

MINERAL

GITA SEKAR PRIHANTI



Gizi-gizi lain

Vitamin, mineral, dan cairan diserap secara bersamaan melalui mukosa usus.

Beberapa faktor mempengaruhi sirkulasi sistematis vitamin dan mineral dalam proses ini, termasuk ada atau tidak adanya gizi spesifik lainnya.

Setiap hari, sekitar 8 hingga 9 L cairan dari tubuh melintasi membran usus untuk mempertahankan gizi di dalam larutan.

Sebagian besar vitamin dan air tidak berubah dari usus kecil ke dalam darah melalui penyebaran pasif.

Obat-obatan adalah yang paling banyak diserap oleh penyerapan pasif; semua yang diserap oleh transpor aktif bisa bersaing dengan gizi pada sel-sel membran.

Hasilnya bisa menurunkan atau meningkatkan transportasi aktual pengobatan atau gizi.

Gizi-gizi lain

Penyerapan mineral berjalan dalam tiga tingkatan:

- Tingkat *intraluminal* → reaksi dan interaksi kimia yang terjadi di dalam perut dan usus. Reaksi-reaksi ini, yang pada dasarnya ditentukan oleh pH kandungan luminal dan komposisi makanan yang memasuki mulut, utamanya mempengaruhi kation.
- Elemen anionik kecil, seperti fluorida, tidak dipengaruhi oleh pH atau pun komposisi diet dan diserap dengan cukup bebas.
- Kation yang bisa dilarutkan di dalam pH asam perut, membentuk hidroksida yang tidak bisa dilarutkan ketika chyme masuk ke usus kecil dengan pH yang lebih tinggi.
- Kation-kation ini selalu ada untuk penyerapan oleh ligan, seperti asam amino dan asam-asam organik lainnya dan gula, yang membentuk koordinasi atau senyawa chelation dengan beberapa elemen.

Gizi-gizi lain

- Tingkat *translokasi* → melibatkan bagian yang melintasi membran di dalam sel mukosa usus. Transpor anion kecil mungkin bisa dilakukan melalui penyebaran sederhana.
 - Untuk sebagian besar elemen kation, mekanismenya dibantu oleh penyebaran atau transpor aktif.
 - Untuk beberapa mineral, lebih dari satu metode itu translokasi bisa dioperasikan, tergantung pada konsentrasi elemen tertentu di dalam usus.
-
- Selama tingkat *mobilisasi*, mineral disalurkan melintasi permukaan serosal sel-sel usus di dalam aliran darah atau ditangkap di dalam sel.
 - Zat besi dan seng, contohnya, terikat pada protein di dalam sel usus (chelated) atau ditambahkan pada kelompok intra sel.
 - Ion-ion di dalam kelompok tersebut kemudian dimobilisasikan dan disalurkan melintasi permukaan serosal, di mana ion-ion ikatan protein dilepaskan untuk menjadi bagian kelompok atau tetap terikat, dengan kata lain ion-ion tersebut hilang dengan sel selama deskuamasi.

Gizi-gizi lain

Saluran pencernaan adalah bagian interaksi penting antar mineral.

Pengobatan dengan zat besi dan seng bisa menekan penyerapan tembaga.

Selanjutnya tembaga, bisa menurunkan penyerapan zat besi dan molibdenum.

Penyerapan kobalt mengalami peningkatan pada pasien yang mengalami kekurangan zat besi, tapi kobalt dan zat besi bersaing dan mencegah penyerapan satu sama lain.

Interaksi-interaksi ini mungkin menunjukkan kurangnya kekhususan mekanisme penyerapan.

Logam yang diangkut terikat pada protein pembawa.

Protein memang spesifik, seperti transferin, yang terikat dengan zat besi, atau umumnya, seperti albumin, yang mengikat berbagai macam mineral.

Pecahan masing-masing mineral dibawa di dalam serum dalam bentuk asam amino atau peptida kompleks.

Protein pembawa tertentu biasanya *undersaturated*.

Makromineral terjadi di dalam tubuh dan makanan terutama pada bagian ion.

Contoh : sodium, pottasium, dan kalsium yang membentuk ion positif (kation), sedangkan mineral-mineral lainnya timbul sebagai ion negatif (anion)

Sekitar 4% dari tubuh kita terdiri atas mineral yang dalam analisa bahan makanan tertinggal sebagai kadar abu, yaitu sisa yang tertinggal bila suatu sampel bahan makanan dibakar sempurna di dalam suatu tungku (muffle furnace). Kadar abu ini menggambarkan banyaknya mineral yang tidak terbakar menjadi zat yang dapat menguap.

Berdasarkan kkuantum mineral dibagi 2 kelompok besar (elemen, unsur) yang terdapat pada analisa tubuh kita :

1. Makro elemen yang terdapat dalam kkuantum yang relatif besar, seperti K, Na, Ca, Mg, dan P, S, serta CL.
2. Mikro elemen yang terdapat dalam kkuantum yang relatif sedikit
 - a. Mikro elemen esensial yaitu yang betul-betul diperlukan oleh tubuh, jadi harus ada, seperti Fe, Cu, Co, Se, Zn, dan J, serta F
 - b. Mikro elemen yang mungkin esensial belum pasti betul diperlukan atau tidak di dalam struktur atau fisiologis tubuh seperti Cr, Mo.
 - c. Mikro elemen yang tidak diperlukan atau non esensial, jenis ini terdapat dalam tubuh karena terbawa tidak sengaja bersama bahan makanan jadi sebaga kontaminan, seperti Al, As, Ba, Bo, Pb, Cd, Ni, Si, Sr, Va, dan Br.

Makro elemen berfungsi sebagai bagian dari zat yang aktif dalam metabolisme atau sebagai bagian dari struktur sel dan jaringan, ada pula yang memegang fungsinya di dalam cairan tubuh, baik intraseluler maupun ekstraseluler

K, Na, S, dan Cl terutama berfungsi dalam keseimbangan cairan elektrolit sedangkan Ca, Mg, dan P terutama terdapat sebagai bagian penting dari struktur sel dan jaringan.

Mikro elemen pada umumnya berfungsi berhubungan dengan enzim, bahkan jodium merupakan bagian dari struktur suatu hormon, sejumlah besar enzim memerlukan mikro elemen dan trace elemen untuk dapat berfungsi secara maksimal.

1. Bioavailabilitas mineral

Adalah istilah penting untuk menjabarkan sifat kimia atau fiokimia mineral didalam lumen usus kecil. kecuali heme iron

Pada prakteknya semua elemen lain diserap dalam bagian ion, karena itu setiap elemen yang masih terikat pada molekul organik atau kompleks anorganik lain setelah langkah-langkah pencernaan disempurnakan tidak akan diserap yaitu semua tidak akan bioavailabel dan mineral-mineral tidak diserap ini akan dihilangkan melalui feses

Beberapa molekul di dalam makanan mempengaruhi bioavailabilitas dengan meningkatkan atau mengganggu atau mencegah penyerapan.

Contoh pencegah meliputi ikatan pjtate dan oksalat dari kalsium dan kation dwivalen lainnya. Pendorong pningkatan meliputi aksorbat untuk nonheme iron.

Vegetarian cenderung mengonsumsi makanan dengan kuantitas yang terus meningkat dari beberapa faktor pencegah, tapi faktor-faktor tersebut secara khusus juga mencerna lebih banyak asam askorbat, pendorong peningkatan. Selain itu, bioavailabilitas elemen mungkin dipengaruhi oleh beberapa faktor fisiologi, seperti keasaman lambung, adaptasi homeostasis, dan stres.

Bioavailabilitas juga seringkali digunakan untuk menunjukkan penyerapan dan pemanfaatan elemen di dalam jaringan dan fungsi sel. Makna yang lebih luas dari istilah ini secara umum tidak diterima karena tidak adanya kuantifikasi. Bioavailabilitas tidak bisa diukur dengan mudah ketika maknanya ditujukan untuk memasukkan manfaat di dalam jaringan; yaitu, di luar ciri kimia elemen di dalam lumen usus dan penyerapan yang melintasi penghambat usus ke darah.

Secara umum, beberapa elemen tertentu secara khusus mempunyai bioavailabilitas rendah dari makanan (zat besi, khrom, mangan), padahal yang lainnya mempunyai bioavailabilitas tinggi (sodium, potasium, klorida, iodid, fluorida). Semua mineral lainnya, termasuk kalsium dan magnesium, adalah media bioavailabilitas.

2. Interaksi mineral-mineral

Mineral bisa mempunyai interaksi negatif dengan mineral lainnya, yang berpotensi mempengaruhi penyerapan usus, transpor, pemanfaatan, dan penyimpanan.

Contohnya, penyerapan seng bisa diturunkan oleh tambahan besi nonheme; kelebihan asupan seng bisa menurunkan penyerapan tembaga; dan kelebihan asupan kalsium bisa menurunkan penyerapan tembaga; dan kelebihan asupan kalsium bisa menurunkan penyerapan mangan, seng, dan besi

3. Komposisi mineral tubuh

Mineral menunjukkan sekitar 4% hingga 5% bobot tubuh, atau 2.8 hingga 3.5 kg pada wanita dan pria dewasa. Kira-kira 50% bobot ini adalah kalsium, dan 25% sisanya adalah fosfor, yang timbul sebagai fosfat; hampir semua kalsium dan 70% fosfat ditemukan di tulang dan gigi.

Lima makromineral lainnya (magnesium, sodium, potasium, klorida, dan sulfur) dan sebelas mikromineral yang dikembangkan (zat besi, seng, iodid, selenium, mangan, fluorida, molibdenum, tembaga, khrom, kobalt, dan borium) mengandung 25% lainnya. Elemen ultratrace, seperti arsenik, aluminium, timah, nikel, vanadium, dan silikon memberikan jumlah bobot yang bisa diabaikan.

4. Fungsi-fungsi mineral

- sebagai ion yang dihancurkan di dalam fluida tubuh
- sebagai unsur pokok molekul-molekul penting
- Ion-ion mineral di dalam fluida tubuh mengatur aktivitas beberapa enzim
- mempertahankan keseimbangan asam basa dan tekanan osmotik
- membantu transfer membran gizi-gizi penting dan molekul-molekul lainnya
- mempertahankan iritabilitas syaraf dan otot

MAKROMINERAL

Makromineral merupakan elemen besar yang penting untuk manusia dalam jumlah 100 mg/hari.

Contoh : kalsium, fosfor, magnesium, sulfur, sodium, klorida dan pottasium.

Mineral-mineral tersebut secara khusus ada dalam bagian ion makanan dalam tubuh, kecuali sulfur.

a. Kalsium

kalsium mineral yang paling banyak di dalam tubuh, menyusun sekitar 1,5%-2% bobot tubuh dan 39% total mineral tubuh.

99% kalsium ada di dalam tulang dan gigi (kalsium dalam gigi tidak bisa dimobilisasi untuk kembali ke darah, karena mineral dari gigi yang sudah rusak diperbaiki agar bisa hidup).

Sedangkan 1% kalsium lainnya berada dalam darah.

tulang mengambil kalsium dan mineral-mineral lainnya dari darah ketika kalsium dan mineral tersebut dikonsumsi (selama periode setelah makan malam).

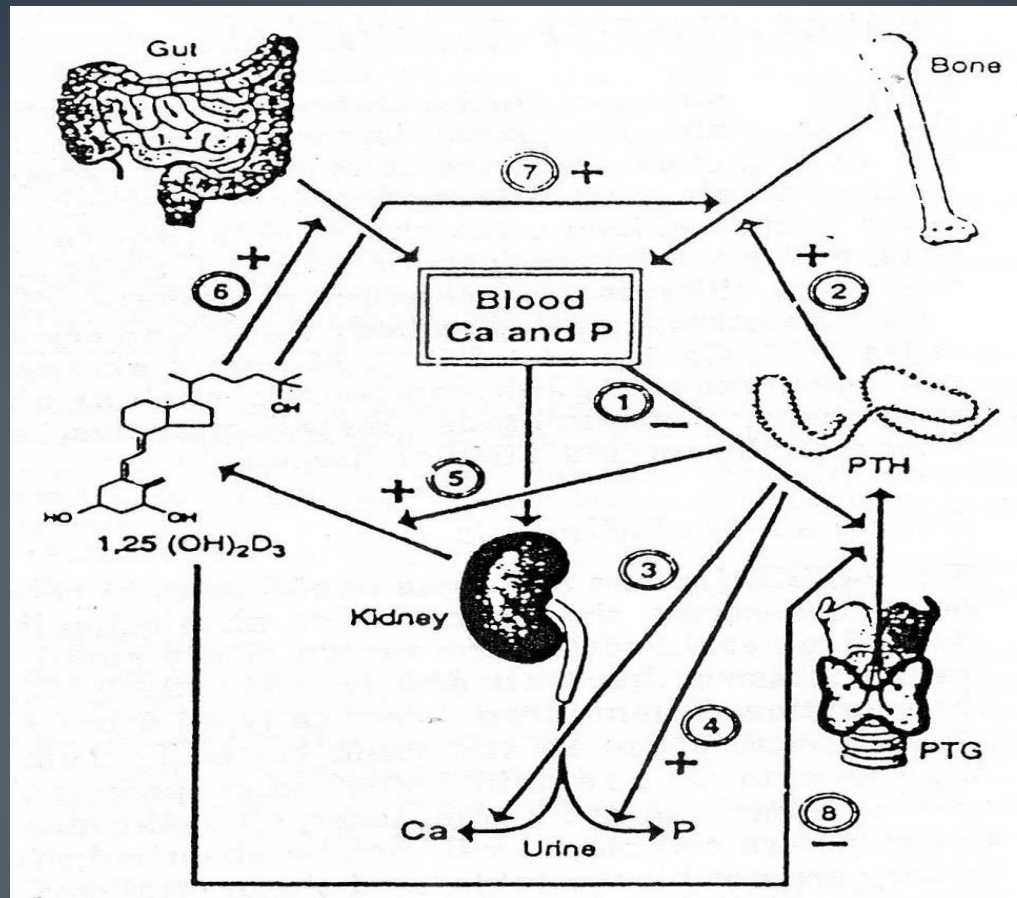
Fungsi kalsium :

- a. Ca diperlukan di dalam mekanisme pembekuan darah
- b. Ca diperlukan di dalam proses kontraksi otot dan fungsi syaraf, berhubungan dengan proses menghantar rangsangan, defisiensi Ca dapat memberikan gejala-gejala tetani
- c. Ca diperlukan dalam fungsi berbagai enzim

1. Sumber makanan dan asupan

sayuran berdaun hijau, colard, lobak cina hijau, sarden, kerang, tiram adalah sumber yang baik untuk kalsium.

tambahan kalsium digunakan untuk meningkatkan asupan kalsium, bentuk yang paling umum adalah kalsium karbonat, yang relatif tidak bisa larut terutama pada PH netral, kalsium sitrat meskipun mengandung lebih sedikit kalsium daripada kalsium karbonat menurut bobotnya, tapi lebih bisa larut karena kalsium sitrat akan sesuai untuk pasien yang mengalami achlorydria (tidak mempunyai asam hidroklorit di dalam perut)



Gambar skema jalur metabolisme kalsium : Regulasi metabolisme kalsium meliputi penyerapan usus (gut), konsentrasi kalsium darah (Ca) dan fosfat (P), tulang, ginjal, yang memproduksi bentuk hormon vitamin D ($1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$), dan kelenjar paratiroid (PTG), yang mensekresikan hormon paratiroid (PTH). Langkah 1 hingga 8 menunjukkan titik-titik khusus pengaturan.

