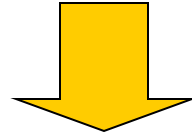




Vitamin dan Mineral

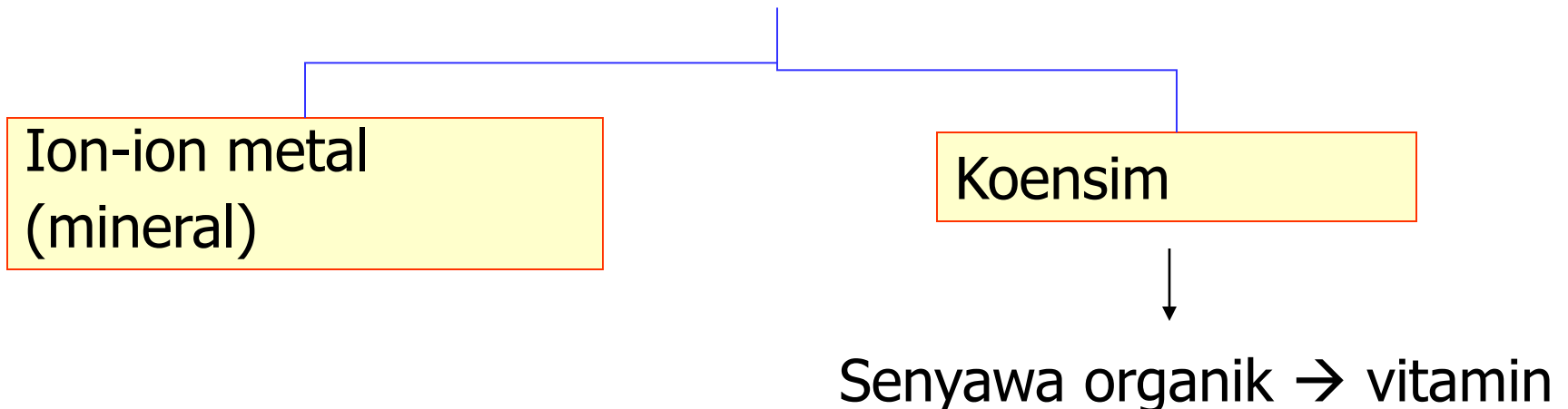


- Vitamin dan mineral mempunyai fungsi utama yang sangat penting dalam reaksi metabolisme
-



Kofaktor

- Kofaktor adalah substansi non protein yang berperan dalam reaksi enzimatis metal





- molekul organik yang di dalam tubuh mempunyai fungsi yang sangat bervariasi
- Fungsi dalam metabolisme yang paling utama adalah sebagai kofaktor
- Di dalam tubuh diperlukan dalam jumlah sedikit → *micronutrient*
- Biasanya tidak disintesis di dalam tubuh. Jika dapat disintesis → jumlah tidak mencukupi kebutuhan tubuh. Sehingga diperoleh dari makanan / diet

Vitamin	Metabolic Function
Water Soluble	
B ₁ (thiamine)	Aldehyde transfer, decarboxylation in alcoholic fermentation and citric acid cycle
B ₂ (riboflavin)	Oxidation–reduction reactions, especially in citric acid cycle and electron transport
B ₆ (pyridoxine)	Transamination reactions, especially of amino acids
Niacin (nicotinic acid)	Oxidation–reduction reactions, found in many metabolic processes
Biotin	Carboxylation reactions in carbohydrate and lipid metabolism
Pantothenic acid	Acyl transfer in many metabolic processes
Folic acid	One-carbon group transfer, especially in nitrogen-containing compounds
C (ascorbic acid)	Hydroxylates collagen
Lipoic acid (?)	Acyl transfer, oxidation–reduction
(It has been questioned whether lipoic acid is a vitamin.)	
Fat Soluble	
A	Isomerization mediates visual process
D	Regulates calcium and phosphorus metabolism, especially in bone
E	Antioxidant
K	Mediates protein modification required for blood clotting

TABLE 11.5 Some important coenzymes and related vitamins

Vitamin	Coenzyme	Reactions Involving These Coenzymes
Thiamine (vitamin B ₁)	Thiamine pyrophosphate	Activation and transfer of aldehydes
Riboflavin (vitamin B ₂)	Flavin mononucleotide; flavin adenine dinucleotide	Oxidation–reduction
Niacin	Nicotinamide adenine dinucleotide; nicotinamide adenine dinucleotide phosphate	Oxidation–reduction
Pantothenic acid	Coenzyme A	Acyl group activation and transfer
Pyridoxine	Pyridoxal phosphate	Various reactions involving amino acid activation
Biotin	Biotin	CO ₂ activation and transfer
Lipoic acid	Lipoamide	Acyl group activation; oxidation–reduction
Folic acid	Tetrahydrofolate	Activation and transfer of single-carbon functional groups
Vitamin B ₁₂	Adenosyl cobalamin; methyl cobalamin	Isomerizations and methyl group transfers

SOURCES OF VITAMINS IN THE FOOD GUIDE PYRAMID

B₁ = thiamin
 B₂ = riboflavin
 B₆ = pyridoxine
 B₁₂ = cyanocobalamin

**FATS,
OILS &
SWEETS**
USE SPARINGLY

E - oils (peanut, corn, cottonseed)

B₂ - milk, cheese

B₁₂ - milk, milk products

D - fortified milk

K - cheddar cheese

**MILK,
YOGURT
& CHEESE**
2-3 SERVINGS

**POULTRY,
MEAT, FISH,
DRY BEANS,
EGGS & NUTS**
2-3 SERVINGS

A - liver

B₁ - legumes, beef liver, pork

B₂ - chicken, organ meat

B₆ - chickpeas, salmon

B₁₂ - meat, eggs

NIACIN - liver, chicken, tuna, salmon

FOLACIN - black-eyed peas

A** - carrots, broccoli, endive, kale, asparagus

C - cabbage, broccoli, kale, green leafy vegetables

K - Brussels sprouts, broccoli, kale, spinach

B₆ - carrots

VEGETABLES
3-5 SERVINGS

FRUITS
2-4 SERVINGS

A** - cantaloupe, watermelon, oranges, apricots

B₅ - kiwifruit, avocados

C - grapefruit, oranges, strawberries, kiwi, cantaloupe

FOLACIN - oranges, avocados

** Vitamin A is made by the body from the beta carotene that is found in fruits and vegetables

BREAD, CEREAL, RICE & PASTA **6-11 SERVINGS**

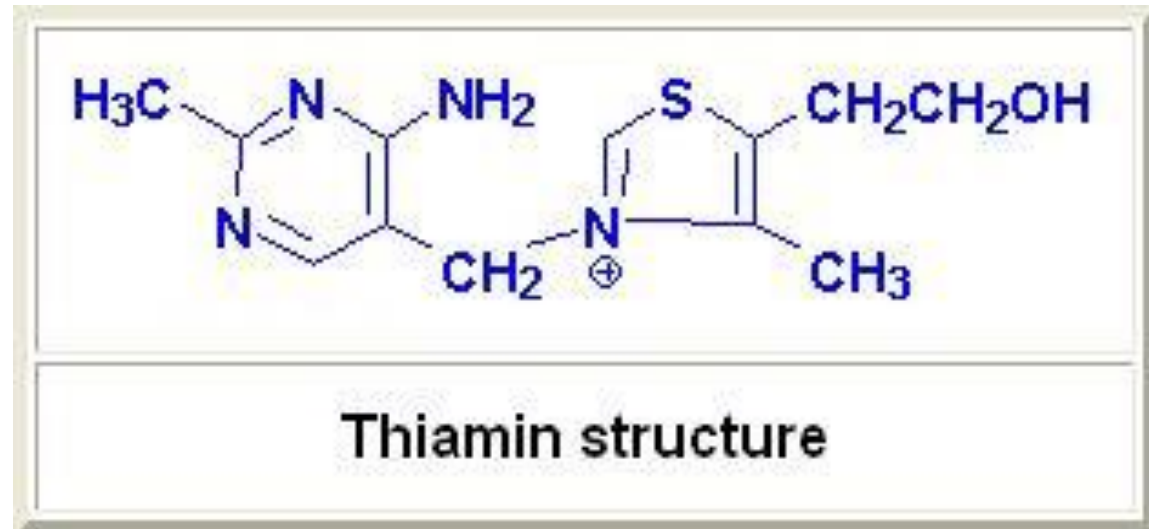
B₁ - whole grains, enriched breads, cereals
 B₂ - whole grains, enriched cereals, wheat germ
 B₆ - enriched cereals and breads
 B₁₂ - whole grain cereals
 K - cereal

NIACIN - whole wheat bread/grain and enriched cereals

-
- Beberapa vitamin berfungsi langsung dalam metabolisme penghasilan energi
 - Jalur metabolisme yang menghasilkan energi untuk mendukung kerja sel → glikolisis, siklus kreb, transport elektron, dan β oksidasi
 - Berdasarkan hidrofobisitasnya, vitamin dibagi menjadi 2 :
 - Vitamin yang larut dalam lemak : A, D, E, K
 - Vitamin yang larut dalam air : B kompleks, C

