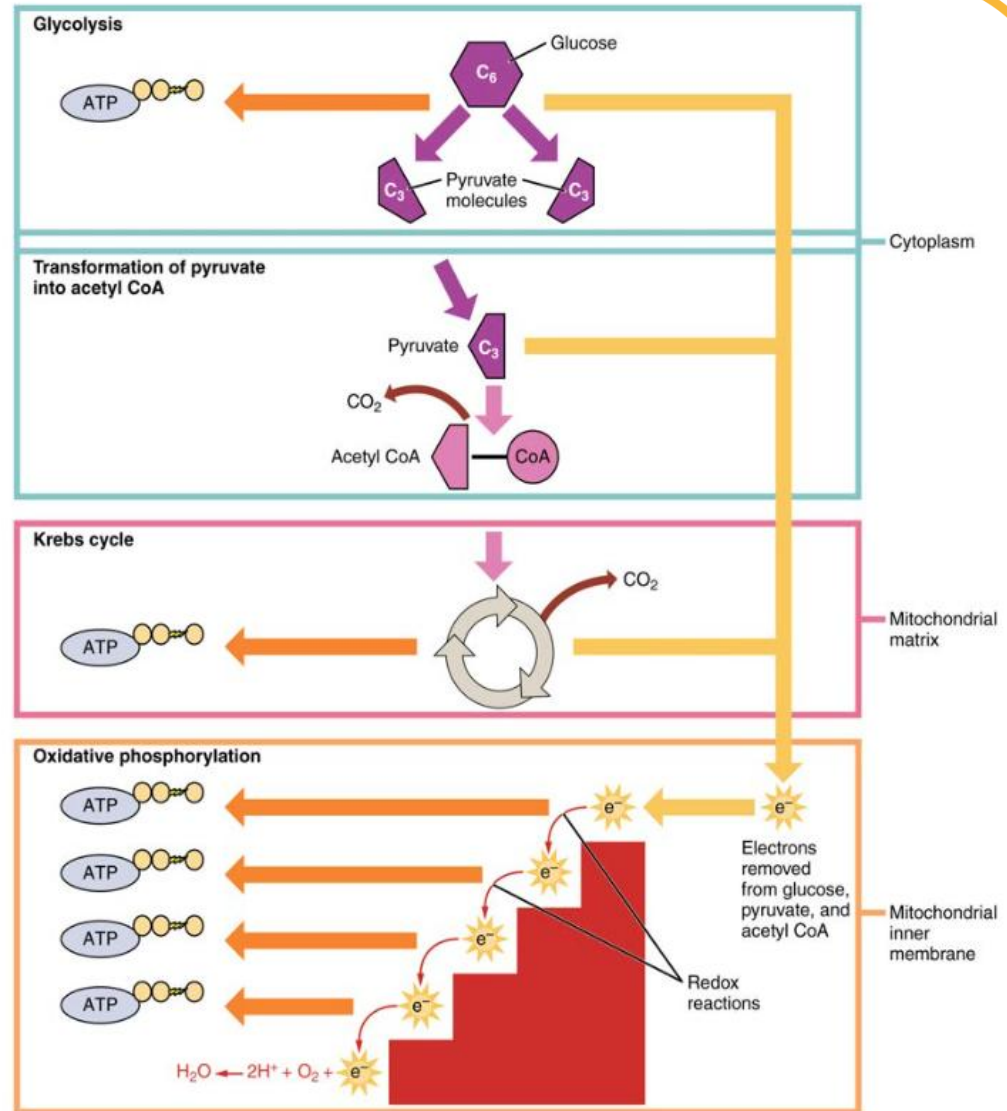
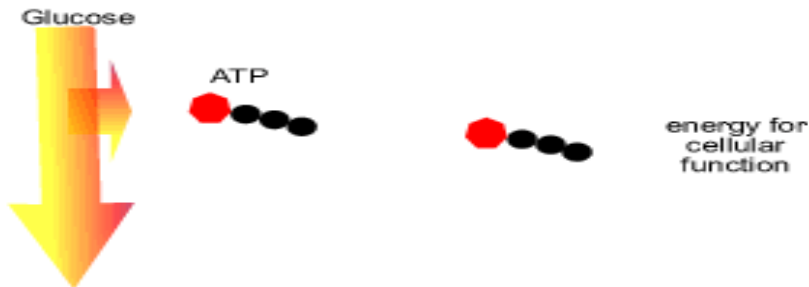
Jalur Biokimia Produksi Energi

Terdiri dari tiga tahap utama

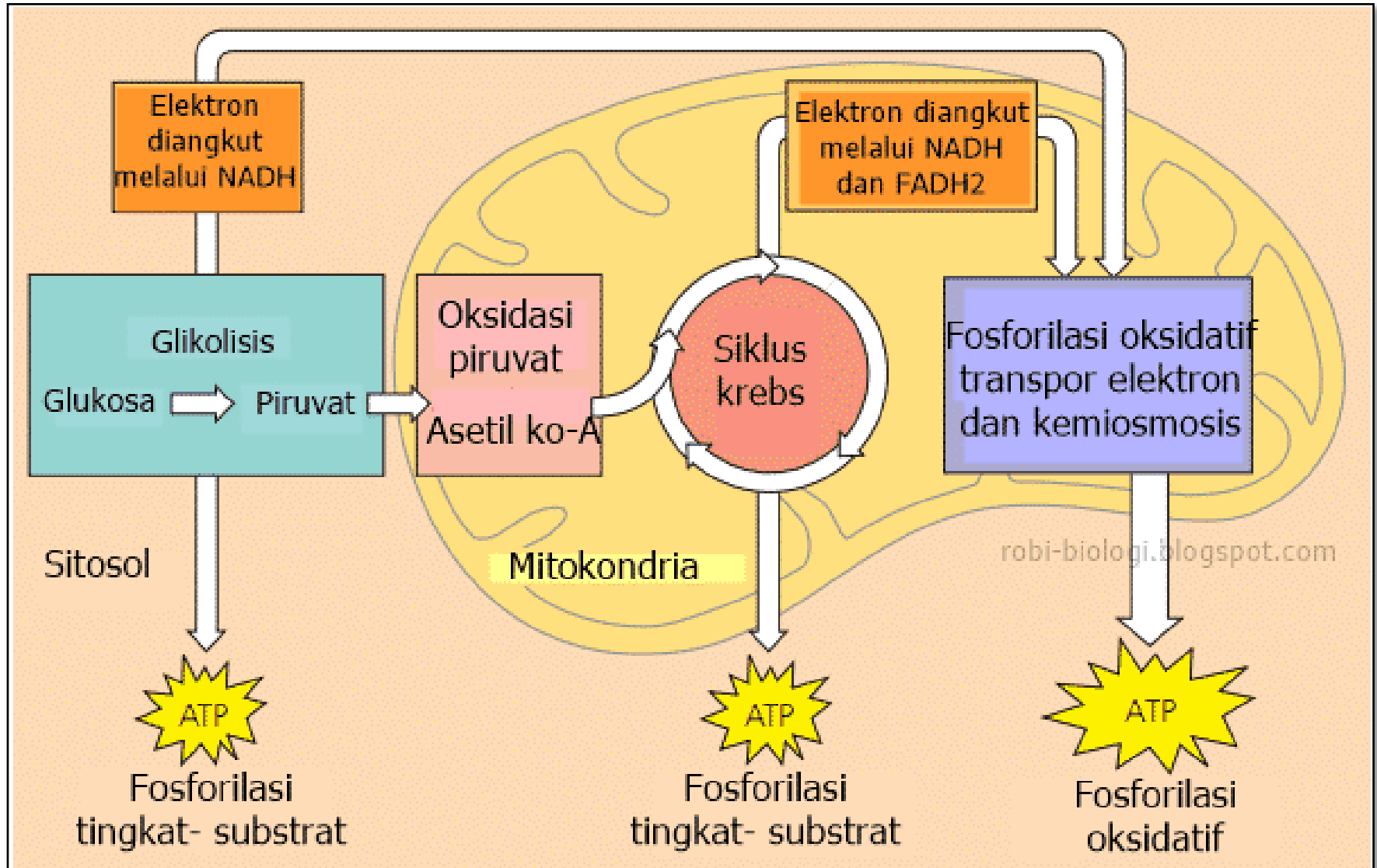
- A. Glikolisis
- B. Dekarboksilasi Oksidatif
- C. Siklus Krebs
- D. Rantai Transpor Elektron