Menurut Continuing Survey of Food Intakes of Individual (CSFII) (US Department of Agriculture, 1994), sumber kalsium terbaik dari makanan pada makanan US adalah susu, keju, roti, es krim, serbat, dan **yoghurt** dingin, bersamaan dengan kue, biskuit, roti tawar, dan donat

2. Referensi asupan makanan (DRI)

AI untuk kalsium yang direkomendasikan oleh Food and Nutrition Board (Institute of Medicine, 1998) didasarkan pada penaksiran persyaratan gender selama siklus kehidupan. Asupan atas yang ditoleransi (UL) juga dikembangkan untuk gizi ini untuk pertama kalinya

Selama beberapa periode siklus hidup wanita, asupan kalsium memang penting; yaitu, pra pubertas dan remaja, setelah menopause, dan selama kehamilan dan menyusui. Pada penelitian terhadap beberapa gadis remaja, asupan kalsium 1300 mg atau setiap hari penting untuk simpanan kalsium maksimum oleh tubuh (tulang) (Yates dkk, 1998). Pria juga memerlukan kalsium yang memadai dalam siklus hidupnya, tapi tidak diketahui berapa persyaratannya.

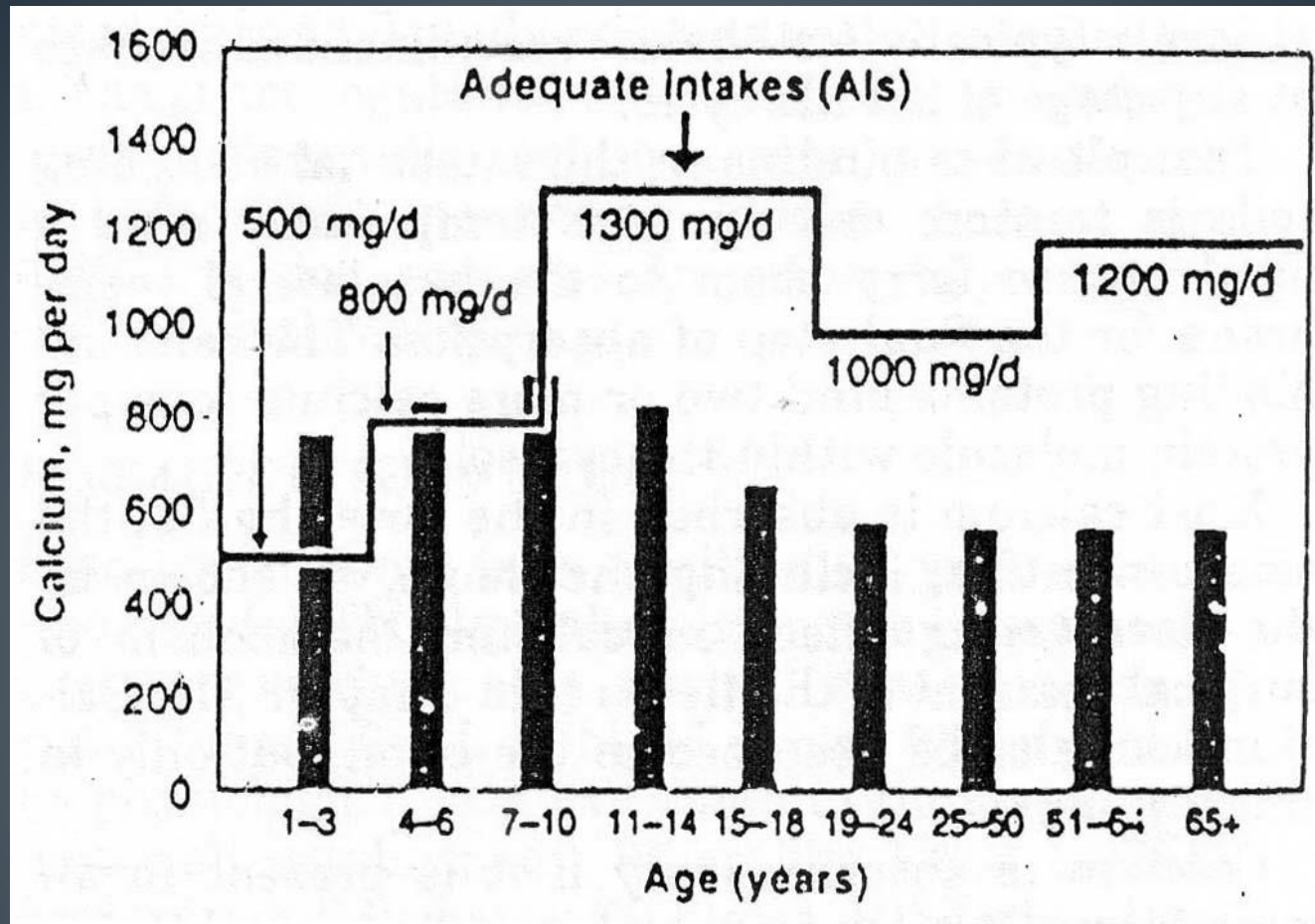
3. Penyerapan, transpor, penyimpanan dan ekskresi

- Kalsium diserap oleh semua bagian usus kecil, tapi penyerapan yang paling cepat setelah makan terjadi di dalam duodenum di mana media asam bertindak ($\text{pH} < 7$).
- Penyerapan lebih rendah di bagian usus kecil lainnya karena pH alkali, tapi jumlah kalsium yang diserap sebenarnya lebih besar di dalam segmen yang lebih rendah dari usus kecil, termasuk ileum. Biasanya, hanya 30% (atau agak berkurang) dari kalsium yang dicerna diserap oleh orang dewasa, tapi pada beberapa individu, sebanyak 10% bisa diserap
- beberapa orang dewasa yang mengalami penyerapan lebih tinggi bisa diserap sebanyak 60% dari kalsium yang dicerna.

Kalsium diserap oleh dua mekanisme yaitu :

1. *transpor aktif*, yang beroperasi utamanya pada konsentrasi luminal rendah dari ion kalsium
2. *transfer pasif* atau gerakan paraselular, yang beroperasi pada konsentrasi luminal tinggi dari ion kalsium

- Absorpsi Ca di dalam rongga usus maupun reabsorpsinya di dalam tubuli ginjal dipengaruhi oleh vitamin D, sedangkan absorpsi Ca mempengaruhi pula absorpsi P
- Hormon parathyroid berfungsi pula mengatur kadar Ca^{++} di dalam cairan darah, yang diperlukan untuk kontraksi otot dan pembekuan darah.
- Bila kadar Ca^{++} di dalam plasma menurun, Ca dimobilisasikan dari trabeculae dalam struktur tulang
- Defisiensi Ca^{++} di dalam darah memberikan gejala-gejala tetani
- Ca maupun P diekskresikan terutama di dalam urine dan sedikit di dalam tinja. Di dalam urine 24 jam sebanyak 1.500 liter terdapat 0,30 gram Calcium dan 2,5 gram asam phosphat.
- Kebutuhan akan Ca adalah 400 mg seorang sehari untuk semua umur



- Gambar 5.2** Median asupan kalsium harian untuk wanita di US dibandingkan dengan asupan yang memadai yang dikembangkan pada tahun 1998.

- Kalsium diserap hanya jika kalsium ada dalam bentuk ion. Kalsium tidak diserap jika timbul karena unsur pokok lainnya dari makanan, seperti oksalat, atau jika membentuk sabun dengan asam lemak bebas. Bentuk-bentuk kalsium yang tidak terserap ini diekskresikan di dalam feses sebagai oksalat kalsium dan sabun kalsium.
- Secara umum, semakin besar kebutuhan dan semakin kecil suplai makanan, makan akan semakin efisien penyerapannya
- Peningkatan kebutuhan dialami ketika pertumbuhan, kehamilan, menyusui, dan kekurangan kalsium, dan juga tingkat olahraga yang menghasilkan densitas tulang yang tinggi, meningkatkan penyerapan kalsium.
- Kalsium paling banyak diserap di dalam media asam; jadi, asam hydrochloric yang disekresikan di dalam perut mendukung penyerapan kalsium dengan menurunkan pH di dalam duodenum proksimal

4. Ekskresi

- ✓ Secara normal pada orang dewasa, lebih dari 50% kalsium yang diserap diekskresikan di dalam urine setiap hari
- ✓ Ekskresi kalsium urine berubah selama siklus hidup, tapi menurun selama periode pertumbuhan tulang yang cepat
- ✓ Ketika menopause, ekskresi kalsium mengalami peningkatan besar, tapi pada wanita yang sudah menopause dibantu dengan estrogen, lebih sedikit kalsium yang diekskresikan
- ✓ Adanya konsentrasi fosfat darah yang tinggi menurunkan ekskresi kalsium ginjal.

a. KEHILANGAN PADA KULIT

Kehilangan pada kulit terjadi dalam bentuk keringat dan pengelupasan kulit. Kehilangan kalsium di dalam keringat adalah sekitar 15 mg/hari. Aktivitas fisik yang berat dan berkeringat akan meningkatkan kehilangan, bahkan pada orang-orang yang memiliki asupan kalsium rendah.

b. SERUM KALSIUM

Total serum kalsium terdiri dari tiga kelompok yang berbeda :

- kalsium bebas atau kalsium ionisasi (47.6%);
- kompleks antara kalsium dan anion, seperti fosfat, sitrat, atau anion organik lainnya (6.4%);
- kalsium yang mengikat protein, utamanya dengan albumin (46%)

- Beberapa faktor mempengaruhi distribusi relatif kalsium di dalam serum darah atau plasma. Salah satunya adalah pH
- bagian ionisasi meningkat pada acidosis dan menurun pada alkalosis
- Peraturan yang keras dari kalsium ionisasi membuatnya menjadi perangkat diagnostik yang berguna dalam menilai fungsi kelenjar paratiroid, memonitor penyakit ginjal, dan memonitor sakit bayi yang baru lahir di mana hypocalcemia bisa mengancam hidup.

C. PENGATURAN SERUM KALSIUM

- Kalsium di dalam tulang berada di dalam ekuilibrium dengan kalsium di dalam darah
- PTH memainkan peranan dalam mempertahankan serum kalsium pada konsentrasi normal sekitar 10 mg/100 mL serum darah (2.5 mmol/L).
- Ketika konsentrasi kalsium darah menurun di bawah tingkat ini, PTH menstimulasi transfer kalsium yang bisa ditukar dari tulang ke dalam darah
- Pada waktu yang sama, PTH meningkatkan penyerapan kalsium dalam tubular ginjal, dan secara tidak langsung menstimulasi peningkatan penyerapan kalsium di dalam usus melalui bentuk hormon vitamin D-1,25(OH)₂D₃.

- Pada wanita, keseimbangan tulang normal memerlukan konsentrasi serum estrogen untuk berada di dalam batas normal
- Penurunan yang cepat dari konsentrasi serum estrogen pada saat menopause adalah faktor utama yang berkontribusi pada penyerapan di dalam tulang
- Perlakuan wanita setelah menopause dengan estrogen menurunkan tingkat penyerapan di dalam tulang
- Penyerapan di dalam tulang juga dicegah oleh testosteron.

5. Fungsi

- untuk membangun dan mempertahankan tulang dan gigi
- mempunyai beberapa peranan metabolis di dalam sel pada semua jaringan lainnya
- transpor membran sel
- mempengaruhi transmisi ion-ion pada membran organel sel
- Kalsium diperlukan untuk transmisi syaraf dan pengaturan fungsi otot hati.
- mempertahankan tone otot kerangka dan mengendalikan iritabilitas syaraf

