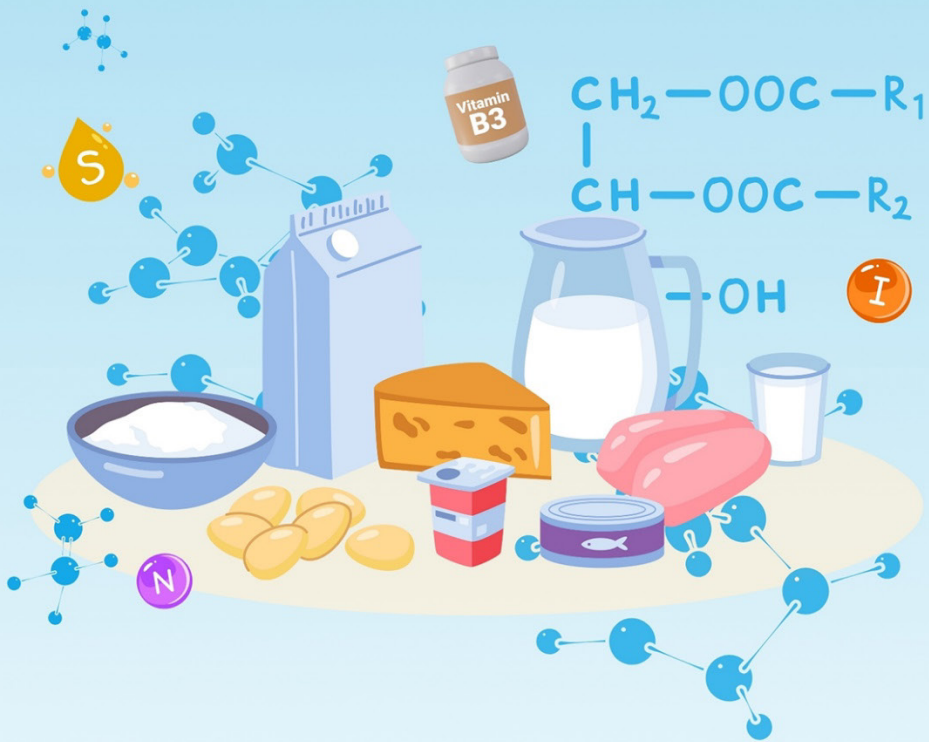
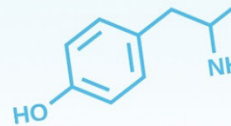
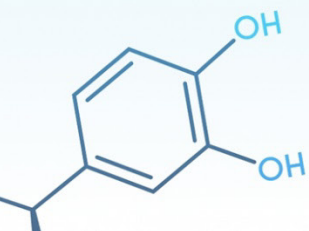


METABOLISME GIZI MIKRO

Editor: Hairil Akbar



Nur Chabibah | Nyoman Sudarma | Tika Dwita Adfar
I Komang Agusjaya Mataram | Asep lin Nur Indra
Dwi Lestari | Fitria | Suci Rizki Nurul Aeni | Besse Dahlia
Mira Mutiyani | Gurid Pramintarto Eko Mulyo
Indria Pijaryani | Risya Ahriyasna | Nurfaidah | Nur Alam
Hendra Agung Herlambang | Ni Putu Agustini | Novi Puspita Sari



BUNGA RAMPAI

METABOLISME GIZI MIKRO

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

METABOLISME GIZI MIKRO

Nur Chabibah
Nyoman Sudarma
Tika Dwita Adfar
I Komang Agusjaya Mataram
Asep Iin Nur Indra
Dwi Lestari | Fitria
Suci Rizki Nurul Aeni
Besse Dahlia | Mira Mutiyani
Gurid Pramintarto Eko Mulyo
Indria Pijaryani | Risya Ahriyasna
Nurfaidah | Nur Alam
Hendra Agung Herlambang
Ni Putu Agustini | Novi Puspita Sari

Penerbit



CV. MEDIA SAINS INDONESIA
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

Anggota IKAPI
No. 370/JBA/2020

METABOLISME GIZI MIKRO

Nur Chabibah
Nyoman Sudarma
Tika Dwita Adfar
I Komang Agusjaya Mataram
Asep Iin Nur Indra
Dwi Lestari | Fitria
Suci Rizki Nurul Aeni
Besse Dahlia | Mira Mutiyani
Gurid Pramintarto Eko Mulyo
Indria Pijaryani | Risya Ahriyasna
Nurfaidah | Nur Alam
Hendra Agung Herlambang
Ni Putu Agustini | Novi Puspita Sari

Editor:
Hairil Akbar

Tata Letak:
Anjar Rahman

Desain Cover:
Nathanael

Ukuran:
A5 Unesco: 15,5 x 23 cm

Halaman:
viii, 304

ISBN:
978-623-195-726-9

Terbit Pada:
Desember 2023

Hak Cipta 2023 @ Media Sains Indonesia dan Penulis

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit atau Penulis.