Berlangsung di seluruh sel tubuh dan menghasilkan :

1. CO₂
2. H₂O
3. Energi

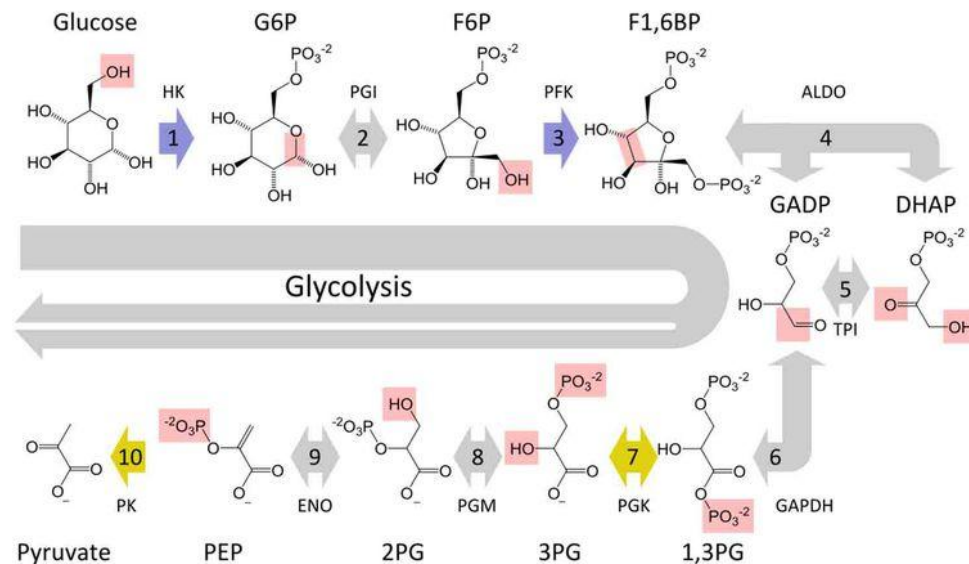
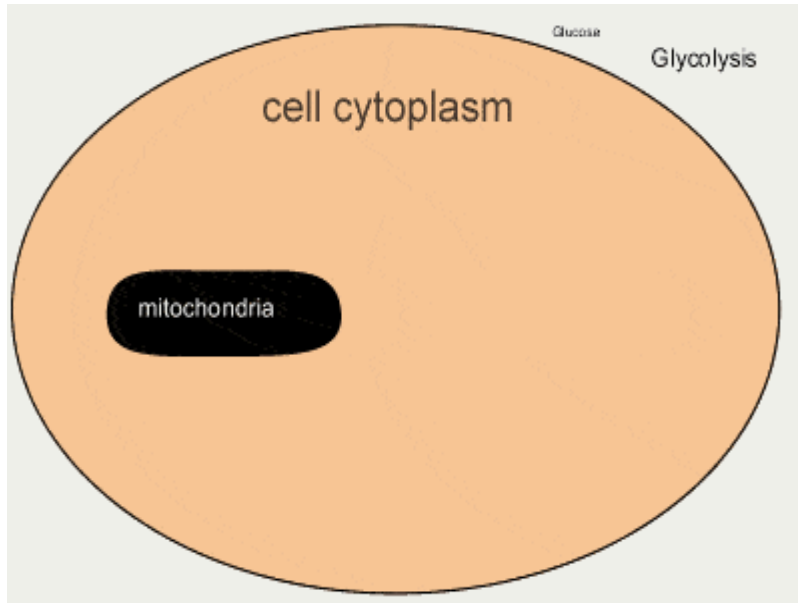


Jalur Biokimia Produksi Energi

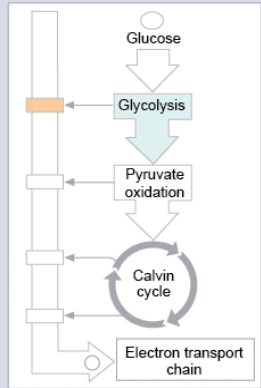


A. Glikolisis

- ❑ Prinsip reaksi adalah pemecahan molekul **glukosa** menjadi **asam piruvat**
- ❑ Terjadi di **sitosol**
- ❑ Terdiri dari **sepuluh** tahapan reaksi yang *reversible*
- ❑ Penting diperhatikan :
 - a. Nama senyawa
 - b. Struktur molekul senyawa
 - c. Nama reaksi



A. Glikolisis



1. Phosphorylation of glucose by ATP.

2-3. Rearrangement, followed by a second ATP phosphorylation.