6. Kekurangan

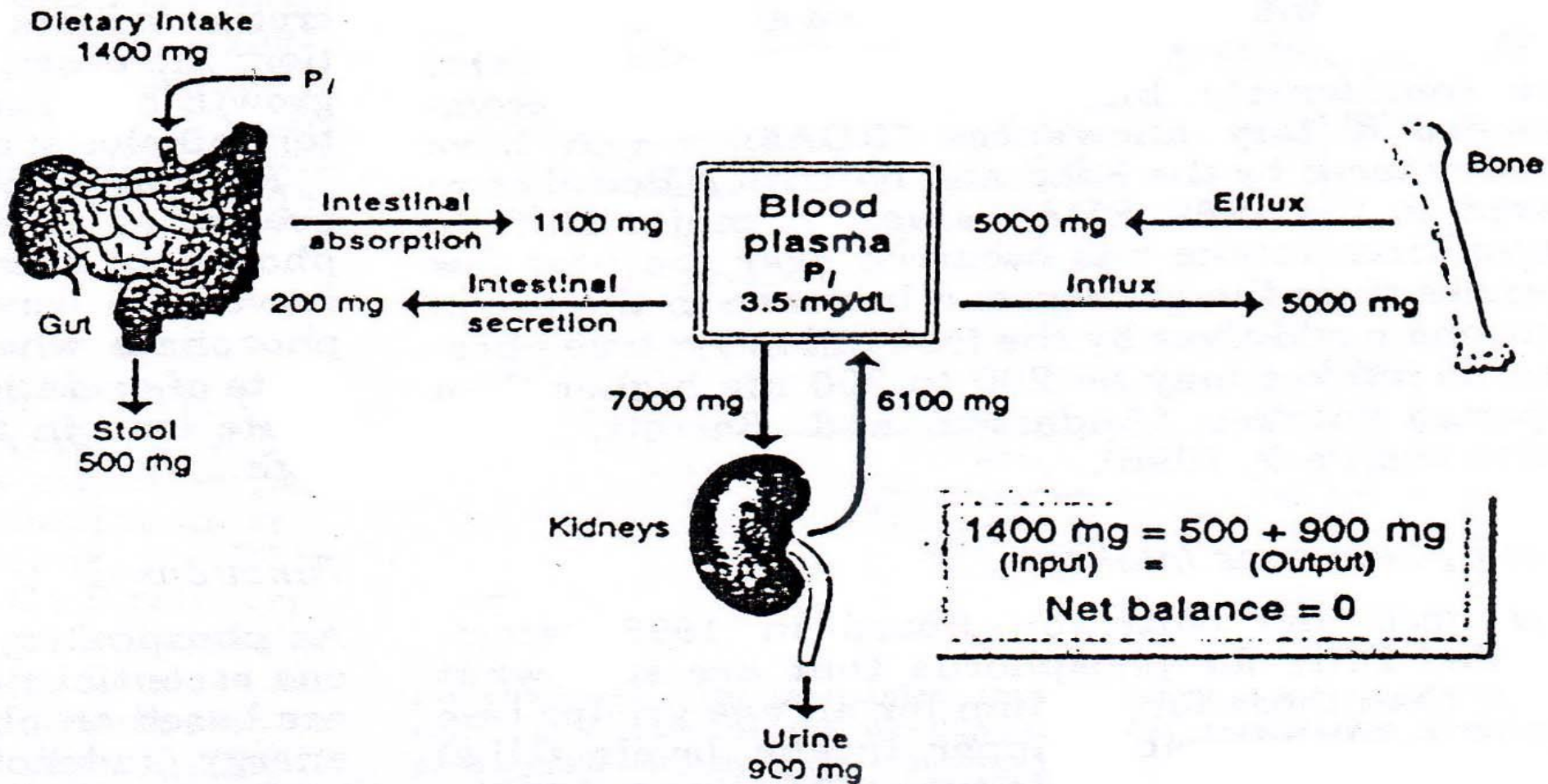
- Asupan kalsium yang tidak memadai, selain pada vitamin D yang tidak memadai, juga telah ditunjukkan mengakibatkan osteomalacia
- Asupan kalsium yang rendah bisa menjadi faktor penting dalam beberapa penyakit kronis, seperti kanker usus besar, dan hipertensi.
- susunan asupan menunjukkan bahwa makanan rendah kalsium juga rendah dalam beberapa mikronutrien esensial lainnya yang diperlukan untuk kesehatan

7. Daya racun

- Asupan kalsium yang sangat tinggi (2000 mg atau lebih per hari), khususnya pada adanya tingkat vitamin D yang tinggi, seperti dari kelebihan mencerna kombinasi suplemen kalsium dan vitamin D, adalah potensi penyebab hypercalcemia.
- Daya racun bisa menyebabkan kelebihan kalsifikasi pada jaringan halus, khususnya ginjal
- Asupan tinggi kalsium mungkin juga menyebabkan gangguan penyerapan dari kation dwivalen lainnya, seperti zat besi, seng, dan mangan

b. Fosfor

- sekitar 80% ada di dalam tulang dan gigi sebagai kristal fosfat kalsium
- 20% lainnya ada pada kelompok yang aktif secara metabolis dalam setiap sel di dalam tubuh dan di dalam kompartemen fluida ekstrasel.



Gambar 5.3 Keseimbangan fosfor dipertahankan utamanya oleh jumlah fosfat yang diserap versus jumlah yang dikeluarkan oleh ginjal dan usus. Tulang masih menjadi penyimpan utama fosfat, seperti yang dilakukan untuk kalsium. Jalur metabolis mempunyai beberapa persamaan dengan jalur-jalur kalsium.

1. *Sumber makanan dan asupan*

Rata-rata asupan fosfor oleh orang dewasa di US kira-kira 1300 mg/hari untuk pria dan 1000 mg/hari untuk wanita. Sebagian besar fosfor (sekitar 60%) berasal dari susu, daging, unggas, ikan, dan telur. 20% lainnya diberikan oleh sereal dan polong-polongan, dan kira-kira 10% didapatkan dari buah dan jus buah. Sumber makanan lainnya, seperti teh, kopi, dan rempah-rempah, suplai kira-kira 3%. Jumlah yang ditaksir dari makanan aditif menunjukkan hampir 10%

2. Referensi asupan makanan

- The Food and Nutrition Board pada tahun 1998 merekomendasikan DRI untuk fosfor yang kadang-kadang lebih rendah daripada DRI untuk kalsium untuk semua kelompok umur

3. Penyerapan, transpor, penyimpanan, dan ekskresi

- Jumlah relatif fosfat anorganik dan organik pada makanan berbeda menurut tipe fosfat yang dikonsumsi.
- Fosfat yang mengikat secara organik dihidrolisis di dalam lumen usus dan dilepaskan sebagai fosfat anorganik, utamanya melalui tindakan fosfatase alkali
- Bioavailabilitas tergantung pada bentuk fosfat dan pH
- Pada makanan vegetarian, porsi utama fosfor terjadi sebagai phytate, hanya dicerna dengan buruk oleh manusia
- Manusia tidak mempunyai enzim phytase untuk membelah fosfor dari phytate; namun demikian, bakteri usus mempunyai enzim untuk menghidrolisis beberapa fosfat. Ragi yang digunakan dalam pembuatan roti mengandung phytase, yang juga melepaskan beberapa fosfat.

4. *Ekskresi ginjal dan usus*

- Rute utama ekskresi fosfor adalah ginjal
- Faktor penentu utama kehilangan fosfor melalui urine adalah peningkatan asupan fosfat, peningkatan pada penyerapan fosfat, dan konsentrasi plasma fosfor
- Faktor-faktor lainnya penting dalam kondisi tertentu adalah hyperparathyroidism, acidosis pernapasan atau metabolik akut, asupan diuretik, dan perluasan volume ekstra sel.
- Jika tingkat PTH tinggi, maka fosfat tambahan diekskresikan melalui rute urine.
- Penurunan ekskresi fosfat dihubungkan dengan batasan fosfor makanan; peningkatan pada insulin plasma, hormon tiroid, hormon pertumbuhan, atau glucagon; alkalosis metabolik atau pernapasan; dan kontraksi volume ekstra sel.

5. Fungsi

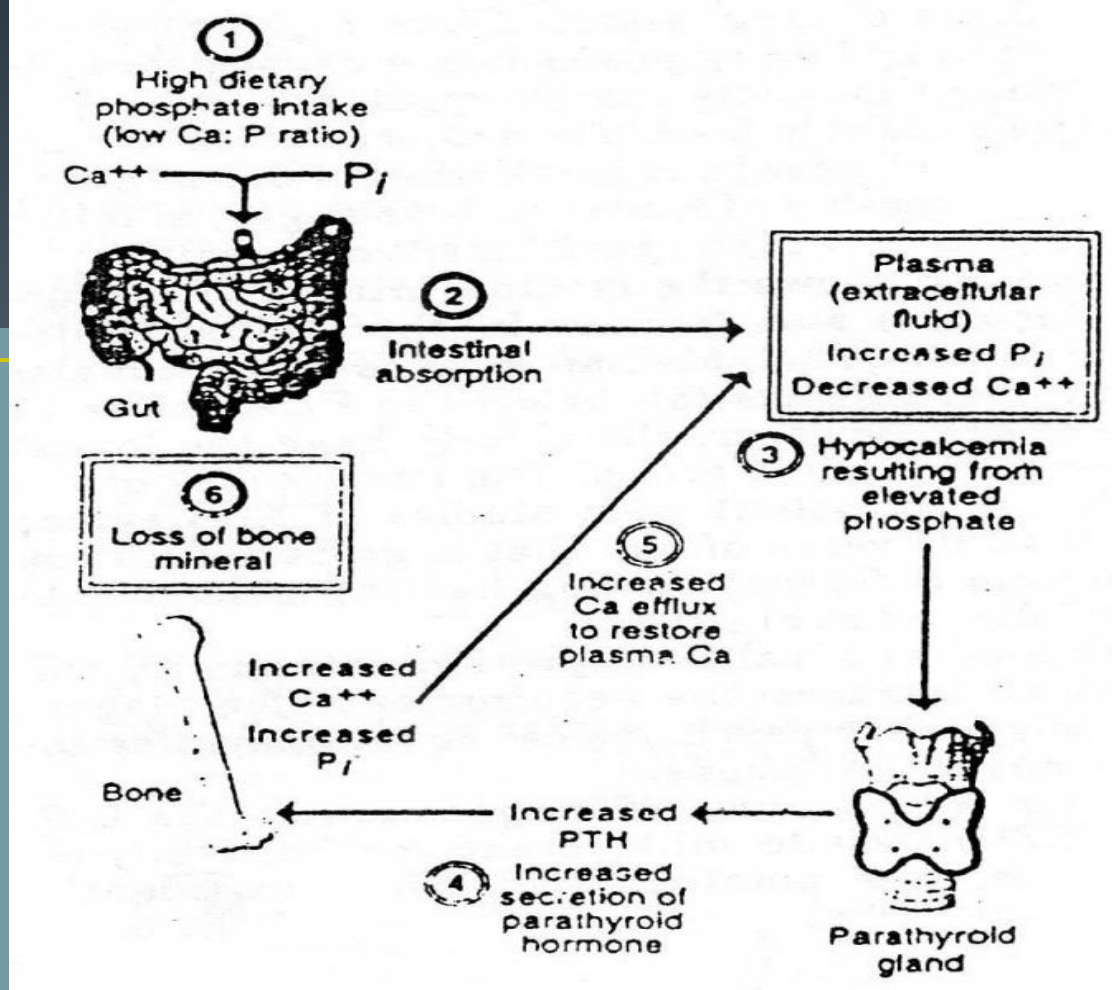
1. Sebagai bagian fosfolipid, fosfor ada di dalam setiap membran sel di dalam tubuh. Beberapa molekul fosfolipid juga bertindak sebagai kurir sekunder di dalam cytosol.
2. Reaksi fosforilasi-defosforilasi mengendalikan beberapa langkah di dalam aktivasi dan deaktivasi enzim cytosolic oleh kinase atau fosfatase.
3. ekskresi ion hidrogen
4. fosfat berkombinasi dengan ion-ion kalsium untuk membentuk hydroxyapatite, molekul anorganik utama yang ada pada gigi dan tulang.

6. Kekurangan

- Gejala ditunjukkan dari penurunan sintesis ATP dan molekul fosfat organik lainnya.
- Terjadi gangguan syaraf otot, kerangka, hematologi, dan ginjal
- Bayi prematur yang diberi makan ASI tanpa fortifikasi mungkin juga mengalami hypophosphatemia.

7. Daya racun

- Peningkatan konsentrasi PTH yang terjadi secara terus-menerus mungkin terjadi karena konsumsi kronis kalsium rendah, diet fosfor tinggi.
- Kondisi ini seringkali ditunjukkan lebih awal sebagai *nutritional secondary hyperparathyroidism*
- Peningkatan tingkat PTH yang tinggi mengakibatkan mineralisasi tulang terbatas selama pertumbuhan (puncak akumulasi massa tulang yang tidak memadai pada remaja dan dewasa muda – dan kehilangan massa tulang pada orang dewasa (Anderson, 1996).



Gambar 5.4 Mekanisme di mana rasio Ca:P makanan yang rendah mengakibatkan perkembangan peningkatan konsentrasi hormon parathyroid (PTH).

C. Magnesium

- Magnesium menduduki posisi kedua dalam kandungan pada potasium sebagai kation intra sel
- Tubuh manusia dewasa mengandung kira-kira 20 hingga 28 g, di mana kira-kira 60% ditemukan di tulang, 26% di otot, dan sisanya dalam jaringan halus dan fluida tubuh
- Magnesium di dalam tulang ada dalam kelompok yang bisa ditukar dan tidak bisa ditukar.
- Ion magnesium di dalam kompartemen fluida tulang lebih bisa ditukar daripada ion magnesium yang telah menjadi bagian kisi-kisi kristal.
- Tingkat serum normal biasanya berada dalam rentang 1.5 hingga 2.1 mEq/L (0.75 hingga 1.1 mmol/L).
- Sekitar setengah magnesium di dalam plasma itu bebas, kira-kira sepertiga terikat pada albumin, dan sisanya kompleks dengan sitrat, fosfat, atau anion-anion lainnya.
- Homeostasis magnesium diatur oleh penyerapan usus dan ekskresi ginjal

1. *Sumber makanan dan asupan*

- Magnesium banyak terdapat di dalam makanan
- Sumber-sumber yang baik adalah susu, biji-bijian, kacang, polong-polongan, dan biji sereal yang tidak digiling, dan juga sayuran berdaun hijau tua, di mana magnesium itu penting karena mengandung klorofil
- Ikan, daging, dan buah yang paling umum dimakan (seperti jeruk, apel, dan pisang) adalah sumber magnesium yang buruk
- Sumber makanan unggulan dari magnesium dalam makanan US (CSFII) meliputi, susu, roti, kopi, sereal siap makan, daging sapi, kentang, dan buncis/lentil kering

2. Referensi asupan makanan

RDA untuk magnesium ditingkatkan pada tahun 1998 oleh Food and Nutrition Board. Untuk pertama kalinya, beberapa rekomendasi yang berbeda dibuat untuk wanita dan pria mulai masa pubertas

Makanan	Mg
Tahu, lembut, 1/2 cup	118
Cabe dengan biji, 1 cup	115
Biji gandum, panggang, 1/4 cup	90
Jambu monyet, panggang, 1/4 cup	89
Halibut, panggang, 3 ons	78
Bit Swiss, masak, 1/2 cup	75
Kacang, panggang, 1/4 cup	67