PENERBIT MEDIA SAINS INDONESIA
(CV. MEDIA SAINS INDONESIA)
Melong Asih Regency B40 - Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
www.medsan.co.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga buku kolaborasi dalam bentuk buku dapat dipublikasikan dan dapat sampai di hadapan pembaca. Buku ini disusun oleh sejumlah dosen dan praktisi sesuai dengan kepakarannya masing-masing. Buku ini diharapkan dapat hadir dan memberi kontribusi positif dalam ilmu pengetahuan khususnya terkait dengan “Metabolisme Gizi Mikro”, buku ini memberikan nuansa berbeda yang saling menyempurnakan dari setiap pembahasannya, bukan hanya dari segi konsep yang tertuang dengan detail, melainkan contoh yang sesuai dan mudah dipahami terkait Metabolisme Gizi Mikro.

Sistematika buku ini dengan judul “Metabolisme Gizi Mikro”, mengacu pada konsep dan pembahasan hal yang terkait. Buku ini terdiri atas 18 bab yang dijelaskan secara rinci dalam pembahasan antara lain mengenai Konsep Dasar Metabolisme Zat Gizi Mikro; Metabolisme Zat Besi; Metabolisme Zinc; Metabolisme Iodium; Metabolisme Kromium; Metabolisme Selenium; Metabolisme Kalsium; Metabolisme Fosfor; Metabolisme Magnesium; Metabolisme Natrium; Metabolisme Kalium; Metabolisme Chlor; Metabolisme Vitamin A; Metabolisme Vitamin B; Metabolisme Vitamin C; Metabolisme Vitamin D; Metabolisme Vitamin E; serta Metabolisme Vitamin K.

Buku ini memberikan nuansa yang berbeda dengan buku lainnya, karena membahas berbagai Metabolisme Gizi Mikro sesuai dengan update keilmuan. Akhirnya kami mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah mendukung dalam proses penyusunan dan penerbitan buku ini, secara khusus kepada Penerbit Media Sains Indonesia sebagai inisiator buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
1 KONSEP DASAR METABOLISME	
ZAT GIZI MIKRO	1
Zat Gizi Mikro	1
Mineral Makro	7
Vitamin.....	10
2 METABOLISME ZAT BESI.....	17
Zat Besi Dalam Tubuh.....	17
Metabolisme Zat Besi.....	18
Suplai Besi Seluler dan Penyimpanan.....	20
Peranan Reseptor Tranferin dalam Melepaskan Besi dari Transferin di dalam Endosome.....	21
Mekanisme Kembalinya Komplek Reseptor Transferin-Transferin ke Permukaan Sel.....	22
Pengaturan, Penyimpanan dan Ambilan Besi Seluler.....	22
Siklus Besi Dalam Tubuh	23
Absorpsi Besi.....	24
Gangguan Metabolisme Besi	26
3 METABOLISME ZINK.....	31
Definisi	31
Peranan Zink dalam Tubuh	31
Sumber Zink.....	34
Angka Kecukupan Gizi Zink.....	34
Metabolisme Zink	35

	Faktor-Faktor yang Mengatur Absorpsi Zink.....	36
	Ekskresi Zink.....	37
	Interaksi Zink	37
	Gangguan Metabolisme Zink.....	39
4	METABOLISME IODIUM	47
	Definisi	47
	Penyerapan, Penyimpanan, dan Ekskresi Iodium.....	47
	Sintesis Hormon Tiroid	49
	Hormon Tiroid	51
	Kebutuhan.....	52
	Sumber Iodium.....	53
	Defisiensi	53
	Tanda-Tanda Klinis Pembesaran Kelenjar Gondok	54
	Pencegahan dan Pananggulangan.....	56
5	METABOLISME KROMIUM	61
	Sumber Paparan Kromium	61
	Kromium Trivalen dan Heksavalen	62
	Kromium dan Regulasi Toleransi Glukosa	63
	Kromium dan Metabolisme Lipida.....	66
	Kromium dan Regulasi Stress.....	67
6	METABOLISME SELENIUM	75
	Pendahuluan	75
	Metabolisme Selenium	76
	Sumber Makanan Selenium.....	78
	Kecukupan Selenium yang Dianjurkan.....	80

	Dampak Defisiensi Selenium	81
	Peran Selenium Bagi Kesehatan.....	82
	Batas Ambang Selenium	84
7	METABOLISME KALSIUM.....	93
	Pengantar Kalsium	93
	Sumber Kalsium	93
	Fungsi Kalsium.....	94
	Absorpsi Kalsium.....	96
	Transport Kalsium	101
	Ekskresi Kalsium.....	101
	Angka Kecukupan Gizi Kalsium	102
	Dampak Kekurangan dan Kelebihan Kalsium.....	102
	Status Kalsium	104
8	METABOLISME FOSFOR	109
	Pendahuluan	109
	Sumber Fosfor	110
	Metabolisme Fosfor	110
	Siklus Fosfor Anorganik.....	114
	Siklus Fosfor Organik	116
	Metabolisme Fosfor di dalam Tubuh	117
	Metabolisme fosfor didalam tulang.....	119
	Peran dan Manfaat Fosfor.....	120
	Kelebihan dan Kekurangan Fosfor	121
9	METABOLISME MAGNESIUM.....	125
	Magnesium	125
	Struktur Kimia Magnesium.....	125
	Sumber Magnesium.....	126