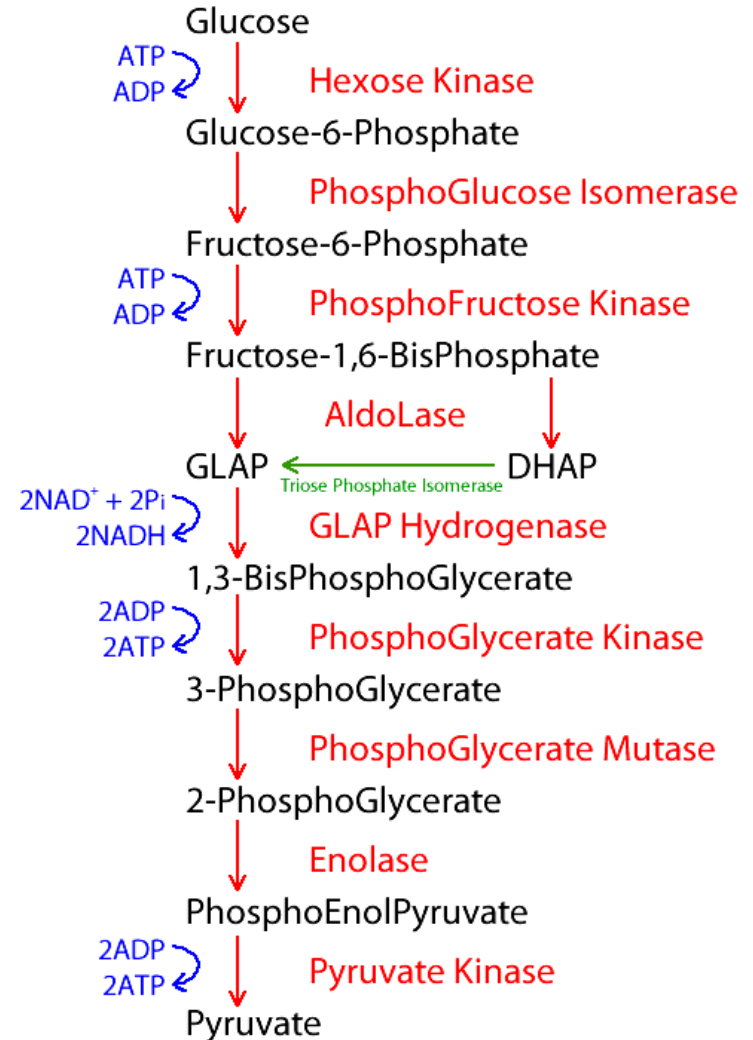
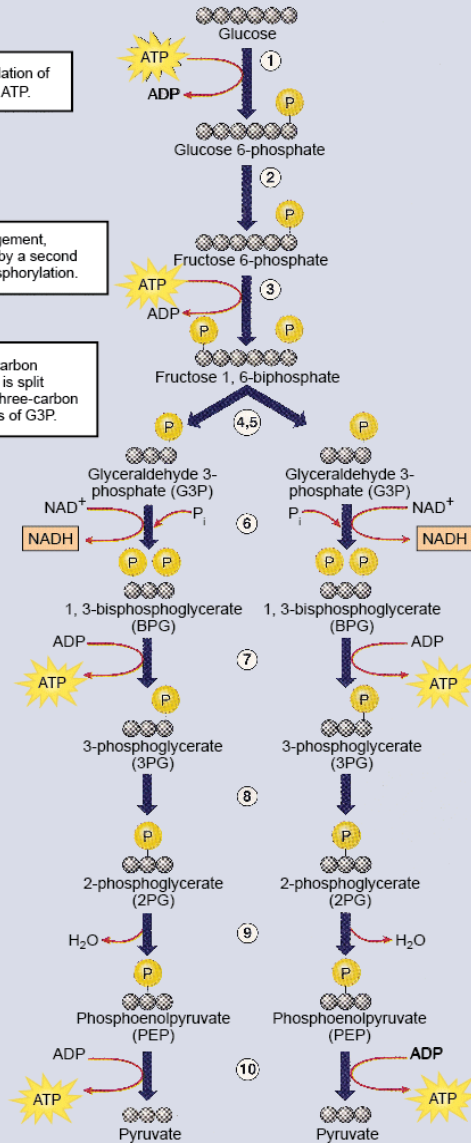
4-5. The six-carbon molecule is split into two three-carbon molecules of G3P.

6. Oxidation followed by phosphorylation produces two NADH molecules and gives two molecules of BPG, each with one high-energy phosphate bond.

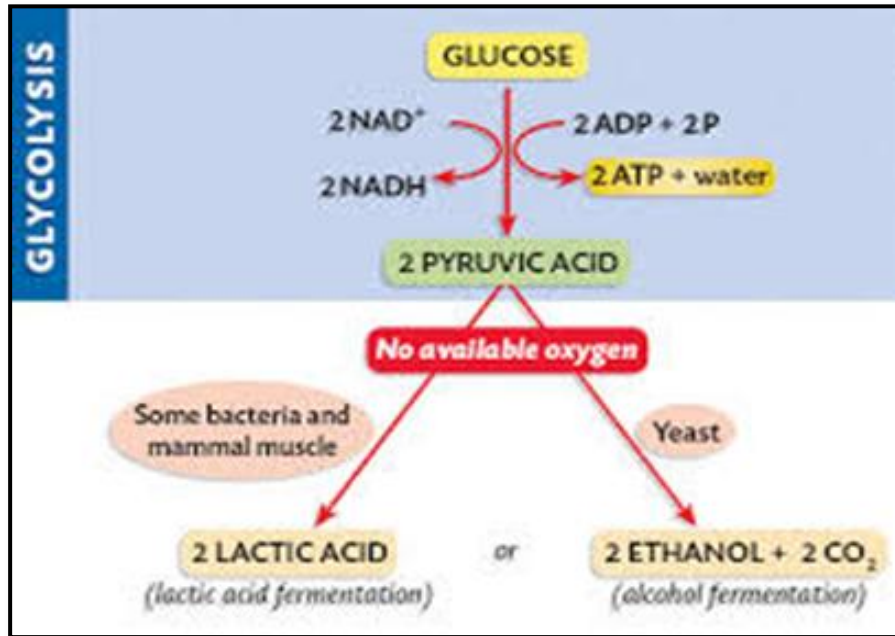
7. Removal of high-energy phosphate by two ADP molecules produces two ATP molecules and gives two 3PG molecules.

8-9. Removal of water gives two PEP molecules, each with a high-energy phosphate bond.

10. Removal of high-energy phosphate by two ADP molecules produces two ATP molecules and gives two pyruvate molecules.



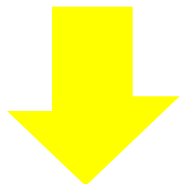
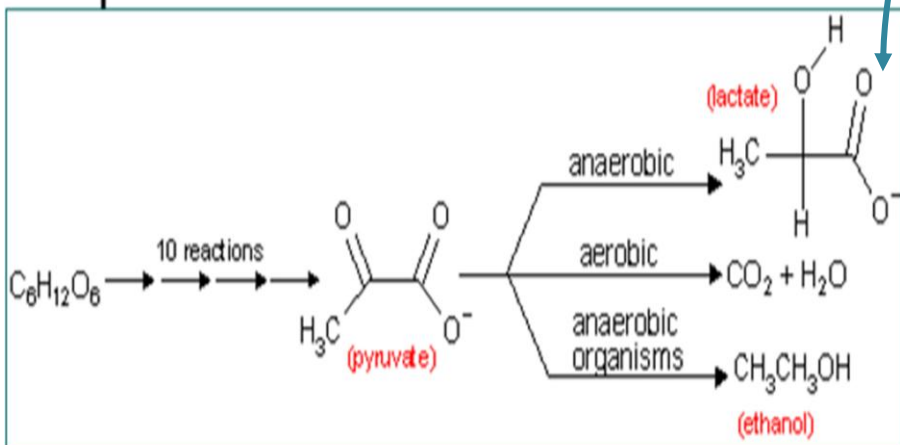
Lanjutan Glikolisis