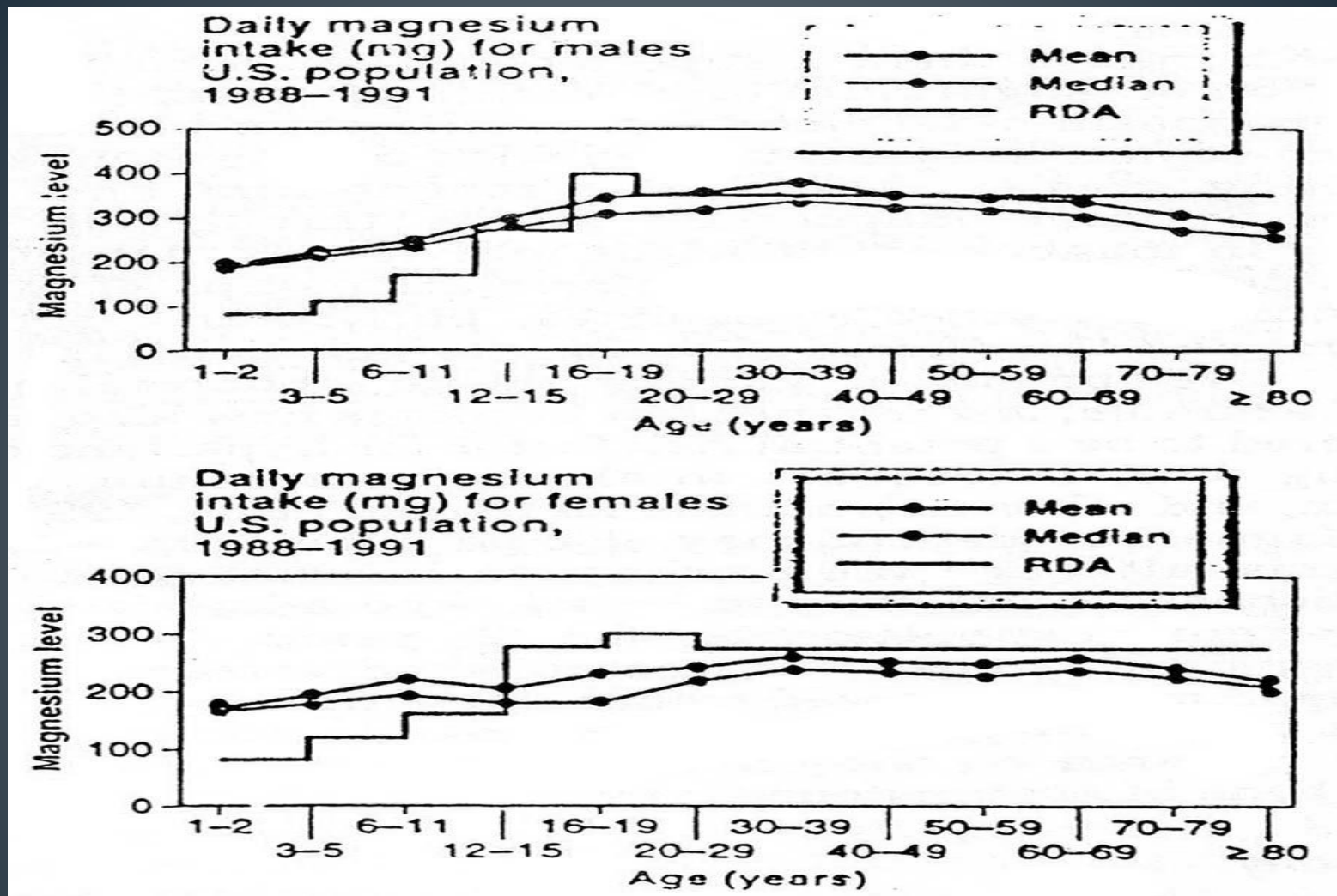
Tabel 5.4 Kandungan magnesium dari makanan-makanan yang dipilih

Keripik cokelat, semi manis, ¼ cup	58
Kentang panggang dengan kulit, 1	55
Bubuk cokelat, 2 T	52
Tetes, blackstrap, 1 T	52
Sereal, kulit kismis, 1 ons	48
Bayam, segar, 1 cup	44
Cheerios, 1 ons	39
Susu, 2% lemak, 1 cup	33
Roti, gandum utuh, 1 potong	26
Ayam, dada, 3 ons	25
Polong hijau, beku, masak, ½ cup	23
Daging giling, tanpa lemak, 3 ons	16
Buah	10-25
Kopi, masak, ¾ cup	9
Telur, 1	5

(Dari United States Department of Agriculture (USDA), Composition of Foods. USDA Handbook No. 8 Series. Washington, DC; ARS, USDA, 1976-1986).

3. Penyerapan, transpor, penyimpanan, dan ekskresi

- Magnesium mungkin diserap sepanjang usus kecil, tapi sebagian besar penyerapan terjadi di dalam jejunum.
- langkah masuk magnesium dari lumen gut terjadi melalui dua mekanisme yaitu
 1. proses yang dibantu oleh pembawa
 2. difusi sederhana
- Vitamin D mempunyai sedikit pengaruh atau tidak ada sama sekali pada penyerapan magnesium.
- Ketika di dalam sel, magnesium terikat utamanya pada protein dan fosfat yang kaya energi



Gambar 5.5 Median asupan magnesium harian untuk pria dan wanita di US dibandingkan dengan RDA tahun 1998

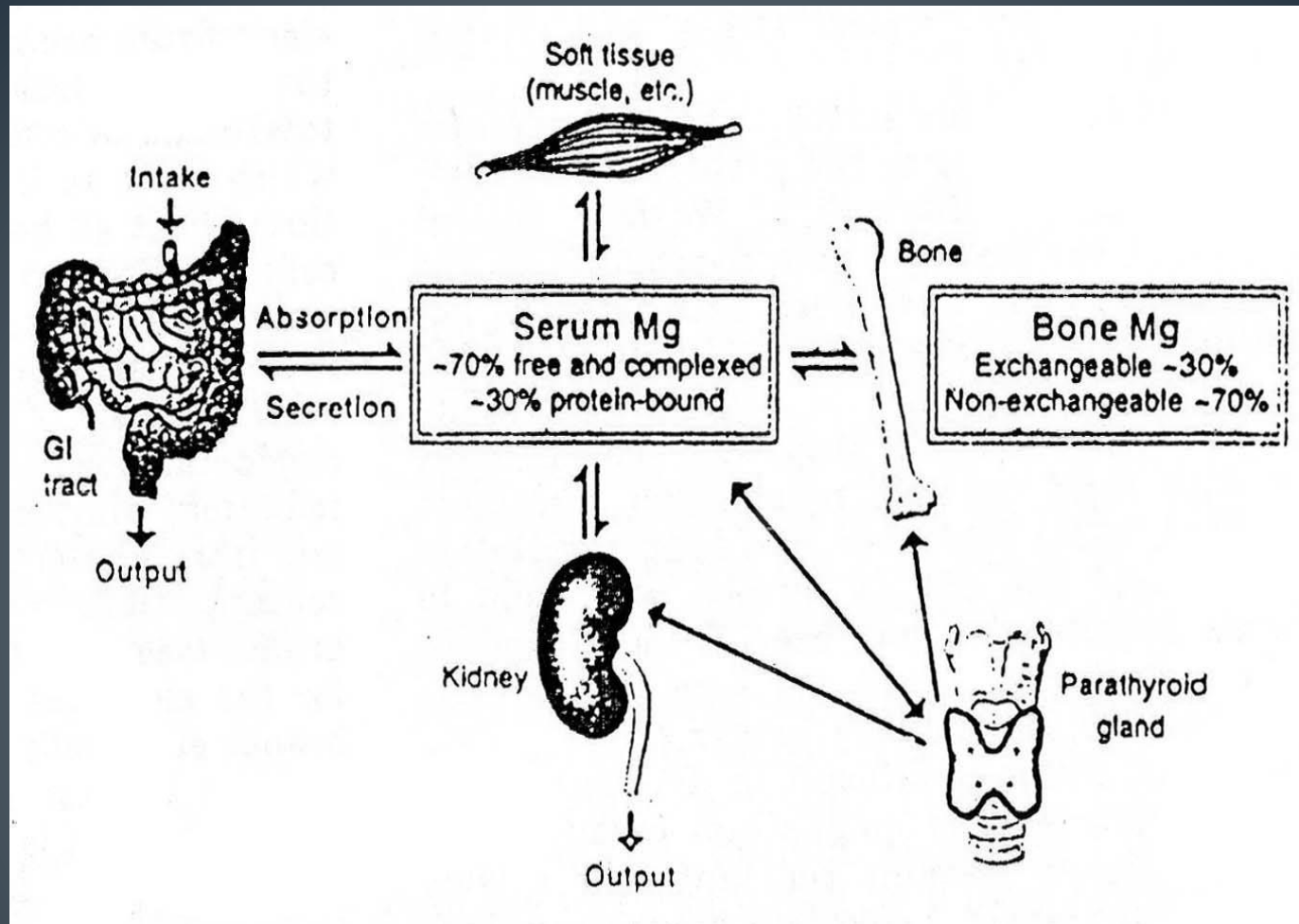
4. Ekskresi ginjal

- keseimbangan magnesium diatur, utamanya oleh ginjal yang menghemat magnesium secara efisien, utamanya ketika asupan rendah
- Diet rendah magnesium akan menurunkan ekskresi magnesium melalui urine.
- Untuk mencapai peningkatan kebutuhan laktasi wanita, ekskresi magnesium melalui urine cenderung menurun
- Penyerapan dalam ginjal berbeda terbalik dengan penyerapan dalam kalsium

5. Fungsi

- ✓ Fungsi utama magnesium adalah untuk menstabilkan struktur ATP di dalam reaksi enzim yang tergantung pada ATP.
- ✓ kofaktor untuk lebih dari 300 enzim yang terlibat dalam metabolisme komponen makanan dan pada sintesis beberapa produk
- ✓ penting dalam formasi cAMP, yang menjadi “kurir kedua” cytosolic pertama untuk diidentifikasi sebagai mekanisme untuk mentransmisikan pesan dari luar sel untuk merespons hormon lainnya, faktor seperti hormon lokal, atau molekul lainnya.

- ✓ Magnesium memainkan peranan dalam transmisi dan aktivitas neuromuscular
- ✓ bekerja bersama dan melawan pengaruh kalsium
- ✓ Pada kontraksi otot normal, kalsium bertindak sebagai stimulator dan magnesium bertindak sebagai relaxer
- ✓ Magnesium bertindak sebagai penghambat saluran kalsium fisiologis, dan disebut sebagai “nature’s blocker”



Gambar 5.6 Keseimbangan magnesium dipertahankan oleh penyerapan pencernaan (GI) dan ekskresi ginjal.

6. Kekurangan

- kebutuhan unsur Mg bagi bayi dan anak-anak sebanyak 150 mg sehari sedangkan bagi ibu hamil atau sedang menyusukan 400 mg sehari
- defisiensi Mg pada manusia mungkin terjadi dengan gejala-gejala tetany yang disertai kadar Ca^{++} darah yang normal, tetapi Mg^{++} menurun
- kekurangan magnesium yang parah secara klinis bisa ditunjukkan dengan gemetar, kejang otot, perubahan kepribadian, anoreksia, muntah, dan sawan. Tetany, sentakan myoclonic, gerakan athetoid, sawan, dan koma
- Pengaruh kekurangan magnesium yang parah pada metabolisme tulang meliputi penurunan sekresi PTH oleh kelenjar paratiroid, konsentrasi serum PTH yang sangat rendah, gangguan respons tulang dan ginjal pada PTH, penurunan serum $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, ketahanan vitamin D, perubahan formasi kristal hydroxyapatite
- asupan magnesium yang rendah sekarang juga dipertimbangkan sebagai potensi faktor risiko untuk hipertensi, bersamaan dengan asupan potasium, kalsium, dan mikronutrien lainnya yang tidak memadai

7. Daya racun

- kelebihan magnesium bisa mencegah kalsifikasi tulang
- kelebihan magnesium dari sumber makanan, termasuk suplemen, sangat tidak memungkinkan untuk mengakibatkan keracunan.
- Satu-satunya kasus keracunan telah ditunjukkan pada pekerja peleburan yang menghirup atau melepaskan banyak sekali debu magnesium yang diterima tubuh pada tingkat keracunan.

d. Sodium, potasium, dan klorida

- Tiga unsur pokok makanan yang sangat diperlukan – sodium, potasium, dan klorida – umumnya dikenal sebagai elektrolit, berada di dalam tubuh
- Sodium sebesar 2%, potasium 5%, dan klorida 3% dari total kandungan mineral tubuh
- Elektrolit-elektrolit ini terlibat dalam mempertahankan setidaknya empat fungsi fisiologi penting tubuh
 1. keseimbangan dan distribusi air;
 2. perbedaan intrasel/ekstrasel dalam konsentrasi,
 3. hasil pemfungsian membran (hidup)
 4. bertanggung jawab untuk kenaikan potensi listrik pada membran semua sel dengan sel syaraf dan otot mempunyai gradien yang paling tinggi

1. **Asupan dan sumber**

- Sumber makanan utama sodium pada makanan US (USDA, 1994) meliputi makanan di mana garam ditambahkan selama persiapan atau pemrosesan – keju, ham, tomat, susu, bumbu salad dan mayones, daging sapi, sereal siap makan, kue, biskuit, roti tawar, dan donat

2. Sumber makanan

Mean asupan medium untuk orang dewasa seharusnya tidak melebihi rekomendasi maksimum 2400 mg/hari

6. Kekurangan

- Kekurangan utama dalam konsumsi elektrolit melibatkan potasium
- Asupan potasium yang tidak memadai telah dihubungkan dengan hipertensi

7. Daya racun

- Kelebihan asupan sodium, bisa menyebabkan patogenesis beberapa penyakit kronis, termasuk hipertensi dan osteoporosis
- Asupan sodium yang tinggi meningkatkan ekskresi kalsium melalui urine karena ginjal menyerap kembali sodium sebelum kalsium

E. Sulfur

- Zat belerang merupakan komponen dari beberapa jenis zat gizi yang esensial, seperti asam amino dan Vitamin 131
- Unsur ini di dalam tubuh merupakan bagian dari molekul organik dan terdapat di dalam kondisi tereduksi (SH atau S), dan tidak dalam bentuk teroksidasi sebagai sulfat.
- Sulfur terjadi di dalam tubuh sebagai unsur pokok tiga asam amino – cystine, cysteine, dan methionine
- Sulfur terjadi sebagai komponen heparin, antikoagulan yang ditemukan di dalam hati dan beberapa jaringan lainnya
- sebagai kondroitin sulfat di dalam tulang dan kartilage
- Sulfur juga merupakan komponen penting dari tiga vitamin – tiamin, biotin, dan asam pantotenat

1. Sumber makanan

- Sumber makanan untuk sulfur meliputi daging, unggas, ikan, telur, buncis kering, brokoli, dan kembang kol

2. Ekskresi

- Kelebihan sulfur anorganik diekskresikan di dalam urine sebagai sulfat.