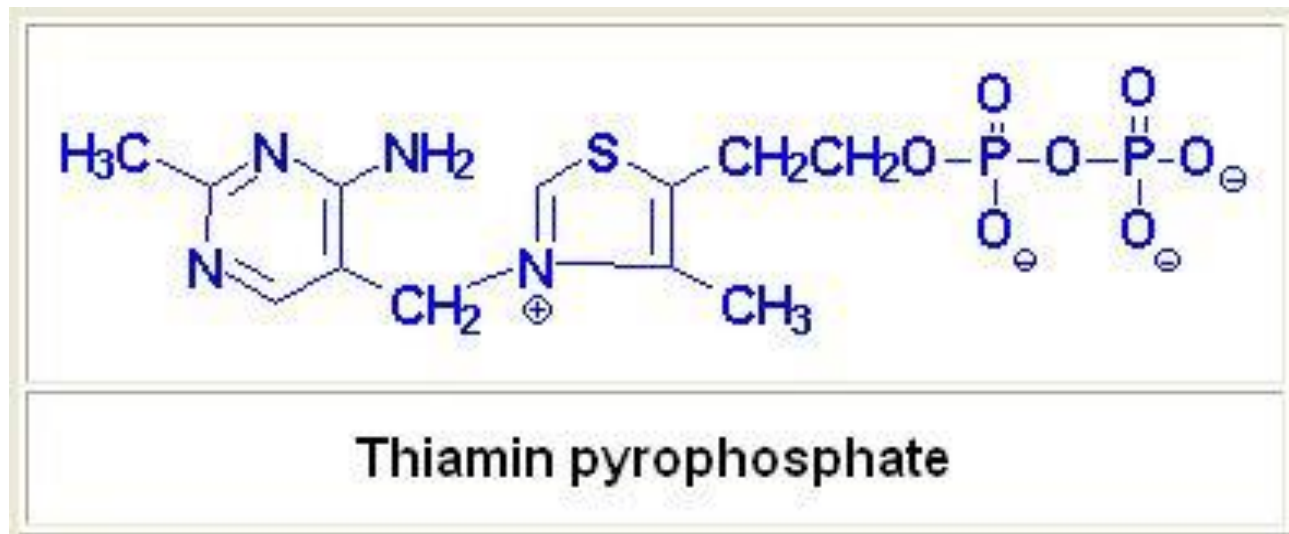


Thiamin (Vitamin B1)



Struktur thiamin merupakan gabungan antara pirimidin dan thiazole yang dihubungkan dengan jembatan metilene

- ❑ Di dalam otak dan hati → segera diubah menjadi **TPP** = **thiamin pyrophosphat** oleh enzim thiamin difosfotransferase, reaksi membutuhkan ATP
- ❑ Berperan penting sebagai koensim → dekarboksilasi senyawa asam-keto
- ❑ Beberapa enzim yang menggunakan TPP sbg koensim: pyruvate decarboxylase, pyruvate dehydrogenase, transketolase.



-
- Penting sebagai koensim pyruvate and α -ketoglutarate dehydrogenase → sehingga jika defisiensi : kapasitas sel dlm menghasilkan energi mjd sangat berkurang
 - Juga diperlukan untuk reaksi fermentasi glukosa menjadi etanol, di dlm yeast

Pyruvate - -> Acetyl CoA + CO₂

- ❑ Meningkatkan sirkulasi dan pembentukan darah
- ❑ Memelihara sistem saraf
- ❑ Berperan dalam biosintesis neurotransmitter
- ❑ Berperan dalam produksi HCL dalam perut → penting untuk pencernaan
- ❑ Sumber : pada biji-bijian
Beras = sedikit mengandung thiamin

- ❑ Normal asupan 1,0 – 1,5 mg/hari = orang dewasa
- ❑ Jika makanan kita banyak mengandung karbohidrat →
dibutuhkan lebih banyak thiamin
- ❑ Tanda-tanda defisiensi :
 - Menurunnya nafsu makan
 - Depresi mental
 - *Peripheral neuropathy*
 - Lemah
- ❑ Defisiensi kronis = gejala kelainan neurologis spt kebingungan (mental), kehilangan koordinasi mata
- ❑ Penyakit karena defisiensi tiamin : **Beri-Beri** akibat makanan yang kaya akan karbohidrat tetapi rendah thiamin

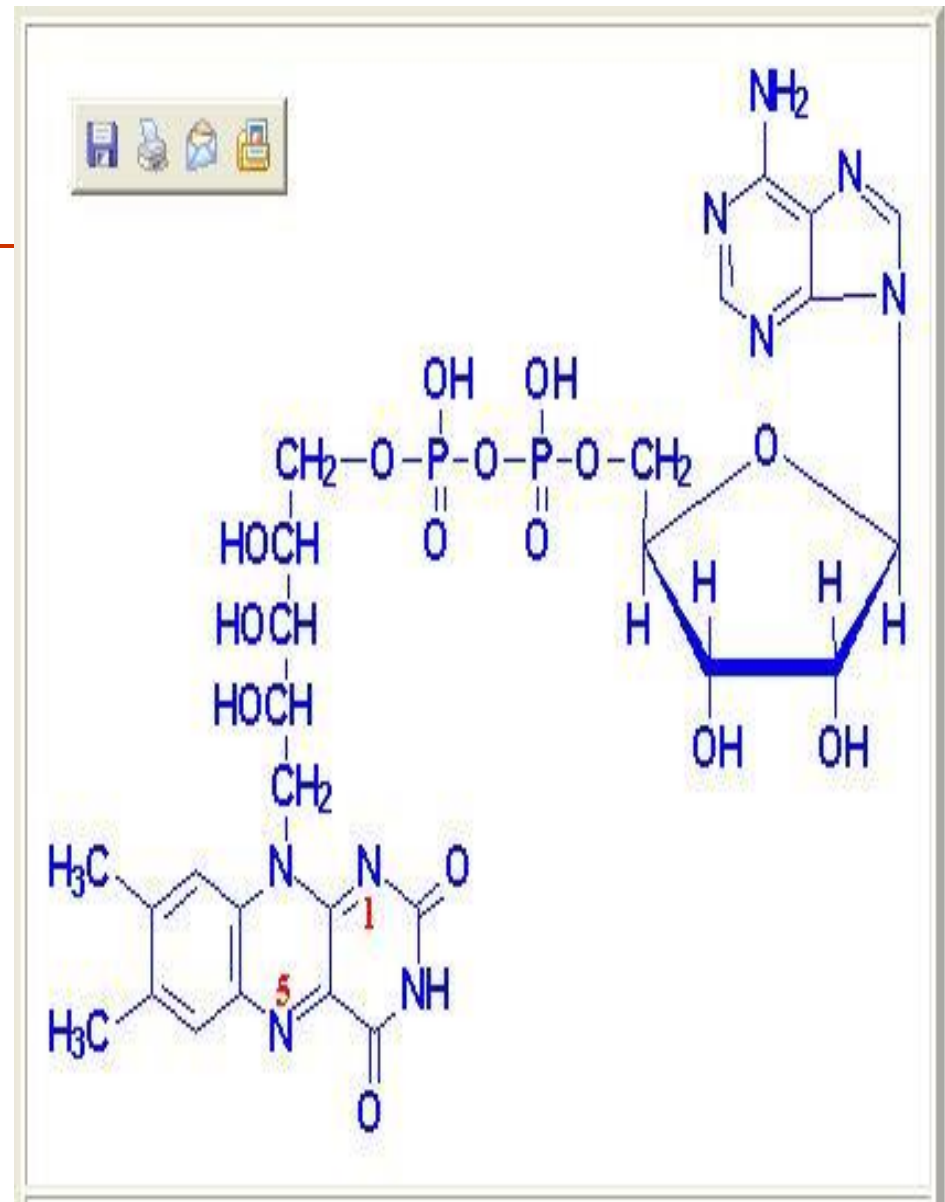
Riboflavin (vitamin B2)

- ❑ Komponen dr koensim flavin → FMN dan FAD
- ❑ Ensim yang bekerja pada reaksi reduksi – oksidasi (redoks)
- ❑ Memiliki fungsi sentral dlm produksi energi dan pernapasan seluler.



Riboflavin structure

- Merupakan prekursor kofaktor :
 - flavin mononukleotida (FMN)
 - flavin adenine dinukleotida (FAD)
- Enzim yang memerlukan kofaktor tersebut → flavoprotein
- Riboflavin + ATP = FMN
- FMN + ATP = FAD



- ❑ FAD dan FMN berfungsi sebagai akseptor elektron.
-

- ❑ Penambahan 2 elektron pd FAD → FADH₂ dan
- ❑ Penambahan 2 elektron pada FMN → FMNH₂
- ❑ Perubahan riboflavin ke FMN = dihambat oleh hipothyroidism
- ❑ Elektron yang diterima langsung disumbangkan → shg kembali pada bentuk yang teroksidasi penuh
- ❑ Riboflavin terdapat di berbagai sumber makanan = susu, keju, daging, telur dan sereal

Niasin (vitamin B3)

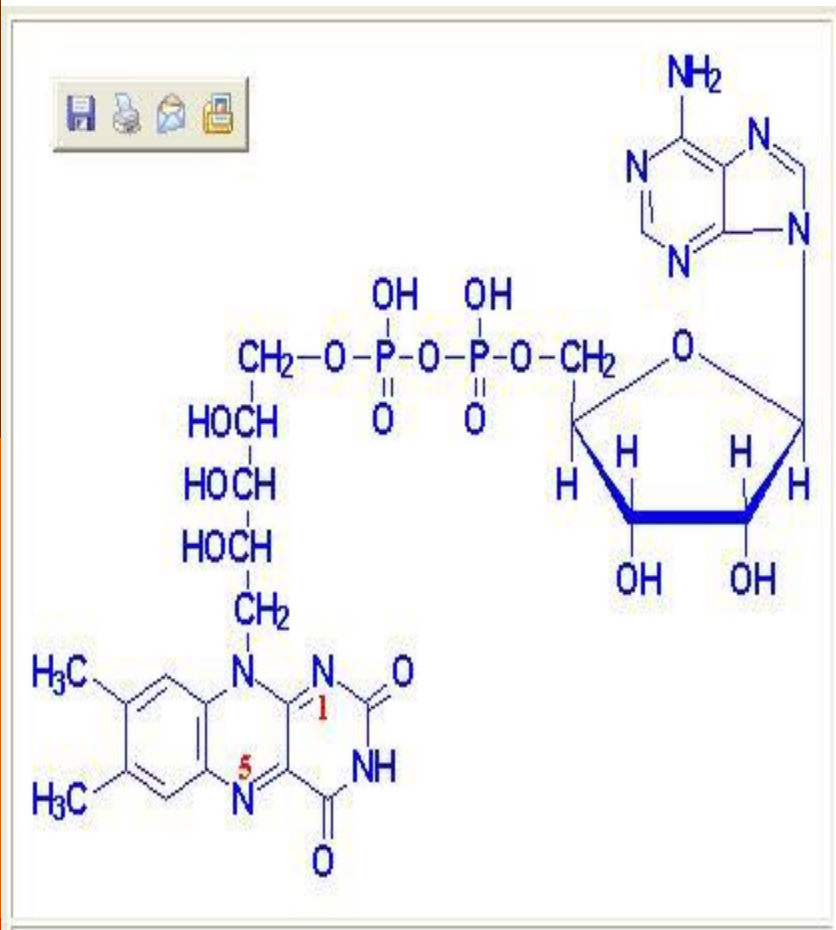


- Niasin dapat merupakan nikotinamid atau asam nikotinat
- Nikotinamid dan asam nikotinat = sebagai sumber vitamin B3