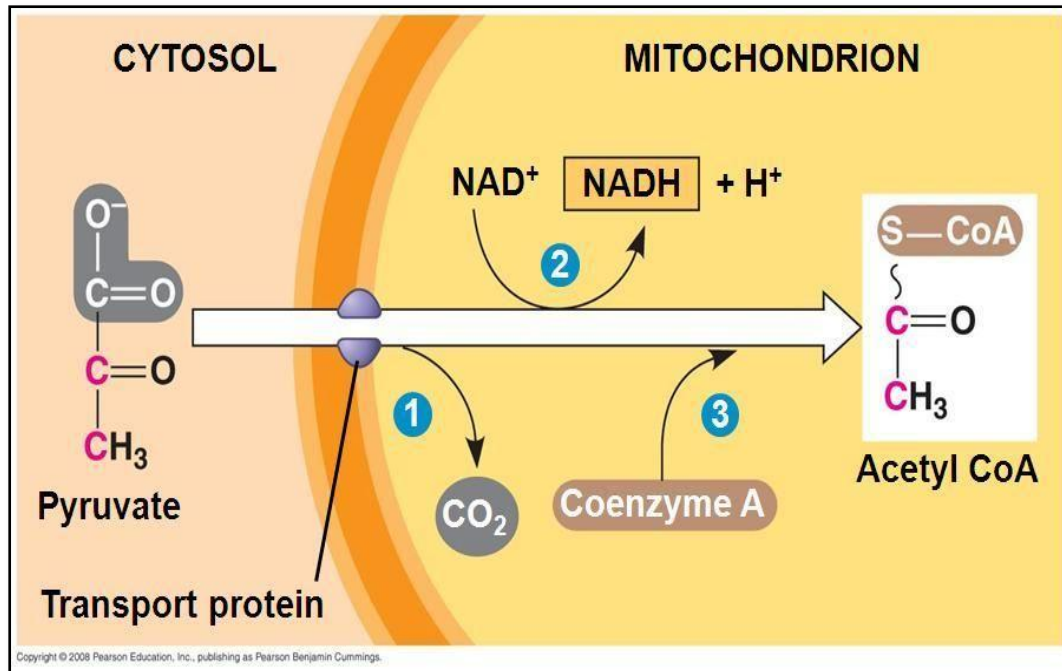
Hasil akhir glikolisis =

- 2 Asam piruvat
- 2 ATP → [4 ATP (6,9) – 2 ATP (1,3)]
- 2 H₂O
- 2 NADH

Glycolysis



Dekarboksilasi Oksidatif



- ❑ Prinsip reaksi : Perubahan **asam piruvat** menjadi **asetil koenzim-A** (asetil ko-A)
- ❑ Terjadi di **matriks mitokondria**
- ❑ Peran enzim Piruvat-dehidrogenase terdiri dari :
 - Pyruvate dehidrogenas (E1);
 - Dihidrolipoil tranasetilasi (E2);
 - Dihidrolipoil dehidrogenase (E3)
- ❑ Hasil akhir dekarboksilasi oksidatif :
 - 2 Asetil koenzim-A
 - 2 NADH
 - 2 CO₂

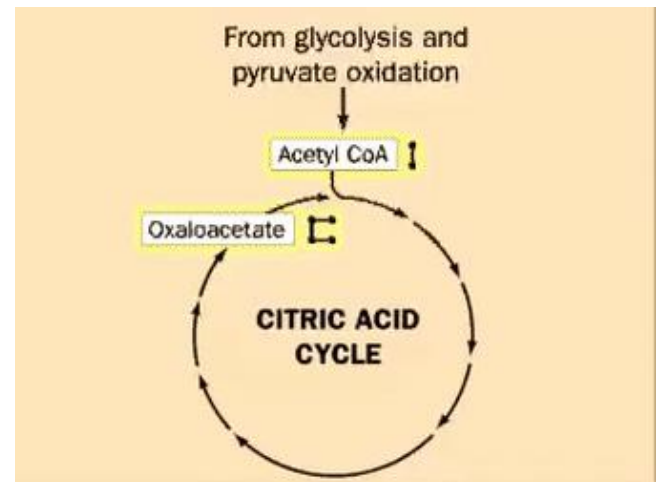
Siklus Krebs

- Terjadi di **matriks mitokondria**
- Bahan reaksi : asetil koenzim-A
- Sering disebut sebagai reaksi asam sitrat atau asam trikarboksilat
- Hasil reaksi berupa **CO₂ dan elektron (e⁻)** dalam jumlah besar
- Rumus :

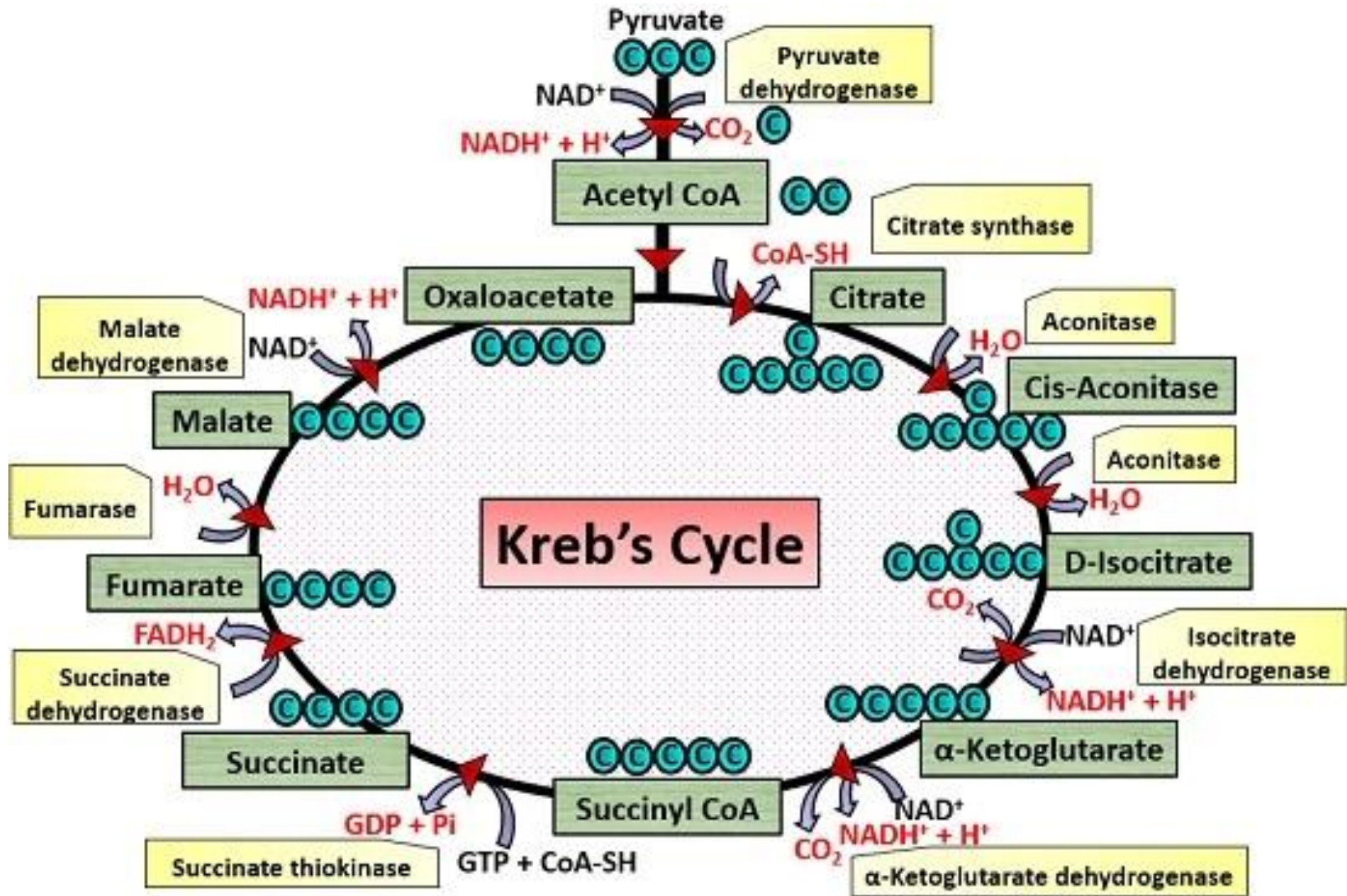
Si - Iso - Ke - Su - Nat - Fu - Ma - Ok

Keterangan :