	Pencernaan, Penyerapan, dan Transportasi	128
	Pencernaan dan Penyerapan.....	128
	Transportasi	131
	Fungsi dan Magnesium Aksi.....	133
	Interaksi dengan Zat Gizi Lain	136
	Pengeluaran.....	136
	Tunjangan Diet yang Direkomendasikan	138
10	METABOLISME NATRIUM	141
	Pendahuluan	141
	Fungsi Natrium.....	143
	Absorpsi dan Ekskresi Natrium	144
	Distribusi Natrium dan Zat-Zat Lain.....	149
	Keseimbangan Natrium Tubuh	150
	Defisiensi	154
	Asupan dan Sumber Natrium	155
	<i>Dietary Approach to Stop Hypertension</i> (DASH) Diet.....	157
	Kesimpulan.....	158
11	METABOLISME KALIUM.....	163
	Pendahuluan	163
	Fungsi Kalium	164
	Homeostasis Kalium	165
	Metabolisme Kalium	167
	Saluran Kalium.....	168
	Interaksi Kalium dan Natrium	169
	Interaksi Antara Mg dan K.....	169
	Kalium dan Penyakit Kardiovaskular	170

	Regulator Metabolisme Kalium	171
	Katekolamin.....	171
	Insulin	171
	Vasodilatasi dan Vasokonstriksi.....	171
	Kekurangan Kalium (Hipokalemia).....	172
	Hiperkalemia	173
	Metabolisme Kalium pada Penyakit Ginjal Kronis.....	175
	Kandungan Kalium Pada Makanan/Pangan	176
12	METABOLISME CHLOR	181
	Definisi Chlor.....	181
	Fisiologi Chlor	183
	Fungsi Chlor	184
	Faktor yang Mempengaruhi Chlor dalam Tubuh	186
	Metabolisme Chlor	187
	Gangguan Keseimbangan Chlor	196
	Sumber Chlor	197
	Kecukupan Mineral Chlor	198
13	METABOLISME VITAMIN A.....	205
	Absorpsi, Transport, Penyimpanan, dan Metabolisme Vitamin A	205
	Fungsi Vitamin A Bagi Tubuh.....	207
	Sumber Vitamin A	209
	Penyakit Akibat Kekurangan Vitamin A	212
	Kelebihan Vitamin A	216
14	METABOLISME VITAMIN B.....	221
	Vitamin B	221

	Jenis-Jenis Vitamin B.....	222
	Transport dan Metabolisme Vitamin B dalam Tubuh	232
15	METABOLISME VITAMIN C.....	237
	Pendahuluan	237
	Sifat Vitamin C	238
	Manfaat Vitamin C.....	239
	Kebutuhan Vitamin C	240
	Defisiensi Vitamin C.....	241
	Sumber Vitamin C	242
	Metabolisme Vitamin C	245
16	METABOLISME VITAMIN D	253
	Pendahuluan	253
	Sintesis Vitamin D dan Faktor yang Berpengaruh	254
	Biosintesis 25-OH-D3 (25-Hidroksilase) di Hati ..	258
	Pembentukan Vitamin D Aktif di Ginjal	260
	Epimerisasi Vitamin D	261
	Transpor Vitamin D	262
	Regulasi Metabolisme Vitamin D.....	263
	Regulasi 25-Hidroksilase	263
	Regulasi Hidroksilasi 1-Alfa pada Ginjal	263
	Regulasi 24-Alpha Hidroksilase	264
	Regulasi Sintesis Vitamin D Aktif di Jaringan Ekstra Ginjal.....	265
17	METABOLISME VITAMIN E.....	271
	Definisi	271
	Sifat Vitamin E	272

	Metabolisme Vitamin E	272
	Penyerapan Vitamin E di Usus.....	272
	Penyerapan Vitamin E di Duodenum	274
	Transportasi Vaskuler.....	276
	Dosis dan Pengaruh.....	279
	Sumber Vitamin E	280
	Manfaat Vitamin E.....	280
	Akibat Kekurangan dan Kelebihan Vitamin E	281
18	METABOLISME VITAMIN K.....	287
	Karakteristik Vitamin K	287
	Peran dan Fungsi Vitamin K	289
	Sumber Vitamin K	291
	Defisiensi Vitamin K	293
	Metabolisme Vitamin K.....	294
	Interaksi Vitamin K.....	300

METABOLISME KALSIMUM

Fitria, SKM., MKM

Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Pengantar Kalsium

Kalsium termasuk makromineral yaitu mineral yang dibutuhkan oleh tubuh manusia dalam jumlah besar (>100 mg/hari). Kalsium merupakan kation divalent terbanyak di tubuh, mewakili sekitar 1,5% - 2% dari total berat badan. Kalsium merupakan mineral kelima terbanyak di dalam tubuh. Sekitar 99% kalsium tubuh terdapat di dalam tulang dan gigi. Satu persen kalsium didistribusikan dalam cairan intra dan ekstraseluler. Kalsium banyak terdapat pada jaringan keras seperti tulang dan gigi terutama dalam bentuk hidroksiapatit [$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$]. Kandungan kalsium pada jaringan lunak seperti hati, otot, atau otak sebanyak <35 $\mu\text{g}/\text{gram}$ sedangkan pada tulang sebanyak 150 mg/gram (Almatsier, 2016; Berdanier, 1998; Darawati, 2016; Erdman et al., 2012; Grober, 2012; Gropper et al., 2009; Linder, 1992).