- Niasin dibutuhkan untuk sintesis vitamin B3, NAD (nicotinamida adenin dinucleotida), dan NADP⁺ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)
- NAD dan NADP = kofaktor pada enzim dehidrogenase, yang berfungsi dalam reaksi redoks → donor dan akseptor elektron
- NAD →
 - byk digunakan pd glycolisis, oksidasi asam lemak, metabolisme badan keton
 - Cenderung berperan sbg akseptor elektron pd reaksi katabolisme
- NADP → sintesa asam lemak dan PPP
- Contoh laktat atau malat dehidrogenase

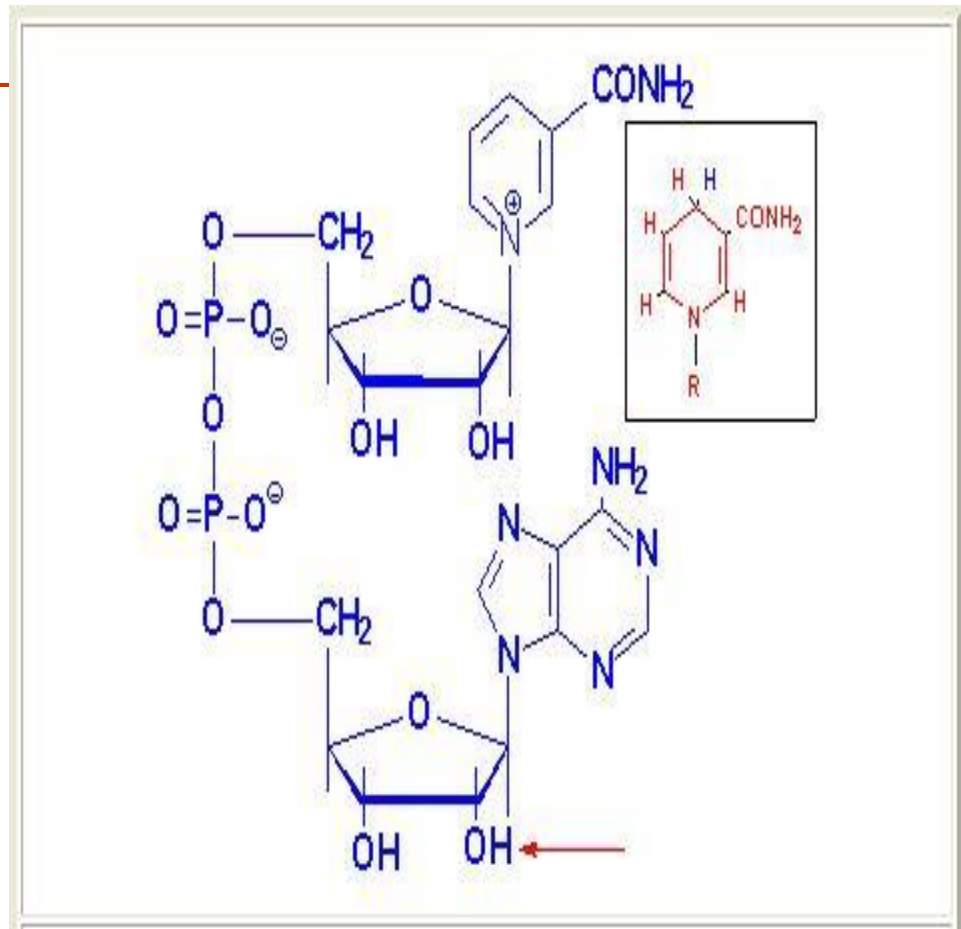
-
- ❑ Niasin juga dapat disintesis dari triptofan. Akan tetapi → tidak efisien. Karena membutuhkan 60 mg triptofan untuk menghasilkan 1 mg triptofan
 - ❑ Dan juga memerlukan vitamin B1, B2 dan B6
 - ❑ Kebutuhan niasin 19 mg /day

- ❑ Defisiensi niasin = **pellagra**
ditandai dengan gejala depresi, dermatitis dan
diarrhea
- ❑ Asam nicotinamida = diberikan pada dosis 2 - 4
g/hari = mampu menurunkan kadar kolesterol
serum darah
- ❑ Fungsi ini karena asam lemak yang diambil dari
jaringan lemak direduksi oleh asam nicotinamida.
- ❑ Akan tetapi asam nikotimida = juga menurunkan
simpanan glikogen dan lemak yang ada di
jaringan otot di tulang dan jantung. → terjadi
peningkatan glukosa dan asam urat. Sehingga ?



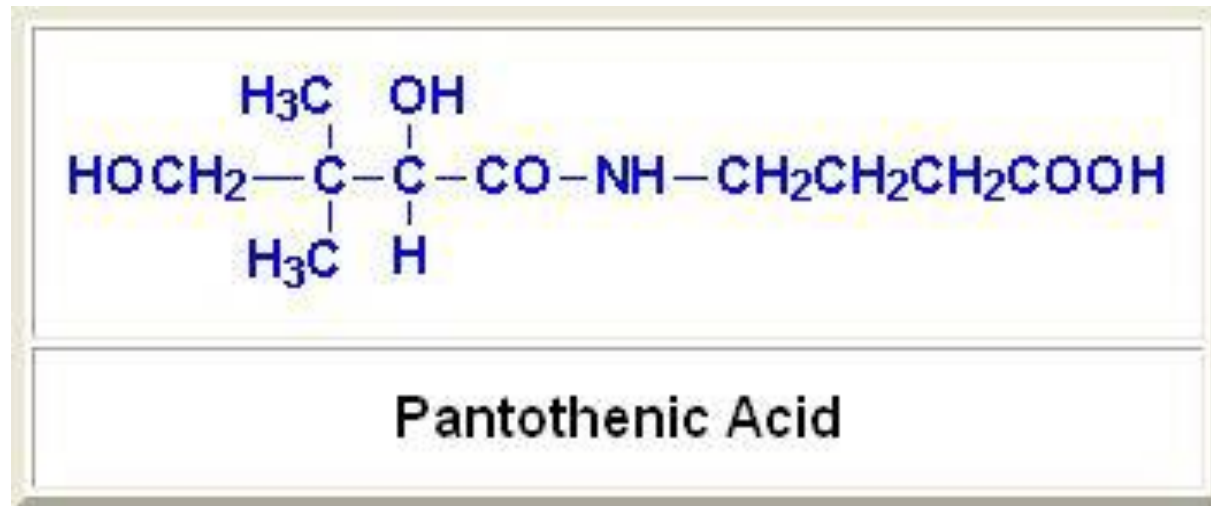
NAD

FAD



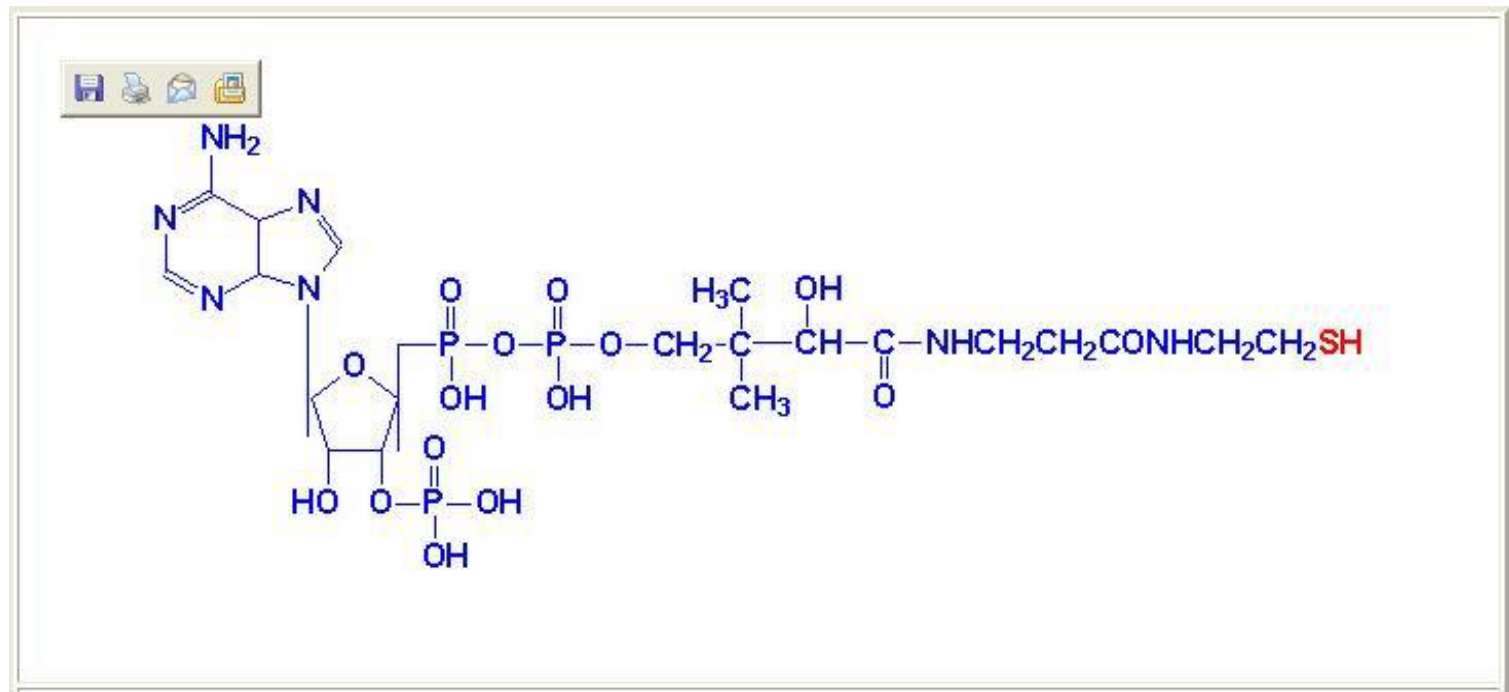
FAD & NAD → electron carriers. Ktk suatu pasangan e⁻ dipindahkan ke molekul ini → 1 atau 2 hidrogen juga akan pindah.