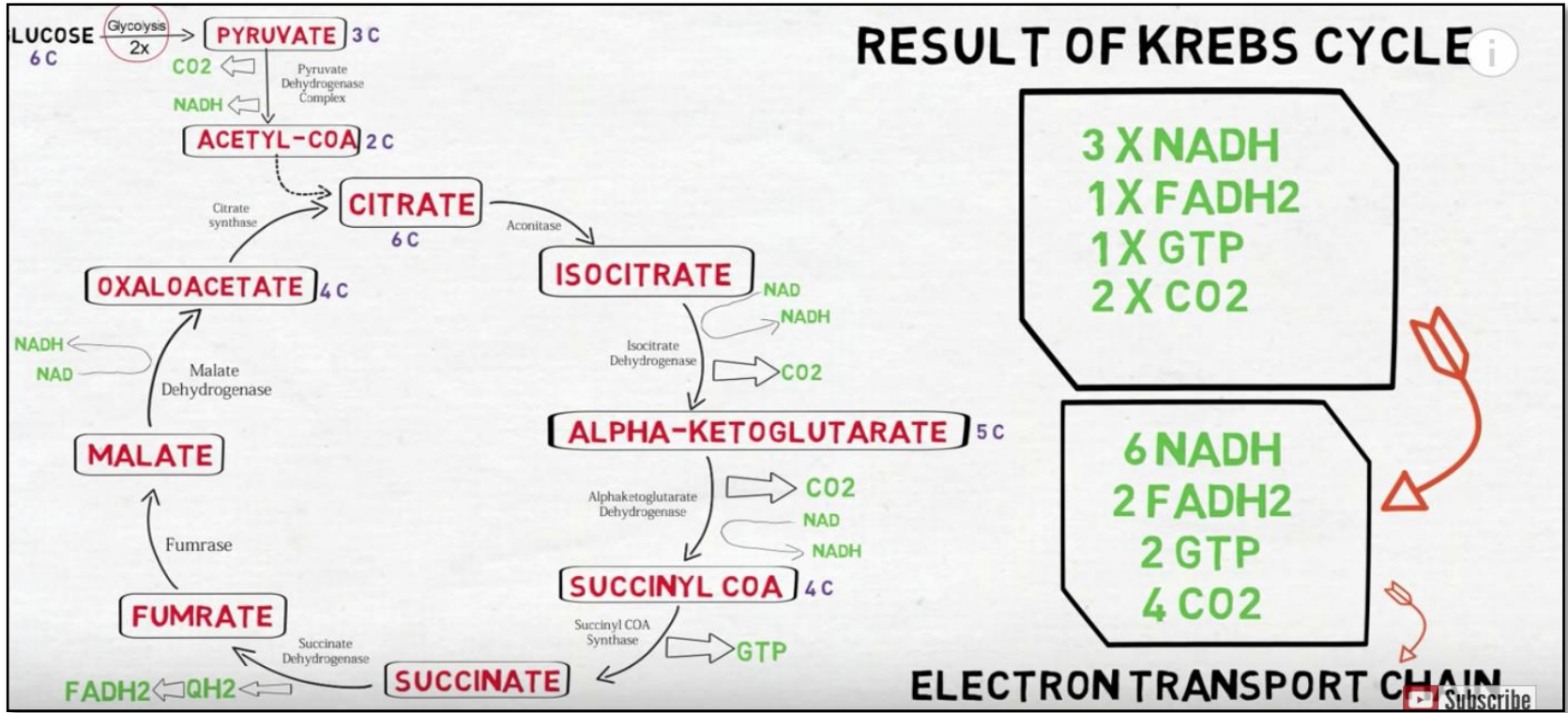
1. Sitrat
2. Isositrat
3. A-ketoglutarat
4. Suksinil Co-A
5. Suksinat
6. Fumarat
7. Malat
8. Oksaloasetat



