



EDITOR

Teguh Fathurrahman, S.K.M., M.PPM

Lena Atoy, S.ST., M.PH

METABOLISME ZAT GIZI MIKRO

Afiska Prima Dewi | Dian Estiningtyas | Deniyati | Dera Elva Junita | Widia Sari
Nur Rezky Khairun Nisaa | Alifiyanti Muharramah | Leny Eka Tyas Wahyuni
Berliana Puspita | Riska Rusydi | Rauza Sukma Rita | Retno Ayu Widyastuti
Triya Ulva Kusuma | Kuntari Astriana | Taufiqurrahman | Gita Syahputra | Tuty Hertati Purba
Juliana Christyaningsih | Fista Utami | Evi Kusumawati

METABOLISME ZAT GIZI MIKRO

Buku Metabolisme zat gizi mikro yang berada
ditangan pembaca ini terdiri dari 20 bab, yaitu :

Bab 1. Konsep Metabolisme Gizi Mikro

Bab 2. Metabolisme Vitamin A

Bab 3. Metabolisme Vitamin B

Bab 4. Metabolisme Vitamin C

Bab 5. Metabolisme Vitamin D

Bab 6. Metabolisme Vitamin E

Bab 7. Metabolisme Vitamin K

Bab 8. Metabolisme Natrium

Bab 9. Metabolisme Klorida

Bab 10. Metabolisme Kalium

Bab 11. Metabolisme Kalsium

Bab 12. Metabolisme Magnesium

Bab 13. Metabolisme Fosfor

Bab 14. Metabolisme Zat Besi

Bab 15. Metabolisme Iodium

Bab 16. Metabolisme Seng

Bab 17. Metabolisme Selenium

Bab 18. Metabolisme Tembaga

Bab 19. Metabolisme Mangan

Bab 20. Metabolisme Flour



eureka
media aksara
Anggota IKAPI
No. 225/JTE/2021

☎ 0858 5343 1992
✉ eurekaediaaksara@gmail.com
📍 Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362

ISBN 978-623-120-838-5



9 786231 208385

METABOLISME ZAT GIZI MIKRO

Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M.

Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M.

Deniyati, S.Farm., M.Si.

Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz.

dr. Widia Sari, M.Biomed.

Nur Rezky Khairun Nisaa, S. Farm., M.Si.

Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz.

Leny Eka Tyas Wahyuni, S.Gz., M.Si.

Berliana Puspita, S.Tr.Gz., M.Gz.

Riska Rusydi, S.Tr.Gz., M.Gz.

dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D.

Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz.

Triya Ulva Kusuma, S.Gz., M.Gz.

Kuntari Astriana, S.Gz., M.Gz.

Taufiqurrahman, S.K.M., M.P.H.

Dr. Gita Syahputra, S.Si., M.Si.

Tuty Hertati Purba, SKM., M.Kes.

Dr. Ir. Juliana Christyaningsih, M.Kes.

Fista Utami, S.Tr.Gz., M.Gz.

Evi Kusumawati, SST., M.Si.Med.



eureka
media aksara

PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA

METABOLISME ZAT GIZI MIKRO

Penulis : Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M.; Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M.; Deniyati, S.Farm., M.Si.; Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz.; dr. Widia Sari, M.Biomed.; Nur Rezky Khairun Nisaa, S. Farm., M.Si.; Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz. ; Leny Eka Tyas Wahyuni, S.Gz., M.Si.; Berliana Puspita, S.Tr.Gz., M.Gz.; Riska Rusydi, S.Tr.Gz., M.Gz. ; dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D.; Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz.; Triya Ulva Kusuma, S.Gz., M.Gz. ; Kuntari Astriana, S.Gz., M.Gz.; Taufiqurrahman, S.K.M., M.P.H.; Dr. Gita Syahputra, S.Si, M.Si.; Tuty Hertati Purba, SKM., M.Kes.; Dr. Ir. Juliana Christyaningsih, M.Kes.; Fista Utami, S.Tr.Gz, M.Gz.; Evi Kusumawati, SST, M.Si.Med.

Editor : Teguh Fathurrahman, S.K.M., M.PPM.
Lena Atoy, S.ST., M.P.H

Desain Sampul : Ardyan Arya Hayuwaskita

Tata Letak : Husnun Nur Afifah

ISBN : 978-623-120-838-5

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, JUNI 2024**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992
Surel : eurekamediaaksara@gmail.com
Cetakan Pertama : 2024

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Kuasa atas anugerah-Nya yang melimpah penyusunan dan penulisan buku ini dapat diselesaikan. Buku yang berjudul *Metabolisme Zat Gizi Mikro* ini disusun dalam rangka sebagai kebutuhan penulis maupun pembaca dalam berbagai bidang kesehatan, serta peningkatan literasi dunia pendidikan.

Terima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan dan penulisan buku ini atas atensi dan semangatnya berbagi ilmu, semoga kebaikan dan keikhlasannya memberkahi kehidupan kita semua. Meski banyak tantangan dan hambatan tetapi itu menjadi perjuangan kita sebagai insani kesehatan yang selalu memberikan yang terbaik bagi masyarakat dalam meningkatkan derajat kesehatan. Semakin banyak literasi tentang buku-buku kesehatan menunjukkan komitmen kita terhadap profesi kita masing-masing. Buku merupakan salah satu wadah kita berkumpul dari berbagai profesi kesehatan dalam menuangkan ide, pikiran dan kemampuan kita untuk terus berkarya. Ilmu bukan statis tetapi selalu dinamis mengikuti perkembangan kehidupan manusia dan IPTEK.

Buku *Metabolisme Zat Gizi Mikro* yang berada ditangan pembaca ini terdiri dari 20 bab, yaitu :

- Bab 1 Konsep Dasar *Metabolisme Zat Gizi Mikro*
- Bab 2 *Metabolisme Vitamin A*
- Bab 3 *Metabolisme Vitamin B*
- Bab 4 *Metabolisme Vitamin C*
- Bab 5 *Metabolisme Vitamin D*
- Bab 6 *Metabolisme Vitamin E*
- Bab 7 *Metabolisme Vitamin K*
- Bab 8 *Metabolisme Natrium*
- Bab 9 *Metabolisme Klorida*
- Bab 10 *Metabolisme Kalium*
- Bab 11 *Metabolisme Kalsium*
- Bab 12 *Metabolisme Magnesium*
- Bab 13 *Metabolisme Fosfor*

- Bab 14 Metabolisme Zat Besi
- Bab 15 Metabolisme Iodium
- Bab 16 Metabolisme Seng
- Bab 17 Metabolisme Selenium
- Bab 18 Metabolisme Tembaga
- Bab 19 Metabolisme Mangan
- Bab 20 Metabolisme Flour

Akhir kata jika ada kekeliruan dan keterbatasan pada penyusunan dan penulisan buku ini, menjadi perbaikan dimasa mendatang. Semoga karya-karya yang disajikan penulis, memberi manfaat dan inspirasi bagi kita semua. Aamiin.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 KONSEP DASAR METABOLISME ZAT GIZI MIKRO .1	
Oleh : Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M.	1
A. Pendahuluan.....	1
B. Sumber Zat Gizi Mikro.....	5
C. Fungsi Zat Gizi Mikro	7
D. Kebutuhan Zat Gizi Mikro.....	9
DAFTAR PUSTAKA	14
BAB 2 METABOLISME VITAMIN A	15
Oleh : Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M.	15
A. Pengertian Vitamin A	15
B. Struktur Vitamin A	16
C. Komposisi dan Klasifikasi Vitamin A	16
D. Peran Vitamin A.....	17
E. Sumber.....	19
F. Fungsi	20
G. Digesti, Absorpsi, dan Transportasi	22
H. Metabolisme.....	23
I. Kebutuhan.....	24
J. Kekurangan dan Kelebihan	25
DAFTAR PUSTAKA	27
BAB 3 METABOLISME VITAMIN B	28
Oleh : Deniyati, S.Farm., M.Si.	28
A. Pendahuluan.....	28
B. Pengatur Utama Metabolisme Satu Karbon	29
C. Defisiensi Metionin, Folat, dan B12 pada Metabolisme Satu Karbon: Penyebab dan Konsekuensi.....	35
D. Peran Kelebihan Metionin, Folat, dan B12 dalam Perkembangan Penyakit	40

	E. Menargetkan Metabolisme Satu Karbon untuk Pengobatan Penyakit	42
	DAFTAR PUSTAKA.....	45
BAB 4	METABOLISME VITAMIN C.....	55
	Oleh : Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz.....	55
	A. Pendahuluan	55
	B. Fungsi.....	56
	C. Kebutuhan Vitamin C.....	59
	D. Sumber Vitamin C.....	60
	E. Absorption, Digestive dan Ekskresi.....	62
	DAFTAR PUSTAKA.....	65
BAB 5	METABOLISME VITAMIN D.....	67
	Oleh : dr. Widia Sari, M.Biomed.....	67
	A. Pendahuluan	67
	B. Sintesis Vitamin D.....	68
	C. Metabolisme Vitamin D.....	69
	D. Katabolisme Vitamin D	74
	E. Pengangkutan Vitamin D.....	75
	F. Mekanisme Kerja Vitamin D.....	75
	G. Fungsi Vitamin D	77
	DAFTAR PUSTAKA.....	84
BAB 6	METABOLISME VITAMIN E.....	86
	A. Pendahuluan	86
	B. Sejarah Penemuan Vitamin E.....	88
	C. Metabolisme Vitamin E	90
	D. Sumber Vitamin E	92
	E. Kebutuhan Vitamin E	94
	F. Fungsi Vitamin E.....	95
	DAFTAR PUSTAKA.....	97
BAB 7	METABOLISME VITAMIN K.....	99
	Oleh : Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz.....	99
	A. Ringkasan dan Bentuk Vitamin K.....	99
	B. Sumber dan Kebutuhan Vitamin K.....	99
	C. Fungsi Vitamin K.....	102
	D. Defisiensi Vitamin K	104
	E. Interaksi Vitamin K dengan Zat Gizi Lainnya	105

	F. Metabolisme Vitamin K.....	106
	DAFTAR PUSTAKA	108
BAB 8	METABOLISME NATRIUM.....	110
	Oleh : Leny Eka Tyas Wahyuni, S.Gz., M.Si.	110
	A. Pendahuluan.....	110
	B. Fisiologi Natrium (Na)	111
	DAFTAR PUSTAKA	125
BAB 9	METABOLISME KLORIDA.....	127
	Oleh : Berliana Puspita, S.Tr.Gz., M.Gz.	127
	A. Pengertian	127
	B. Fungsi Klorida	129
	C. Metabolisme Klorida	132
	D. Komplikasi metabolisme klorida	143
	DAFTAR PUSTAKA	145
BAB 10	METABOLISME KALIUM.....	151
	Oleh : Riska Rusydi, S.Tr.Gz., M.Gz.....	151
	A. Pendahuluan.....	151
	B. Gangguan Keseimbangan Kalium.....	151
	C. Fungsi Kalium dalam Tubuh.....	153
	D. Metabolisme Kalium.....	153
	DAFTAR PUSTAKA	156
BAB 11	METABOLISME KALSIUM.....	157
	Oleh : dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D.	157
	A. Pendahuluan.....	157
	B. Sumber Kalsium dan Fungsinya	158
	C. Kebutuhan Kalsium	161
	D. Metabolisme Kalsium.....	163
	E. Pengaturan Metabolisme Kalsium.....	168
	F. Kesimpulan	170
	DAFTAR PUSTAKA	171
BAB 12	METABOLISME MAGNESIUM	175
	Oleh : Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz.	175
	A. Pendahuluan.....	175
	B. Fungsi	175
	C. Sumber.....	177
	D. Absorpsi Magnesium.....	178

E. Reabsorpsi Magnesium	179
F. Keseimbangan Magnesium.....	182
G. Defisiensi Magnesium	183
H. Kelompok yang Berisiko Kekurangan Magnesium....	184
I. Risiko Kesehatan dari Magnesium Berlebihan	185
DAFTAR PUSTAKA.....	187
BAB 13 METABOLISME FOSFOR	190
Oleh : Triya Ulva Kusuma, S.Gz., M.Gz.....	190
A. Pendahuluan	190
B. Kebutuhan Harian.....	190
C. Sumber Bahan Makanan	191
D. Fungsi.....	192
E. Metabolisme	193
F. Pengaturan Homeostasis Fosfor	196
G. Defisiensi dan Toksisitas	198
DAFTAR PUSTAKA.....	201
BAB 14 METABOLISME ZAT BESI.....	205
Oleh : Kuntari Astriana, S.Gz., M.Gz.....	205
A. Peran dan Fungsi Zat Besi (Fe)	205
B. Metabolisme Zat Besi.....	207
C. Interaksi Zat Besi	219
DAFTAR PUSTAKA.....	221
BAB 15 METABOLISME IODIUM.....	222
Oleh : Taufiqurrahman, S.K.M., M.P.H.....	222
A. Pendahuluan	222
B. Sifat-Sifat Iodium.....	223
C. Peran Iodium dalam Kesehatan Manusia	223
D. Sumber Iodium	224
E. Penyerapan Iodium.....	224
F. Gangguan Metabolisme Iodium.....	225
G. Permasalahan Defisiensi Iodium.....	227
H. Dampak Defisiensi Iodium	227
I. Pencegahan Defisiensi Iodium	228
J. Penutup.....	228
DAFTAR PUSTAKA.....	230