Sumber Kalsium

Sumber kalsium terbaik adalah susu dan produk olahannya seperti keju dan yogurt, es krim, *buttermilk*, susu fermentasi dan non fermentasi lainnya dapat menyumbang 72% asupan harian kalsium. Makanan sumber tinggi kalsium lainnya adalah ikan yang dimakan dengan tulang seperti ikan teri, sarden, dan makanan laut pilihan seperti salmon, kerang, dan tiram. Sayuran yang mengandung tinggi kalsium antara lain lobak, sawi hijau,

brokoli, kembang kol, dan kangkung. Kacang-kacangan dan produk olahannya seperti tahu dan tempe serta produk gandum utuh juga mengandung tinggi kalsium. Saat ini, telah terdapat berbagai macam bentuk suplemen kalsium seperti kalsium karbonat, kalsium asetat, kalsium laktat, kalsium sitrat, kalsium glukonat, kalsium sitrat malat, dan kalsium monofosfat (Berdanier, 1998; Gropper et al., 2009). Kandungan kalsium beberapa bahan makanan yang disajikan per 100 gram bagian yang dapat dimakan (BDD) dapat dilihat pada Tabel 7.1 berikut ini.

Tabel 7.1 Kandungan Kalsium
Berbagai Bahan Makanan (mg/100 gr)

Bahan Makanan	mg	Bahan Makanan	mg
Kepala susu - krim segar	97	Telur burung puyuh segar	65
Susu ibu-ASI	34	Wijen, mentah	1125
Susu kerbau, segar	216	Kacang mete goreng	502
Susu sapi, segar	143	Kembang tahu	378
Es krim	123	Saridele bubuk	450
Keju	777	Bayam merah, segar	520
Susu bubuk	904	Bayam segar	166
Susu skim bubuk	130	Daun pepaya segar	353
Telur ayam ras segar	86	Ikan teri	972
Telur ayam kampung segar	68	Udang segar	136

Sumber: (Kemenkes, 2018)

Fungsi Kalsium

Berikut ini adalah beberapa fungsi kalsium (Erdman et al., 2012; Grober, 2012; Muchtadi, 2014):

1. Pembentukan tulang

Matriks tulang dibentuk dari kolagen dan karbohidrat. Kalsium ditempelkan pada matriks dalam bentuk Kristal kalsium fosfat dan kalsium hidroksida melalui proses yang dinamakan dengan kalsifikasi atau osifikasi.

2. Pembentukan gigi

Terdapat dua lapisan pada gigi yaitu:

- a. lapisan enamel yaitu lapisan sangat keras dengan kalsium fosfat sebagai mineral utamanya dan memperoleh suplai kalsium dari saliva.
 - b. lapisan dentin yaitu lapisan yang tidak sekeras email dan memperoleh suplai kalsium dari darah.
3. Kalsium dapat meningkatkan kekuatan tulang, menurunkan tingkat pergantian tulang melalui pengurangan serum PTH (Paratiroid Hormon).
 4. Kontraksi otot: penggabungan kontraksi – eksitasi muskular (→ potensial aksi menstimulasi pelepasan Ca^{2+} dari retikulum sarkoplasma, dan pelepasan Ca^{2+} mengaktifasikan kontraksi dengan cara berikatan dengan troponin).
 5. Sistem saraf: transmisi impuls saraf (→ influks ekstraseluler Ca selama potensial aksi memicu pelepasan neurotransmitter dari vesikel sinaptik).
 6. Sistem kardiovaskular: penggabungan kontraksi – eksitasi dalam otot jantung, konduksi impuls listrik melalui nodus AV.
 7. Pembekuan darah: kalsium termasuk salah satu faktor (faktor IV) proses pembekuan darah yang bergantung pada vitamin K pada rangkaian koagulasi.
 8. Sekresi hormon seperti sekresi insulin dari sel beta pankreas.
 9. Kofaktor untuk reaksi enzimatik (kompleks kalmodulin-kalsium berikatan dengan kinase): sintesis glikogen, glikolisis.
 10. Aktivitas fosfolipase A2 (metabolisme eikosanoid)
 11. Katalis untuk reaksi biologis.

Kalsium berperan dalam reaksi biologis antara lain proses penyerapan vitamin B12 dalam usus, sekresi insulin oleh pankreas, aktivitas lipase pankreas serta pembentukan dan pemecahan asetilkolin.

Absorpsi Kalsium

Tidak semua kalsium yang dikonsumsi terserap. Hal ini dapat dipengaruhi oleh sumber makanan, campuran makanan yang dikonsumsi dan status fisiologis individu. Penyerapan kalsium dari makanan sekitar 20% - 50% sedangkan penyerapan kalsium dari produk olahan susu sekitar 20% - 30% (Berdanier, 1998; Gropper et al., 2009).