Lanjutan Siklus Krebs



Lanjutan Siklus Krebs



❖ NAD⁺ → NADH

Iso → Ke

❖ FAD → FADH₂

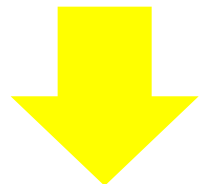
Ke → Su

❖ ADP → ATP

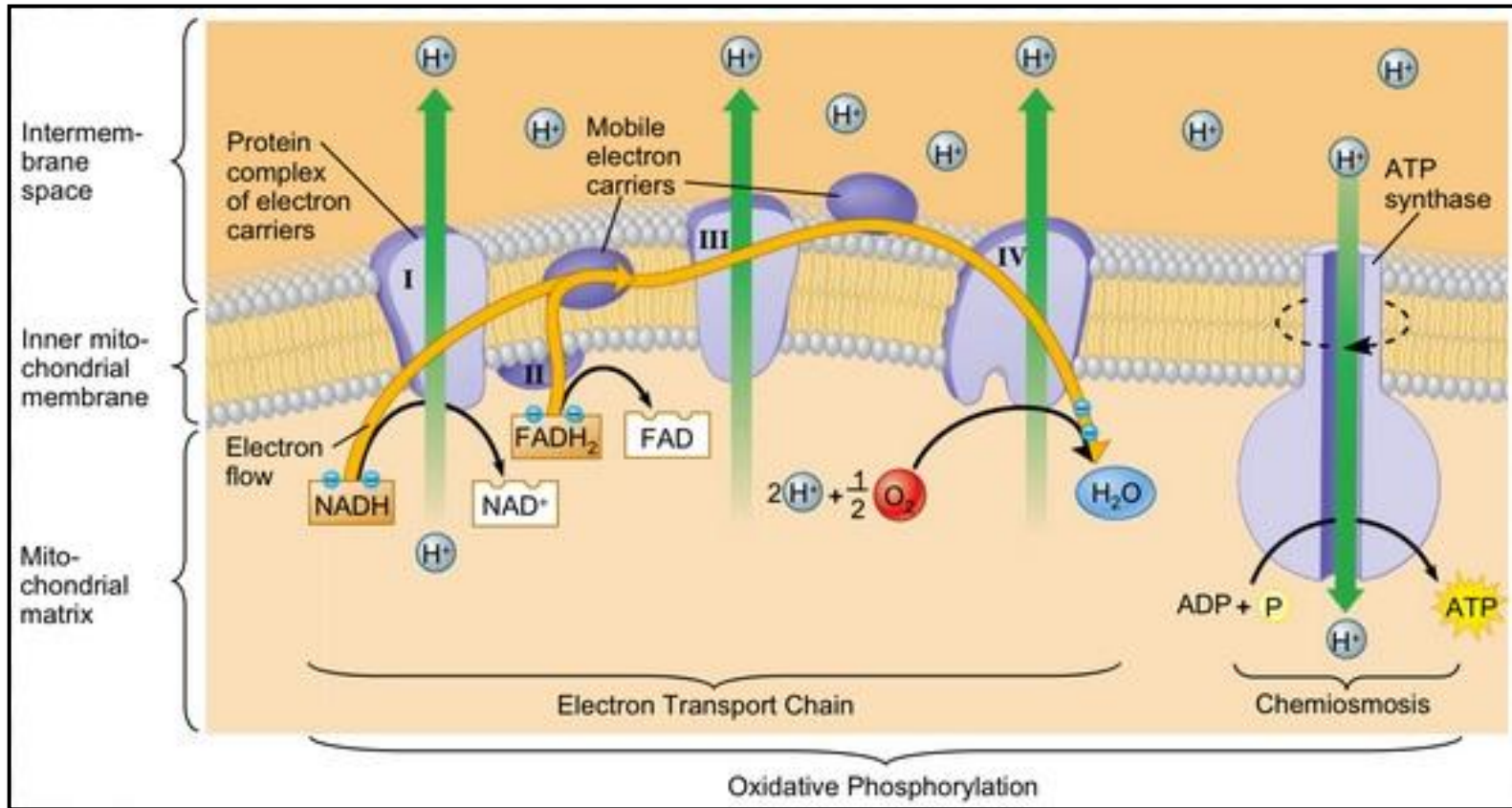
Ma → Ok

Nat → Fum

Su → Nat

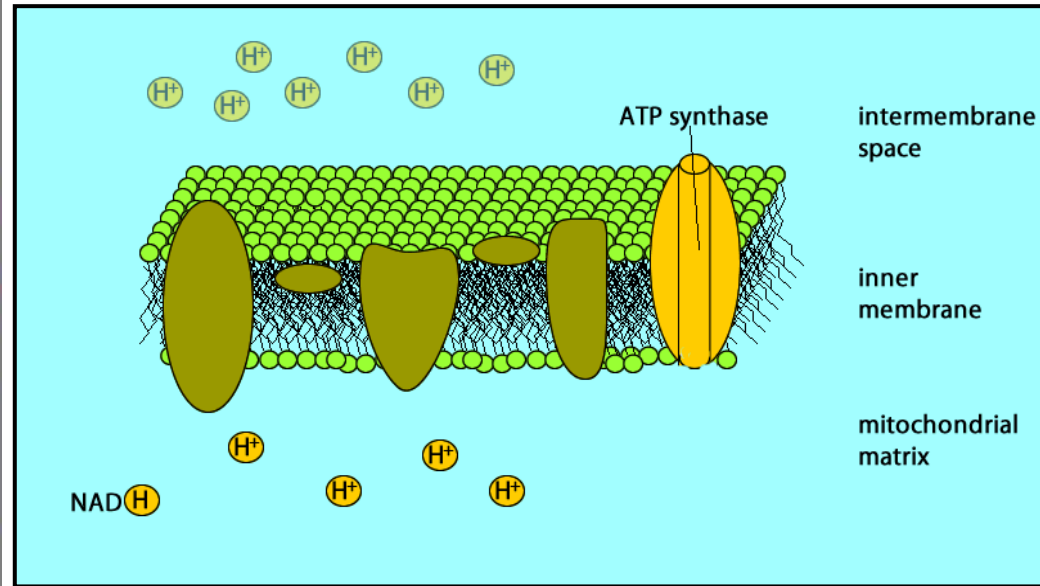
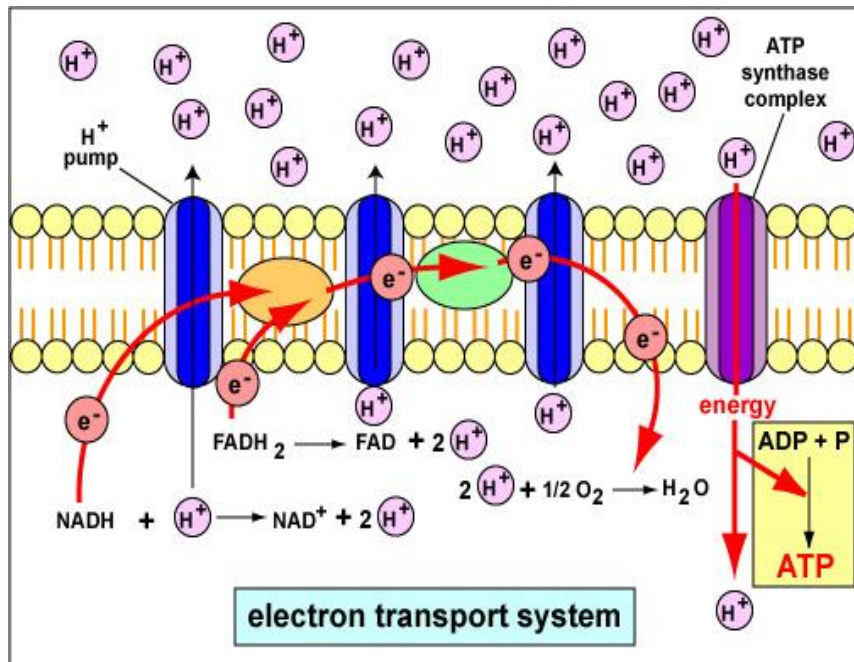


Transport Elektron



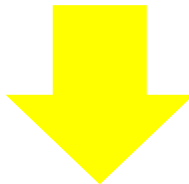
- ❑ Prinsip reaksi : Proses panen **energi** (ATP) yang berasal dari **NADH** dan **FADH₂** dari tahap reaksi sebelumnya
- ❑ Terjadi di **krista** mitokondria

Lanjutan Transport Elektron



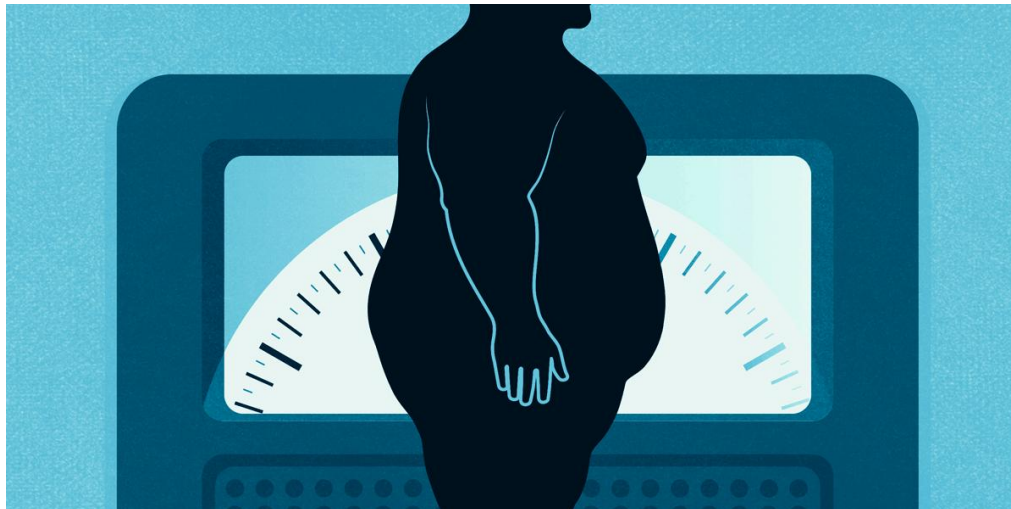
The Electron Carriers

- Kompleks 1 = *NADH-ubiquinone oxidoreductase*
- Kompleks 2 = *Succinate dehydrogenase*
- Q = *Ubiquinone*
- Kompleks 3 = *Ubiquinol-cytochrome c oxidoreductase*
- Kompleks 4 = *Cytochrome c oxidase*
- ATP Synthase





TAHAPAN	INPUT	PRODUK
Glikolisis	Glukosa	2 Asam piruvat 2 NADH 2 ATP
Dekarboksilasi oksidatif	2 Asam piruvat	2 Asetil Co-A 2 NADH 2 CO ₂ 4 CO ₂
Siklus Krebs	2 Asetil Co-A	6 NADH 2 FADH ₂ 2 ATP
Transpor Elektron	10 NADH 2 FADH ₂	34 ATP 6 H ₂ O



GOOD CARBS



BAD CARBS

WHY CARBOHYDRATES MATTER TO YOU

Over the last 10 years, opinions have ranged wildly on carbohydrates. Some diets promote carbs as healthy, while others shun them. So are carbohydrates good or bad? The short answer is: they're both.

CARBS ARE EVERYWHERE!