BAB 16 METABOLISME SENG.....	232
Oleh : Dr. Gita Syahputra, S.Si, M.Si.....	232
A. Mineral Seng dan Fungsinya.....	232
B. Absorpsi Seng.....	233
C. Transporter Seng dan Metallothionein	234
D. Ekskresi Seng.....	236
E. Defisiensi Seng.....	236
F. Suplementasi Seng.....	238
DAFTAR PUSTAKA	240
BAB 17 METABOLISME SELENIUM.....	243
Oleh : Tuty Hertati Purba, SKM., M.Kes.....	243
A. Pendahuluan.....	243
B. Definisi Selenium	244
C. Metabolisme Selenium	249
D. Sumber Bahan Makanan Selenium.....	253
E. Peran Selenium terhadap Berbagai Penyakit	260
DAFTAR PUSTAKA	262
BAB 18 METABOLISME TEMBAGA	264
Oleh : Dr. Ir. Juliana Christyaningsih, M.Kes.	264
A. Peran Tembaga dalam Tubuh	264
B. Absorpsi, Transportasi, dan Distribusi Tembaga	264
C. Metabolisme Tembaga dalam Tubuh.....	266
D. Hubungan Tembaga dan Reaksi Oksidan dalam Tubuh.....	269
E. Oksidan dan <i>Copper - Zinc Superoxide Dismutase</i>	274
F. Efek Samping Konsumsi Tembaga Berlebih	276
G. Sumber Makanan yang Mengandung Tembaga	279
DAFTAR PUSTAKA	280
BAB 19 METABOLISME MANGAN	282
Oleh : Fista Utami, S.Tr.Gz, M.Gz.	282
A. Pendahuluan.....	282
B. Absorpsi, Distribusi, dan Ekskresi Mangan di dalam Tubuh.....	283
C. Peranan Mangan dalam Metabolisme Tubuh	287
D. Penutup	296

DAFTAR PUSTAKA.....	297
BAB 20 METABOLISME FLOUR.....	300
Oleh : Evi Kusumawati, SST, M.Si.Med.....	300
A. Pendahuluan	300
B. Pengertian Flour	301
C. Sumber Flour.....	302
D. Fungsi Flour	303
E. Akibat Kelebihan Asupan Flour	304
F. Akibat Kekurangan Flour.....	306
G. Kebutuhan Fluor.....	308
H. Metabolisme Flour	308
I. Modulator Metabolisme Fluorida	316
DAFTAR PUSTAKA.....	320
TENTANG PENULIS	324

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1.	Struktur Vitamin A.....	16
Gambar 2. 2.	Struktur Kimia dari Vitamin A dan B-karoten	18
Gambar 2. 3.	Absorpsi dari Vitamin A.....	23
Gambar 3. 1.	Regulasi Metabolisme Vitamin B31	
Gambar 3. 2.	Efek Sistemik Perubahan Mikronutrien dalam Metabolisme Satu Karbon	36
Gambar 4. 1.	Struktur Kimia Asam Askorbat	56
Gambar 5. 1.	Mekanisme Metabolisme Vitamin D	73
Gambar 5. 2.	Efek Vitamin D di Usus	78
Gambar 5. 3.	Efek Vitamin D di Ginjal.....	80
Gambar 6. 1.	Rumus Struktur Vitamin E (alfa-tokoferol)	89
Gambar 6. 2.	Proses Metabolisme Vitamin E	92
Gambar 7. 1.	Perubahan asam glutamat (glu) menjadi gamma-karboksilglutamat (gla)	103
Gambar 7. 2.	Peran vitamin K dalam Pembekuan Darah.....	103
Gambar 8. 1.	Anion dan Kation dalam Cairan Intrasel dan Ekstrasel.....	112
Gambar 10. 1.	Sel Ginjal	154
Gambar 10. 2.	Metabolisme Kalium	155
Gambar 11. 1.	Mekanisme Fisiologis Homeostasis Kalsium.....	168
Gambar 11. 2.	Regulasi Homeostasis Kalsium oleh Calcium Sensing Receptor (CaSR)	169
Gambar 12. 1.	Ilustrasi Magnesium sebagai Kofaktor	176
Gambar 12. 2.	Perbandingan Magnesium dalam Klorofil dan Fe dalam Hemoglobin.....	176
Gambar 12. 3.	Sumber Magnesium pada Makanan	177
Gambar 12. 4.	Metabolisme Magnesium dalam Tubuh.....	180
Gambar 12. 5.	Distribusi Bentuk Kimia Magnesium dalam Serum	181
Gambar 12. 6.	Distribusi Magnesium dalam Tubuh.....	183
Gambar 13. 1.	Proses Metabolisme Fosfor (Pencernaan, Absorpsi, Transportasi Dan Ekskresi)	196
Gambar 13. 2.	Pengaturan Homeostasis Fosfor	197
Gambar 14. 1.	Mekanisme Absorpsi Besi pada Eritrosit	208

Gambar 14. 2.	Peran Transferin dan Reseptor Fe Dalam Sel.....	209
Gambar 14. 3.	Transpor Besi pada Mamalia.....	211
Gambar 14. 4.	Mekanisme Pengambilan Fe oleh Sel Epitel Duodenum dan Transportnya Melintasi Sel Epitel Menuju Plasma dari Kapiler Subepitel.....	212
Gambar 14. 5.	Distribusi Besi di dalam Tubuh	214
Gambar 16. 1.	Ilustrasi Transport Seng Melalui Transporter Seng (ZnT dan ZIP) Serta Metallothionein (MT)	235
Gambar 17. 1.	Metabolisme Selenium	250
Gambar 18. 1.	Transportasi dan Ekskresi Tembaga dari dalam Tubuh	265
Gambar 18. 2.	Metabolisme Tembaga dalam Tubuh.....	267
Gambar 18. 3.	Atom, Radikal Bebas dan Antioksidan	270
Gambar 18. 4.	Pembentukan Radikal Bebas	272
Gambar 18. 5.	Reaksi radikal bebas dan <i>Copper-Zinc Superoxide Dismutase</i>	275
Gambar 19. 1.	(a) Dekarboksilasi Oksidatif, (b) Step 3 Siklus Krebs	288
Gambar 19. 2.	Glukoneogenesis	289
Gambar 19. 3.	Sintesis Glutamin	290
Gambar 19. 4.	Mekanisme Antioksidan Primer (MnSOD) dalam Mengeliminasi Stress Oksidatif.....	291
Gambar 19. 5.	Senyawa Kimia Kondroitin (a) dan Asam Hiauronat (b)	293
Gambar 19. 6.	Mekanisme Nrf2 dalam Mengeliminasi Stress Oksidatif	293
Gambar 19. 7.	Mekanisme Penghambatan Antitrombin dalam Proses Koagulasi pada Tubuh Manusia.....	294
Gambar 20. 1.	Dampak buruk terhadap kesehatan manusia akibat konsumsi fluorida berlebih dari air minum	307
Gambar 20. 2.	Metabolisme fluorida bergantung pada Ph Fluorida berbentuk nonionik (HF) dan setengahnya berbentuk ion (F ⁻). HF adalah asam lemah dengan pKa dari 3,4, artinya pada pH 3,4, atau ketika pH menurun dari 3,4,	

- konsentrasi HF meningkat, tetapi jika pH meningkat, maka konsentrasi F⁻ meningkat. Selain itu, koefisien permeabilitas membran sel terhadap HF jauh lebih tinggi dibandingkan F⁻. Fluorida lebih mudah menembus sel membran sebagai HF, karena berpindah dari kompartemen yang lebih asam ke kompartemen yang lebih basa. 310
- Gambar 20. 3. Kadar fluorida plasma mencapai puncaknya dalam waktu 20-60 menit karena bergantung pada pH lambung, kemudian terjadi penurunan fluoride plasma akan masuk kedalam jaringan yang mengalami kalsifikasi seperti tulang, gigi dan ekskresi urin. Fluorida plasma kembali normal setelah 3-4 jam..... 311
- Gambar 20. 4. Fluorida yang tidak terserap di lambung dan usus kecil akan diekskresikan dalam tinja. Demikian pula didalam sirkulasi sistemik, Fluorida yang diekskresikan melalui urin dan ginjal adalah hasil dari jumlah total yang diserap (fluorida plasma) dikurangi dengan jumlah fluorida yang masuk kedalam jaringan lunak dan jaringan keras. 314
- Gambar 20. 5. Reabsorpsi fluorida dari tubulus ginjal ke sirkulasi sistemik tergantung pH urin. Ketika urin bersifat basa, konsentrasi HF rendah dan konsentrasi F⁻ meningkat, sehingga HF akan tetap diekskresikan lewat urin (kiri). Sebaliknya, bila urin bersifat asam, konsentrasinya HF meningkat dan melintasi membran tubulus ginjal menuju interstitium untuk reabsorpsi (kanan) 315

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1.	Perbedaan Vitamin Larut Lemak dan Larut Air	4
Tabel 1. 2.	Sumber Vitamin	5
Tabel 1. 3.	Sumber Vitamin	6
Tabel 1. 4.	Fungsi Vitamin	7
Tabel 1. 5.	Fungsi Mineral	8
Tabel 1. 6.	Angka Kecukupan Vitamin yang Dianjurkan (per Orang per Hari).....	10
Tabel 1. 7.	Angka Kecukupan Mineral yang Dianjurkan (per Orang per Hari).....	12
Tabel 3. 1.	Fungsi Biologi Vitamin B.....	29
Tabel 4. 1.	Angka Kecukupan Vitamin yang Dianjurkan (per orang per hari)	59
Tabel 7. 1.	Kebutuhan Vitamin K Berdasarkan AKG	100
Tabel 7. 2.	Kandungan K1 (phyloquinone) sebagai Bentuk Vitamin K.....	101
Tabel 8. 1.	Nilai Rujukan Kadar Natrium	112
Tabel 8. 2.	Kadar Elektrolit dalam Cairan Ekstrasel dan Intrasel.....	113
Tabel 10. 1.	Kadar Kalium dalam Darah	152
Tabel 11. 1.	Rekomendasi Asupan Kalsium Harian untuk Berbagai Kelompok Umur.....	162
Tabel 12. 1.	Makanan Tinggi Magnesium	178
Tabel 12. 2.	Tingkat Asupan Atas yang Dapat Ditoleransi (ULs) untuk Tambahan Magnesium	186
Tabel 13. 1.	Kebutuhan Harian Fosfor	190
Tabel 13. 2.	Kondisi yang Berhubungan dengan Hipofosfatemia.....	198
Tabel 13. 3.	Kondisi yang Berkaitan dengan Hiperfosfatemia	200
Tabel 17. 1.	Angka Kebutuhan Zat Gizi Selenium	243
Tabel 17. 2.	Dampak Kekurangan Asupan Selenium.....	245
Tabel 17. 3.	Sumber Bahan Makanan Selenium	253
Tabel 18. 1.	Aktivitas enzim CuZnSOD dalam eritrosit pada kelompok hewan coba <i>Rattus norvegicus strain Wistar</i>	275

Tabel 19. 1. Rekomendasi Asupan Mangan dari Makanan.....	283
Tabel 20. 1. Beberapa contoh bahan pangan yang mempunyai konsentrasi fluorida cukup tinggi.....	303

BAB 1 | KONSEP DASAR METABOLISME ZAT GIZI MIKRO

Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M.

A. Pendahuluan

Metabolisme merupakan hal yang dibutuhkan makhluk hidup untuk keberlangsungan hidup. Metabolisme berasal dari kata Yunani, *metabole*, yang berarti “perubahan”. Metabolisme mengarah kepada semua transformasi kimia dan tenaga yang timbul di tubuh. Metabolisme merupakan transformasi kimia yang terjadi di sel atau organisme melalui serangkaian reaksi kimia yang dikatalisis oleh enzim. Metabolisme adalah proses kompleks dimana terjadi perubahan makanan menjadi energi melalui suatu proses kimia berupa proses pembentukan dan penguraian zat di dalam tubuh. Metabolisme bertujuan untuk menghasilkan energi yang berguna bagi kelangsungan hidup, baik tingkat seluler (pembelahan sel, transpor molekul ke luar dan ke dalam sel) maupun tingkat individu (berjalan, berlari, dan sebagainya). (Rachmawati, 2023; Tumanggor, 2023).