Asam pantotenat (vitamin B5)

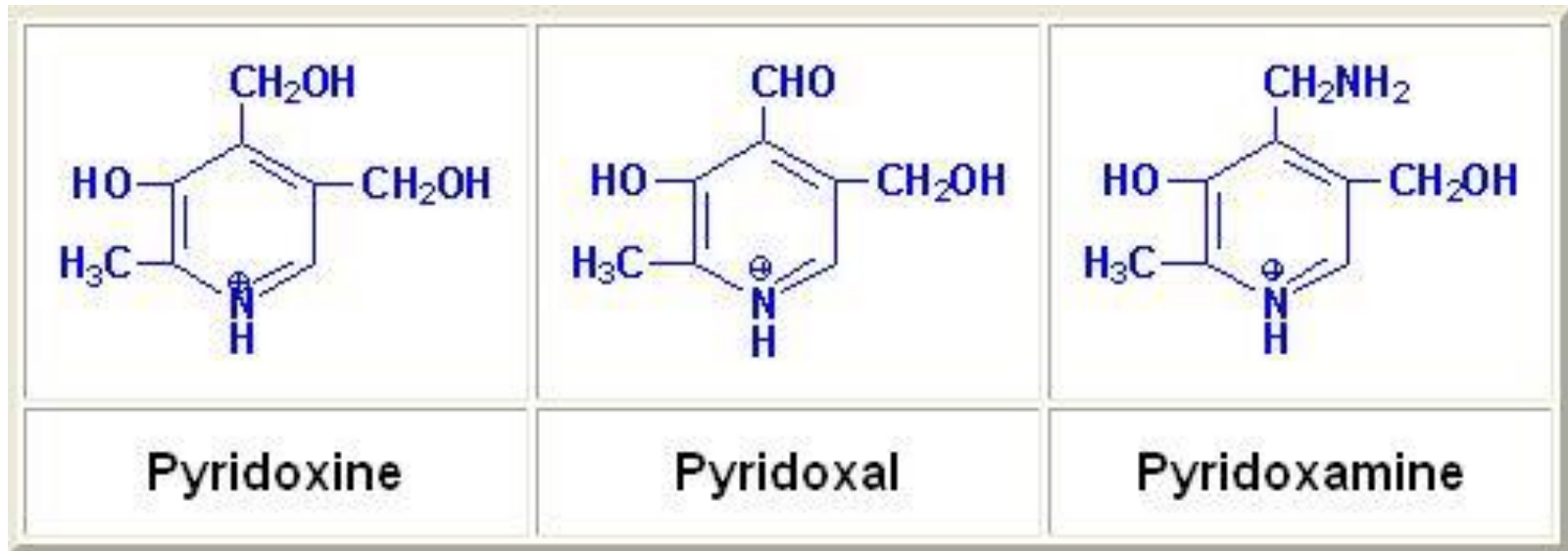


- berasal dari β -alanin dan asam pantoat
- Diperlukan untuk
 - sintesis koenzim A,
 - komponen asil carier protein (ACP) → pd sintesis asam lemak
→ sintesis kofaktor enzim fatty acid synthase

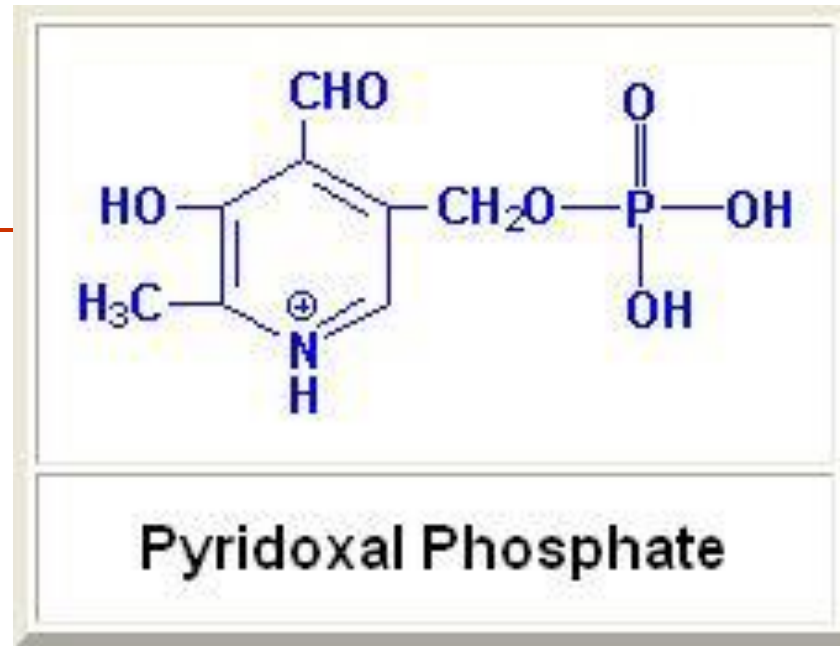
- Sekitar 70 enzim = membutuhkan Co A atau derivat ACP untuk melakukan fungsinya
- ~~■ Banyak ditemukan di kacang-kacangan, daging dan biji-bijian~~
- Co A diperlukan pada siklus kreb, sintesis dan oksidasi asam lemak, metabolisme asam amino, sintesis kolesterol



Vitamin B6



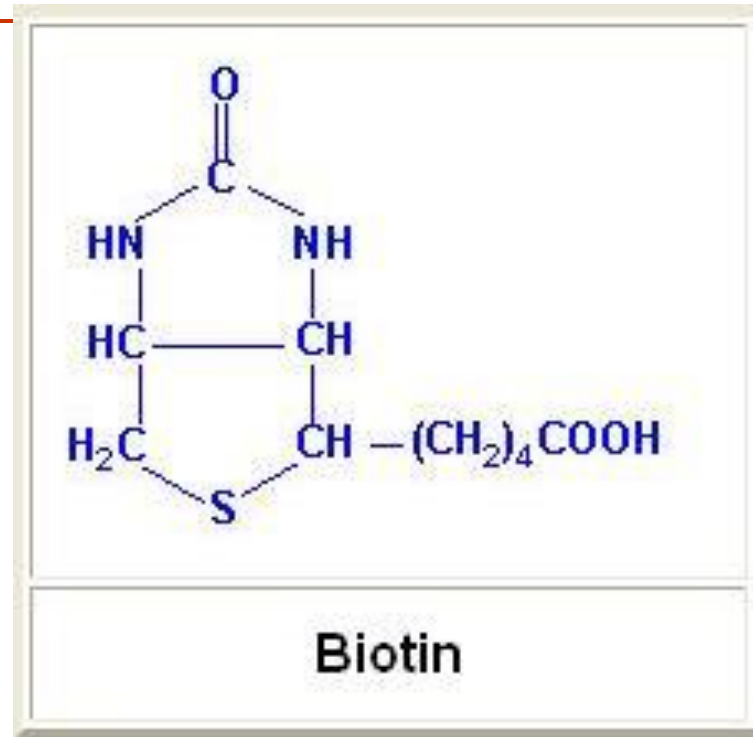
- Di dalam tubuh diubah menjadi bentuk aktif vitamin B6 = **PLP** = piridoksal fosfat



Pengubahan dari vit B6 → Piridoksal fosfat ini membutuhkan ATP → dengan enzim piridoksal kinase

PLP = koensim pada reaksi transaminasi, sintesis dan katabolisme asam amino, glikogenolisis (gikogen fosforilase)