Carbohydrates are not just bread, rice or pasta – all of the following foods are examples of carbohydrates:



COMPLEX CARBS = GOOD

Good carbs are also referred to as complex carbohydrates. Their chemical structure and fibers require our bodies to work harder to digest, and energy is released over a longer time.

For the most part, good carbs are in their 'natural' state – or very close to it (including whole-grain breads, cereals and pastas).



Whole Grain Breads



Bran Cereals



Green Vegetables



Fresh Fruits

WHY ARE THEY GOOD?

- 👍 HIGH IN FIBER & NUTRIENTS
- 👍 LOW GLYCEMIC INDEX (SEE BELOW)
- 👍 HELP YOU FEEL FULL WITH FEWER CALORIES
- 👍 NATURALLY STIMULATES METABOLISM

SIMPLE CARBS = BAD

Simple carbohydrates are smaller molecules of sugar that are digested quickly into our body. The energy is stored as glycogen in our cells, and if not used immediately gets converted to fat.

Bad carbs are generally 'processed' carb foods that have been stripped of their natural nutrients and fiber to make them more 'consumer friendly.'



Candy & Desserts



Sugared Cereals



Sodas & Sugary Drinks



Refined Breads

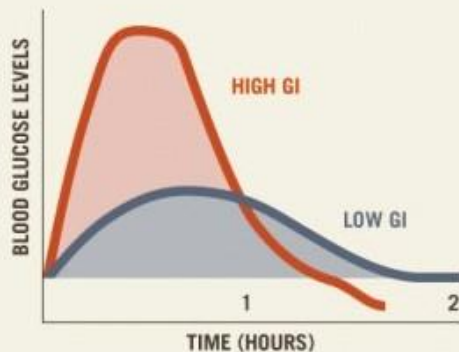
WHY ARE THEY BAD?

- 👎 LOW IN FIBER & NUTRIENTS
- 👎 HIGH GLYCEMIC INDEX (SEE BELOW)
- 👎 EMPTY CALORIES CONVERTED TO FAT
- 👎 HIGH BLOOD GLUCOSE LEVELS = FEEL TIRED



THE GLYCEMIC INDEX (GI)

Carbohydrates are all essentially sugars our body converts to glucose (blood sugar) which is stored for energy. The Glycemic Index measures how much a particular food raises your blood sugar level when you eat it.



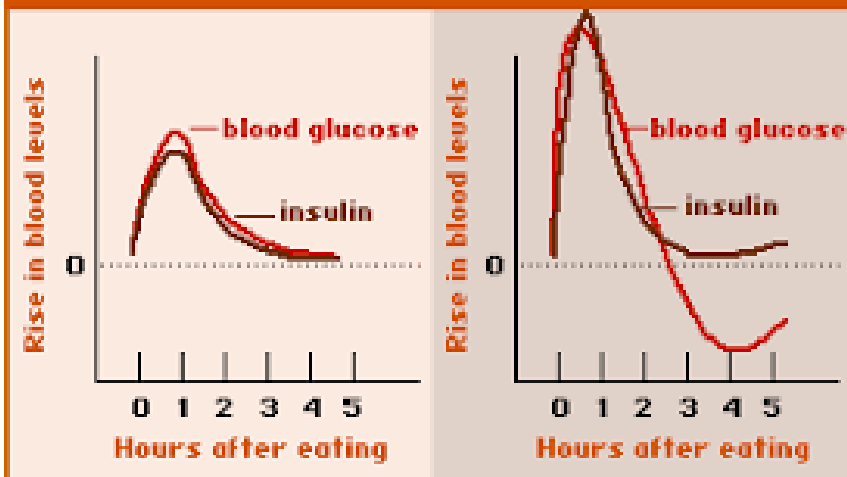
HIGH GI = BAD CARBS

High-GI foods are quickly digested and absorbed. This rapid fluctuation in blood sugar level has often been called a sugar crash, which leaves you feeling tired and hungry faster.

LOW GI = GOOD CARBS

Low-GI foods are digested and absorbed slower which produces a gradual rise in blood sugar. They have benefits for weight control because they help control appetite and delay hunger.

"Good" Carbs vs. "Bad" Carbs



The recommended daily amount (RDA) of carbs for adults is 135 grams, according to the [National Institutes of Health](#) (NIH); however, the NIH also recommends that everyone should have his or her own carbohydrate goal.

Carb intake for most people should be between 45% and 65% of total calories. One gram of carbohydrates equals about 4 calories, so a diet of 1,800 calories per day would equal about 202 grams on the low end and 292 grams of carbs on the high end. However, people with diabetes should not eat more than 200 grams of carbs per day, while pregnant women need at least 175 grams.

Good carbs are:

- Low or moderate in calories
- High in nutrients
- Devoid of refined sugars and refined grains
- High in naturally occurring fiber
- Low in sodium
- Low in saturated fat
- Very low in, or devoid of, cholesterol and trans fats

Bad carbs are:

- High in calories
- Full of refined sugars, like corn syrup, white sugar, honey and fruit juices
- High in refined grains like white flour
- Low in many nutrients
- Low in fiber
- High in sodium
- Sometimes high in saturated fat
- Sometimes high in cholesterol and trans fats



**Carbohydrate
benefits**

Mental health

Weight loss

**Good source of
nutrient**

Heart health

Top 10 Foods Highest in Carbohydrates



MYFOODDATA

Top 10 Foods Highest in Carbohydrates (To Limit or Avoid)

300g of Carbs = 100% of the Daily Value (%DV)

1 Fast Foods (Hot Cakes with Syrup)



34% DV (101.8g) carbs
per 3 pancakes

15% DV (46.1g)
per 100 grams

2 Soft Pretzels



34% DV (101.6g) carbs
in 1 large

24% DV (71g)
per 100 grams

3 Ready to Eat Cereals (Famila)



30% DV (90g) carbs
per cup

25% DV (73.8g)
per 100 grams

4 Milkshakes



29% DV (86.1g) carbs
per 12oz cup

9% DV (25.6g)
per 100 grams

5 Cereal Bars (Nutri-Grain)



28% DV (84.4g) carbs
per bar

24% DV (72.8g)
per 100 grams

6 Cake with Frosting



27% DV (79.7g) carbs
per slice

18% DV (55.4g)
per 100 grams

7 Canned Fruits (Sweetened Peaches)



22% DV (67.2g) carbs
per cup

8% DV (25.3g)
per 100 grams

8 Sugary Drinks (Cream Soda)



22% DV (65.7g) carbs
per 16oz bottle

4% DV (13.3g)
per 100 grams

9 Snacks (Corn Chips)



17% DV (50.5g) carbs
per cup

19% DV (57.4g)
per 100 grams

10 Candies (Jelly Gumdrops)



12% DV (35.6g) carbs
per 10 pieces

33% DV (98.9g)
per 100 grams

Gangguan metabolisme karbohidrat

Penyebab :

- a. Kelaparan di waktu lama
- b. Diet tidak mengandung bahan nabati
- c. Disfungsi saluran pencernaan