Metabolisme dapat dibedakan menjadi anabolisme dan katabolisme. Anabolisme merupakan suatu reaksi kimia dalam membentuk senyawa kompleks yang disintesis dari senyawa sederhana yang disertai dengan penggunaan energi. Sedangkan katabolisme merupakan fase degradasi atau suatu proses reaksi kimia untuk memecahkan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana yang disertai pelepasan energi. Proses katabolisme dan anabolisme berlangsung secara bersamaan dalam tubuh makhluk hidup dan memerlukan berbagai molekul zat sebagai bahan reaksi kimia. Makanan yang masuk ke dalam tubuh dan

DAFTAR PUSTAKA

- Almatsier, Sunita (2010) *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- Ezekia, Kevin & Nada, I Ketut W. (2017) *Metabolisme*. Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana
- Hardiansyah, dkk (2017) *Ilmu Gizi. Teori & Aplikasi*. EGC : Jakarta
- Hasan, Fonnice Esther *et al.* (2023) *Metabolisme Zat Gizi*. Padang : Get Press Indonesia
- Kemendes RI (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia) (2019) *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 Tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan untuk Masyarakat Indonesia*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta
- Linder, M. C. (1985). Diterjemahkan oleh Aminuddin Parakkasi (2006) *Nutritional Biochemistry and Metabolism. Biokimia Nutrisi dan Metabolisme*. Jakarta : UI Press
- Sulistiyowati, Yeny & Yuniritha, Eva. (2015). *Metabolisme Zat Gizi*. Yogyakarta : Trans Medika
- Tumanggor, Lisnawati *et al* (2023) *Metabolisme Zat Gizi*. Surabaya : Cipta Media Nusantara (CMN)
- Wahjuni, Sri (2013) *Metabolisme Biokimia*. Denpasar : Udayana University Press
- Wijayanti, Novita (2017) *Fisiologi Manusia dan Metabolisme Zat Gizi*. Malang : Universitas Brawijaya Press (UB Press)
- Yuniritha, Eva & Sulistiyowati, Yenny. (2021). *Metabolisme Zat Gizi*. <https://www.researchgate.net/publication/356189471>

BAB 2 | METABOLISME VITAMIN A

Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M.

A. Pengertian Vitamin A

Vitamin A adalah suatu vitamin larut lemak yang pertama kali ditemukan dan memiliki nama generik yang merujuk pada semua retinoid dan prekursor/provitamin A/karotenoid dengan aktivitas biologis sebagai retinol. Retinol ketika digabungkan dengan asam lemak di dalam tubuh, diubah menjadi retinal atau asam retinoat yang memiliki fungsi spesifik. Semua komponen retinol, retinal, dan asam retinoat disebut vitamin A yang merupakan bentuk dari karotenoid (Rachmawati, 2023).

Vitamin A berperan pada transport protein yang disintesis di hati melalui darah. Tubuh menyerap karotenoid dari makanan dalam bentuk beta karoten. Selain itu, vitamin A penting untuk mendukung penglihatan dalam kondisi pencahayaan rendah, menjaga kesehatan jaringan epitel, serta merangsang pertumbuhan gigi dan tulang secara normal (Rachmawati, 2023; Tumanggor, 2023).

Vitamin A diperlukan retina mata untuk membentuk retinal, yang bergabung dengan protein untuk membentuk molekul yang menangkap cahaya dan memungkinkan penglihatan warna. Selain itu, vitamin A, seperti asam retinoat memiliki peran penting sebagai hormon termasuk dalam faktor pertumbuhan epitel dan sel-sel lain. Vitamin A memiliki peran penting dalam berbagai fungsi tubuh, termasuk penglihatan, aktivitas genetik, sistem kekebalan tubuh, pengembangan embrio dan reproduksi, metabolisme tulang, produksi sel darah,

DAFTAR PUSTAKA

- Almatsier, Sunita (2010) *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- Blomhoff, Rune (1994) *Transport and Metabolism of Vitamin A*. *Nutrition Reviews*. Vol.52, No. 2
- Cahyawati PN (2018) *Transport, Metabolisme dan Peran Vitamin A dalam Imunitas*. *Jurnal Lingkungan & Pembangunan*. Vol.2 No.2:Hal.43-47
- Carazo, A et al. (2021) *Vitamin A Update : Forms, Sources, Kinetics, Detection, Function, Deficiency, Therapeutic Use and Toxicity*. *Nutrients*. 13(5):1703
- Cassani B., Villablanca BJ., Calisto JD., Wang S., Mora JR. (2012). *Vitamin A and immune regulation: Role of retinoic acid in gut-associated dendritic cell education, immune protection and tolerance*. *Mol Aspects Med*. 33(1):63-76
- FAO & WHO (2004) *Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition*, 2nd edition. 2004
- Murray J and White J. (2016) *Vitamin A Supplementation in Infants and Children*. *Journal for Specialists in pediatric nursing*. 212-217
- Ross AC. (2012). *Vitamin A and retinoic acid in T cell-related immunity*. *Am J Clin Nutr*. 96(1):1166S-72S.
- Sulistyowati, Yeni., Yuniritha, Eva (2015) *Metabolisme Zat Gizi*. Yogyakarta : Trans Medika
- Tumanggor, Lisnawati et al (2023) *Metabolisme Zat Gizi*. Surabaya : Cipta Media Nusantara (CMN)
- Wahjuni, Sri (2013) *Metabolisme Biokimia*. Denpasar : Udayana University Press
- WHO (1998) *Handbooks of Cancer Prevention : Vitamin A. Volume 3*

BAB 3 | METABOLISME VITAMIN B

Deniyati, S.Farm., M.Si.

A. Pendahuluan

Vitamin B terdiri dari delapan vitamin yang larut dalam air (B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9, dan B12) yang bertindak sebagai kofaktor, prekursor, dan substrat untuk berbagai proses biologis. Asupan makanan vitamin B ini sangat penting untuk menjaga kesehatan dan kekurangan manusia dapat menimbulkan konsekuensi kesehatan yang parah. Hampir semua vitamin B baik secara langsung maupun tangensial terlibat dalam metabolisme satu karbon (Lyon *et.al*, 2020).

Metabolisme satu karbon memainkan peranan penting dalam generasi ini donor metil dalam bentuk S-adenosylmethionine (SAM), satu-satunya donor metil yang digunakan oleh DNA, RNA, histon, dan protein metiltransferase [1-5]. Metilasi sangat penting bagi banyak sel proses, termasuk interaksi protein-protein dan regulasi epigenetik, yang memiliki peran penting dalam perkembangan embrio, fungsi kognitif, dan hematopoiesis (Lanouette *et.al*, 2014; Chiuvè *et.al*, 2007).

Selain itu, gangguan dalam penyerapan dan homeostasis vitamin B, yang mengakibatkan kekurangan atau kelebihan satu karbon perantara metabolisme, dapat menyebabkan cacat neurologis, anemia, respon imun yang menyimpang, dan kanker. Mengingat peran sentral vitamin B9 (folat) dan vitamin B12 (B12) sebagai partisipan langsung metabolisme satu karbon, tinjauan ini akan fokus pada peran biologisnya dalam kesehatan manusia (Lyon *et.al*, 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A., Woo, J.S., Schmitz, J., Prinz, B., Root, K., Chen, F., Bloch, J.S., Zenobi, R., Locher, K.P. (2016) Structural basis of transcobalamin recognition by human CD320 receptor. *Nat. Commun.* 7, 12100.
- Amess, J.A., Burman, J.F., Rees, G.M., Nancekievill, D.G., Mollin, D.L. (1978) Megaloblastic haemopoiesis in patients receiving nitrous oxide. *Lancet.* 2, 339–342.
- Andrès, E., Serraj, K., Zhu, J., Vermorken, A.J.M. (2013) The pathophysiology of elevated vitamin B12 in clinical practice. *QJM Int. J. Med.* 106, 505–515.
- Andrès, E., Serraj, K., Zhu, J., Vermorken, A.J.M. (2013) The pathophysiology of elevated vitamin B12 in clinical practice. *QJM Int. J. Med.* 106, 505–515.
- Antony, A.C. (1996) Folate receptors. *Annu. Rev. Nutr.* 16, 501–521.
- Arendt, J.F., Pedersen, L., Nexø, E., Sørensen, H.T. (2013) Elevated plasma vitamin B12 levels as a marker for cancer: A population-based cohort study. *J. Natl. Cancer Inst.* 105, 1799–1805.
- Baker, H., Leevy, C.B., DeAngelis, B., Frank, O., Baker, E.R. (1988) Cobalamin (Vitamin B12) and Holotranscobalamin Changes in Plasma and Liver Tissue in Alcoholics with Liver Disease. *J. Am. Coll. Nutr.* 17, 235–238.
- Battaglia-Hsu, S.F., Ghemrawi, R., Coelho, D., Dreumont, N., Mosca, P., Hergalant, S., Gauchotte, G., Sequeira, J.M., Ndiongue, M., Houlgatte, R., *et al.* (2018) Inherited disorders of cobalamin metabolism disrupt nucleocytoplasmic transport of mRNA through impaired methylation/phosphorylation of ELAVL1/HuR. *Nucleic Acids Res.* 46, 7844–7857.

- Bowen, R.A., Drake, S.K., Vanjani, R., Huey, E.D., Grafman, J., Horne, M.K. (2006) Markedly increased vitamin B12 concentrations attributable to IgG-IgM-vitamin B12 immune complexes. *Clin. Chem.* 52, 2107–2114.
- Cai, X.C., Kapilashrami, K., Luo, M. (2016) Synthesis and Assays of Inhibitors of Methyltransferases. *Methods Enzymol.* 574, 245–308.
- Carmel, R., Vasireddy, H., Aurangzeb, I., George, K. (2001) High serumcobalamin levels in the clinical setting—clinical associations and holo-transcobalamin changes. *Clin. Lab. Haematol.* 23, 365–371.
- Chang, S.E., Littlefield, J.W. (1976) Elevated dihydrofolate reductase messengerRNA levels in methotrexate-resistant BHK cells. *Cell.* 7, 391–396.
- Chaturvedi, S., Ho_man, R.M., Bertino, J.R. (2018) Exploiting methionine restriction for cancer treatment. *Biochem. Pharmacol.* 154, 170–173.
- Chiuve, S.E., Giovannucci, E.L., Hankinson, S.E., Zeisel, S.H., Dougherty, L.W., Willett, W.C., Rimm, E.B. (2007) The association between betaine and choline intakes and the plasma concentrations of homocysteine in women. *Am. J. Clin. Nutr.* 86, 1073–1081.
- Chiuve, S.E., Giovannucci, E.L., Hankinson, S.E., Zeisel, S.H., Dougherty, L.W., Willett, W.C., Rimm, E.B. (2007) The association between betaine and choline intakes and the plasma concentrations of homocysteine in women. *Am. J. Clin. Nutr.* 86, 1073–1081.
- Collin, S.M., Metcalfe, C., Refsum, H., Lewis, S.J., Zuccolo, L., Smith, G.D., Chen, L., Harris, R., Davis, M., Marsden, G. *et.al* (2010) Circulating Folate, Vitamin B12, Homocysteine, Vitamin B12, Transport Proteins, and Risk of Prostate Cancer: A Case-Control Study, Systematic Review, and Meta-analysis. *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.* 19, 1632.

- Costanzo, M., Caterino, M., Cevenini, A., Jung, V., Chhuon, C., Lipecka, J., Fedele, R., Guerrero, I.C., Ruoppolo, M. (2020) Proteomics Reveals that Methylmalonyl-CoA Mutase Modulates Cell Architecture and Increases Susceptibility to Stress. *Int. J. Mol. Sci.* 21, 4998.
- Costanzo, M., Cevenini, A., Marchese, E., Imperlini, E., Raia, M., Del Vecchio, L., Caterino, M., Ruoppolo, M. (2018) Label-Free Quantitative Proteomics in a Methylmalonyl-CoA Mutase-Silenced Neuroblastoma Cell Line. *Int. J. Mol. Sci.* 19, 3580.
- Crider, K.S., Bailey, L.B., Berry, R.J. (2011) Folic acid food fortification-its history, effect, concerns, and future directions. *Nutrients.* 3, 370-384.
- Deberardinis, R.J., Sayed, N., Ditsworth, D., Thompson, C.B. (2008) Brick by brick: Metabolism and tumor cell growth. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 18, 54-61.
- Ermens, A.A., Vlasveld, L.T., Lindemans, J. (2003) Significance of elevated cobalamin (vitamin B12) levels in blood. *Clin. Biochem.* 36, 585-590.
- Essén, A., Santaolalla, A., Garmo, H., Hammar, N., Walldius, G., Jungner, I., Malmström, H., Holmberg, L., Van Hemelrijck, M. (2019) Baseline serum folate, vitamin B12 and the risk of prostate and breast cancer using data from the Swedish AMORIS cohort. *Cancer Causes Control.* 30, 603-615.
- Farber, S., Diamond, L.K. (1948) Temporary remissions in acute leukemia in children produced by folic acid antagonist, 4-aminopteroyl-glutamic acid. *N. Engl. J. Med.* 238, 787-793.
- Feinberg, A.P., Gehrke, C.W., Kuo, K.C., (1988) Ehrlich, M. Reduced genomic 5-methylcytosine content in human colonic neoplasia. *Cancer Res.* 48, 1159-1161.
- Gao, X., Sanderson, S.M., Dai, Z., Reid, M.A., Cooper, D.E., Lu, M., Richie, J.P.J.R., Ciccarella, A., Calcagnotto, A., Mikhael, P.G., *et.al* (2019) Dietary methionine influences therapy in mouse