MIKROMINERAL (ELEMEN TRACE)

- Peningkatan jumlah gizi menimbulkan peningkatan respons biologis hingga batas tinggi tercapai di luar asupan yang lebih besar yang bisa menghasilkan pengaruh farmakologis dan, akhirnya, keracunan.
- Contohnya, kekurangan zat besi secepatnya akan mengakibatkan tipe anemia

Tabel 5.5 RDA elemen trace pada siklus kehidupan

Kelompok	Usia (th)	Zat besi (mg/hari)	Seng (mg/hari)	Yodium (μg/hari)	Selenium (μg/hari)
Bayi	0.0-0.5	6	5	40	10
	0.5-1.0	10	5	50	15
Anak-anak	1-3	10	10	70	20
	4-6	10	10	90	20
	7-10	10	10	120	30
Pria	11-14	12	15	150	40
	15-18	12	15	150	50
	19-24	10	15	150	70
	25-50	10	15	150	70
	51+	10	15	150	70
Wanita	11-14	15	15	150	45
	15-18	15	12	150	50
	19-24	15	12	150	55
	25-50	15	12	150	55
	51+	10	12	150	55
Hamil		30	15	175	65
Menyusui	6 bulan pertama	15	19	200	75
	6 bulan kedua	15	16	200	75

- Elemen trace secara khusus ada dalam dua bentuk :
 1. ion bermuatan
 2. kompleks dalam molekul (seperti metalloenzim)
- elemen trace tidak ada dalam ion bebas; selain itu, semuanya secara khusus terikat pada transpor atau kandungan protein

1. Sumber makanan

- Dari hewan umumnya menjadi sumber utama elemen trace karena konsentrasinya cenderung lebih tinggi dan logam ada karena penyerapan.

2. Fungsi

- a. partisipasi langsung dalam katalisis
- b. kombinasi dengan substrat untuk membentuk kompleks di mana enzim beraksi
- c. formasi metalloenzim yang mengikat substrat
- d. kombinasi dengan produk akhir reaksi
- e. pertahanan struktur quaternary.

B. Zat Besi

- Kekurangan asupan zat besi pada anak akan mempunyai dampak yang buruk pada kesehatan, pertumbuhan dan perkembangan anak, lambatnya perkembangan kognitif maupun perilaku anak.
- Anemia merupakan manifestasi lanjut dari defisiensi zat besi
- Dua pertimbangan mengenai status nutrisi zat besi telah menonjol: peristiwa anemia karena kekurangan zat besi dan peranan kelebihan asupan zat besi pada penyakit jantung koroner dan kanker

Zat besi dalam tubuh

- Zat besi terdapat di setiap sel tubuh manusia dan mempunyai berbagai fungsi vital yang penting yaitu:
 - sebagai pembawa oksigen dari paru ke jaringan-jaringan tubuh dalam bentuk hemoglobin (Hb)
 - sebagai fasilitator dalam penggunaan serta cadangan oksigen di otot dalam bentuk myoglobin
 - sebagai media transport electron didalam sel dalam bentuk *cytochromes*
 - integral dari berbagai enzim dalam jaringan
- Jumlah besi dalam tubuh manusia berkisar 3,8 g pada laki-laki dewasa dan 2,3 g pada wanita, hal ini setara dengan 50 mg/kg berat badan pada seorang dewasa laki dengan berat badan 75 kg dan 42 mg/kg berat badan pada seorang wanita dengan berat badan 55 kg

- Pengaturan keseimbangan besi didalam tubuh terutama melalui sistem gastro-intestinal, melalui pengaturan absorpsi
- Kapasitas absorpsi besi dari tubuh tergantung dari makanan yang dikonsumsi, jumlah dan jenis besi yang dikandung di dalamnya
- interaksi dengan berbagai bahan makanan yang dapat mempercepat dan menghambat absorpsi besi, serta kecepatan pembuatan eritrosit.
- Kondisi defisiensi zat besi ini sekaligus dapat merupakan kondisi rawan keracunan timbal (Pb), karena pada kondisi ini dapat meningkatkan absorpsi timbal.

Kebutuhan zat besi pada bayi dan anak

- Pada laki-laki dewasa, 95% kebutuhan zat besi untuk produksi sel darah merah diambil dari pemecahan sel darah merahnya sendiri, 5% kebutuhan zat besi lainnya diambil dari luar (makanan).
- pada bayi, 70% kebutuhan zat besi diambil dari pemecahan sel darah merah, 30% diambil dari luar
- Selama 3-4 bulan pertama kehidupan bayi hanya memerlukan sedikit zat besi dari luar oleh karena mereka masih menggunakan kembali hemoglobin fetus
- Setelah bayi berumur 6 bulan, bayi membutuhkan makanan dengan sumber zat besi oleh karena adanya pertumbuhan cepat dan mengurangnya simpanan zat besi di tubuh bayi
- simpanan zat besi berhubungan langsung dengan berat badan lahir,

Umur/Status	µg/kg BB/hari	Mg/hari
4-12 bln	120	0,96
13-24 bln	56	0,61
2-5 th	44	0,70
Wanita hamil	24	1,31
Wanita datang bulan	43	2,38

Tabel 3. Kebutuhan fisiologis besi

Sumber: Verster 1996

Sumber makanan dan asupan

- sumber makanan terbaik zat besi adalah hati, diikuti dengan tiram, seafood, ginjal, jantung, daging tanpa lemak, unggas, dan ikan
- Buncis kering dan sayuran adalah sumber terbaik dari tanaman

Babi	1,3	2,3 (170 gram)
Daging ayam (merah)	1,3	1,2 (1 unit = 459 gram)
Daging ayam (putih)	1,1	1,2 (1 unit = 459 gram)
Salmon dalam kaleng	1,0	3,9 (per kaleng)
Tuna (dalam kaleng dengan air)	1,0	1,7 (per kaleng)
Tuna (dalam kaleng dengan minyak)	0,6	0,6 (per kaleng)
Daging babi (panggang)	0,8	0,4 (2 lembar)
Tumis daging sapi	0,7	1,2 (170 gram botol)
Tumis ayam	0,7	1,1 (170 gram botol)
Bubur bayi ayam	0,6	0,7 (113 gram botol)
Bubur sapi	0,4	0,5 (113 gram botol)
Bubur sereal	47,5	7,1 (15 gram)
Susu formula dengan besi	0,2	0,6 (240 ml)
Susu sapi	0,05	0,1 (240 ml)
Susu coklat	0,2	0,6 (240 ml)

Sumber : CDC and Prevention. MMWR. 2002

Tabel 5.7 Proporsi relatif zat besi pada anak muda, orang dewasa, orang yang sehat

Kandungan zat besi	Pria		Wanita	
	Mg	%	Mg	%
Fungsional				
Hemoglobin	2300	64	1700	73
Mioglobin	320	9	180	8
Enzim heme	80	2	60	3
Enzim nonheme	100	3	80	3+
Simpanan				
Ferritin	540	15	200	9
Hemosiderin	230	6	100	4
Transferrin	5	< 1	4	< 1
Total	3575		2314	

Recommended Dietary Allowance

RDA untuk zat besi adalah 10 mg untuk pria dan wanita setelah menopause dan 15 mg untuk wanita di usia yang masih bisa melahirkan RDA untuk remaja wanita juga ditentukan pada 15 mg/hari untuk memberikan kebutuhan zat besi untuk pertumbuhan. Untuk remaja pria, RDA-nya adalah 12 mg/hari

Bayi yang dilahirkan cukup bulan mempunyai suplai cadangan zat besi melalui transfer plasenta selama kehidupan janin. RDA untuk bayi normal didasarkan pada rata-rata persyaratan harian 1.5 mg/kg bobot tubuh selama tahun pertama kehidupan. RDA ditentukan pada 10 mg/hari di luar tahun pertama kehidupan, dan berlanjut pada tingkat hingga remaja

Bayi prematur mempunyai simpanan zat besi yang terbatas karena sebagian besar zat besi dan mineral trace lainnya yang secara normal ditransfer selama trimester terakhir kehamilan masih kurang. Kebutuhan zat besi untuk mendukung pertumbuhan yang cepat pada bayi prematur menjadi jelas kira-kira pada 2 hingga 3 bulan usia

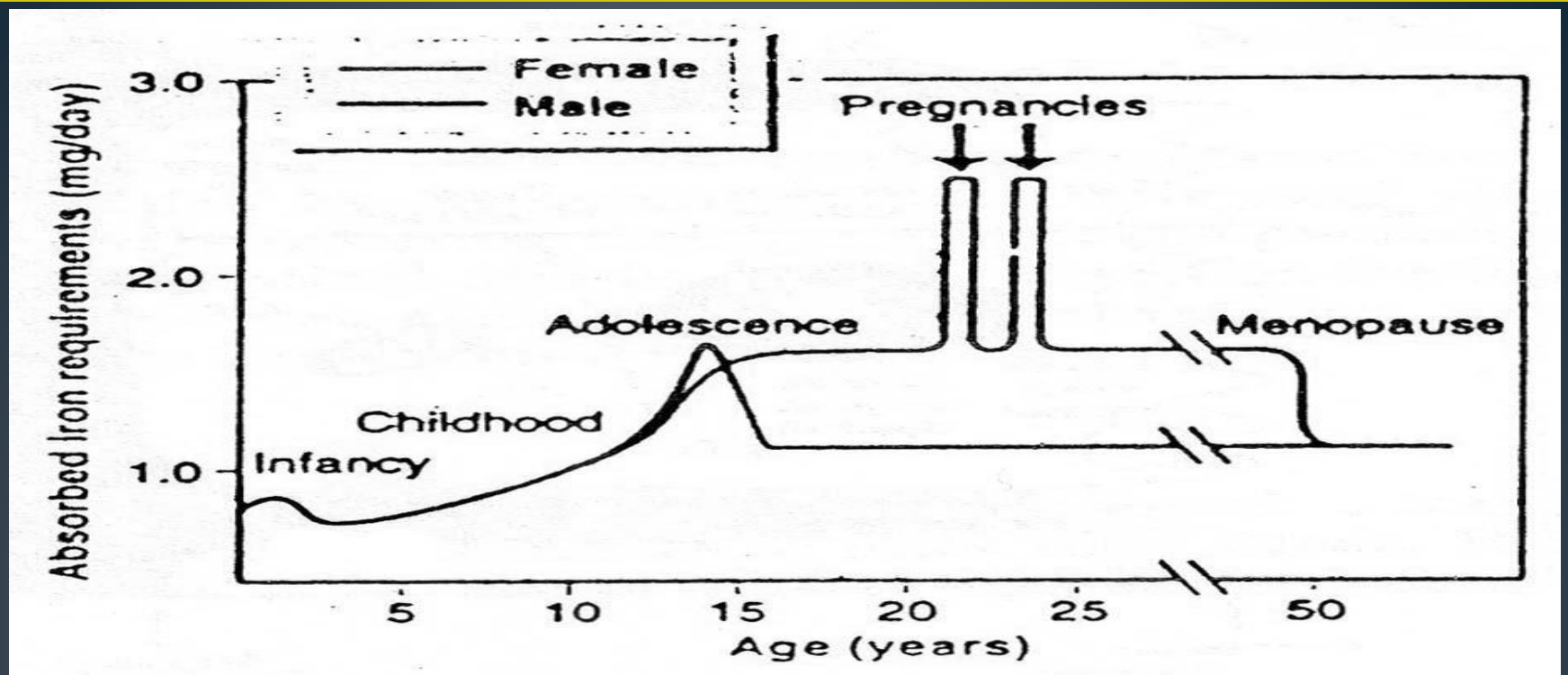
Tabel 5.8 Kandungan zat besi dari makanan-makanan yang dipilih

Makanan	Mg
Sereal, siap makan, fortifikasi, 1 cup	1-16
Clam, kaleng, ¼ cup	11.2
Hati sapi, goreng, 3 ons	5.3
Braunschweiger, 2 ons	5.3
Buncis panggang, 1 cup	5.0
Tetes, blackstrap, 1 T	5.0
Tiram, masak, 1 ons	3.8
Daging rusa, panggang, 3 ons	3.8
Kentang panggang, dengan kulit, 1	2.8
Sup, lentil dan ham, 1 cup	2.6
Biji gandum, panggang, ¼ cup	2.5
Burrito, buncis, 1	2.5
Sup, mi daging, 1 cup	2.4
Nasi, putih, diperkaya, 1 cup	2.3
Spageti, dengan saus tomat, 1 cup	2.3
Poptart, fortifikasi, 1	2.2
Daging giling, tanpa lemak, 3 ons	1.8
Aprikot, setengah kering, 10	1.7
Oatmeal, tanpa fortifikasi, 1 cup	1.6

Bayam, segar, 1 cup	1.5
Bubuk cokelat, 2 T	1.5
Kacang polong, beku, masak, ½ masak	1.3
Roti, gandum utuh, 1 potong	1.2
Ayam, dada, bakar, 1	0.9
Kacang tanah, panggang kering, ¼ cup	0.8
Daging babi cincang, panggang, 1	0.7
Brokoli, segar, masak, ½ cup	0.7
Telur, 1	0.7
Bluebery, beu, ½ cup	0.5
Minuman anggur, merah, ½ cup	0.5
Raspberry, segar, ½ cup	0.4
Keju, ceddar, 1 ons	0.2
Susu, 2% lemak, 1 cup	0.1

(Dari United States Department of Agriculture (USDA), Composition of Foods. □

USDA Handbook No. 8 Series. Washington, DC; ARS, USDA, 1976-1986)