Berikut ini adalah faktor yang memengaruhi penyerapan kalsium yaitu:

1. Faktor yang meningkatkan penyerapan kalsium (Berdanier, 1998; Erdman et al., 2012)
 - a. Laktosa
Penyerapan kalsium pada susu sangat baik karena susu mengandung laktosa yang dapat meningkatkan penyerapan kalsium (Berdanier, 1998; Gropper et al., 2009).
 - b. Protein
Susu mengandung protein seperti kasein dan laktalbumin yang dapat mengikat ion kalsium sehingga meningkatkan penyerapan kalsium (Berdanier, 1998; Gropper et al., 2009).
 - c. Vitamin D menstimulasi calbindin (transporter Ca), membantu penyerapan kalsium (Gropper et al., 2009).
 - d. Lemak
Lemak meningkatkan waktu transit makanan melalui saluran cerna sehingga memberi waktu lebih banyak untuk menyerap kalsium (Almatsier, 2016).
 - e. Inulin, gula alkohol (xylitol) dan frukto oligosakarida dapat meningkatkan penyerapan kalsium (Erdman et al., 2012; Gropper et al., 2009).
 - f. Makanan dengan kandungan vitamin C tinggi dapat meningkatkan ketersediaan kalsium (Berdanier, 1998).

g. Peningkatan kebutuhan kalsium

Kebutuhan kalsium meningkat pada masa pertumbuhan, kehamilan, dan menyusui. Anak-anak yang sedang dalam masa pertumbuhan dapat menyerap 75% kalsium makanan dibandingkan orang dewasa hanya sekitar 30% penyerapannya. Kebutuhan kalsium juga meningkat ketika defisiensi kalsium dan tingkat aktivitas fisik yang meningkatkan densitas tulang (Gropper et al., 2009).

h. Keadaan asam

Penyerapan kalsium paling baik dalam keadaan asam. Asam klorida yang dikeluarkan lambung membantu penyerapan dengan menurunkan pH di bagian atas duodenum.

2. Faktor yang menghambat penyerapan kalsium

a. Oksalat

Penyerapan kalsium dihambat oleh oksalat yang membentuk garam kalsium oksalat yang tidak larut. Oksalat juga meningkatkan ekskresi kalsium melalui feses. Oksalat banyak terdapat pada bayam, seledri, strawberry, blueberry, blackberry, kacang tanah, dan minuman seperti teh dan coklat (Almatsier, 2016; Berdanier, 1998; Erdman et al., 2012; Gropper et al., 2009).

b. Tannin

Tannin juga menghambat penyerapan kalsium (Berdanier, 1998).

c. Asam Fitat

Beberapa makanan nabati mengandung kalsium dalam jumlah yang cukup namun juga mengandung asam fitat yang akan mengikat kalsium dan menghambat penyerapan kalsium. Asam fitat dapat dipecah oleh enzim fitase yang akan melepaskan kalsium yang terikat sehingga tersedia lagi untuk diserap. Sayangnya, pelepasan kalsium ini terjadi di sepertiga bagian bawah usus

dan usus besar yang kurang aktif dalam penyerapan kalsium (Almatsier, 2016; Berdanier, 1998; Gropper et al., 2009).

d. Serat

Serat dapat menurunkan waktu transit makanan dalam saluran cerna sehingga mengurangi kesempatan untuk menyerap kalsium (Almatsier, 2016).

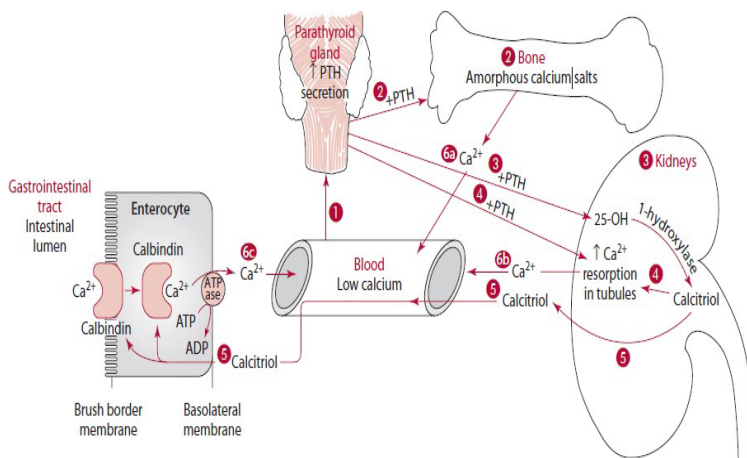
e. Pertambahan usia

Seiring bertambahnya usia, penyerapan kalsium terganggu karena penurunan produksi calsitriol di ginjal. Selain itu, defisiensi estrogen pada wanita yang sudah menopause dapat menurunkan vitamin D yang membantu penyerapan kalsium (Gropper et al., 2009).

Kalsium yang diperoleh dari diet akan melalui proses penyerapan di usus dengan bantuan calbindin. Calbindin disintesis oleh calsitriol (bentuk aktif vitamin D) yang diperoleh dari sinar matahari dan sumber bahan makanan lain. Kalsium akan ditransport menuju aliran darah dan akan memasuki ginjal untuk melewati proses filtrasi dan reabsorpsi. Kalsium yang tidak direabsorpsi akan diekskresikan melalui urin, sedangkan kalsium yang direabsorpsi akan kembali memasuki aliran darah untuk didistribusikan ke tulang. Konsentrasi kalsium plasma dikontrol oleh Paratiroid Hormon (PTH) yang disintesis oleh kelenjar paratiroid. PTH berfungsi kebalikan dengan kadar kalsium. Apabila terjadi penurunan konsentrasi kalsium plasma akan menyebabkan peningkatan sekresi PTH yang akan merangsang resorpsi tulang secara aktif (Gambar 7.1) (Gropper et al., 2009).