- cancer models and alters human metabolism. *Nature*. 572, 397–401.
- Ghemrawi, R., Arnold, C., Battaglia-Hsu, S.F., Pourié, G., Trinh, I., Bassila, C., Rashka, C., Wiedemann, A., Flayac, J., Robert, A., *et.al* (2019) SIRT1 activation rescues the mislocalization of RNA-binding proteins and cognitive defects induced by inherited cobalamin disorders. *Metabolism*. 101, 153992.
- Gramer, G., Fang-Ho_mann, J., Feyh, P., Klinke, G., Monostori, P., Mütze, U., Posset, R., Weiss, K.H., Ho_mann, G.F., Okun, J.G. (2020) Newborn Screening for Vitamin B12 Deficiency in Germany Strategies, Results, and Public Health Implications. *J. Pediatr*. 216, 165–172.e4.
- Green, R. (2017) Vitamin B12 deficiency from the perspective of a practicing hematologist. *Blood*. 129, 2603–2611.
- Green, R., Allen, L.H., Bjørke-Monsen, A.L., Brito, A., Guéant, J. L., Miller, J.W., Molloy, A.M., Nexø, E., Stabler, S., Toh, B.H., *et.al*. (2017) Vitamin B12 deficiency. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 3, 17040.
- Guéant, J.L., Oussalah, A., Zgheib, R., Siblini, Y., Hsu, S.B., Namour, F. (2020) Genetic, epigenetic and genomic mechanisms of methionine dependency of cancer and tumor-initiating cells: What could we learn from folate and methionine cycles. *Biochimie*. 173, 123–128.
- Guéant, J.L., Oussalah, A., Zgheib, R., Siblini, Y., Hsu, S.B., Namour, F. (2020) Genetic, epigenetic and genomic mechanisms of methionine dependency of cancer and tumor-initiating cells: What could we learn from folate and methionine cycles. *Biochimie*. 173, 123–128.
- Hansen, K.C., D'Alessandro, A., DeGregori, J. (2017) Folate dietary insufficiency and folic acid supplementation similarly impair metabolism and compromise hematopoiesis. *Haematologica*. 102, 1985–1994.

- Henry, C.J., Nemkov, T., Casas-Selves, M., Bilousova, G., Zaberezhnyy, V., Higa, K.C., Serkova, N.J., Hersh, E.M., Wong, V.G., Henderson, E.S., Freireich, E.J. (1966) Hepatotoxic effects of methotrexate. *Cancer*. 19, 600–606.
- Institute of Medicine (US) Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes and its Panel on Folate, Other B Vitamins, and Choline (1988) The National Academies Collection: Reports funded by National Institutes of Health. In *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*; National Academies Press (US): Washington, DC, USA.
- Julian, T., Syeed, R., Glasgow, N., Angelopoulou, E., Zis, P. (2020) B12 as a Treatment for Peripheral Neuropathic Pain: A Systematic Review. *Nutrients*. 12, 2221.
- Kerns, J.C., Gutierrez, J.L. (2017) Thiamin. *Adv. Nutr.* 8, 395–397.
- Kim, D.J., Venkataraman, A., Jain, P.C., Wiesler, E.P., DeBlasio, M., Klein, J., Tu, S.S., Lee, S., Medzhitov, R., Iwasaki, A. (2020) Vitamin B12 and folic acid alleviate symptoms of nutritional deficiency by antagonizing aryl hydrocarbon receptor. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 117, 15837–15845.
- Koutmos, M., Datta, S., Pattridge, K.A., Smith, J.L., Matthews, R.G. (2009) Insights into the reactivation of cobalamin-dependent methionine synthase. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 106, 18527–18532.
- Kozyraki, R., Cases, O. (2013) Vitamin B12 absorption: Mammalian physiology and acquired and inherited disorders. *Biochimie*. 95, 1002–1007.
- Lanouette, S., Mongeon, V., Figeys, D., Couture, J.F. (2014) The functional diversity of protein lysine methylation. *Mol. Syst. Biol.* 10, 724.

- Levitt, M., Mosher, M.B., DeConti, R.C., Farber, L.R., Skeel, R.T., Marsh, J.C., Mitchell, M.S., Papac, R.J., Thomas, E.D., Bertino, J.R. (1973) Improved therapeutic index of methotrexate with "leucovorin rescue". *Cancer Res.* 33, 1729-1734.
- Lim, U.; Flood, A., Choi, S.W., Albanes, D., Cross, A.J., Schatzkin, A., Sinha, R., Katki, H.A., Cash, B., Schoenfeld, P., *et.al* (2008) Genomic methylation of leukocyte DNA in relation to colorectal adenoma among asymptomatic women. *Gastroenterology.* 134, 47-55.
- Lu, S.C. (2013) Glutathione synthesis. *Biochim. Biophys. Acta.* 1830, 3143-3153.
- Lyon, P., Strippoli, V., Fang, B., Cimmino, L. (2020) B Vitamins and One-Carbon Metabolism: Implications in Human Health and Disease. Miami: Department of Biochemistry and Molecular Biology.
- Mason, J.B., Dickstein, A., Jacques, P.F., Haggarty, P., Selhub, J., Dallal, G., Rosenberg, I.H. (2007) A Temporal Association between Folic Acid Fortification and an Increase in Colorectal Cancer Rates May Be Illuminating Important Biological Principles: A Hypothesis. *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.* 16, 1325.
- Mastrototaro, L., Sponder, G., Saremi, B., Aschenbach, J.R. (2016) Gastrointestinal methionine shuttle: Priority handling of precious goods. *IUBMB Life.* 68, 924-934.
- Matthews, D.M., Beckett, A.G. (1962) Serum vitamin B12 in renal failure. *J. Clin. Pathol.* 15, 456-458.
- McMahon, G.M., Hwang, S.-J., Tanner, R.M., Jacques, P.F., Selhub, J., Muntner, P., Fox, C.S. (2015) The association between vitamin B12, albuminuria and reduced kidney function: An observational cohort study. *BMC Nephrol.* 16, 7.
- McMahon, R.J. (2002) Biotin in metabolism and molecular biology. *Annu. Rev. Nutr.* 22, 221-239.

- Mentch, S.J., Mehrmohamadi, M., Huang, L., Liu, X., Gupta, D., Mattocks, D., Gomez Padilla, P., Ables, G., Bamman, M.M., Thalacker-Mercer, A.E., *et al.* (2015) Histone Methylation Dynamics and Gene Regulation Occur through the Sensing of One-Carbon Metabolism. *Cell Metab.* 22, 861–873.
- Molloy, A.M., Kirke, P.N., Brody, L.C., Scott, J.M., Mills, J.L. (2008) Effects of folate and vitamin B12 deficiencies during pregnancy on fetal, infant, and child development. *Food Nutr. Bull.* 29, S101–S111, discussion S112–S115.
- Molloy, A.M., Kirke, P.N., Brody, L.C., Scott, J.M., Mills, J.L. (2008) Effects of folate and vitamin B12 deficiencies during pregnancy on fetal, infant, and child development. *Food Nutr. Bull.* 29, S101–S111, discussion S112–S115.
- Plesofsky-Vig,, N., Brambl, R. (1988) Pantothenic acid and coenzyme A in cellular modification of proteins. *Annu. Rev. Nutr.* 8, 461–482.
- Pufulete, M., Al-Ghnamien, R., Leather, A.J., Appleby, P., Gout, S., Terry, C., Emery, P.W., Sanders, T.A. (2003) Folate status, genomic DNA hypomethylation, and risk of colorectal adenoma and cancer: A case control study. *Gastroenterology.* 124, 1240–1248.
- Quinlivan, E.P., Gregory, J.F. (2003) 3rd. Effect of food fortification on folic acid intake in the United States. *Am. J. Clin. Nutr.* 77, 221–225.
- Rickes, E.L., Brink, N.G., Koniuszy, F.R., Wood, T.R., Folkers, K. (1948) Crystalline Vitamin B12. *Science.* 107, 396.
- Sarafoglou, K., Rodgers, J., Hietala, A., Matern, D., Bentler, K. (2011) Expanded Newborn Screening for Detection of Vitamin B12 Deficiency. *JAMA.* 305, 1198–1200.
- Saue, A.A. (2008) NAD⁺ and vitamin B3: From metabolism to therapies. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 324.

- Shiraki, N., Shiraki, Y., Tsuyama, T., Obata, F., Miura, M., Nagae, G., Aburatani, H., Kume, K., Endo, F., Kume, S. (2014) Methionine Metabolism Regulates Maintenance and Differentiation of Human Pluripotent Stem Cells. *Cell Metab.* 19, 780–794.
- Smith, E.L.K. (1948) Purification of Anti-pernicious Anæmia Factors from Liver. *Nature.* 161, 638–639.
- Smithells, R.W., Sheppard, S., Schorah, C.J. (1976) Vitamin deficiencies and neural tube defects. *Arch. Dis. Child.* n51, 944–950.
- Tong, X., Zhao, F., Thompson, C.B. (2009) The molecular determinants of de novo nucleotide biosynthesis in cancer cells. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 19, 32–37.
- Tong, X., Zhao, F., Thompson, C.B. (2009) The molecular determinants of de novo nucleotide biosynthesis in cancer cells. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 19, 32–37.
- Troen, A.M., Mitchell, B., Sorensen, B., Wener, M.H., Johnston, A., Wood, B., Selhub, J., McTiernan, A., Yasui, Y., Oral, E., *et.al* (2006) Unmetabolized folic acid in plasma is associated with reduced natural killer cell cytotoxicity among postmenopausal women. *J. Nutr.* 136, 189–194.
- Tsai, T.-Y., Lee, T.H., Wang, H.H., Yang, T.H., Chang, I.J., Huang, Y.C. (2020) Serum Homocysteine, Folate, and Vitamin B12 Levels in Patients with Systemic Lupus Erythematosus: A Meta-Analysis and Meta-Regression. *J. Am. Coll. Nutr.* 1–11.
- Ueland, P.M., Ulvik, A., Rios-Avila, L., Midttun, Ø., Gregory, J.F. (2015) Direct and Functional Biomarkers of Vitamin B6 Status. *Annu. Rev. Nutr.* 35, 33–70.
- Vander, H.M.G., Lunt, S.Y., Dayton, T.L., Fiske, B.P., Israelsen, W.J., Mattaini, K.R., Vokes, N.I., Stephanopoulos, G., Cantley, L.C., Metallo, C.M., *et al.* (2011) Metabolic pathway alterations that support cell proliferation. *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* 76, 325–334.

- Vogler, W.R., Huguley, C.M., Jr., Kerr, W. (1965) Toxicity and Antitumor Effect of Divided Doses of Methotrexate. *Arch. Intern. Med.* 115, 285-293.
- Vogler, W.R., Jacobs, J. (1971) Toxic and therapeutic effects of methotrexate-folinic acid (Leucovorin) in advanced cancer and leukemia. *Cancer.* 28, 894-901.
- Watanabe, F. (2007) Vitamin B12 sources and bioavailability. *Exp. Biol. Med.* 232, 1266-1274.
- Watanabe, F., Bito, T. (2018) Vitamin B12 sources and microbial interaction. *Exp. Biol. Med.* 243, 148-158.
- Weinblatt, M.E., Coblyn, J.S., Fox, D.A., Fraser, P.A., Holdsworth, D.E., Glass, D.N., Trentham, D.E. (1985) Efficacy of low-dose methotrexate in rheumatoid arthritis. *N. Engl. J. Med.* 312, 818-822.
- Wongkittichote, P., Cunningham, G., Summar, M.L., Pumbo, E., Forny, P., Baumgartner, M.R., Chapman, K.A. (2019) Tricarboxylic acid cycle enzyme activities in a mouse model of methylmalonic aciduria. *Mol. Genet. Metab.* 128, 444-451.
- Wright, J.C., Prigot, A., Wright, B., Weintraub, S., Wright, L.T. (1951) An evaluation of folic acid antagonists in adults with neoplastic diseases: A study of 93 patients with incurable neoplasms. *J. Natl. Med. Assoc.* 43, 211-240.
- Xie, C., Coda, R., Chamlagain, B., Varmanen, P., Piironen, V., Katina, K. (2019) Co-fermentation of *Propionibacterium freudenreichii* and *Lactobacillus brevis* in Wheat Bran for in situ Production of Vitamin B12. *Front. Microbiol.* 10, 1541.
- Xu, G., Lv, Z.-W., Feng, Y., Tang, W.-Z., Xu, G. (2013) A Single-Center Randomized Controlled Trial of Local Methylcobalamin Injection for Subacute Herpetic Neuralgia. *Pain Med.* 14, 884-894.

- Xu, G., Xu, S., Tang, W.-Z., Xú, G., Cheng, C., Xu, J. (2015) Local Injection of Methylcobalamin Combined with Lidocaine for Acute Herpetic Neuralgia. *Pain Med.* 17, 572–581.
- Yang, J., Li, H., Deng, H., Wang, Z. (2018) Association of One-Carbon Metabolism-Related Vitamins (Folate, B6, B12), Homocysteine and Methionine With the Risk of Lung Cancer: Systematic Review and Meta-Analysis. *Front. Oncol.* 8, 493.
- Zhao, R., Matherly, L.H., Goldman, I.D. (2009) Membrane transporters and folate homeostasis: Intestinal absorption and transport into systemic compartments and tissues. *Expert Rev. Mol. Med.* 11, e4. 883–893.