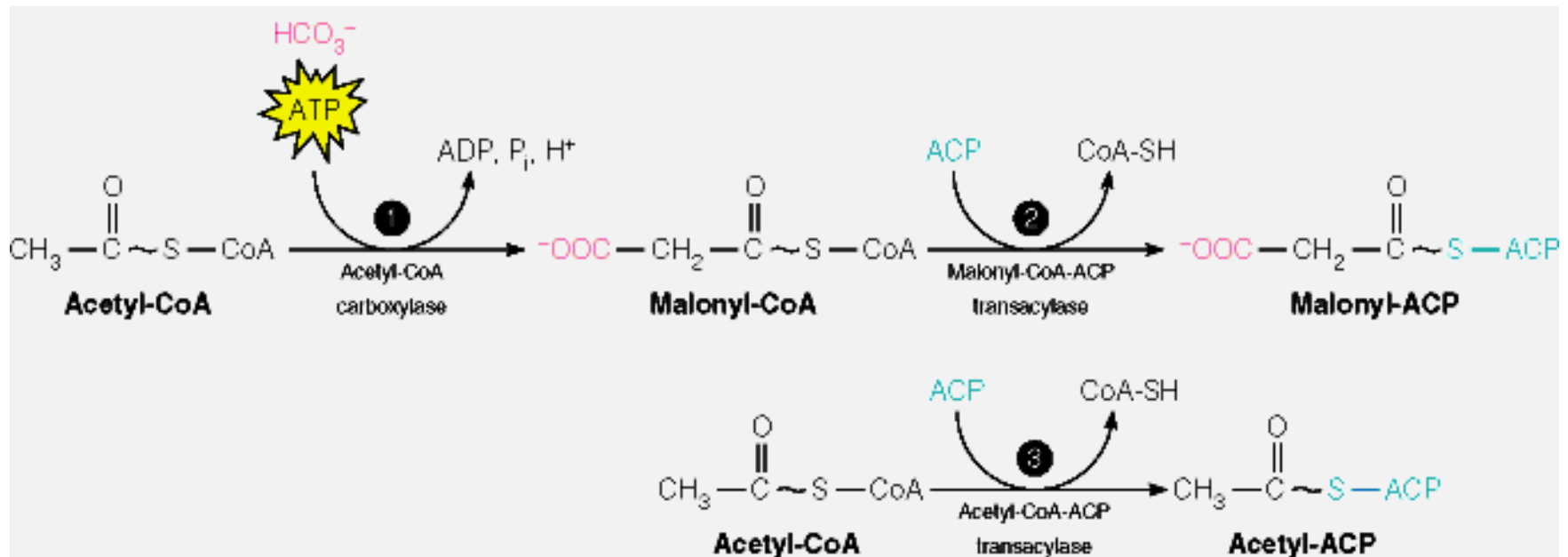
Biotin



Kofaktor yang dibutuhkan dlm reaksi karboksilasi
(ex piruvat karboksilase) → karier CO_2

Acetyl CoA + CO₂ ---- > Malonyl CoA ---- -> Fatty Acids

- Enzymes yg mengandung **biotin** a.l. acetyl CoA carboxylase, pyruvate carboxylase, and carbamoyl phosphate synthetase II
- Acetyl-CoA carboxylase** enzim regulator utama pada biosintesis asam lemak.





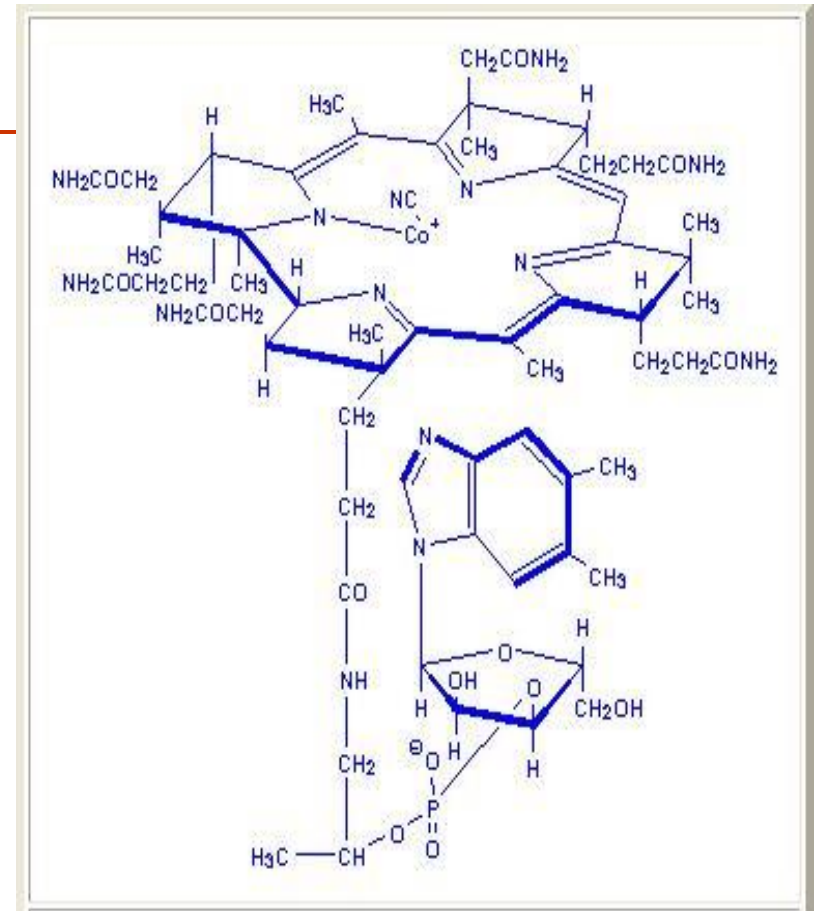
- ❑ **Pyruvate carboxylase** adalah enzim pada reaksi glukoneogenesis.
- ❑ Enzim yg mengkatalisis pembentukan gugus karboksil pada piruvat menggunakan CO₂ menjadi OAA

-
- ❑ Terdapat diberbagai makanan, dan disintesis oleh bakteri usus halus kita
 - ❑ Defisiensi jarang terjadi
 - ❑ Defisiensi ditemukan pada treatmen antibiotik dalam waktu yang lama → karena mengurangi bakteri usus halus
 - ❑ karena konsumsi telur mentah dalam jumlah banyak → di dlm putih telur : **avidin**
protein putih telur → mencegah absorpsi biotin oleh usus halus

Kobalamin

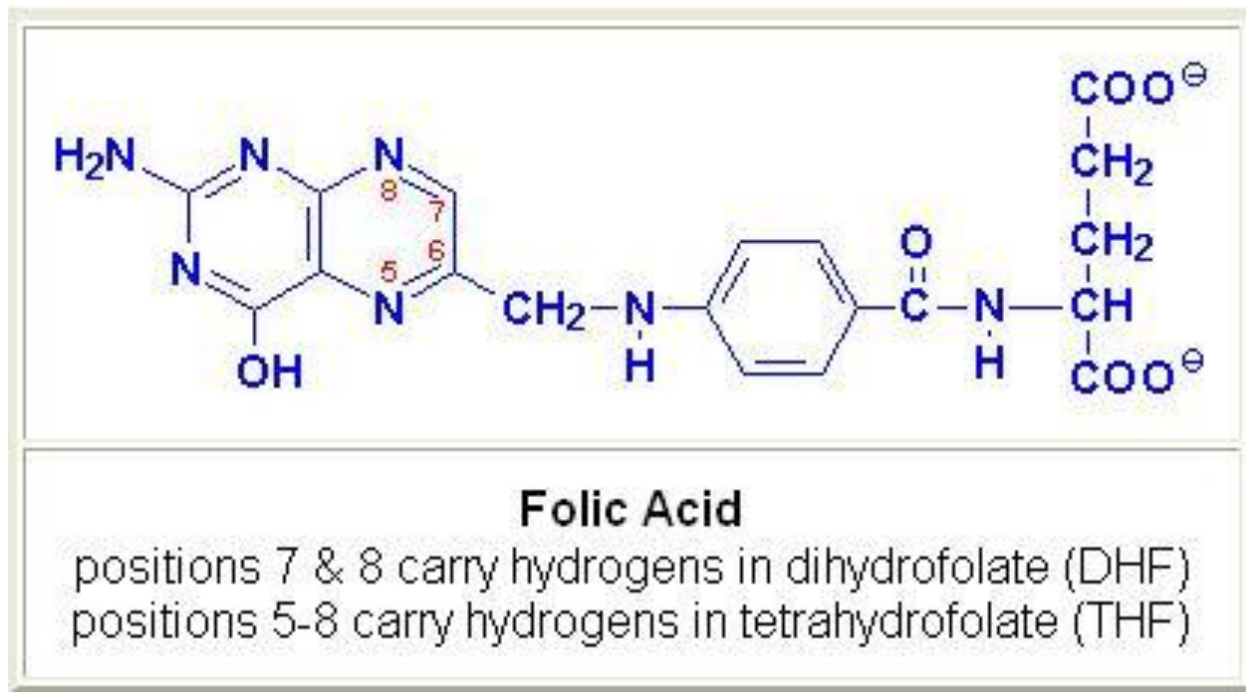
- ❑ Lebih sering dikenal sebagai vitamin B12
- ❑ Struktur terdiri dari cincin tetrapirrol membentuk kompleks dan ditengahnya terdapat Cobalt
- ❑ Disintesis secara eksklusif oleh mikroorganisme dan ditemukan dalam hati hewan dalam bentuk : terikat protein → **methycobalamin or 5'-deoxyadenosylcobalamin.**
- ❑ Untuk menjadi aktif → harus dihidrolisis terlebih dahulu di dalam perut oleh asam lambung atau oleh trypsin setelah konsumsi daging hewan. → diikat oleh **intrinsik faktor** → dibawa ke usus halus → diserap
- ❑ Setelah diserap = dibawa ke hati → **transcobalamin II**
- ❑ Terdapat pada daging, susu, dan ikan, tidak pada produk tumbuhan atau yeast

- vitamin dg struktur plg besar dan paling kompleks
- Mengandung ion metal $\rightarrow$ Co
- bentuk kofaktor : metil kobalamin
- tdk mempy fungsi vital dlm metabolisme
- Berperan dlm metabolisme leusine



-
- ❑ Liver mampu menyimpan vitamin B12 = 6 thn
 - ❑ Pernicious anemia → karena kekurangan intrinsik faktor → penyerapan vitamin terganggu
 - ❑ Menyebabkan kelainan DNA sintesis → penghambatan pada sintesis purin dan pirimidin

Asam folat



Molekul gabungan td struktur cincin pteridin dihubungkan dengan PABA (para amino benzoic acid) → asam pteroat