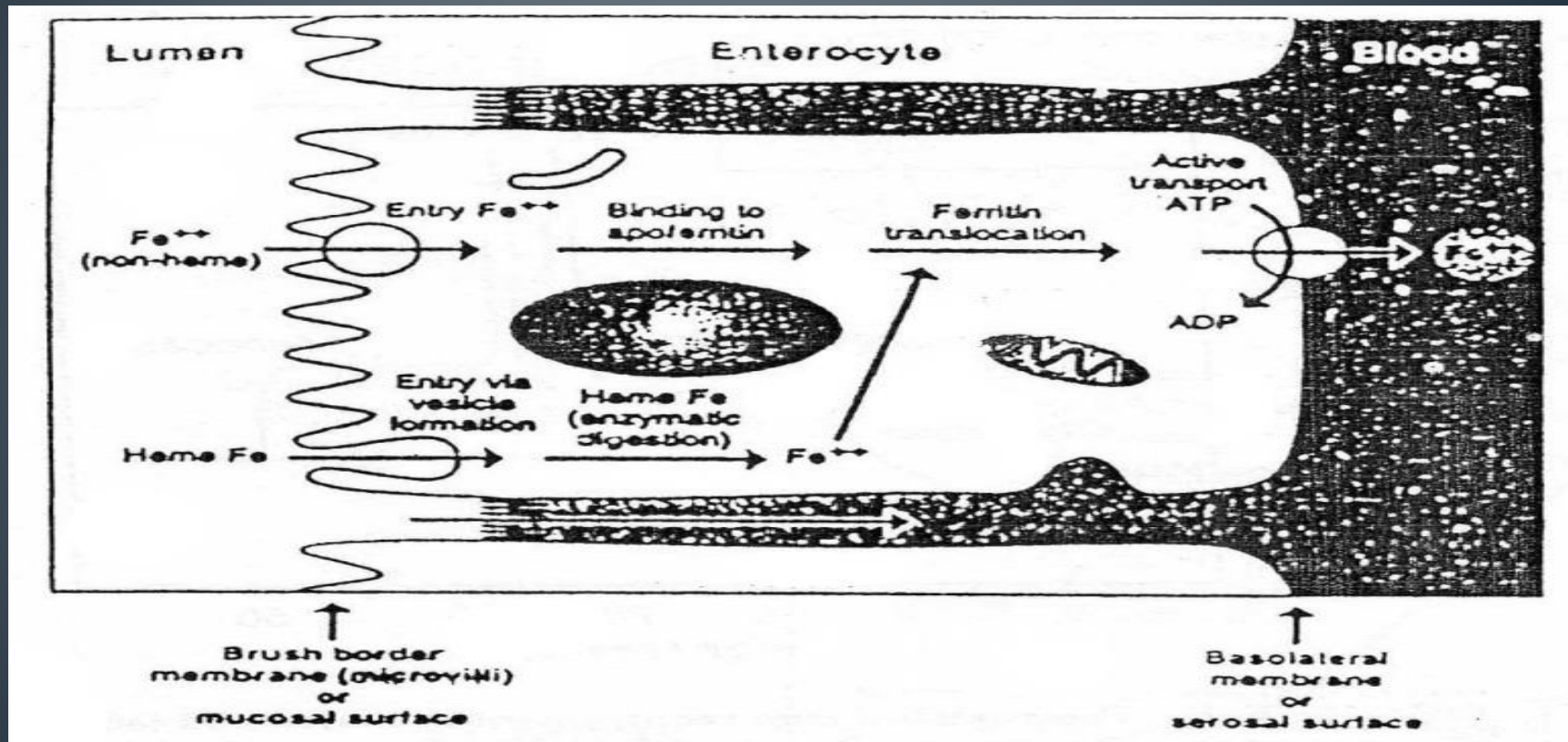
Persyaratan zat besi yang diserap pada pria dan wanita di berbagai usia. Persyaratan yang paling besar berhubungan dengan asupan makanan yang terjadi pada masa anak-anak. Selama masa anak-anak, persyaratannya sama untuk kedua jenis kelamin. Selama pertumbuhan remaja, ada peningkatan kebutuhan zat besi, yang lebih besar pada remaja pria daripada remaja wanita. Karena menstruasi, persyaratan pada wanita masih tinggi, padahal pada pria, persyaratan menurun setelah remaja

Makanan yang meningkatkan dan yang menghambat absorpsi zat besi

Makanan padat untuk bayi/anak sering diberikan dalam bentuk campuran dari berbagai sumber makanan yang diberikan dalam waktu bersamaan. Campuran berbagai macam sumber makanan ini dapat mengakibatkan absorpsi zat besi atau bahkan menghambat absorpsi zat besi akibatnya anak dengan konsumsi sumber zat besi yang cukup tetapi dapat menderita anemia

- Makanan yang dapat meningkatkan absorbs zat besi adalah vitamin C, asam sitrat, asam laktat.
- Sumber makanan hewani yang dapat meningkatkan absorbs zat besi adalah daging, ikan, daging ayam.
- makanan yang meningkatkan absorbs zat besi dari sumber gula adalah fruktosa dan sorbitol, dari sumber asam amino adalah sistein, lisin dan histidin.

Penyerapan, transpor, penyimpanan, dan ekskresi



Transpor

Zat besi (nonheme) disalurkan, terikat pada transferrin, pada beberapa jaringan untuk memenuhi kebutuhannya. Secara khusus ini tidak ada dalam bagian ion bebas di dalam serum.

Penyimpanan

Sekitar 200 hingga 1500 mg zat besi disimpan di dalam tubuh sebagai ferritin dan hemosiderin; 30% simpanan zat besi tubuh ada di dalam hati, 30% terjadi di dalam sumsum tulang, dan sisanya ditemukan di dalam limpa dan otot. Peningkatan hingga 50 mg/hari bisa dimobilisasi dari simpanan zat besi, 20 mg yang digunakan di dalam sintesis hemoglobin

Ekskresi usus

- Zat besi hilang dari tubuh hanya melalui pengeluaran darah dan, dalam jumlah yang sangat kecil, melalui ekskresi fecal, keringat, dan eksfoliasi normal rambut dan kulit. Sebagian besar zat besi yang hilang di dalam feses terdiri dari yang tidak bisa diserap dari asupan makanan. Yang lainnya berasal dari empedu dan sel-sel yang dieskfoliasi dari epitel pencernaan. Hampir tidak ada zat besi yang diekskresikan di dalam urine.

Jumlah zat besi yang hilang setiap hari kira-kira adalah 1 mg pada pria dewasa dan agak lebih sedikit pada wanita yang tidak menstruasi. Kehilangan zat besi bersamaan dengan menstruasi rata-rata adalah 0.5 mg/hari. Banyak variasi pada individu dan kehilangan zat besi karena menstruasi lebih dari 1.4 mg zat besi setiap hari terjadi pada kira-kira 5% wanita normal.

Fungsi

Fungsi zat besi berasal dari kemampuannya untuk berpartisipasi dalam reaksi oksidasi dan penurunan.

zat besi adalah elemen yang sangat reaktif yang bisa berinteraksi dengan oksigen untuk membentuk tingkat menengah yang mempunyai potensi merusak membran sel atau menurunkan DNA.

Tabel 5.9 Molekul zat besi di dalam tubuh



PROTEIN METABOLIS

Protein heme

Hemoglobin

Transpor oksigen dari paru-paru ke jaringan

Mioglobin

Transpor dan penyimpanan oksigen di dalam otot

Enzim heme

Cytochrome

Transpor elektron

Cytochrome P-450

Degradasi oksidatif obat

Catalasa

Konversi hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air

Enzim nonheme

Iron sulfur dan metalloprotein

Metabolisme oksidatif

Enzim yang tergantung dengan zat besi

Tryptophan pyrolase

Oksidasi tryptophan

TRANSPOR DAN PENYIMPANAN PROTEIN

Transferrin

Transpor zat besi dan mineral-mineral lainnya

Ferritin

Simpanan

Hemosiderin

Simpanan

Defisiensi zat besi

Kekurangan zat besi bisa disebabkan oleh luka, hemorrhage, atau sakit kehilangan darah karena cacing tambang atau penyakit pencernaan yang mengganggu penyerapan zat besi).

Kekurangan zat besi mungkin juga diperburuk oleh makanan yang buruk dengan zat besi, protein, folat dan vitamin B₁₂, B₆, dan C yang tidak memadai. Anemia khususnya berkembang karena jumlah zat besi makanan yang tidak memadai atau kesalahan penyerapan zat besi. Anemia karena kekurangan zat besi

Tabel 1. Kadar hemoglobin dan hematocrit yang didefinisikan sebagai anemia



Umur dan Kelamin	Kadar Hemoglobin (g/dl)	Hematokrit (%)
6 bulan-5 tahun	11,0	33
5-11 tahun	11,5	34
12-13 tahun	12,0	36
Wanita tidak hamil	12,0	36
Wanita hamil	11,0	33
Laki dewasa	13,0	39

Sumber: WHO 1989



Tabel 2. Klasifikasi derajat anemia menurut kadar hemoglobin

Klasifikasi	Derajat anemia (g/dl)
Berat	< 7
Sedang	< 10 (pada anak berumur 6 bl-5 th)
Ringan	< 9 (pada bayi < 6 bulan) 10-11

Sumber: WHO 1989

Manifestasi defisiensi besi

- Menurunkan sistem kekebalan tubuh
- Mengganggu sistem pencernaan
- Mengganggu fungsi otak
- Mengganggu pertumbuhan organ
- Mengganggu kerja jantung

Pencegahan defisiensi besi

- Pencegahan primer:

Primer merupakan pencegahan terjadinya kekurangan zat besi sedangkan sekunder melalui proses uji saring dan pengobatan. Pencegahan primer defisiensi zat besi pada bayi dan anak adalah *healthy feeding practice*, yang tidak lain berupa pemberian makanan sehat bagi mereka. Larangan pemberian susu sapi segar pada tahun pertama kehidupan merupakan salah satu upaya pencegahan defisiensi zat besi

- DAYA RACUN

Penyebab utama kelebihan zat besi adalah *hereditary hemochromatosis*; kelebihan transfusi jarang terjadi.



Tabel 5.10 Manifestasi klinis dari kelebihan zat besi (hemochromatosis)



Gangguan akumulasi zat besi di dalam hati

Tingkat ferritin jaringan yang berlebih

Peningkatan tingkat serum transferrin

Oksidasi kolesterol lipoprotein densitas rendah (LDL)

Komplikasi kardiovaskular



Seng

- Bentuk yang paling banyak tersedia dari seng terjadi pada daging hewan, utamanya daging merah dan unggas. daging diganti oleh makanan sereal, susu, dan produk susu sehingga anak-anak cenderung suka makanan seperti itu.

Seng mempunyai peran penting bagi ratusan enzim seperti dehidrogenase, aldolase dan peptidase, serta terlibat dalam berbagai proses metabolisme, termasuk sintesis karbohidrat, lipida, protein dan asam nukleat serta sintesis dan aktivitas insulin, ekspresi gen, sistem imun dan pertumbuhan

- **Kebutuhan seng**

Angka Kecukupan Gizi (AKG) yang dianjurkan untuk bayi 0-6 bulan adalah 2 mg/hari dan 3 mg/hari untuk usia 7-36 bulan; sedang dosis 5 mg/hari untuk anak usia 4-8 tahun dan 8 mg/hari untuk anak usia 9-13 tahun. Untuk remaja usia 14-18 tahun laki-laki adalah 11 mg/hari dan perempuan 9mg/hari.^{6,13}

Sumber makanan dan asupan

Tabel 5.11 Kandungan seng dari makanan-makanan yang dipilih

Makanan	Mg
Tiram, dari timur, ½ cup	113.0
Tiram, Pasifik, ½ cup	21.0
Biji gandum, panggang, ¼ cup	4.7
Daging giling, tanpa lemak, 3 ons	4.6
Hati, sapi, goreng, 3 ons	4.6
Kalkun, daging gelap, panggang, 3 ons	3.8
Daging enchilada, 1	2.3
Polong panggang, dengan daging babi, ½ cup	1.9
Keju, rikota, setengah skim, ½ cup	1.7
Kemiri pecan, ¼ cup	1.6
Tahin (mentega wijen), 1 T	1.6

Kacang tanah, panggang kering, ¼ cup	1.4
Kepiting, kaleng, ¼ cup	1.3
Beras liar, masak, ½ cup	1.1
Clam, kaleng, ¼ cup	1.1
Lobster, masak, ½ cup	1.1
Keju, edam, 1 ons	1.1
Susu, 2% lemak, 1 cup	1.0
Ayam, dada, panggang, 1	1.0
Walnut, Inggris, ¼ cup	0.8
Roti jahe, 1 buah	0.6
Telur, 1	0.6
Salmon, panggang, 3 ons	0.4

(Dari United States Department of Agriculture (USDA), Composition of Foods.

USDA Handbook No. 8 | Series. Washington, DC; ARS, USDA, 1976-1986).

Recommended Dietary Allowance

RDA tahun 1989 membuat 15 mg/hari sebagai asupan seng yang sesuai untuk remaja pria dan dewasa. Karena bobot tubuh remaja dan wanita dewasa yang lebih rendah, RDA-nya adalah 12 mg/hari. Persyaratan untuk pra remaja diperkirakan pada 6 mg/hari, tapi karena kehilangan dermal yang lebih besar dan banyaknya variasi, RDA telah ditentukan pada 10 mg. RDA untuk bayi adalah 5 mg/hari selama tahun pertama hidupnya

Fungsi biologi seng

- Peran seng pada sistem imun
- Pengaruh seng terhadap sel T limfosit
- Peran seng pada apoptosis
- Peran seng sebagai antioksidan

Tabel 5.12 Akibat klinis kekurangan seng pada manusia

Keterlambatan pertumbuhan

Terhambatnya kedewasaan seksual

Hypogonadism dan hypospermia

Alopecia

Terlambatnya penyembuhan luka

Luka kulit

Gangguan nafsu makan

Kekurangan imun

Gangguan perilaku

Luka mata, termasuk photophobia dan rabun senja

Gangguan perasa (hypogeusia)

- Efek toksik seng

Gejala keracunan seng akut termasuk mual, muntah, nyeri epigastrium, kram perut, diare, serta lesu dan pusing

- Penilaian seng

Kadar seng dalam plasma dan serum saat ini paling sering digunakan sebagai indikator status seng pada manusia. Namun, sebenarnya indikator tersebut nilainya sangat lemah, karena kurang dari 1% total senga tubuh beredar dalam plasma dan juga karena konsentrasi seng plasma dipengaruhi oleh beberapa kondisi seperti hipoalbuminemia, hemokonsentrasi, dan respon fase akut.

- **Daya Racun**

Suplementasi seng 50 mg/hari telah dianggap menyebabkan penurunan dalam kolesterol lipoprotein densitas tinggi (HDL) pada pria dewasa (Black dkk, 1988). Seng sulfat dengan jumlah 2 g/hari atau lebih bisa menyebabkan iritasi pencernaan dan muntah. Menghirup asap seng selama mengelas bisa meracuni, tapi bisa dicegah dengan tindakan pencegahan yang sesuai.

FLUORIDA

Fluorida adalah elemen alami yang ditemukan pada hampir semua air minum dan tanah, meskipun kandungan fluorida sangat berbeda (American Dietetic Association, 1994).

- ***Sumber makanan dan asupan***

Sumber makanan utama fluorida adalah air minum dan makanan yang diproses yang telah dipersiapkan atau disusun dengan air fluorida. Seafood juga tinggi fluorida, tapi kandungan ikan air tawar lebih rendah daripada ikan yang hidup di air asin.