Kalsium pada darah dengan kadar yang rendah akan memberikan sinyal ke kelenjar paratiroid untuk melepaskan PTH. Selanjutnya, PTH akan mengikat reseptor sel tulang dan memicu resorpsi untuk pelepasan kalsium ke dalam darah. PTH juga bekerja pada ginjal untuk mensintesis bentuk aktif vitamin D (calsitriol). PTH dan calsitriol akan meningkatkan reabsorpsi kalsium dari

ginjal menuju ke dalam darah. Calcitriol akan meninggalkan ginjal menuju usus untuk mempromosikan sintesis calbindin yang akan memfasilitasi penyerapan kalsium secara aktif melalui *brush border membrane* sel usus. Selanjutnya, kalsium akan masuk ke dalam aliran darah setelah dilepaskan dari tulang, setelah dilepaskan dari ginjal, dan setelah terjadi penyerapan dari sel-sel usus. Sebaliknya, apabila terjadi peningkatan kadar kalsium maka akan menghambat sekresi PTH sehingga sedikit matriks kalsium yang diresorpsi dari tulang (Gambar 7.1) (Gropper et al., 2009).



Gambar 7.1 Regulasi Kalsium Ekstraseluler (Gropper et al., 2009)

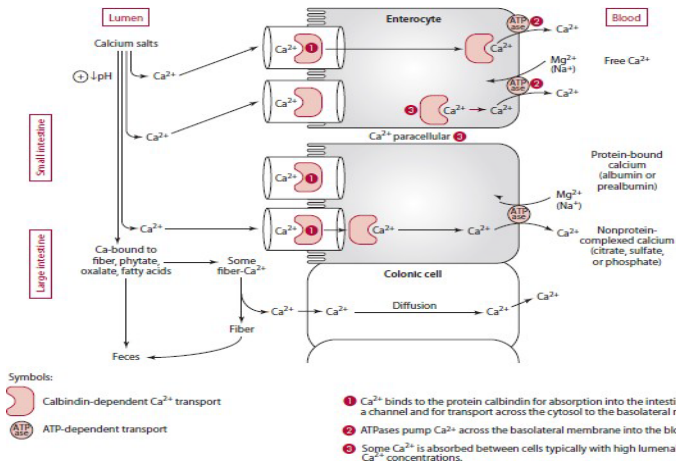
Ada dua proses transportasi utama yang bertanggung jawab atas penyerapan kalsium yang terjadi sepanjang usus kecil yaitu absorpsi aktif dan pasif (Gambar 7.2) (Gropper et al., 2009).

- a. Penyerapan atau proses transport secara aktif terjadi pada duodenum dan jejunum proksimal, bersifat jenuh, membutuhkan energi dan melibatkan protein transport pengikat kalsium yang disebut dengan calbindin D9k. Transport aktif ini distimulasi oleh calcitriol (1,25 dihidroksi kolekalsiferol). Transport aktif juga dirangsang oleh diet rendah kalsium (<400 mg) yang akan menyebabkan penurunan konsentrasi

kalsium dan meningkatkan sekresi PTH. Berikut akan dijabarkan lebih rinci proses transport aktif tersebut:

- 1) Kalsium berikatan dengan protein calbindin untuk dapat diserap oleh sel via channel TRPV5/6 secara aktif dari sitosol menuju membran basolateral.
 - 2) Setelah penyerapan kalsium melewati *brush border* usus, selanjutnya kalsium akan diangkut melintasi sitoplasma sel usus, terutama yang terikat ke calbindin D9k untuk dikeluarkan menuju darah.
 - 3) Selanjutnya, kalsium diekstrusi dari enterosit ke dalam cairan ekstraseluler dengan bantuan Ca^{2+} Mg^{2+} ATPase (pompa Ca^{2+} ekstraseluler).
- b. Penyerapan atau proses transport secara pasif (transport paraseluler) terjadi antar sel bukan melalui sel, tidak membutuhkan calbindin dan tidak membutuhkan energi. Penyerapan secara pasif ini terjadi di usus kecil terutama di jejunum dan ileum. Transport pasif ini terjadi ketika konsentrasi kalsium di lumen tinggi sehingga terjadi gradient konsentrasi kalsium antara lumen dan sisi basolateral. Zat gizi yang dapat meningkatkan penyerapan kalsium paraseluler antara lain fruktosa oligosakarida, inulin, dan sakarida lainnya yang tidak dapat dicerna (Gropper et al., 2009).

Usus besar juga berperan dalam penyerapan kalsium. Bakteri di kolon dapat melepaskan kalsium yang terikat pada beberapa serat yang dapat difermentasi seperti pektin. Sekitar 4-10% kalsium makanan diserap setiap hari oleh kolon. Jumlah ini mungkin lebih tinggi pada orang yang menyerap lebih sedikit kalsium di usus kecil (Gropper et al., 2009).



Gambar 7.2 Penyerapan Kalsium (Gropper et al., 2009)

Transport Kalsium

Setelah melewati proses absorpsi, kalsium akan diangkut ke dalam darah dalam tiga bentuk yang berbeda. Sebanyak 40% kalsium terikat pada protein terutama albumin dan pre albumin. Sekitar hampir 10% kalsium akan membentuk kompleks dengan sulfat, fosfat, atau sitrat. Sisanya, sekitar 50% kalsium ditemukan secara bebas atau terionisasi di dalam darah (Almatsier, 2016; Gropper et al., 2009).