BAB

4

METABOLISME VITAMIN C

Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz.

A. Pendahuluan

Vitamin C dikenal juga sebagai asam askorbat pada pH fisiologis dalam bentuk terionisasi. Pada Tingkat jaringan, fungsi utama untuk sintesis kolagen (defisiensi vitamin C dapat menyebabkan penyakit skorbut). Istilah vitamin C mengacu pada asam askorbat dan asam dehydroascorbic (DHA), karena keduanya menunjukkan aktivitas anti-scorbutic. Asam askorbat, bentuk vitamin in vivo yang fungsional dan primer, adalah bentuk enolat dari α -ketolakton (2,3-didehydrL-threo-hexano-1,4-lactone). Dua atom hidrogen enolat memberikan sifat asam pada senyawa tersebut dan menyediakan elektron untuk fungsinya sebagai reduktor dan antioksidan. Proses oksidasi satu elektronnya, radikal askorbil, mudah terjadi mutasi menjadi askorbat dan DHA, produksi oksidasi dua elektron. Baik radikal askorbil maupun DHA mudah direduksi Kembali menjadi askorbat secara in vivo. Namun, DHA dapat dihidrolisis secara ireversibel menjadi asam 2,3- diketogulonat. Vitamin C memiliki isomer D dan L ; isomer-L dari vitamin yang secara biologis aktif pada manusia. Struktur molekul asam askorbat mengandung atom karbon asimetris yang memungkinkan dua bentuk enansiomer, dimana bentuk L terbentuk secara alami (bentuk D, asam isoaskorbat atau eritorbat, memberikan antioksidan tetapi sedikit atau tidak ada aktivitas anti - scorbutic), seperti terdapat pada gambar berikut ini :

DAFTAR PUSTAKA

- Ashor AW, Brown R, Keenan PD, Willis ND, Siervo M, Mathers JC. Limited Evidence for a Beneficial Effect of Vitamin C Supplementation on Biomarkers Of Cardiovascular Diseases: an Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses. *Nutr Res.* 2019 Jan;61:1-12.
- Beuttner, Gr.; Schafer, Fq. Ascorbate As An Antioxidant. In: Asard, H.; May, J.; Smirnoff, N., Editors. *Vitamin C: Function And Biochemistry In Animals And Plants.* Bios Scientific Publishers; London:2004. P. 173-188
- Blaszczak W, Barczak W, Masternak J, Kopczyński P, Zhitkovich A, Rubiś B. Vitamin C as a Modulator of the Response to Cancer Therapy. *Molecules.* 2019 Jan 28;24(3)
- Buettner Gr. The Pecking Order Of Free Radicals And Antioxidants: Lipid Peroxidation, Alpha-Tocopherol, And Ascorbate. *Arch Biochem Biophys.* 1993; 300:535-43. [Pubmed: 8434935]
- Carr Ac, Frei B. Toward A New Recommended Dietary Allowance For Vitamin C Based On Antioxidant And Health Effects In Humans. *Am J Clin Nutr* 1999;69:1086-107
- De Carvalho Melo-Cavalcante AA, da Rocha Sousa L, Alencar MVOB, de Oliveira Santos JV, da Mata AMO, Paz MFCJ, de Carvalho RM, Nunes NMF, Islam MT, Mendes AN, Gonçalves JCR, da Silva FCC, Ferreira PMP, de Castro E Sousa JM. Retinol Palmitate And Ascorbic Acid: Role in Oncological Prevention And Therapy. *Biomed Pharmacother.* 2019 Jan;109:1394-1405.
- Doseděl, M.; Jirkovský, E.; Macáková, K.; Krčmová, L.K.; Javorská, L.; Pourová, J.; Mercolini, L.; Remião, F.; Nováková, L.; Mladěnka, P.; Vitamin C – Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, And Determination. *Nutrients* 2021, 13, 615. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/NU13020615](https://doi.org/10.3390/NU13020615)

- Fenech M, Amaya I, Valpuesta V, Botella MA. Vitamin C Content in Fruits: Biosynthesis and Regulation. *Front Plant Sci.* 2018;9:2006.
- Institute of Medicine (US) Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000.
- Jim Mann & A. Stewart Truswell. Buku Ajar Ilmu Gizi.(Jakarta : EGC,2012).PP : 227238
- Khalife R, Grieco A, Khamisa K, Tinmouh A, McCudden C, Saidenberg E. Scurvy, An Old Story In A New Time: The Hematologist's Experience. *Blood Cells Mol Dis.* 2019 May;76:40-44.
- Parrow NI, Leshin JA, Levine M. Parenteral Ascorbate As A Cancer Therapeutic: A Reassessment Based On Pharmacokinetics. *Antioxid Redox Signal.* 2013; 19:2141-56. [Pubmed: 23621620]
- Padayatty SJ, Levine M. Vitamin C Physiology : The Known And The Unknown And Goldilocks. *Hhs Public Access.* 2016; 22(6) : 463 - 493-6. Doi:10.1111/Odi.12446.

BAB 5 | METABOLISME VITAMIN D

dr. Widia Sari, M.Biomed.

A. Pendahuluan

Vitamin D merupakan salah satu zat nutrisi yang dibutuhkan oleh tubuh (Ellison & Moran, 2021) . Vitamin ini memiliki kesamaan dengan hormon yang disekresikan oleh kelenjar adrenal dan hormon seks karena sama-sama berasal dari steroid (Ellison & Moran, 2021; Płomiński *et al.*, 2022; Saponaro *et al.*, 2020). Vitamin D memiliki peranan yang penting dalam mempertahankan homeostasis tulang dan kalsium serta fosfat (Saponaro *et al.*, 2020). Namun, dalam beberapa waktu terakhir diketahui bahwa vitamin D tidak hanya berperan dalam menjaga kesehatan tulang, tetapi vitamin D juga memiliki efek pada sistem kardiovaskular, mencegah perkembangan sel kanker, serta memiliki efek sebagai anti-inflamasi dan imun modulator (Acar & Özkan, 2021; Christakos *et al.*, 2016).

Beberapa ahli berpendapat bahwa vitamin D tidak hanya termasuk ke dalam kelompok vitamin, tetapi juga dapat dimasukkan dalam kelompok hormon. Hal ini disebabkan karena vitamin D memiliki efek yang luas pada tubuh. Selain itu, alasan vitamin D dimasukkan ke dalam kelompok hormon adalah karena vitamin D merupakan satu-satunya vitamin yang dapat disintesis langsung oleh tubuh dan bekerja pada sel target yang jauh dari tempat vitamin D dihasilkan (Ellison & Moran, 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Acar, S., & Özkan, B. (2021). Vitamin D Metabolism. In Ö. Özdemir (Ed.), *Vitamin D*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97180>
- Bikle, D. D. (2014). Vitamin D metabolism, mechanism of action, and clinical applications. In *Chemistry and Biology* (Vol. 21, Issue 3, pp. 319–329). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2013.12.016>
- Bikle, D. D. (2020). Vitamin D: Newer concepts of its metabolism and function at the basic and clinical level. *Journal of the Endocrine Society*, 4(2). <https://doi.org/10.1210/jendso/bvz038>
- Bikle, DD. (2021). Vitamin D: Production, Metabolism and Mechanisms of Action. Endotext [Internet].
- Christakos, S., Dhawan, P., Verstuyf, A., Verlinden, L., & Carmeliet, G. (2016). Vitamin D: Metabolism, Molecular Mechanism of Action, and Pleiotropic Effects. *Physiol Rev*, 96, 365–408. <https://doi.org/10.1152/physrev.00014.2015.-1,25-Dihydrox>
- Demer, L. L., Hsu, J. J., & Tintut, Y. (2018). Steroid Hormone Vitamin D: Implications for Cardiovascular Disease. In *Circulation Research* (Vol. 122, Issue 11, pp. 1576–1585). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.311585>
- Ellison, D. L., & Moran, H. R. (2021). Vitamin D: Vitamin or Hormone? *Nursing Clinics of North America*, 56(1), 47–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cnur.2020.10.004>
- Płomiński, J., Grzybowski, R., Fiedorowicz, E., Sienkiewicz-Szłapka, E., Rozmus, D., Król-Grzymała, A., Jarmołowska, B., Kordulewska, N., & Cieślińska, A. (2022). Vitamin D Metabolic Pathway Components in Orthopedic Patients – Systematic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24). <https://doi.org/10.3390/ijms232415556>

Saponaro, F., Saba, A., & Zucchi, R. (2020). An update on vitamin d metabolism. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 18, pp. 1-19). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms21186573>

BAB 6 | METABOLISME VITAMIN E

Nur Rezky Khairun Nisaa, S. Farm., M.Si.

A. Pendahuluan

Metabolisme adalah suatu proses reaksi-reaksi kimia kompleks yang dapat di temukan di dalam tubuh untuk menjaga kelangsungan hidup. Ini mencakup sejumlah reaksi kimia yang terjadi dalam sel untuk menghasilkan energi, mempertahankan struktur sel, dan mengatur fungsi-fungsi tubuh lainnya. Proses metabolisme sangat penting karena menyediakan energi yang diperlukan untuk aktivitas seluler, pertumbuhan, perkembangan, dan pemeliharaan organisme (Simaremare & Silaban, 2023).

Fungsi utama metabolisme adalah mengubah komponen panganan menjadi bentuk energi yang dapat digunakan oleh sel-sel tubuh. Proses ini melibatkan pencernaan makanan menjadi zat-zat gizi yang lebih sederhana, seperti glukosa, asam amino, dan asam lemak, yang kemudian diubah menjadi energi melalui serangkaian reaksi biokimia. Selain itu, metabolisme juga berperan dalam menjaga keseimbangan energi tubuh, memperbaiki jaringan yang rusak, serta menghasilkan zat-zat yang diperlukan untuk fungsi-fungsi tubuh tertentu, seperti hormon dan enzim.

Metabolisme dalam tubuh melibatkan dua proses utama, yaitu katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah serangkaian reaksi kimia yang menghasilkan energi dengan memecah molekul-molekul besar menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Proses ini terutama terjadi dalam

DAFTAR PUSTAKA

- Cardenas, E., & Ghosh, R. (2013). Vitamin E: A Dark Horse At The Crossroad Of Cancer Management. *Biochemical Pharmacology*, 86(7), 845-852.
- Dutta, A., & Dutta, S. K. (2003). Vitamin E And Its Role In The Prevention Of Atherosclerosis And Carcinogenesis: a Review. *Journal of the American College of Nutrition*, 22(4), 258-268.
- Evans, H. M., & Bishop, K. S. (1922). On The Existence Of A Hitherto Unrecognized Dietary Factor Essential For Reproduction. *Science*, 56(1458), 650-651.
- Galan, P., Viteri, F. E., Bertrais, S., Czernichow, S., Faure, H., Arnaud, J., ... & Hercberg, S. (2005). Serum Concentrations of β -carotene, Vitamins C and E, Zinc And Selenium Are Influenced By Sex, Age, Diet, Smoking Status, Alcohol Consumption And Corpulence In A General French adult population. *European journal of clinical nutrition*, 59(10), 1181-1190.
- Gunanti, I. R., Marks, G. C., Al-Mamun, A., & Long, K. Z. (2014). Low Serum Concentrations Of Carotenoids And Vitamin E Are Associated With High Adiposity in Mexican-American children. *The Journal of nutrition*, 144(4), 489-495.
- National Center for Biotechnology Information (2024). PubChem Compound Summary for CID 14985, Alpha-Tocopherol. Retrieved April 2, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Alpha-Tocopherol>.
- Reboul, E. (2017). Vitamin E Bioavailability: Mechanisms Of Intestinal Absorption In The Spotlight. *Antioxidants*, 6(4), 95.
- Sen, C. K., Khanna, S., & Roy, S. (2007). Tocotrienols in Health and Disease: The Other Half Of The Natural Vitamin E family. *Molecular aspects of medicine*, 28(5-6), 692-728.

- Schmölz, L., Birringer, M., Lorkowski, S., & Wallert, M. (2016). Complexity of vitamin E metabolism. *World journal of biological chemistry*, 7(1), 14-43. <https://doi.org/10.4331/wjbc.v7.i1.14>
- Simaremare, D. D., & Silaban, R. (2023). BIODIVERSITAS DAN KEMERDEKAAN EKONOMI. Uswahid Media Indonesia.
- Traber, M. G. (2014). Vitamin E Inadequacy in Humans: Causes and Consequences. *Advances in Nutrition*, 5(5), 503-514.

BAB 7

METABOLISME VITAMIN K

Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz.

A. Ringkasan dan Bentuk Vitamin K

Vitamin K termasuk zat gizi mikro yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah kecil namun berdampak signifikan terhadap kesehatan terutama pada fungsi fisiologi tubuh. Vitamin K merupakan sekelompok senyawa yang larut dalam lemak yang dikenal sebagai 2-metil-1,4-naftokuinon yang terdapat substituen alkil variabel pada posisi ketiga senyawa.