- ***Referensi asupan makanan***
- untuk fluorida dikembangkan oleh Food and Nutrition Board pada tahun 1998.
- untuk pria dewasa dan wanita adalah 4 dan 3 mg/hari. Tergantung pada usia, AI mulai 2.0 hingga 3.0 mg/hari untuk anak-anak dan remaja dan dari 0.7 hingga 1.0 mg/hari untuk anak kecil antara usia 1 dan 8 tahun (lihat Tabel 5.2) (Institute of Medicine, 1998).
- Sebagai perbandingan, 8 ons gelas air berfluoridasi (1 ppm atau 1 mg/L) memberikan sekitar 0.2 mg fluorida. UL juga dikembangkan untuk fluorida

- ***Fungsi***

Fluorida dianggap penting, jika tidak penting, karena pengaruh menguntungkan pada enamel gigi, memberikan ketahanan maksimum pada karies gigi, dan pada hydroxyapatite kerangka

- ***Daya racun***

Fluorosis ringan bisa muncul pada dosis harian 0.1 mg/kg, yaitu, lebih besar daripada 2 hingga 3 ppm fluorida pada air minum . Tipe perubahan warna gigi, atau mottling ini, biasanya tidak terlihat dan tidak mempunyai pengaruh terbalik, kecuali secara kosmetik. Namun demikian, asupan yang lebih tinggi mengakibatkan flak gigi dan pengaruh gigi yang lebih serius.

TEMBAGA

Tembaga, telah dikenal selama lebih dari 100 tahun sebagai unsur pokok normal darah, yang telah dikembangkan sebagai mikro gizi penting hanya dalam beberapa tahun. Minat belakangan ini pada tembaga, bersamaan dengan beberapa elemen trace lainnya, telah meningkat karena beberapa fungsi jaringan elemen trace ini dan potensi risiko (meskipun tidak mungkin) kekurangan.

Konsentrasi tembaga paling tinggi berada di dalam hati, otak, jantung, dan ginjal. Otot mengandung konsentrasi tembaga yang rendah, tapi karena massanya yang besar, otot kerangka mengandung hampir 40% semua tembaga di dalam tubuh.

- ***Sumber makanan dan asupan***

Tembaga banyak terdapat di dalam makanan, khususnya produk hewan kecuali susu, dan sebagian besar makanan memberikan antara 0.6 dan 2 mg/hari. Makanan yang mengandung tembaga tinggi adalah kerang-kerangan (tiram), daging organ (hati, ginjal), daging otot, cokelat, kacang, biji sereal, polong kering, dan buah-buahan kering.

Tabel 5.13 Kandungan tembaga dari makanan-makanan yang dipilih

Makanan	Mg
Hati sapi, goreng, 3 ons	2.4
Jambu monyet, panggang kering, ¼ cup	0.8
Black-eyed peas, kering, masak, ½ cup	0.7
Tetes, blackstrap, 2 T	0.6
Biji bunga matahari, ¼ cup	0.6
Cokelat chip, semi manis, ¼ cup	0.5
V-8 jus, 1 cup	0.5
Tahu, lembut, ½ cup	0.5
Polong, digoreng ulang, ½ cup	0.5
Sarapan instan, fortifikasi, 1 amplop	0.5
Bubuk cokelat, 2 T	0.4
Buah prem, kering, 10	0.4
Salmon, panggang, 3 ons	0.3
Tahini (mentega wijen), 1 T	0.2
Piza, keju, 1/8 dari 15"	0.2

- ***Asupan makanan harian yang diperkirakan aman dan memadai***

Meskipun data yang memadai belum ada untuk mengembangkan RDA, pada tahun 1989, namun ESADDI 1.5 hingga 3 mg/hari untuk remaja dan orang dewasa telah dikembangkan untuk tembaga. ESADDI untuk anak-anak adalah antara 0.7 hingga 2 mg/hari; bagi bayi, ESADDI adalah 0.4 hingga 0.6 mg selama 6 bulan pertama dan 0.6 hingga 0.7 mg/hari selama enam bulan kedua

- **FUNGSI**

Tembaga adalah komponen dari beberapa enzim, dan akibat klinis kekurangan tembaga bisa dihubungkan dengan kegagalan enzim.

KEKURANGAN

Kekurangan tembaga secara historis telah dinilai menurun penurunan dalam serum tembaga dan tingkat ceruloplasmin, tapi indikator yang lebih sensitif dari status tembaga – enzim yang mengandung tembaga di dalam sel darah – sekarang telah diidentifikasi (Milne, 1998).

Kekurangan tembaga dicirikan:

- Anemia
- Neutropenia
- Gangguan kerangka (demineralisasi)
- Subperiosteal hemorrhages
- Perubahan pigmen rambut dan kulit
- Formasi elastin tidak sempurna

- Tembaga disimpan di hati sehingga apabila simpanan tembaga mulai menipis perkembangannya menjadi perlahan.
- Tingkat serum tembaga yg rendah, ceruloplasmin, *Superoxide Dismutase* (SOD) sebagai bukti pendukung kekurangan tembaga.
- Penyakit *Menkes* / sindrom rambut berhubungan dg gangguan distribusi tembaga pada organ dan di dalam sel. Pada bayi berakibat keterlambatan tumbuh, keratinisasi tidak sempurna, pigmentasi rambut, hipotermia, ggn metafisis tulang panjang, kemunduran mental progresif

- Kekurangan tembaga baru dilaporkan dg demyelinating neuropathy dg gangguan pseudo usus kronis, osteoporosis, kegagalan testicular, degenerasi retina, cardiomyopathy.
- Asupan tembaga rendah bisa juga berkontribusi pada penurunan respon imun.

- Tembaga memiliki daya racun dan mengganggu formasi sel darah merah yg menyebabkan sirosis hati.
- Secara fisiologis serum tembaga meningkat pada keadaan wanita hamil, pemakaian kontrasepsi oral, infeksi akut dan kronis, yang belum diketahui manfaatnya.

The image features a background of numerous thin, vertical, light blue lines of varying lengths and positions, creating a textured, rain-like effect. A solid teal horizontal band spans the width of the image, positioned in the lower half. The text 'ELEMEN ULTRATRACE' is centered within this band in a white, bold, sans-serif font with a thin black outline.

ELEMEN ULTRATRACE

A. YODIUM

- Mikronutrien esensial
- 20-30 mg di dalam tubuh, dg $> 75\%$ dlm kelenjar tiroid dan lainnya terdistribusi pada kel.susu laktasi, mukosa lambung, dan darah.
- Hampir tedapat di kelenar tiroid
- Komponen esensial bagi hormone tiroid, tiroksin, triodotironin
- Mengatur proses metabolisme karbohidrat, lemak, dan *growth hormone*

- Kekurangan yodium pada masa tumbuh kembang otak masa janin dan dua tahun pertama kehidupan mengakibatkan hipotioridisme dan *brain damage*.
- Klinisnya berupa retardasi mental permanen
- Selain itu defisiensi yodium mengakibatkan kretin, *stunting*, ggn penglihatan, gondok.
- Orang di pegunungan kandungan yodium di tanah, untuk mengolah tanaman, rendah.

- *Seafood* merupakan sumber yodium paling kaya.
- Yodium memasuki rantai makanan melalui penggunaan iodophors (desinfektan) pemrosesan produk susu.
- Cara paling baik untuk mendapatkan asupan yodium memadai dg garam iodisasi.
- Total Diet Study dari FDA bahwa median asupan yodium orang dewasa mulai dari 130-140 $\mu\text{g}/\text{hari}$ (wanita) dan 182-204 $\mu\text{g}/\text{hari}$ (pria), untuk remaja bahkan lebih tinggi.

- RDA untuk wanita hamil dan menyusui meningkat 25 μg dan 50 μg . RDA adalah 40 μg untuk bayi hingga usia 6 bulan, dan 50 μg untuk bayi yang lebih tua. RDA untuk anak-anak adalah antara 70 dan 120 μg , meningkat sesuai dengan umurnya (atau ukuran tubuh).

- Yodium disimpan dalam kelenjar tiroid, yang digunakan dalam sintesis triiodothyronine (T_3) dan thyroxine (T_4).
- Prevalensi gondok endemic yang tinggi pada umumnya di sekitar lereng gunung berapi, atau di daerah pegunungan.
- Bila asupan yodium kurang akan merangsang TSH untuk memacu kelenjar tiroid untuk memproduksi tiroglobulin.
- Jika lahan alam ditinjau permukaan kurang tersedia yodium, maka semua tumbuhan dan air yang berada di daerah tersebut kandungan yodiumnya akan kurang.

- Kekurangan yodium menghasilkan hormon tiroid yang sedikit, TSH akan bekerja lebih keras → tiroid bekerja lebih keras. Sebagai akibat adalah jaringan yang isinya hanya otot akan membesar (pembesaran kelenjar gondok).
- Defisiensi Yodium mempunyai konsekuensi social ekonomi.

- RDA dan juga WHO merekomendasikan kebutuhan untuk orang dewasa, laki-laki dan perempuan yang tidak hamil adalah sekitar 150 µg/hari.
- WHO menganjurkan kebutuhan yodium harian sekitar 250 mikro gram/hari untuk ibu hamil atau sekitar 10% di atas RDA.
- Sementara untuk ibu menyusui, direkomendasikan kebutuhan yodine harian adalah 250 mikro gram/hari.
- WHO merekomendasikan asupan yodium untuk bayi 90 µg/hari.
- WHO merekomendasikan asupan yodium harian sebanyak 90 µg untuk anak pra sekolah, dan 120 µg untuk anak sekolah.

- Masa neonates, keadaan yang terpenting dalam kaitannya dengan perubahan fungsi tiroid akibat defisiensi yodium semasa kehamilan adalah kejadian hipotiroidi (transien).
- Sedang pada hipotiroidi kongenital terjadi oleh karena kegagalan sintesis hormon tiroid janin secara permanen.
- Hipotiroidi dapat menimbulkan gangguan perkembangan intelektual menyebabkan terjadinya *development brain damage*

Kelompok Umur	Akibat terhadap kesehatan karena kekurangan yodium
Seluruh umur	Goiter Peningkatan kepekaan dari kelenjar tiroid untuk radiasi nuklir
Fetus	Aborsi Lahir mati Kelainan kongenital Kematian masa perinatal
Neonate	Kematian bayi Kretinisme Endemis
Child and adolescent	Penurunan fungsi mental Keterlambatan pertumbuhan
Adult	Penurunan fungsi mental Penurunan produktivitas Toxic nodular goiter, iodine-induced hypertiroidism Peningkatan kejadian hypertiroidism dari moderate-hingga kekurangan yodium berat, berkurangnya kejadian hipotiroid in mild-to-moderate iodine deficiency.

Sumber : Rostama DS. Jurnal GAKY Indonesia 2003

- Kelainan klinis:
 1. Gondok endemic
 2. Kretin endemic
 3. Kretin tipe nervosa
 4. Kretin miksedematosa
 5. Kretin tipe campuran
 6. Kretin endemic vs kretin sporadic
 7. Hypotiroid kongenital



Grup dan Umur	Populasi IOM		Grup Populasi dan WHO	
	EAR	AI or RDA	Umur	RNI
Bayi 0-12 bulan	110	130	Bayi 0-5 thn	90
Anak 1-8 thn	65	90	Anak 6-12 thn	120
Anak 9-13 thn	73	120		
Dewasa > 14 thn	95	150	Dewasa > 12 thn	150
Ibu hamil	160	220	Ibu hamil	250
Ibu menyusui	200	290	Ibu menyusui	250

Sumber : Zimmermman. Endocrine Reviews 2009

- Penanggulangan dan pencegahan defisiensi yodium dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya: pemberian suntikan yodium, pemberian kapsul yodium dan fortifikasi yodium pada beberapa makanan diantaranya garam, minyak, gula, dll.

Label. Kriteria epidemiologis WHO untuk assessment nutrisi yodium pada populasi yang berdasarkan median atau rentang UI

UI (µg/liter)	Intake yodium	Nutrisi yodium
Anak usia sekolah		
< 20	Tidak cukup	Defisiensi yodium berat
20 – 49	Tidak cukup	Defisiensi yodium sedang
50 – 99	Tidak cukup	Defisiensi yodium ringan
100 – 199	Cukup	Optimum
200 – 299	Lebih dari cukup	Resiko hipertiroid karena yodium pada usia yang rentan
> 300	Berlebihan	Resiko hipertiroid karena kerusakan penerimaan tubuh terhalang yodium (autoimmune tiroid disease)
Ibu hamil		
< 150	Tidak cukup	
150 – 249	Cukup	
250 – 249	Lebih dari cukup	
> 500	Berlebihan	
Ibu menyusui		
< 100	Tidak cukup	
> 100	Cukup	
Anak dengan usia		

Sumber : Zimmermann. Endocrine Reviews 2009

B. SELENIUM

- Asupan makanan kira-kira 40 μg selenium per hari dianggap penting untuk mempertahankan *glutathione peroksidase (GSH-Px)*.
- Konsentrasi selenium di dalam makanan tergantung pada kandungan selenium tanah dan air di mana makanan tumbuh.
- Sumber makanan utama dari selenium adalah kacang Brazil, seafood, ginjal, hati, daging, dan unggas; buah dan sayuran rendah dalam kandungan selenium.
- Sumber makanan utama selenium yang diidentifikasi oleh Total Diet Study FDA adalah makanan dari daging hewan

- Penyerapan selenium, yang terjadi pada bagian atas usus kecil lebih efisien di bawah kondisi kekurangan. Peningkatan asupan seringkali mengakibatkan ekskresi selenium melalui urine.
- Pengaruh antioksidan selenium dan vitamin E bisa mendorong satu sama lain dengan memenuhi tindakan protektif mereka melawan kerusakan oksidatif.

- Kekurangan selenium seharusnya menjadi masalah pada pasien yang menerima TPN dalam jangka panjang atau nutrisi enteral karena persiapan solusi ini sekarang meliputi suplemen elemen trace.
- Kekurangan asupan selenium juga mengakibatkan karsinogenesis.

C. MANGAN

- Sumber yang paling kaya adalah padi-padian utuh, polong-polongan, kacang, dan teh. Buah dan sayuran adalah sumber menengah. Jumlah yang relatif tinggi ada pada kopi instan dan teh.
- Gejala kekurangan adalah turunnya bobot tubuh; infeksi kulit sementara; adakalanya, mual dan muntah; perubahan pada warna rambut, dan pertumbuhan rambut dan jenggot yang lambat.