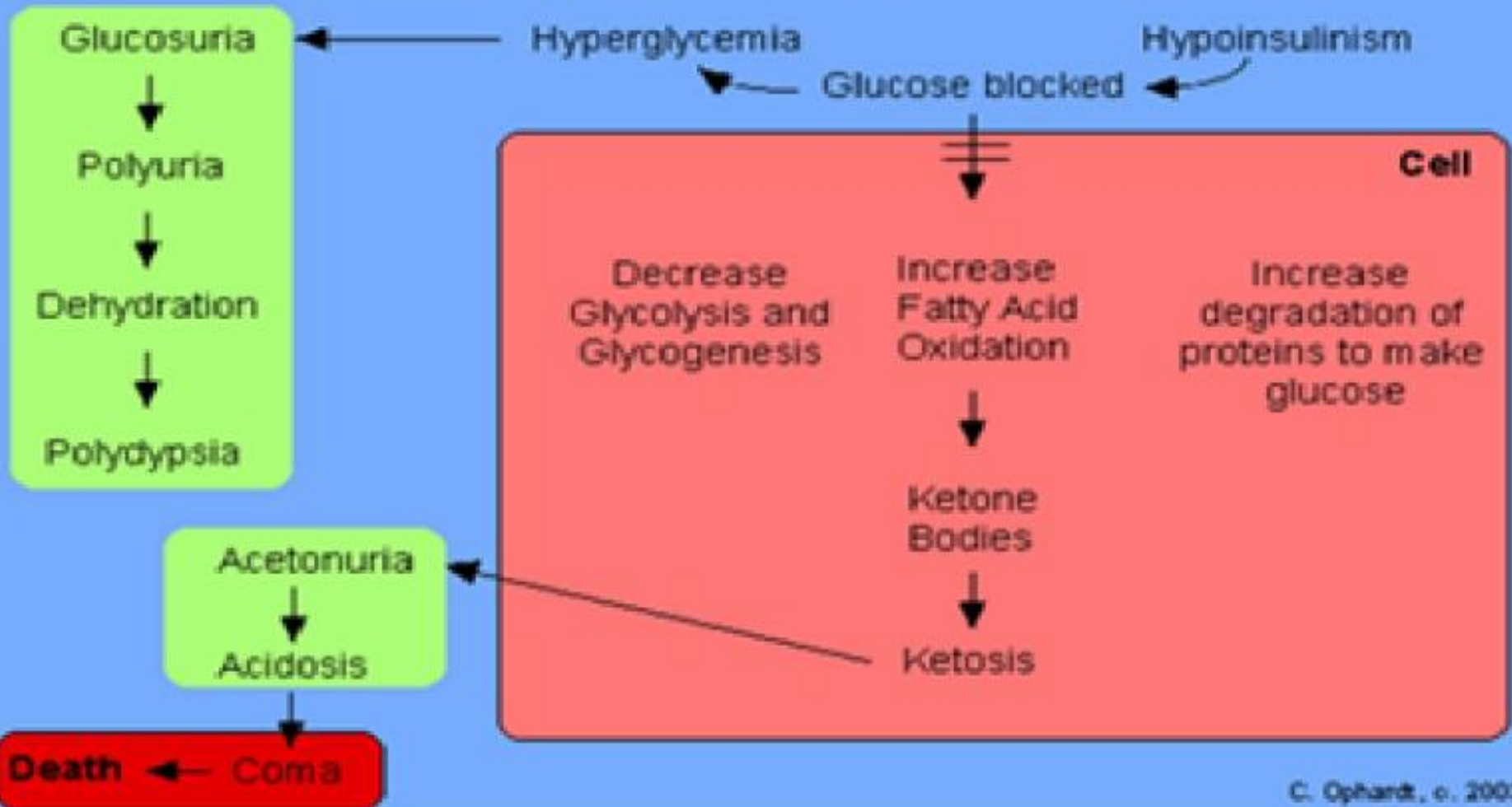
Gejala dan Manifestasi Defisiensi Karbohidrat

- a. Hipoglikemia
- b. Asidosis
- c. Ketosis
- d. Kelelahan dan penurunan tingkat energi
- e. Pengecilan otot
- f. Penurunan berat badan secara signifikan
- g. Dehidrasi, pengurangan sekresi tubuh
- h. Kehilangan natrium
- i. Sistem imun lemah
- j. *Mood swing*
- k. Kematian

Contoh :

1. Diabetes mellitus
2. Galaktosemia
3. Glikogenosis
4. Intoleransi fruktosa herediter
5. *Lactosa-intolerance*
6. Obesitas

Metabolic Disorders of Uncontrolled Diabetes Mellitus



Seorang mahasiswa program studi S1 Olahraga bernama Zafran (19 tahun) merasa kelelahan setelah bermain sepakbola. Dia akhirnya beristirahat dan makan untuk mengembalikan energi yang telah berkurang karena aktivitasnya. Lelah merupakan salah satu mekanisme tubuh untuk mengontrol penggunaan energi untuk aktivitas tubuh. Energi yang dilepas dan dibentuk untuk aktivitas tubuh manusia sebagai makhluk hidup aerob berasal dari makanan dan diproses melalui respirasi sel.

Apakah tiga tahap yang terjadi pada respirasi sel aerob?

- a. Glikolisis, tahap persiapan dan siklus krebs, serta fosforilasi transport elektron
- b. Glikolisis, tahap persiapan dan siklus krebs, serta fosforilasi oksidatif
- c. Glikolisis, tahap persiapan dan siklus sitrat, serta fosforilasi transport elektron
- d. Glikolisis, tahap persiapan dan jalur fermentasu, serta fosforilasi transport elektron
- e. Glikolisis, tahap persiapan dan siklus krebs, serta fosforilasi transfer elektron



Latihan Soal

Seorang mahasiswa Teknologi Laboratorium Medik (TLM) bernama Zidan sedang berdiskusi dengan Doni teman sekelasnya, terkait materi kuliah metabolisme karbohidrat. Zidan berpendapat bahwa glikolisis terjadi di sitoplasma. Tahap pertama glukosa diubah menjadi glukosa-6-fosfat. Tahap berikutnya adalah isomerisasi atau pengubahan glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-6-fosfat. Sedangkan Doni berpendapat bahwa tahap pertama glukosa diubah menjadi glukosa-6-fosfat. Tahap berikutnya adalah isomerisasi atau pengubahan glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-5-fosfat.

Berdasarkan wacana tersebut, manakah pernyataan yang benar dan lengkap pada tahap pertama dan kedua pada proses glikolisis?

- Glukosa diubah menjadi glukosa-6-fosfat dengan bantuan katalis enzim heksokinase dan kofaktor enzim Mg^{2+} → Isomerisasi atau pengubahan glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-6-fosfat dengan bantuan enzim fosfoglukoisomerase dan kofaktor enzim Mg^{2+} .
- Glukosa diubah menjadi glukosa-6-fosfat dengan bantuan katalis enzim heksokinase dan kofaktor enzim Mg^{2+} → Isomerisasi atau pengubahan glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-6-fosfat dengan bantuan enzim fosfoglukoisomerase tanpa kofaktor enzim.
- Glukosa diubah menjadi glukosa-5-fosfat dengan bantuan katalis enzim heksokinase dan kofaktor enzim Mg^{2+} → Isomerisasi atau pengubahan glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-6-fosfat dengan bantuan enzim fosfoglukoisomerase dan kofaktor enzim Mg^{2+} .
- Glukosa diubah menjadi glukosa-6-fosfat dengan bantuan katalis enzim heksokinase dan kofaktor enzim Mg^{2+} → Isomerisasi atau pengubahan glukosa-6-fosfat menjadi fruktosa-5-fosfat dengan bantuan enzim fosfoglukoisomerase dan kofaktor enzim Mg^{2+} .



wnisa

Universitas 'Aisyiyah
Yogyakarta

TERIMA KASIH