Ekskresi Kalsium

Kalsium diekskresikan melalui urin dan feses. Kalsium yang tidak terserap tubuh dikeluarkan melalui feses. Kebanyakan kalsium disaring dan diserap kembali oleh ginjal sehingga kalsium urin berkurang sekitar 100-240 mg per hari. Ekskresi kalsium urin dapat dikurangi oleh sekresi PTH dan ketika kelebihan fosfor, kalium, magnesium, dan boron. Disisi lain, kelebihan natrium, protein, boron & magnesium, dan kafein dapat meningkatkan ekskresi kalsium. Kehilangan kalsium melalui feses sekitar 45-100 mg per hari. Kehilangan kalsium melalui feses akan meningkat jika mengonsumsi fitat, oksalat, dan magnesium dalam jumlah berlebih serta

pada orang dengan gangguan penyerapan lemak (Gropper et al., 2009).

Angka Kecukupan Gizi Kalsium

Angka kecukupan kalsium sehari yang dianjurkan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 Tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan Untuk Masyarakat Indonesia dapat dilihat pada Tabel 7.2 berikut ini.

Tabel 7.2 Angka Kecukupan Kalsium yang Dianjurkan (per orang per hari)

Kelompok Umur	Kecukupan Kalsium (mg)
Bayi/ Anak	
0-5 bulan	200
6-11 bulan	270
1-3 tahun	650
4-6 tahun	1000
7-9 tahun	1000
Laki-laki	
10-18 tahun	1200
19-49 tahun	1000
≥ 50 tahun	1200
Perempuan	
10-18 tahun	1200
19-49 tahun	1000
≥ 50 tahun	1200
Hamil (+an)	+200
Trimester 1-3	
Menyusui (+an)	+200

Sumber: (Kemenkes RI, 2019)

Dampak Kekurangan dan Kelebihan Kalsium

Berikut ini adalah beberapa dampak akibat kekurangan dan kelebihan kalsium.

1. Kekurangan kalsium

a. Osteoporosis

Osteoporosis merupakan penyakit tulang sistemik yang ditandai dengan berkurangnya massa tulang dan degradasi pada kerangka dasar mikro pada jaringan tulang sehingga tulang menjadi rapuh dan mudah patah (Erdman et al., 2012; Grober, 2012; Gropper et al., 2009). Osteoporosis diakibatkan oleh penurunan massa tulang akibat penyerapan kalsium yang kurang baik, kurangnya jumlah kalsium dalam makanan yang berlangsung lama, peningkatan proses resorpsi tulang (keluarnya kalsium dari tulang), dan terhambatnya proses kalsifikasi (masuknya kalsium ke dalam matriks tulang). Penyebab terjadinya peningkatan resorpsi tulang dan terhambatnya kalsifikasi tulang adalah abnormalitas kerja kelenjar paratiroid dalam resorpsi tulang, kegagalan sintesis matriks kolagen, dan imobilitas atau kehilangan stimulus estrogen dalam kalsifikasi tulang (Darawati, 2016; Muchtadi, 2014).

Standar terbaik diagnosa osteoporosis adalah pengukuran densitas mineral tulang pada pinggul dengan metode absorpsiometri sinar-X energy ganda (*Dual energy X-ray Absorpsiometry, DXA*) (Grober, 2012). Strategi utama untuk mengurangi risiko osteoporosis yaitu dengan memaksimalkan perkembangan *peak bone mass* selama pertumbuhan dan mengurangi pengeroposan tulang di kemudian hari (Erdman et al., 2012).

b. Osteomalasia

Osteomalasia adalah kondisi penurunan kualitas tulang. Osteomalasia sering terjadi pada wanita yang tinggal di daerah subtropis dengan intensitas sinar matahari rendah dan jarang terkena sinar matahari sehingga dapat menyebabkan kekurangan vitamin D. Osteomalasia juga dapat disebabkan oleh konsumsi obat-obatan

antikonvulsif serta berkurangnya sediaan kalsium karena kehamilan dan menyusui dalam waktu lama (Almatsier, 2016; Darawati, 2016; Muchtadi, 2014).

c. Kegagalan mempertahankan konsentrasi kalsium ekstraseluler dapat meningkatkan risiko hipertensi, pre eklampsia, premenstrual *syndrome*, obesitas, *polycystic ovary syndrome*, dan hiper paratiroid (Erdman et al., 2012).

d. Tetani atau kejang

Tetani dapat disebabkan karena kadar kalsium darah sangat rendah. Tetani dapat terjadi pada ibu hamil yang makanannya sangat sedikit mengandung kalsium atau terlalu banyak mengandung fosfor. Selain itu, tetani juga dapat terjadi pada bayi baru lahir yang minum susu sapi tetapi tidak diencerkan terlebih dahulu sehingga rasio kalsium: fosfornya rendah (Almatsier, 2016).