- 10 hingga 20 mg mangan yang terkandung di dalam tubuh manusia dewasa sebagian besar cenderung berpusat dalam jaringan yang kaya mitokondria.
- Mangan adalah komponen dari beberapa enzim, termasuk glutamin synthetase, pyruvate carboxylase, dan mitochondrial superoxide dismutase.
- Kemandulan yang terjadi pada kedua jenis kelamin; gangguan gesekan kerangka dan ataxia mencirikan keturunan dari ibu yang kekurangan mangan.
- Kelebihan, yang berakumulasi di dalam liver dan CNS, menghasilkan gejala seperti Parkinson

D. KHROM

- Ragi Brewer, tiram, hati, dan kentang mempunyai konsentrasi khrom tinggi; seafood, padi-padian penuh, keju, ayam, daging, dan kulit padi mempunyai kandungan khrom menengah.
- Asupan khrom biasa berada di dalam rentang antara 25 dan 35 μg /hari untuk wanita dan pria.
- ESADDI untuk khrom adalah 50 hingga 200 μg /hari untuk anak usia 7 tahun dan lebih. Tergantung usia anak, ESADDI 10 hingga 120 μg /hari telah dikembangkan untuk anak-anak dan bayi

- Khrom memberikan potensi tindakan insulin dan, dengan begitu, mempengaruhi karbohidrat, lipid, dan metabolisme protein.
- Khrom masih mempunyai pengaruh yang menguntungkan pada tingkat serum trigliserida pada pasien yang mengalami diabetes melitus tanpa tergantung dengan insulin.
- Kekurangan khrom mengakibatkan gangguan ketahanan insulin dan lipid, yang bisa diperbaiki dengan suplementasi khrom.

E. MOLIBDENUM

- Molibdenum banyak terdistribusi pada makanan yang banyak dikonsumsi, seperti polong-polongan, sereal padi-padian utuh, susu dan produk susu, dan sayuran daun berwarna hijau gelap.
- Yang diperkirakan, seperti ditentukan oleh Total Diet Study FDA, adalah mulai 50 μg /hari pada bayi hingga 80 dan 126 μg /hari untuk anak perempuan dan laki-laki yang berusia 14 hingga 16 tahun.

- Molibdenum, yang ditemukan dengan jumlah kecil di dalam tubuh, sudah siap diserap dari perut dan usus kecil.
- Kekurangan molibdenum belum berkembang pada manusia kecuali untuk pasien yang diberi pengobatan TPN. Gejala kekurangan molibdenum meliputi perubahan mental dan gangguan sulfur dan metabolisme purine.
- Kelebihan asupan molibdenum 10 hingga 15 mg/hari dihubungkan dengan sindrom seperti encok

F. BORON

- Makanan yang menjadi sumber boron yang baik meliputi makanan dari tanaman, khususnya buah yang tidak masam, sayuran daun, kacang-kacangan, dan polong-polongan. Minuman anggur, sari buah apel, dan bir adalah sumber-sumber lain yang baik.
- Dengan kekurangan boron, komposisi dan fungsi otak berubah, dan komposisi, struktur, dan kekuatan tulang menurun.
- Kekurangan boron belum dilaporkan pada manusia.

G. KOBALT

- Plasma darah mengandung kira-kira 1 μg kobalt per 100 ml.
- Peranan penting sebagai komponen *vitamin B₁₂* (*kobalamin*).
- Penyerapan kobalt meningkat pada pasien yang kekurangan asupan zat besi, portal cirrhosis dengan kelebihan zat besi, dan idiopathic hemochromatosis.
- Kira-kira 2 hingga 3 μg vitamin B₁₂ diperlukan setiap harinya.

H. MOLYBDENIUM. MO

- Unsur Mo diperlukan bagi fungsi berbagai enzim, baik di dalam jaringan tumbuhan maupun hewan serta mikroorganisma.
- Bahan makanan sumber unsur Molybdenium ialah kacang-kacangan, sereal, sayur daun berwarna hijau dan organ dalam binatang ternak.

Elemen trace lainnya

- Beberapa elemen trace lainnya dari keutamaan yang tidak pasti dalam kelas ini, termasuk silikon, vanadium, aluminium, arsenik, timah, litium, dan nikel.

Mineral pada nutrisi manusia - Makronutrien
esensial pada tingkat harian 100 mg atau
lebih

Mineral	Lokasi di dalam tubuh dan fungsi biologi yang dipilih	RDA, AI, atau ESADDI untuk orang dewasa	Sumber-sumber makanan	Kemungkinan kekurangan
Kalsium	<p>99% di dalam tulang dan gigi</p> <p>Kalsium ionik di dalam fluida tubuh penting untuk transpor zat besi pada membran sel.</p> <p>Kalsium bisa juga</p>	<p>AI 1000 mg untuk wanita dan pria yang berusia 19-50 tahun</p> <p>1200 mg</p>	<p>Susu dan produk susu, sarden, clam, tiram, kale, lobak hijau,</p>	<p>Survei makanan menunjukkan bahwa beberapa diet tidak mencapai AI untuk kalsium.</p> <p>Karena tulang bertindak sebagai mekanisme homeostasis untuk mempertahankan tingkat kalsium di dalam darah, beberapa fungsi penting dipertahankan, tanpa menghiraukan asupan</p>

Fosfor	<p>Sekitar 80% porsi anorganik tulang dan gigi.</p> <p>Fosfor adalah komponen setiap sel, dan juga metabolit penting, termasuk DNA, RNA, ATP, dan fosfolipid.</p> <p>Fosfor juga penting untuk pengaturan pH.</p>	RDA 700 mg	Keju, kuning telur, susu, daging, ikan, unggas, sereal padi utuh, polong, kacang	Ketidakcukupan makanan tidak mungkin terjadi jika asupan protein dan kalsium memadai.
--------	---	------------	--	---

<p>Magnesium</p>	<p>Sekitar 50% berada di tulang; 50% lainnya hampir seluruhnya berada di dalam sel tubuh, dengan hanya 1% berada di dalam fluida ekstrasel.</p> <p>Fungsi Mg ionik sebagai aktivator beberapa enzim dan juga mempengaruhi hampir semua proses tubuh.</p>	<p>RDA 400-420 mg untuk pria, 310-320 mg untuk wanita yang berusia 14-70 tahun</p>	<p>Sereal padi utuh, tahu, kacang, daging, susu, sayuran hijau, polong-polongan, cokelat</p>
<p>Sodium</p>	<p>30%-45% di dalam tulang; kation utama fluida ekstrasel; hanya sedikit yang ditemukan di dalam sel.</p> <p>Mengatur osmolaritas fluida tubuh, pH, dan volume fluida tubuh.</p>	<p>500-3000 mg</p>	<p>Garam meja biasa, seafood, makanan hewani, susu, telur, banyak di sebagian besar makanan kecuali</p>

<p>Klorida</p>	<p>Sebagian besar ada di dalam fluida ekstrasel; < 15% di dalam sel.</p> <p>Anion utama fluida ekstrasel, yang berfungsi dalam kombinasinya dengan sodium.</p> <p>Bertindak sebagai penahan dan aktivator enzim dan merupakan komponen asam</p>	<p>750-3000 mg</p>	<p>Garam meja biasa, seafood, susu, daging, telur</p>	<p>Pada sebagian besar kasus, asupan makanan mempunyai sedikit manfaat kecuali dalam kondisi muntah, diare, atau banyak berkeringat, di mana kondisi kekurangan mungkin terjadi.</p>
----------------	--	--------------------	---	--

<p>Potasium</p>	<p>Kation utama fluida intrasel, dengan hanya sedikit di dalam fluida ekstrasel.</p> <p>Berfungsi untuk mengatur pH dan osmolaritas, dan di dalam transfer membran sel.</p> <p>Ion penting untuk karbohidrat</p>	<p>2000 mg</p>	<p>Buah, susu, daging, sereal, sayuran, polong-polongan</p>	<p>Ketidakcukupan makanan tidak mungkin, tapi kekurangan yang dikondisikan bisa ditemukan pada individu yang mengalami penyakit ginjal, diabetic acidosis, terlalu sering muntah, diare, atau berkeringat.</p> <p>Kelebihan potasium mungkin menjadi masalah pada gagal ginjal dan acidosis parah.</p>
-----------------	--	----------------	---	--

<p>Sulfur</p>	<p>Kelompok sulfur makanan ada di dalam asam amino yang mengandung sulfur yang diperlukan untuk sintesis metabolit penting. Fungsinya di dalam reaksi oksidasi-reduksi. Sulfur juga berfungsi sebagai bagian</p>	<p>Kebutuhan sulfur dipenuhi oleh asam amino yang mengandung sulfur esensial.</p>	<p>Protein makanan seperti daging, ikan, unggas, telur, susu, keju, polong-polongan, kacang</p>	<p>Asupan makanan dari asam amino yang mengandung sulfur, kecukupan dihubungkan dengan asupan protein.</p>
---------------	--	---	---	--

**Makronutrien esensial pada tingkat harian
dari beberapa miligram**

<p>Zat besi</p>	<p>Sekitar 70% di dalam hemoglobin, sekitar 25% disimpan di dalam hati, limpa, dan tulang.</p> <p>Zat besi adalah komponen hemoglobin dan mioglobin, dan penting untuk transfer oksigen.</p> <p>Ini juga ada di</p>	<p>10 mg untuk pria, 15 mg untuk wanita</p>	<p>Hati, daging, kuning telur, polong-polongan, padi-padian yang diperkaya, sayuran hijau tua, tetes</p>	<p>Anemia karena kekurangan zat besi terjadi pada wanita di usia produktif dan bayi dan anak-anak pra sekolah.</p> <p>Kekurangan mungkin dihubungkan pada beberapa kasus, dengan kehilangan darah yang tidak biasa, parasit atau kesalahan penyerapan.</p> <p>Anemia adalah pengaruh terakhir dari kekurangan.</p>
-----------------	---	---	--	--

Seng	<p>Ada pada sebagian besar jaringan, dengan jumlah yang paling besar terjadi di dalam hati, otot, dan tulang.</p> <p>Unsur pokok dari beberapa enzim dan unsur pokok insulin, seng memang penting dalam metabolisme asam nukleat.</p>	15 mg untuk pria, 12 mg untuk wanita	Tiram, kerang, herring, hati, polong-polongan, susu, kulit gandum	<p>Tingkat ketidakcukupan seng makanan di negara ini tidak diketahui.</p> <p>Kondisi kekurangan bisa dilihat pada sakit sistemik anak dan pada pasien yang kekurangan nutrisi atau yang telah mengalami tekanan parah, seperti pembedahan.</p>
Tembaga	<p>Ditemukan pada semua jaringan tubuh dengan kelompok yang ada di dalam hati, otak, jantung, dan ginjal.</p> <p>Unsur pokok enzim dan unsur pokok ceruloplasmin dan erythrocytin di dalam darah.</p>	1.5-3 mg	Hati, kerang, padi utuh, ceri, polong-polongan, ginjal, unggas, tiram, cokelat, kacang	<p>Tidak ada bukti bahwa kekurangan tembaga terjadi pada manusia.</p> <p>Penyakit Menkes adalah gangguan genetik karena kekurangan tembaga.</p>

<p>Yodium</p>	<p>Unsur pokok T_4 dan senyawa yang berhubungan yang disintesiskan oleh kelenjar tiroid.</p> <p>Fungsi T_4 di dalam kontrol reaksi melibatkan energi sel.</p>	<p>150 μg</p>	<p>Garam meja iodisasi, seafood, air dan sayur di wilayah non-goitrous.</p>	<p>Iodisasi garam meja direkomendasikan khususnya di area-area yang mempunyai yodium rendah pada makanan.</p>
<p>Mangan</p>	<p>Konsentrasi yang paling tinggi berada di dalam tulang, juga mempunyai konsentrasi yang relatif tinggi di dalam pituitari, hati, pankreas, dan</p>	<p>2.5-5.0 μg</p>	<p>Buncis hijau, bluebery, padi utuh, kacang tanah, polong-polongan, buah, teh</p>	<p>Kekurangan tidak mungkin terjadi pada manusia.</p>

<p>Fluorida</p>	<p>Ada di dalam tulang dan gigi. Pada jumlah optimal di dalam air dan makanan, fluorida menurunkan karies gigi dan bisa meminimalkan kehilangan tulang.</p>	<p>Al 4 mg untuk pria, 3 mg untuk wanita</p>	<p>Air minum (1 ppm), teh, kopi, beras, kedelai, bayam, gelatin, bawang merah, selada.</p>	<p>Di area di mana kandungan fluorida air rendah, fluoridasi air (1 ppm) telah menguntungkan dalam menurunkan kejadian karies gigi.</p>
<p>Molibdenum</p>	<p>Unsur pokok enzim penting (xanthine oxidase) dan flavoprotein.</p>	<p>75-250 µg</p>	<p>Polong-polongan, padi sereal, sayuran hijau</p>	<p>Tidak ada informasi.</p>

Kobalt	<p>Unsur pokok cyanocobalamin (vitamin B₁₂), terjadi terikat pada protein di dalam makanan yang berasal dari hewan.</p> <p>Penting untuk fungsi normal semua sel, utamanya sel sumsum tulang dan sistem syaraf dan pencernaan.</p>	2.4 µg vitamin B ₁₂	Hati, ginjal, tiram, clam, unggas, susu	<p>Ketidakcukupan makanan utama jarang kecuali ketika tidak ada produk hewan yang dikonsumsi.</p> <p>Tingkat kekurangan mungkin ditemukan ketika tidak ada faktor intrinsik lambung, gaastrektomi, atau sindrom kesalahan penyerapan.</p>
--------	---	--------------------------------	---	---

Selenium	Terlibat dalam metabolisme lemak, vitamin E, dan fungsi-fungsi antioksidan.	70 µg pada pria, 55 µg pada wanita	Padi-padian, bawang merah, daging, susu, kandungan sayuran berbeda menurut kandungan selenium tanah.	Penyakit Keshan disebabkan karena kekurangan selenium. Kekurangan terjadi pada pasien yang menerima TPN jangka panjang tanpa suplementasi selenium.
Khrom	Dihubungkan dengan metabolisme glukosa.	50-200 µg	Minyak jagung, clam, sereal padi utuh, ragi	Kekurangan ditemukan pada kesalahan penyerapan yang parah dan bisa menjadi faktor diabetes pada orang tua dan pada penyakit kardiovaskular.