Ada 3 bentuk yang terdapat pada vitamin K yaitu 2 bentuk primer adalah K1 (phylloquinone) dan K2 (menaquinone), dan bentuk sintetis ketiga K3 (menadione) sudah tidak digunakan lagi. Bentuk sintetis pada vitamin K1 telah menggantikan vitamin K3 karena potensi toksisitas pada bayi dengan defisiensi glukosa-6-fosfat dehidrogenase (Mihatsch WA, 2016).

Vitamin K larut dalam lemak dan tahan panas, tetapi mudah rusak oleh radiasi, asam dan alkali (Winarno, 1997).

B. Sumber dan Kebutuhan Vitamin K

Vitamin K berasal dari makanan seperti sayuran berdaun hijau dan makanan fermentasi dan sintesisnya oleh flora usus.

Kebutuhan Vitamin K menurut *National Academy of Science Food and Nutrition Board* yang sebaiknya terdapat pada asupan makanan yang direkomendasikan untuk orang dewasa sehat adalah 120 µg/hari untuk pria dan 90 µg/hari untuk wanita.

DAFTAR PUSTAKA

- Almatsier, Sunita. 2002. Prinsip Dasar Ilmu Gizi. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Booth SL, Pennington JA, Sadowski JA. 1996. a. Dihydro-vitamin K1: Primary Food Sources And Estimated Dietary Intakes In the American diet. *Lipids* 31:715-720.
- Booth SL, Pennington JA, Sadowski JA. 1996. b. Food Sources And Dietary Intakes Of Vitamin K-1 (phylloquinone) in the American diet: Data from the FDA Total Diet Study. *J Am Diet Assoc* 96:149-154.
- Champe, Pamela C, Richard A Harvey, and Denise R Ferrier. 2008. Lippincott's Illustrated Reviews: Biochemistry, 3rd edition (Lippincott's Illustrated Reviews). Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia. USA
- Eden RE, Daley SF, Coviello JM. Vitamin K Deficiency. 2023 Sep 8. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 30725668.
- Fusaro M, Gallieni M, Rizzo MA, Stucchi A, Delanaye P, Cavalier E, Moysés RMA, Jorgetti V, Iervasi G, Giannini S, Fabris F, Aghi A, Sella S, Galli F, Viola V, Plebani M. Vitamin K Penentuan Kadar Plasma Dalam Kesehatan Manusia. *Klinik Kimia Lab Med*. 01 Mei 2017; 55 (6):789-799
- Garber AK, Binkley NC, Krueger DC, Suttie JW. 1999. Comparison of Phylloquinone Bioavailability From Food Sources Or A Supplement In Human Subjects. *J Nutr* 129:1201-1203
- Greer FR, Mumma-Schendel LL, Marshall S, Suttie JW. Vitamin K1 (phylloquinone) and Vitamin K2 (Menaquinone) Status in Newborns During The First Week Of Life. *Pediatrics*. 1988 Jan;81(1):137-40.

- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2019. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 Tentang Angka Kecukupan Gizi Yang Dianjurkan Untuk Masyarakat Indonesia. Jakarta
- Mihatsch WA, Braegger C, Bronsky J, Campoy C, Domellöf M, Fewtrell M, Mis NF, Hojsak I, Hulst J, Indrio F, Lapillonne A, Mlgaard C, Embleton N, van Goudoever J., Komite Nutrisi ESPGHAN. Pencegahan Pendarahan Defisiensi Vitamin K pada Bayi Baru Lahir: Makalah Posisi oleh Komite Nutrisi ESPGHAN. *J Pediatr Gastroenterol Nutrisi*. Juli 2016; 63 (1):123-9.
- Napolitano M, Mariani G, Lapecorella M. Hereditary combined deficiency of the vitamin K-Dependent Clotting Factors. *Orphanet J Rare Dis*. 2010 Jul 14;5:21.
- Shearer MJ, McBurney A, Barkhan P. Studi Tentang Penyerapan Dan Metabolisme Phylloquinone (Vitamin K1) pada Manusia. *Vitamin Horm*. 1974; 32 :513-42.
- Tie JK, Carneiro JD, Jin DY, Martinhago CD, Vermeer C, Stafford DW. Karakterisasi Mutasi Karboksilase Yang Bergantung Pada Vitamin K yang Menyebabkan Gangguan Perdarahan Dan Non-Perdarahan. *Darah*. 14 April 2016; 127 (15):1847-55
- Winarno, F.G, 1997, Kimia Pangan dan Gizi, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

BAB 8 | METABOLISME NATRIUM

Leny Eka Tyas Wahyuni, S.Gz., M.Si.

A. Pendahuluan

Metabolisme adalah reaksi kimia yang terjadi pada makhluk hidup dengan cara mengubah, memperoleh, dan menggunakan senyawa kimia dari lingkungan sekitar untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Metabolisme terdiri dari anabolisme dan katabolisme. Anabolisme adalah proses sintesis molekul kimia kecil menjadi molekul yang lebih besar sehingga proses ini membutuhkan energi, sedangkan katabolisme yaitu proses penguraian molekul besar menjadi lebih kecil dan melepaskan energi. Seluruh proses metabolisme melibatkan enzim sebagai katalisator (Muhiddin 2023). Metabolisme tubuh melibatkan zat gizi makro dan mikro yang bekerja bersama-sama untuk mendukung fungsi-fungsi penting dalam tubuh, seperti pertumbuhan, pemeliharaan, dan pemulihan jaringan.

Mineral adalah komponen yang tak terpisahkan dari tubuh dan memiliki peran vital dalam menjaga fungsi tubuh, baik di tingkat sel, jaringan, organ, maupun secara keseluruhan. Kalsium, fosfor, dan magnesium terdapat dalam tulang, sedangkan besi terdapat dalam hemoglobin sel darah merah dan yodium dalam hormon tiroksin. Selain itu, mineral juga turut berperan dalam berbagai tahap metabolisme, terutama sebagai kofaktor dalam aktivitas enzim-enzim. Keseimbangan ion-ion mineral dalam cairan tubuh penting untuk mengatur aktivitas enzim, menjaga keseimbangan asam-basa, mendukung transfer

DAFTAR PUSTAKA

- Byun, S.H., Jee, Y.H. 2022. Hyponatremia. *Korean Journal of Pediatrics*. Vol 65(2): 47-54.
- Ditjen P2P, Kemenkes. 2024. *Anjuran konsumsi gula, garam, dan lemak per hari*. Diakses 4 Mei 2024 pada <https://p2p.kemkes.go.id/anjuran-konsumsi-gula-garam-dan-lemak-per-hari>.
- Dorland, W.A. 2010, *Kamus Kedokteran (edisi 31)*. Jakarta: Buku Kedokteran (EGC)
- Hoorn, E.J., Zietse, R. 2017. Hyponatremia and mortality: moving beyond associative studies. *Journal of the American Society of Nephrology*. Vol 28(5): 1480-1492.
- Liamis, G., Filippatos, T.D., Elisaf, M.S. 2022. Hyponatremia: Causes, diagnosis, and management. *Metabolism*. Vol 128.
- Muhiddin, N.H. 2023. *Metabolisme Biomolekul*. Jakarta: PT Arrus Intelektual Indonesia.
- Ningrum, A.K. 2015. *Pengetahuan Label Kemasan Pangan*. Malang: Gunung Samudera.
- Nuari, N.A., Widayati, D. 2017. *Gangguan pada sistem perkemihan & penatalaksanaan keperawatan*. Deepublish (ID): Yogyakarta.
- Nurpalah, R., Rosita, N. 2014. Gambaran kadar natrium (Na) pada pasien hipertensi dengan rentang usia 31-55 tahun. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada*. Vol 11(1).
- Polii, R, Engka, J.N.A., Sapulete, I.M 2016. Hubungan kadar natrium dengan tekanan darah pada remaja di Kecamatan Bolangitang Barat Kabupaten Bolaan Mongondow Utara. *Jurnal e-Biomedik (eBm)*. Vol 4(2).
- Ridwan, M. 2017. *Mengenal, mencegah, mengatasi silent killer, HIPERTENSI*. Surabaya: Hikam Pustaka.

- Spasovski, G., Vanholder, R., Allolio, B., Annane, D., Ball, S., Bichet, D., *et al.* 2014. Clinical practice guideline on diagnosis and treatment of hyponatraemia. *European Journal of Endocrinology*, 170(3).
- Sterns, R.H. 2015. Disorders of plasma sodium--causes, consequences, and correction. *New England Journal of Medicine*. Vol 372(1): 55-65.
- Yuswir, R., Ferawati, I. 2012. Fisiologi dan gangguan keseimbangan natrium, kalium, dan klorida, serta pemeriksaan laboratorium. *Jurnal Kesehatan Andalas*. Vol 1(12): 80-85.

BAB 9 | METABOLISME KLORIDA

Berliana Puspita, S.Tr.Gz., M.Gz.

A. Pengertian

Klorida adalah salah satu jenis anion yang sering ditemukan dalam cairan ekstraseluler dan memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan cairan dalam tubuh. Mayoritas klorida dikonsumsi dalam bentuk natrium klorida (NaCl) atau garam meja. Dalam menjaga keseimbangan asam-basa tubuh, klorida bersaing dengan bikarbonat untuk mendapatkan natrium. Ketika tingkat keasaman dalam tubuh meningkat, ginjal akan mengkompensasinya dengan mengeluarkan klorida dan natrium, sementara bikarbonat akan diserap kembali. Selain itu, klorida juga berperan dalam pertukaran dengan bikarbonat di dalam sel darah merah. Sebagian besar klorida diserap melalui usus halus dan dieksresikan melalui urin dan keringat untuk menjaga keseimbangan yang tepat. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya klorida dalam menjaga fungsi tubuh yang optimal, terutama dalam hal menjaga keseimbangan cairan dan asam-basa (Almatsier, 2001).

Klorida adalah ion bermuatan negatif yang umumnya ditemukan dalam senyawa seperti natrium klorida (garam meja). Ion ini memainkan peran penting dalam berbagai proses biologis, termasuk menjaga keseimbangan elektrolit, fungsi saraf, dan keseimbangan asam-basa dalam tubuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuazza, G., Becker, A. M., & LaFrance, R. (2018). *Cellular and molecular physiology of gastric acid secretion*. *Physiological Reviews*, 98(3), 1597-1669.
- Accardi, A., & Miller, C. (2004). *Secondary active transport mediated by a prokaryotic homologue of ClC Cl channels*. *Nature*, 427(6977), 803–807. <https://doi.org/10.1038/nature02314>
- Almatsier, S. (2001). *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama . 2004. Prinsip dasar Ilmu Gizi. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka
- Alvarez-Leefmans, Francisco & Delpire, E.. (2010). *Physiology and Pathology of chloride transporters and channels in the nervous system*.
- Baker L. B. (2017). *Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability*. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(Suppl 1), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0691-5>.
- Barrett, K. E., & Keely, S. J. (2000). *Chloride secretion by the intestinal epithelium: molecular basis and regulatory aspects*. *Annual review of physiology*, 62, 535–572. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.62.1.535>
- Bobulescu, I. A., & Moe, O. W. (2006). *Na⁺/H⁺ exchangers in renal regulation of acid-base balance*. *Seminars in nephrology*, 26(5), 334–344. <https://doi.org/10.1016/j.semnephrol.2006.07.001>
- Casey, D. P., Curry, T. B., Wilkins, B. W., & Joyner, M. J. (2011). *Nitric oxide-mediated vasodilation becomes independent of beta-adrenergic receptor activation with increased intensity of hypoxic exercise*. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 110(3), 687–694. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00787.2010>

- Doyon, N., Vinay, L., Prescott, S. A., & De Koninck, Y. (2016). *Chloride Regulation: A Dynamic Equilibrium Crucial for Synaptic Inhibition*. *Neuron*, 89(6), 1157–1172. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.02.030>
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Aggett, P., Fairweather-Tait, S., Martin, A., Przyrembel, H., ... Naska, A. (2019). *Dietary reference values for chloride*. *EFSA journal*. European Food Safety
- Ganong WF (2003). *Buku Ajar Fisiologi Kesehatan*. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC. Syaafuddin, (2012). *Anatomi Fisiologi*. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC
- Garty, H., & Karlish, S. J. (2006). *Role of FXYD proteins in ion transport*. *Annual review of physiology*, 68, 431–459. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.68.040104.131852>
- Guyton, A. C., Coleman, T. G., & Granger, H. J. (1972). *Circulation: overall regulation*. *Annual review of physiology*, 34, 13–46. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.34.030172.000305>
- Hadchouel, Juliette & Ellison, David & Gamba, Gerardo. (2016). *Regulation of renal electrolyte transport by WNK and SPAK-OSR1 kinases*. *Annual review of physiology*. 78. 367-389. [10.1146/annurev-physiol-021115-105431](https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-021115-105431).
- Hisayoshi Hayashi, Yuichi Suzuki, (2012) *Chloride Absorption Mechanisms in the Intestine*, MEMBRANE, 2011, Volume 36, Issue 6, Pages 293-299, Released on J-STAGE May 18, 2012, Online ISSN 1884-6440, Print ISSN 0385-1036, <https://doi.org/10.5360/membrane.36.293>,
- Höglund, P., Haila, S., Socha, J., Tomaszewski, L., Saarialho-Kere, U., Karjalainen-Lindsberg, M. L., Airola, K., Holmberg, C., de la Chapelle, A., & Kere, J. (1996). *Mutations of the Down-*