-
- ❑ Asam pterolat berkonjugasi dengan glutamat → asam folat
 - ❑ Banyak terdapat di khamir, daun sayuran dan hati hewan, kuning telur dan jus jeruk
 - ❑ Hewan tidak dapat mensintesis PABA dan glutamat → harus diperoleh dari makanan
 - ❑ Asam folat → kofaktor THF – tetrahidrofolate
 - ❑ THF penting dalam reaksi transfer / membawa 1 atom C baik dalam bentuk metil, methylene, formimino, formil , methenil
 - ❑ Penting dalam sintesis serin, metionin, glisin, purin.
 - ❑ Dibutuhkan pada ibu hamil → peningkatan proliferasi sel di dlm darah → pada tri semester pertama

Asam ascorbat



Lebih dikenal sbg = vitamin C

Berasal dari glukosa dr siklus asam uronat

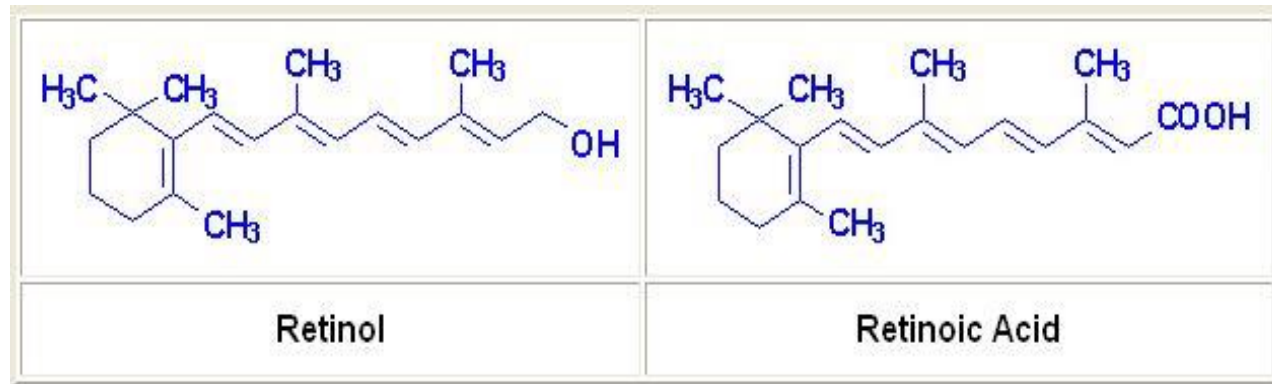
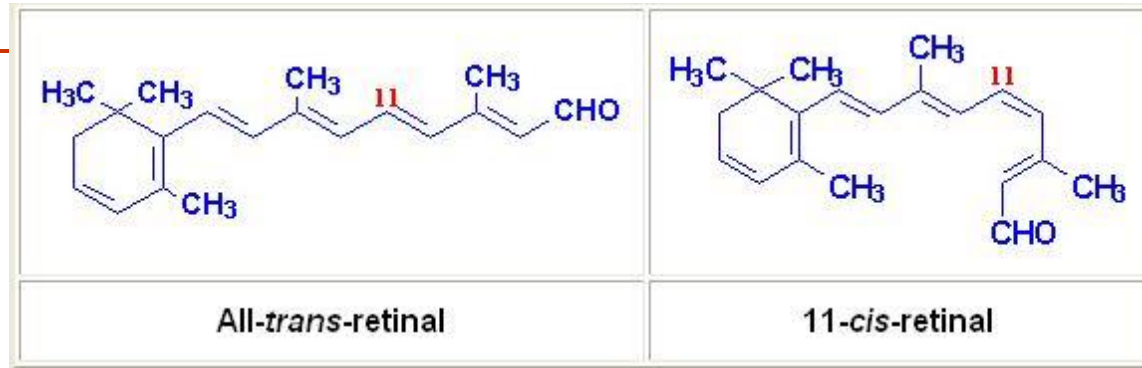
- ❑ Glukosa → asam askorbat :
dikatalis oleh enzim L gulonolakton
oksidase
-

- ❑ Enzim ini tdk ada pada primata →
vitamin C diperoleh dari makanan
- ❑ Berfungsi sbg = agen pereduksi
berbagai reaksi
- ❑ Vitamin C dikeluarkan dr tubuh mll
urine dlm bentuk dydroaskorbat,
ketogulonate, askorbat 2 sulfat,
asam oksalat



- Reaksi utama yg sgt membutuhkan vit c → hidroksilasi
proline dalam kolagen
- Sebagai kofaktor reaksi katabolisme tirosine dan sintesis
epinefrin dari tirosin, sintesis asam empedu.
- Defisiensi → scurvy

Vitamin A



- Vitamin A terdiri dari 3 biomolekul aktif :
 - retinol,
 - retinal (retinaldehyde)
 - retinoic acid.

- Ketiga biomolekul tersebut berasal dari β carotene $\rightarrow$ provitamin A
- ~~□ Terdapat pd tanaman berwarna hijau tua, oranye dan merah~~
- Transport di dalam tubuh = chylomikron
- Defisiensi = rabun senja
- Vit A di simpan dalam **sel stealate** pada hati dalam bentuk **retinyl ester** (retinol diesterifikasi dengan suatu molekul asam lemak)
- Pada saat dimobilisasi dlm tubuh $\rightarrow$ diubah mjd retinol dan dilepas ke peredaran darah dgn berikatan dg **protein RBP**.
- RBP hanya akan dilepas ke dlm darah apabila mengandung retinol.
- Berbagai macam sel mempunyai reseptor RBP yang terikat pada membran.

Vitamin D

- ❑ Tumbuhan → steroid ergosterol (provit D), disinari uv → mjd ergokalsiferol (vit D2)
- ❑ Hewan → mengubah kolesterol → 7 dehidrokolesterol (pro vit D), disinari mthr → mjd kolekalsiferol (vit D3)
- ❑ Pengubahan dari provit D mjd vit D melibatkan sinar uv yang berguna membuka cincin steroid strukturnya.
- ❑ Perbedaan vit D2 dan D3 → vit D2 mempunyai iktn ganda pd rantai sampingnya (?)
- ❑ Vit D3 → 1,25dihidroksivit D3 dg 2 step hidroksilasi

Major source – sunlight

Skin

Cholecalciferol
(vitamin D₃)

7-Dehydrocholesterol

Minor source – dietary intake

Vitamin D₃ (fish, meat)
Vitamin D₂ (vitamin supplements)