2. Kelebihan kalsium

Kalsium sebaiknya dikonsumsi tidak melebihi 2500 mg sehari. Kelebihan kalsium dapat terjadi jika mengonsumsi suplemen kalsium. Apabila asupan kalsium berlebih dapat menyebabkan batu ginjal dan konstipasi (Almatsier, 2016). Selain itu, jika kadar kalsium dalam darah di atas normal menyebabkan serabut otot akan mengkerut yang dikenal dengan istilah *rigor* kalsium (Muchtadi, 2014).

Status Kalsium

Berikut ini adalah penilaian status kalsium dan nilai rujukannya (Grober, 2012):

1. Serum: normal 2,2 - 2,65 mmol/L (8,8-10,6 mg/dL)
2. Darah lengkap: 1,45 - 1,55 mmol/L
3. Kalsium terionisasi dalam serum: normal 1,17 - 1,29 mmol/L

Catatan: konsentrasi kalsium dalam darah diatur secara ketat dan tidak merefleksikan status kalsium (<1% kalsium tubuh terdapat dalam serum).

Daftar Pustaka

- Almatsier, S. (2016). *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Berdanier, C. D. (1998). *Advanced Nutrition Micronutrients*. CRC Press LLC.
- Darawati, M. (2016). Mineral. In *Ilmu Gizi Teori dan Aplikasi*. Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Erdman, J. W., Macdonald, I. A., & Zeisel, S. H. (2012). Present Knowledge in Nutrition. In *10th Edition*. International Life Science Institute.
- Grober, U. (2012). *Mikro-Nutrien: Penyelesaian Metabolik, Pencegahan, dan Terapi*. Penerbit Buku Kedokteran: EGC.
- Gropper, S. S., Smith, J. L., & Groff, J. L. (2009). *Advanced Nutrition And Human Metabolism* (Fifth Edit). Wadsworth Cengage Learning.
<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01621.x>
- Kemenkes. (2018). *Tabel Komposisi Pangan Indonesia 2017*.
- Kemenkes RI. (2019). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 Tentang Angka Kecupukan Gizi Yang Dianjurkan Untuk Masyarakat Indonesia*.
- Linder, M. C. (1992). *Biokimia Nutrisi Dan Metabolisme*. Universitas Indonesia (UI Press).
- Muchtadi, D. (2014). *Pengantar Ilmu Gizi*. Alfabeta.

Profil Penulis



Fitria, S.K.M., M.K.M

Penulis lahir tanggal 02 Juni 1988 di Kota Jakarta Selatan, Provinsi DKI Jakarta. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia (FKM UI) peminatan Gizi Kesehatan Masyarakat pada tahun 2010. Tiga tahun kemudian, penulis melanjutkan studi S2 di Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia (IKM UI) peminatan Gizi Kesehatan Masyarakat dan berhasil menyelesaikan studi S2 pada tahun 2015. Penulis telah menikah dan dikarunia dua orang anak bernama Almeera Adzkia Zulkarnain dan Habibie Adzka Zulkarnain. Penulis pernah bekerja sebagai asisten dosen dan peneliti di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia serta dosen tidak tetap di Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Sejak akhir tahun 2019 hingga saat ini, penulis bekerja sebagai dosen tetap di Prodi Gizi Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA). Selain itu, pada tahun 2023 penulis mendapatkan tugas tambahan sebagai Ketua Unit Penjaminan Mutu Prodi Gizi FIKES UHAMKA dan tim auditor Lembaga Penjaminan Mutu (LPM) UHAMKA. Penulis juga aktif dalam kegiatan ilmiah dan organisasi keprofesian Pergizi Pangan-Indonesia. Buku yang telah dihasilkan penulis yaitu Buku Digital “Manajemen Data untuk Survei Gizi” dan “Gizi Dalam Daur Kehidupan”.

Email Penulis: fitria@uhamka.ac.id

- 1 KONSEP DASAR METABOLISME ZAT GIZI MIKRO
Nur Chabibah
- 2 METABOLISME ZAT BESI
Nyoman Sudarma
- 3 METABOLISME ZINK
Tika Dwita Adfar
- 4 METABOLISME IODIUM
I Komang Agusjaya Mataram
- 5 METABOLISME KROMIUM
Asep Iin Nur Indra
- 6 METABOLISME SELENIUM
Dwi Lestari
- 7 METABOLISME KALSIMUM
Fitria
- 8 METABOLISME FOSFOR
Suci Rizki Nurul Aeni
- 9 METABOLISME MAGNESIUM
Besse Dahlia
- 10 METABOLISME NATRIUM
Mira Mutiyani
- 11 METABOLISME KALIUM
Gurid Pramintarto Eko Mulyo
- 12 METABOLISME CHLOR
Indria Pijaryani
- 13 METABOLISME VITAMIN A
Risya Ahriyasna
- 14 METABOLISME VITAMIN B
Nurfaidah
- 15 METABOLISME VITAMIN C
Nur Alam
- 16 METABOLISME VITAMIN D
Hendra Agung Herlambang
- 17 METABOLISME VITAMIN E
Ni Putu Agustini
- 18 METABOLISME VITAMIN K
Novi Puspita Sari

Editor:

Hairil Akbar

Untuk akses **Buku Digital**,
Scan **QR CODE**



Media Sains Indonesia
Melong Asih Regency B.40, Cijerah
Kota Bandung - Jawa Barat
Email : penerbit@medsan.co.id
Website : www.medsan.co.id



ISBN 978-623-195-726-9 (PDF)



9 786231 957269