- regulated in adenoma (DRA) gene cause congenital chloride diarrhoea.* *Nature genetics*, 14(3), 316–319.
<https://doi.org/10.1038/ng1196-316>
- Jones, D., & Brown, E. (2020). *Role of Chloride Channels in Neuronal Function: Insights from Recent Advances.* *Journal of Physiology*, 598(15), 3191-3205.
- Kaila, K., Price, T. J., & Payne, J. A. (2014). *Cation-chloride cotransporters in neuronal development, plasticity and disease.* *Nature reviews. Neuroscience*, 15(10), 637–654.
<https://doi.org/10.1038/nrn3819>
- Kiela, P. R., & Ghishan, F. K. (2016). *Physiology of Intestinal Absorption and Secretion. Best practice & research. Clinical gastroenterology*, 30(2), 145–159.
<https://doi.org/10.1016/j.bpg.2016.02.007>
- Kim, H. J., Lee, P. C., & Hong, J. H. (2022). *Chloride Channels and Transporters: Roles beyond Classical Cellular Homeostatic pH or Ion Balance in Cancers.* *Cancers*, 14(4), 856.
<https://doi.org/10.3390/cancers1404085>
- Kopic, S., & Geibel, J. P. (2013). *Gastric acid, calcium absorption, and their impact on bone health.* *Physiology*, 28(4), 265-274.
- Laurent, S., Cockcroft, J., Van Bortel, L., Boutouyrie, P., Giannattasio, C., Hayoz, D., Pannier, B., Vlachopoulos, C., Wilkinson, I., Struijker-Boudier, H., & European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries (2006). *Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications.* *European heart journal*, 27(21), 2588–2605.
<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehl254>
- Linsdell P. (2014). *Cystic fibrosis transmembrane conductance regulator chloride channel blockers: Pharmacological, biophysical and physiological relevance.* *World journal of biological chemistry*, 5(1), 26–39. <https://doi.org/10.4331/wjbc.v5.i1.26>

- Loh, J. A., & Verbalis, J. G. (2008). *Disorders of Water and Salt Metabolism Associated with Pituitary Disease*. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 37(1), 213–234. doi:10.1016/j.ecl.2007.10.008
- Lüscher, B. P., Vachel, L., Ohana, E., & Muallem, S. (2020). *Cl as a bona fide signaling ion*. *American journal of physiology. Cell physiology*, 318(1), C125–C136. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00354.2019>
- Marunaka Y. (1997). *Hormonal and osmotic regulation of NaCl transport in renal distal nephron epithelium*. *The Japanese journal of physiology*, 47(6), 499–511. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.47.499>
- Marunaka Y. (2023). *Physiological roles of chloride ions in bodily and cellular functions*. *The journal of physiological sciences : JPS*, 73(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s12576-023-00889-x>
- Morrison G. Serum Chloride. In: Walker HK, Hall WD, Hurst JW, editors. (1990) *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*. 3rd edition. Boston: Butterworths; 1990. Chapter 197. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK309/>
- Nelson, David L. (David Lee), 1942-. (2005). *Lehninger principles of biochemistry*. New York :W.H. Freeman,
- Oh Y. K. (2010). *Acid-base disorders in ICU patients. Electrolyte & blood pressure : E & BP*, 8(2), 66–71. <https://doi.org/10.5049/EBP.2010.8.2.66>
- Pedersen, T. H., Riisager, A., de Paoli, F. V., Chen, T. Y., & Nielsen, O. B. (2016). *Role of physiological ClC-1 Cl ion channel regulation for the excitability and function of working skeletal muscle*. *The Journal of general physiology*, 147(4), 291–308. <https://doi.org/10.1085/jgp.201611582>
- Puljak L, Kilic G. (2006) *Emerging roles of chloride channels in human diseases*. *Biochim Biophys Acta* 2006;1762:404–13.

- Rajagopal, M., & Wallace, D. P. (2015). *Chloride secretion by renal collecting ducts*. *Current opinion in nephrology and hypertension*, 24(5), 444–449. <https://doi.org/10.1097/MNH.0000000000000148>
- Rajagopal, M., & Wallace, D. P. (2015). *Chloride secretion by renal collecting ducts*. *Current opinion in nephrology and hypertension*, 24(5), 444–449. <https://doi.org/10.1097/MNH.0000000000000148>
- Robert W. Wilmott, Andrew Bush, Robin R Deterding, Felix Ratjen, Peter Sly, Heather Zar, Albert Li. (2018) *Kendig's Disorders of the Respiratory Tract in Children 9th Edition Hardback* ISBN: 97803234488719 7 8 0 3 2 3 4 4 8 8 7 1 eBook ISBN: 9780323555951
- Sharma S, Hashmi MF, Aggarwal S. (2023) *Hyperchloremic Acidosis*. [Updated 2023 May 8]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482340/>
- Smith, A. B., Johnson, B. C., & Anderson, C. D. (2018). *Role of chloride ions in gastric acid secretion*. *Journal of Physiology*, 596(11), 2181-2191.
- Smith, A., Johnson, B., & Anderson, C. (2019). *Chloride Ion Signaling in Immune Cells*. *Journal of Clinical Investigation*, 129(8), 3056-3068.
- Stauber, T., & Jentsch, T. J. (2013). *Chloride in vesicular trafficking and function*. *Annual review of physiology*, 75, 453–477. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-030212-183702>
- Strange, K., Emma, F., & Jackson, P. S. (1996). *Cellular and molecular physiology of volume-sensitive anion channels*. *The American journal of physiology*, 270(3 Pt 1), C711–C730. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1996.270.3.C711>
- Tang YB, Zhou JG, Guan YY. (2010) *Volume-regulated chloride channels and cerebral vascular remodelling*. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2010;37:238–42.

- Thorsen, K., Drengstig, T., & Ruoff, P. (2014). *Transepithelial glucose transport and Na⁺/K⁺ homeostasis in enterocytes: an integrative model*. *American journal of physiology. Cell physiology*, 307(4), C320–C337.
<https://doi.org/10.1152/ajpcell.00068.2013>
- Veizis IE, Cotton CU (2007). *Role of kidney chloride channels in health and disease*. *Pediatr Nephrol* 2007;22:770–7.

BAB 10 | METABOLISME KALIUM

Riska Rusydi, S.Tr.Gz., M.Gz.

A. Pendahuluan

Kalium adalah kation intraseluler utama sebanyak 98% kalium tubuh terdapat pada intraseluler lalu hanya 2% terdapat pada ekstraseluler (Nathania, 2019). Mineral yang dapat ditemukan pada mayoritas makanan. Kalium termasuk dalam salah satu elektrolit yang memiliki peran penting di dalam tubuh (AIPGI and PERSAGI, 2016).

Kalium berperan penting dalam mempertahankan membran untuk beristirahat dari sel-sel yang tereksitasi, seperti sel otot, sel neuron, dan sel jantung. Distribusi kalium di intraseluler dan ekstraseluler berperan dalam mekanisme pertahanan awal dalam melawan terjadinya hiperkalemia atau hipokalemia (Oh and Baum, 2019).

B. Gangguan Keseimbangan Kalium

1. Kelebihan Kalium (Hiperkalemia)

Kadar kalium yang berlebih di dalam darah dapat disebabkan karena keluarnya kalium dari intrasel ke ekstrasel akibat terjadinya keadaan asidosis metabolik, katabolisme jaringan yang meningkat, defisit insulin, dan efek konsumsi obat-obatan. Selain itu juga dapat disebabkan karena berkurangnya ekskresi kalium melalui ginjal (Yaswir and Ferawati, 2012). Kondisi hiperkalemia ini dapat menyebabkan terjadinya masalah sebagai berikut (Colbert, 2024) :

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, R. (2019), *Mineral Fungsi dan Metabolisme*, Karunia, Surabaya.
- AIPGI and PERSAGI. (2016), *Ilmu Gizi Teori & Aplikasi*, edited by Prof.Hardinsyah, M. and I Dewa Nyoman Supariasa, M., EGC, Jakarta.
- Colbert, G.B. (2024), "Potassium", <https://emedicine.medscape.com/article/2054364-overview?form=fpf#a4>, 27 February.
- Lestari, A. (2020), *Gambaran Asupan Natrium Dan Kalium Pada Lansia Di Kota Surakarta*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Nadiyah. (2020), *Modul Metabolisme Zat Gizi Mikro*.
- Nathania, M. (2019), "Hipokalemia-Diagnosis dan Tatalaksana", *Cermin Dunia Kedokteran*, Vol. 46 No. 2.
- Novianti, A., Billa Mustika, A. and Mulyani, Y. (2021), "Pengetahuan Gizi, Asupan Natrium, Kalium, Vitamin D Berhubungan dengan Tekanan Darah Ibu Hamil", *Darussalam Nutrition Journal*, Vol. 5 No. 2, pp. 90-100.
- Oh, W. and Baum, M. (2019), *Nephrology and Fluid/Electrolyte Physiology*, Third Edition., Elsevier, doi: 10.1016/C2016-0-00002-5.
- Yaswir, R. and Ferawati, I. (2012), "Fisiologi dan Gangguan KeseimbanganNatrium, Kalium dan Klorida Serta Pemeriksaan Laboratorium", *Jurnal Kesehatan Andalas*, Vol. 1 No. 2.

BAB 11 | METABOLISME KALSIMUM

dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D.

A. Pendahuluan

Kalsium merupakan unsur ke-5 yang paling melimpah di bumi dan juga merupakan mineral yang paling melimpah dalam tubuh manusia. Tubuh manusia mengandung sekitar 1 kg kalsium dengan lebih dari 99% deposit di tulang dalam bentuk kalsium fosfat. (Zhou *et al.*, 2013) Melalui interaksi dengan banyak protein yang didistribusikan kompartemen seluler yang berbeda, kalsium terlibat dalam sejumlah besar aspek kehidupan, seperti kontraksi otot, aktivasi enzim, diferensiasi sel, respon imun, kematian sel terprogram, dan aktivitas saraf.

Fungsi kalsium yang begitu luas dipertahankan oleh konsentrasi kalsium yang dikontrol ketat dalam cairan ekstra seluler dan kompartemen seluler. (Oh, 2023) Konsentrasi dari kalsium dalam darah dan cairan ekstraseluler biasanya dipertahankan pada 1-2 mmol/L, sedangkan konsentrasi kalsium intraseluler pada keadaan istirahat dipertahankan pada konsentrasi 100 nmol/L atau kurang oleh kalsium ATPase, saluran, dan *exchanger* yang terletak di membran plasma dan membran retikulum endoplasma.

Selama proses pensinyalan kalsium, konsentrasi intraseluler kalsium meningkat menjadi sekitar μ 100 M, yang memicu sinyal kalsium melalui aktivasi atau deaktivasi suatu serangkaian protein pengikat kalsium. (Bagur & Hajnóczky, 2017) Selain itu, patogen seperti virus, dapat mengambil alih

DAFTAR PUSTAKA

- Aloia, J. F., Chen, D. G., Yeh, J. K., & Chen, H. (2010). Serum vitamin D metabolites and intestinal calcium absorption efficiency in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 92(4), 835–840. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29553>
- Areco, V. A., Kohan, R., Talamoni, G., Tolosa De Talamoni, N. G., & Peralta López, M. E. (2020). Intestinal Ca²⁺ absorption revisited: A molecular and clinical approach. In *World Journal of Gastroenterology* (Vol. 26, Issue 24, pp. 3344–3364). Baishideng Publishing Group Co. <https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i24.3344>
- Bagur, R., & Hajnóczky, G. (2017). Intracellular Ca²⁺ Sensing: Its Role in Calcium Homeostasis and Signaling. In *Molecular Cell* (Vol. 66, Issue 6, pp. 780–788). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2017.05.028>
- Cormick, G., & Belizán, J. M. (2019). Calcium intake and health. In *Nutrients* (Vol. 11, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu11071606>
- Eisner, D. A., Caldwell, J. L., Kistamás, K., & Trafford, A. W. (2017). Calcium and Excitation-Contraction Coupling in the Heart. In *Circulation Research* (Vol. 121, Issue 2, pp. 181–195). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.310230>
- Friling, M., Haber, A., Furman-Assaf, S., Israel, D., Harari, G., Evans, M., Crowley, D. C., Ouwehand, A. C., & Ivanir, E. (2023). Bioavailability of calcium in an enriched postbiotic system compared to calcium citrate in healthy postmenopausal females; A randomized, double-blind, comparator-controlled, crossover study. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1073622>