Liver

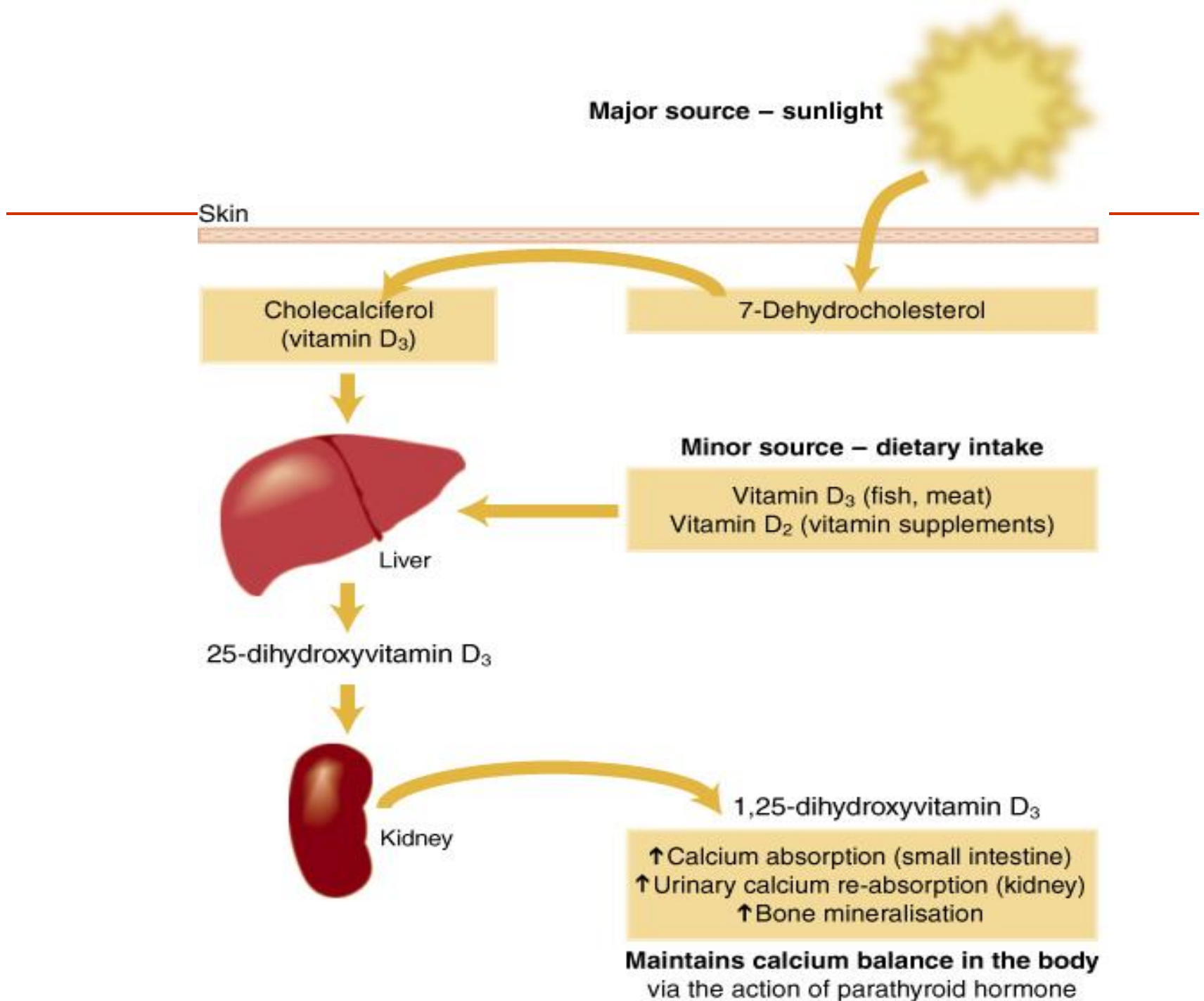
25-dihydroxyvitamin D₃

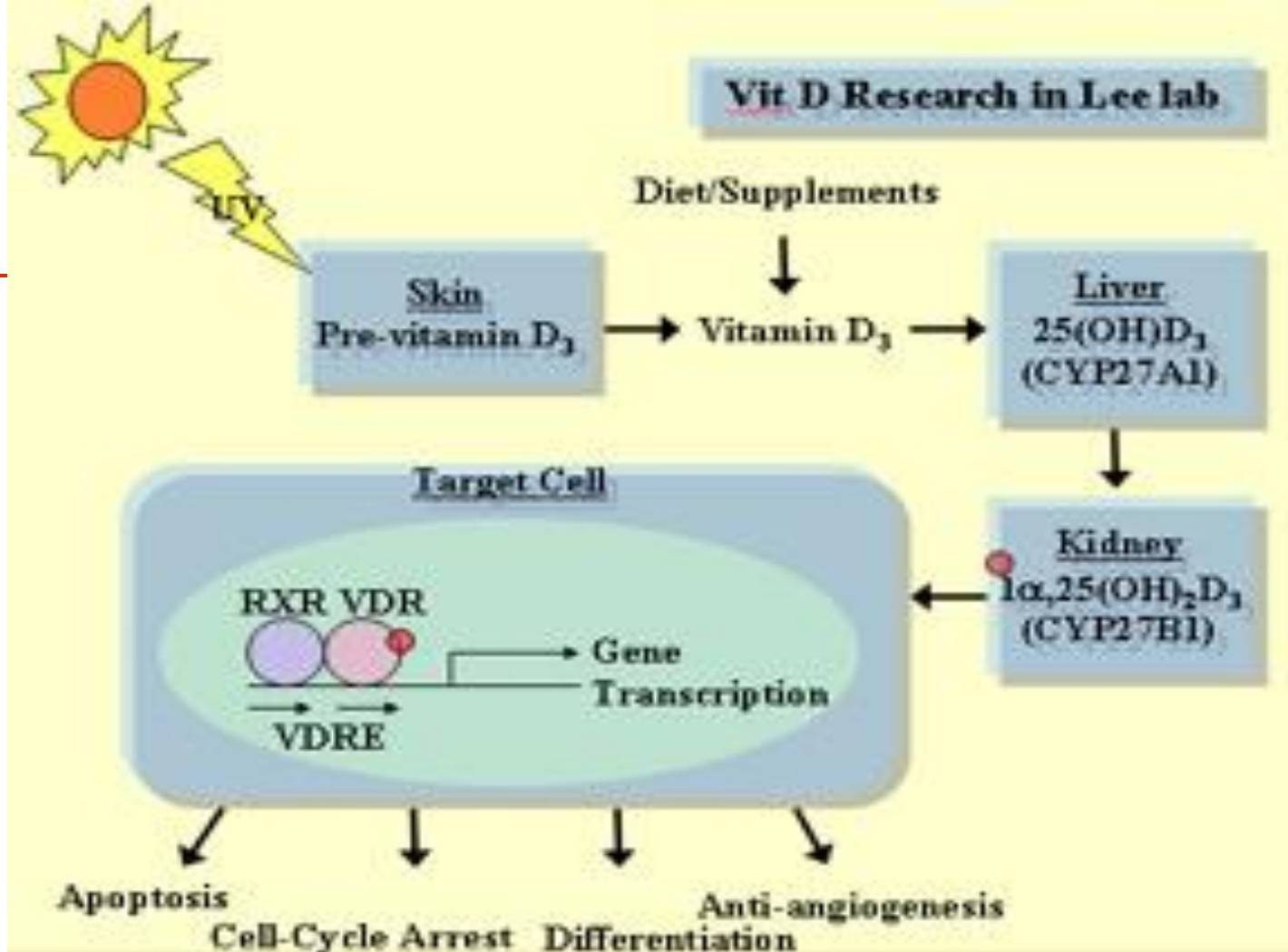
Kidney

1,25-dihydroxyvitamin D₃

↑ Calcium absorption (small intestine)
↑ Urinary calcium re-absorption (kidney)
↑ Bone mineralisation

Maintains calcium balance in the body
via the action of parathyroid hormone

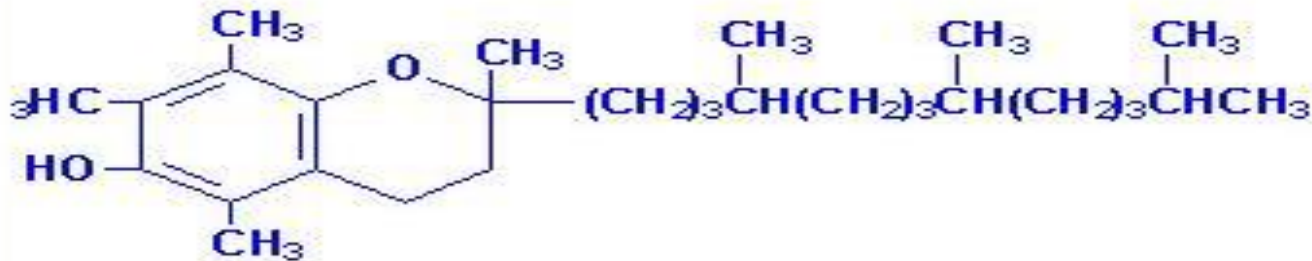




- Vitamin D is a steroid hormone that functions to regulate specific gene expression following interaction with its intracellular receptor
- Bentuk aktifnya **calcitriol** → keseimbangan Ca & P

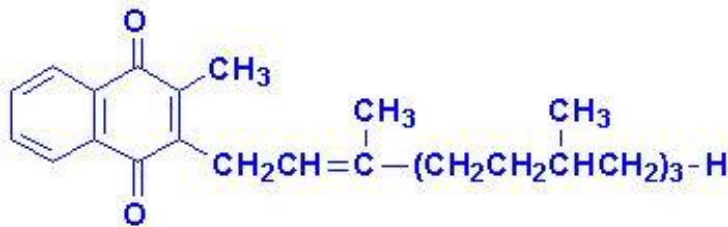
Vitamin E

- ❑ Penting sebagai antioksidan = menangkap radikal bebas
- ❑ The vitamins E and C are interrelated in their antioxidant capabilities.
- ❑ persons consuming a diet high in polyunsaturated fatty acids.
- ❑ Polyunsaturated fatty acids tend to form free radicals upon exposure to oxygen and this may lead to an increased risk of certain cancers.

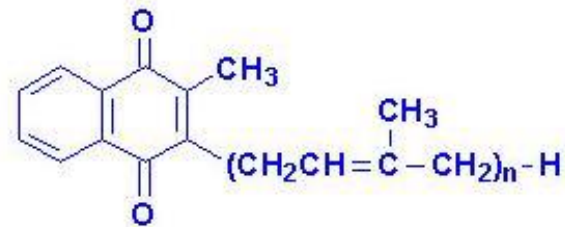


α -Tocopherol

Vitamin K



Vitamin K₁



Vitamin K₂

"n" can be 6, 7 or 9 isoprenoid groups

Vit K1 = sayur2 an hijau → filokuinon

Vit K2 = bakteri usus halus → menakuinon

Penting utk sintesis protein yang terlibat dlm pembekuan darah

Mineral

- ❑ Pandangan Nutrisi : bahan inorganik yang dibutuhkan untuk proses kehidupan baik dalam bentuk ion atau elemen bebas.
- ❑ Diperoleh dari makanan (tubuh tidak dpt memproduksi)
- ❑ Berdasar jumlah yang dibutuhkan tubuh: dibagi 2 mikroelemen dan makro elemen
 - Makro : sodium, potasium, klorida, magnesium, fosfor dan kalsium
 - Mikro : besi, tembaga, zinc, yod, dan fluoride

Fungsi

- ❑ Sebagai katalist berbagai reaksi biokimawi dlm tubuh
- ❑ Transmisi sinyal / pesan pd sel saraf
- ❑ Produksi hormon
- ❑ Pencernaan dan penggunaan makanan
- ❑ Bagian dari organ vital spt tulang, darah, gigi
- ❑ dll

Mineral sbg kofaktor

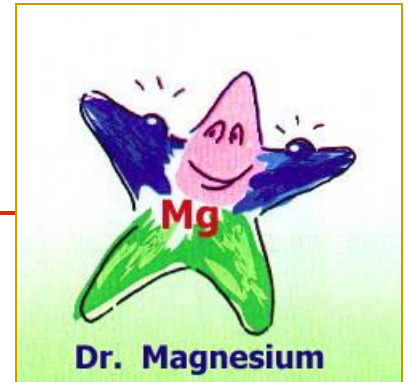
- Banyak enzim yang mengandung ion metal = **Metaloenzim**
- Ion tersebut berfungsi mirip dengan koenzim
- Fungsi dari metal tersebut dalam enzim sangat bervariasi
- Bisa sebagai katalis : Zn
- Kadang utk meningkatkan efisiensi enzim = ATP-Mg

11.6 Metals and trace elements important as enzymatic cofactors

al	Example of Enzyme	Role of Metal
Fe	Cytochrome oxidase	Oxidation-reduction
Cu	Ascorbic acid oxidase	Oxidation-reduction
Zn	Alcohol dehydrogenase	Helps bind NAD ⁺
Mn	Histidine ammonia-lyase	Aids in catalysis by electron withdrawal
Co	Glutamate mutase	Co is part of cobalamin coenzyme
Ni	Urease	Catalytic site
Mo	Xanthine oxidase	Oxidation-reduction
V	Nitrate reductase	Oxidation-reduction
Se	Glutathione peroxidase	Replaces S in one cysteine in active site

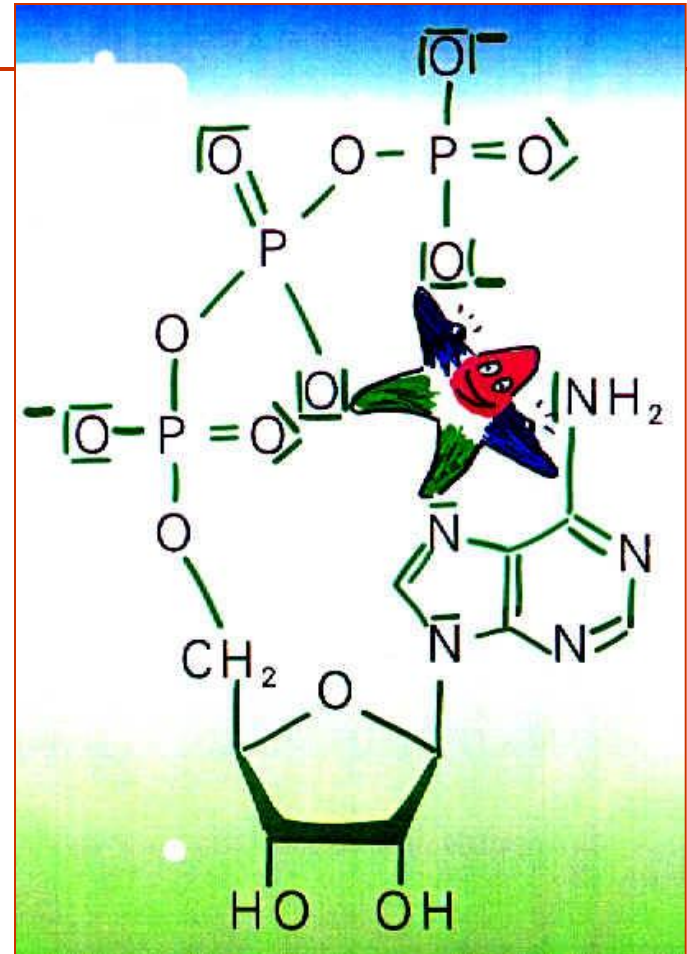
Zn ²⁺	Karbonik anhidrase, karboksipeptidase
Mg ²⁺	<i>EcoRV</i> , heksokinase
Ni ²⁺	Urease
Mo	Nitrat reduktase
Se	Glutation peroksidase
Mn ²⁺	Superoksid dismutase
K ⁺	Propionil KoA karboksilase

Magnesium (Mg)



- merupakan kation bivalent = cenderung berfungsi sebagai “chelator”
- lebih banyak ditemukan di intraseluler sel daripada di serum darah.
- Mineral penting, selain Ca dan fosfor
- Di intraseluler sel → sering ditemukan berikatan dengan ATP = berperan sebagai kofaktor
- ATP yang berikatan dengan Mg = merupakan substrat yang lebih efektif bagi enzim – enzim yang membutuhkan ATP.

- Mg penting bagi manusia krn berperan dlm reaksi penghasilan energi
- Pompa Na/K yg mengatur konsentrasi elektrolit dlm sel = dikontrol oleh ATP → keseimbangan elektrolit di dalam sel tergantung pada Mg
- Food processing = menghilangkan Mg dalam makanan



Kalsium (Ca)

- Merupakan mineral yang sulit diperoleh dari makanan kita sehari-hari
- Berfungsi :
 - Kontraksi otot
 - Secondary messenger
 - Pembentukan tulang dan otot
 - Koagulasi darah
 - Pemecahan glikogen dan aktivator siklus kreb
- Untuk melakukan kontraksi → otot membutuhkan ATP (dlm myofibril)
- Tapi yang menstimulasi terjadinya kontraksi = Ca

Potasium (K)

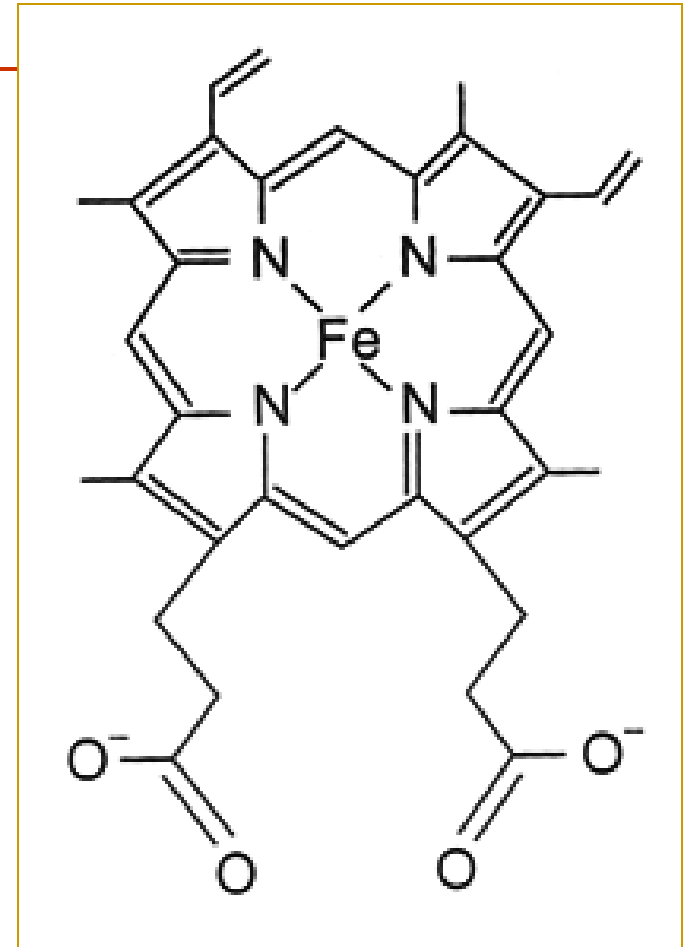
- ▣ Merupakan mineral esensial dan byk dikenal sbg elektrolit
- ▣ Fungsi tubuh → normal = tergantung konsentrasi K di dlm dan luar sel
- ▣ Berfungsi sebagai
 - Menjaga potensial membran sel
 - Kofaktor ensim

❑ Menjaga potensial membran

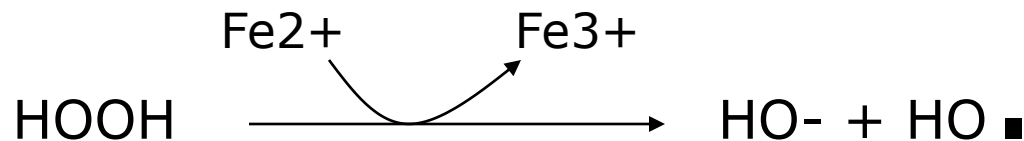
- K – kation utama di dalam sel, N – kation utama di luar sel
 - K di dlm sel : 30 x lbh tinggi dibanding luar sel
 - Na di luar sel : 10 X lbh tinggi dibanding dlm sel
 - Perbedaan konsentrasi = gradien elektrokimiawi membran → potensial membran
 - Potensial membran penting dalam → penyampaian sinyal untuk komunikasi antar sel : sel saraf
- ## ❑ Sbg kofaktor : contoh : pyruvat kinase (metabolisme karbohidrat)

Besi (Fe)

- ❑ Fungsi utama : bergabung dgn protein dan tembaga = membentuk hemoglobin (transport O_2 dr paru2 ke jaringan yg membutuhkan)
- ❑ Penting pula untuk pembentukan myoglobin (pengangkut O_2 di dlm otot)
- ❑ Penting untuk penderita thyroidism
- ❑ Keseimbangan antara Fe, Zn & Cu → penting untuk menjaga dan mencegah thyroidism



- Terdapat dlm bentuk Fe (II) atau (Fe(III) → di dlm tubuh ditemukan berasosiasi dgn protein
- ~~Di dalam tubuh tersimpan dlm jumlah besar dalam protein → ferritin~~
- Dlm btuk bebas di dalam tubuh : konsentrasi sgt rendah. Karena
 - Ion Ferri tidak larut dalam air
 - Mungkin ion ferro toksik bagi sel → dpt berakasi dg hidrogen peroksida → radikal hidroksil



- Makanan biasa mengandung Fe (III) → tapi untuk mudah diserap harus dlm bentuk Fe (II)
- Reduksi Fe (III) menjadi Fe (II) → dgn askorbat (vit C) atau dgn suksinat

Non heme iron enzyme	function
Aconitase	Siklus kreb
Suksinat DH	Siklus kreb
NADH DH, CoQ reduktase	Rantai respirasi
Adrenodoksin	Sintesis hormon steroid dlm kolesterol
Desaturase	Sintesis asam lemak tak jenuh
Xathine DH	Katabolisme purine ring
Ribonukleotida reduktase	DNA sintesis

Zinc (Zn)

- ❑ Element essential dalam makanan baik (tumbuhan, hewan dan manusia)
- ❑ Dibutuhkan untuk pembentukan substansi genetik dlm sel dan untuk reproduksi biologis
- ❑ Diperlukan dlm sintesis DNA dan RNA
- ❑ Merupakan bagian dari ± 200 metaloenzim
- ❑ Kekurangan Zn : tidak spesifik krn banyaknya enzim yg membutuhkan Zn

▣ Defisiensi Zn :

- Serious immunodeficiency
 - increased numbers of infections
 - stunted growth
 - delayed sexual maturation dll
-