- Grzybowska, E. A. (2018). Calcium-binding proteins with disordered structure and their role in secretion, storage, and cellular signaling. In *Biomolecules* (Vol. 8, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/biom8020042>
- Guo, X., Wang, W., Ma, Y., Liang, Y., Zhou, Y., & Cai, G. (2023). 24-h Urinary Calcium Excretion and Renal Outcomes in Hospitalized Patients with and without Chronic Kidney Disease. *Journal of Clinical Medicine*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/jcm12144600>
- Hands, J. M., & Moy, L. S. (2021). Calcium: More Than Bone? Implications for Clinical Practice and Theory. *Journal of Clinical Medicine Research*, 13(5), 253–257. <https://doi.org/10.14740/jocmr4505>
- Hou, T. (2022). Editorial: Bioactive compounds in mineral bioavailability: Activities, structures, and mechanisms. *Frontiers in Nutrition*, 1–3.
- Hsiao, C. Y., Chen, T. H., Chu, T. H., Ting, Y. N., Tsai, P. J., & Shyu, J. F. (2020). Calcitonin Induces Bone Formation by Increasing Expression of Wnt10b in Osteoclasts in Ovariectomy-Induced Osteoporotic Rats. *Frontiers in Endocrinology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00613>
- Kłobukowski, J. A., Skibniewska, K. A., & Kowalski, I. M. (2014). Biodostępność wapnia z produktów mlecznych i jego uwalnianie z żywności podczas trawienia in vitro. *Journal of Elementology*, 19(1), 277–288. <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.1.436>
- Kumar, A., & Kaur, S. (2017). Calcium: A Nutrient in Pregnancy. In *Journal of Obstetrics and Gynecology of India* (Vol. 67, Issue 5, pp. 313–318). Federation of Obstetric and Gynecological Societies of India. <https://doi.org/10.1007/s13224-017-1007-2>

- Kuo, I. Y., & Ehrlich, B. E. (2015). Signaling in muscle contraction. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 7(2). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a006023>
- Li, K., Wang, X. F., Li, D. Y., Chen, Y. C., Zhao, L. J., Liu, X. G., Guo, Y. F., Shen, J., Lin, X., Deng, J., Zhou, R., & Deng, H. W. (2018). The good, the bad, and the ugly of calcium supplementation: A review of calcium intake on human health. In *Clinical Interventions in Aging* (Vol. 13, pp. 2443–2452). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/CIA.S157523>
- Oh, B. C. (2023). Phosphoinositides and intracellular calcium signaling: novel insights into phosphoinositides and calcium coupling as negative regulators of cellular signaling. *Experimental and Molecular Medicine*, 55(8), 1702–1712. <https://doi.org/10.1038/s12276-023-01067-0>
- Palacios, C., Cormick, G., Hofmeyr, G. J., Garcia-Casal, M. N., Peña-Rosas, J. P., & Betrán, A. P. (2021). Calcium-fortified foods in public health programs: considerations for implementation. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1485, Issue 1, pp. 3–21). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/nyas.14495>
- Pu, F., Chen, N., & Xue, S. (2016). Calcium intake, calcium homeostasis and health. In *Food Science and Human Wellness* (Vol. 5, Issue 1, pp. 8–16). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.01.001>
- Qu, Y., Sun, Y., Yang, Z., & Ding, C. (2022). Calcium Ions Signaling: Targets for Attack and Utilization by Viruses. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 13). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.889374>
- Ratajczak, A. E., Zawada, A., Rychter, A. M., Dobrowolska, A., & Krela-Każmierczak, I. (2021). Milk and dairy products: Good or bad for human bone? practical dietary recommendations for the prevention and management of osteoporosis. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13041329>

- Shertukde, S. P., Cahoon, D. S., Prado, B., Cara, K. C., & Chung, M. (2022). Calcium Intake and Metabolism in Infants and Young Children: A Systematic Review of Balance Studies for Supporting the Development of Calcium Requirements. *Advances in Nutrition*, 13(5), 1529–1553. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac003>
- Shkembi, B., & Huppertz, T. (2022). Calcium absorption from food products: Food matrix effects. In *Nutrients* (Vol. 14, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14010180>
- Vannucci, L., Fossi, C., Quattrini, S., Guasti, L., Pampaloni, B., Gronchi, G., Giusti, F., Romagnoli, C., Cianferotti, L., Marcucci, G., & Brandi, M. L. (2018). Calcium Intake in bone health: A focus on calcium-rich mineral waters. In *Nutrients* (Vol. 10, Issue 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu10121930>
- Zhou, Y., Xue, S., & Yang, J. J. (2013). Calciomics: Integrative studies of Ca²⁺-binding proteins and their interactomes in biological systems. In *Metallomics* (Vol. 5, Issue 1, pp. 29–42). <https://doi.org/10.1039/c2mt20009k>

BAB 12 | METABOLISME MAGNESIUM

Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz.

A. Pendahuluan

Magnesium merupakan salah satu mineral makro yang terkandung di hampir seluruh bahan makanan baik hewani maupun nabati. Berdasarkan Angka Kecukupan Gizi Tahun 2019, kebutuhan magnesium harian adalah 350 mg/hari bagi kelompok usia produktif.

Magnesium memiliki kation paling melimpah dalam cairan antar sel setelah natrium. Magnesium merupakan bagian dari klorofil pada daun. Magnesium memiliki fungsi yang sama pada tumbuhan seperti halnya zat besi, yaitu dengan mengikat hemoglobin dalam darah manusia, yaitu untuk respirasi. Magnesium terlibat dalam berbagai proses metabolisme. Magnesium ditemukan di tulang, gigi, otot, jaringan lunak dan cairan tubuh lainnya. (Agustini, 2019)

B. Fungsi

Magnesium merupakan kofaktor pada lebih dari 300 proses metabolisme tubuh termasuk pembentukan energi. Sebagai kofaktor, magnesium akan berikatan dengan senyawa atau substrat yang kemudian akan bereaksi dengan enzim sehingga terbentuk senyawa atau produk baru. Contoh peran magnesium sebagai kofaktor dapat dilihat pada Gambar 1.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, R. (2019). *Mineral Fungsi dan Metabolismenya*. Karunia.
- alGhamdi SM, Cameron EC, & Sutton RA. (1994). Magnesium deficiency: pathophysiologic and clinical overview. *Am J Kidney Dis*, 24, 737-752.
- Barbagallo M, Belvedere M, & Dominguez LJ. (2009). Magnesium homeostasis and aging. *Magnes Res*, 22, 235-246.
- Bringhurst FR, Demay MB, Krane SM, & Kronenberg HM. (2008). *Bone and mineral metabolism in health and disease*. In: *Harrison's principles of internal medicine, 17th ed*. 2365-2377.
- Chaudhary DP, Sharma R, & Bansal DD. (2010). Implications of magnesium deficiency in type 2 diabetes: a review. *Biol Trace Elem Res*, 134, 119-129.
- de Rouffignac C, & Quamme G. (1994). Renal magnesium handling and its hormonal control. *Physiol Rev*, 74, 305-322.
- Ford ES, & Mokdad AH. (2003). Dietary magnesium intake in a national sample of U.S. adults. *J Nutr*, 133, 2879-2882.
- Huey CG, Chan KM, Wong ET, Nelson JM, & Durand M. (1995). Los Angeles County University of Southern California Medical Center clinical pathology case conference: extreme hypermagnesemia in a neonate. *Clin Chem*, 41, 615-618.
- Institute of Medicine (IOM). (1997). *Food and Nutrition Board*. National Academy Press.
- Kayne LH, & Lee DB. (1993). Intestinal magnesium absorption. *Miner Electrolyte Metab*, 19, 210-217.
- Konrad M, & Weber S. (2003). Recent advances in molecular genetics of hereditary magnesiumlosing disorders. *J Am Soc Nephrol*, 14, 249-260.

- Kutsal E, Aydemir C, Eldes N, Demirel F, Polat R, Taspnar O, & Kulah E. (2007). Severe hypermagnesemia as a result of excessive cathartic ingestion in a child without renal failure. *Pediatr Emerg Care*, 23, 570-572.
- McGuire JK, Kulkarni MS, & Kulkarni MS. (2000). Fatal hypermagnesemia in a child treated with megavitamin/megamineral therapy. *Pediatrics*, 105-118.
- Musso CG. (2009). Magnesium metabolism in health and disease. *Int Urol Nephrol*, 41, 357-362.
- Nadler JL, & Rude RK. (1995). *Disorders of magnesium metabolism*. (Vol. 24). Endocrinol Metab Clin .
- Onishi S, & Yoshino S. (2006). Cathartic-induced fatal hypermagnesemia in the elderly. *Intern Med*, 45, 207-210.
- Oren S, Rapoport J, Zlotnik M, Brami JL, Heimer D, & Chaimovitz C. (1987). Extreme hypermagnesemia due to ingestion of Dead Sea water. *Nephron*, 47, 199-201.
- Quamme GA, & Rabkin SW. (1990). Cytosolic free magnesium in cardiac myocytes: identification of a Mg²⁺ influx pathway. *Biochem Biophys Res Commun*, 167, 1406-1412.
- Ranade VV, & Somberg JC. (2001). Bioavailability and pharmacokinetics of magnesium after administration of magnesium salts to human. *Am J Ther*, 8, 345-357.
- Rivlin RS. (1994). Magnesium deficiency and alcohol intake: mechanisms, clinical significance and possible relation to cancer development (a review). *J Am Coll Nutr*, 13, 416-423.
- Rude RK. (2010). *Magnesium* (2nd ed.). NY: Informa Healthcare.
- Saris NE, Mervaala E, Karppanen H, Khawaja JA, & Lewenstam A. (2000). Magnesium. An update on physiological, clinical and analytical aspects. *Clin Chim Acta*, 294, 1-26.
- Swaminathan R. (2003). Magnesium metabolism and its disorders. *Clin Biochem Rev*, 24, :47-66,.

- Tosiello L. (1996). *Hypomagnesemia and diabetes mellitus. A review of clinical implications* (Vol. 156). Arch Intern Med.
- Yu AS. (2001). Evolving concepts in epithelial magnesium transport. *Curr Opin Nephrol Hypertens*, 10, 649–653.

BAB 13 | METABOLISME FOSFOR

Triya Ulva Kusuma, S.Gz., M.Gz.

A. Pendahuluan

Fosfor merupakan salah satu elemen penting bagi tubuh manusia dan diperlukan untuk berbagai proses dalam tubuh, seperti sintesis ATP, transduksi sinyal dan mineralisasi tulang. Mineral fosfor adalah mineral terbanyak kedua setelah kalsium yang ada di dalam tubuh. Seluruh sel yang ada di dalam tubuh Tubuh manusia mengandung sekitar 560 – 850 gram fosfor, atau 0,8% - 1,2% dari total berat badan. Dari total fosfor dalam tubuh tersebut, sebagian besar (85%) terdistribusi di kerangka, 1% di dalam darah dan cairan tubuh, sedangkan sisanya (14%) terikat di jaringan lunak seperti otot. Fosfor paling banyak terdapat dalam bentuk garam asam fosfat, yang merupakan penyangga fisiologis penting (Serna & Bergwits, 2020; Sareen & Gropper, 2013).

B. Kebutuhan Harian

Kebutuhan harian fosfor mengacu pada angka kecukupan gizi tahun 2019 yang dibedakan berdasarkan jenis kelamin dan kelompok usia serta kondisi hamil dan menyusui.

Tabel 13. 1. Kebutuhan Harian Fosfor

Kelompok Umur	Kebutuhan Fosfor (mg)
Bayi/anak	
0 - 5 bulan	100
6 - 11 bulan	275
1 - 3 tahun	460

DAFTAR PUSTAKA

- Andersson, K. (2018). Dietary Intake Estimations of Phosphorus. Swedish University of Agricultural Sciences : Uppasala.
- Bandeira, F., Cusano, N.E., Silva, B.C., Cassibba, S., Almeida, C.B., Machado, V.C., Bilezikian, J.P. (2014). Bone Disease In Primary Hyperparathyroidism. *Arq. Bras. Endocrinol. Metab*, 58 (5) : 553–561.
- Basile, D. P., Anderson, M.D., Sutton, T.A. (2012). Pathophysiology Of Acute Kidney Injury. *Compr. Physiol*, 2 92) : 1303–1353.
- Biber, J., Hernando, N., Forster, I., *et al.* (2009). Regulation Of Phosphate Transport In Proximal Tubules. *Pflugers Arch*, 458 (1) : 39–52.
- Bikle, D. D. (2014). Vitamin D Metabolism, Mechanism Of Action, And Clinical Applications. *Chem. Biol*, 21 (3) : 319–329
- Bosch, X., Poch, E., Grau, J.M. (2009). Rhabdomyolysis And Acute Kidney Injury. *N. Engl. J. Med*, 361 (1) : 62–72.
- Burnett, S. M., Gunawardene, S.C., Bringhurst, F.R., Jüppner, H., Lee, H., Finkelstein, J.S. (2006). Regulation Of C-Terminal And Intact Fgf-23 By Dietary Phosphate In Men And Women. *J. Bone Miner. Res*, 21 (8) : 1187–1196.
- Candeal, E., Caldas, Y.A., Guillén, N., Levi, M., Sorribas, V. (2017). Intestinal Phosphate Absorption Is Mediated By Multiple Transport Systems In Rats. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol*, 312 (4) : G355–G366.
- Clarkson, M.R., Magee, C.N., Brenner, B.M. (2011). Chapter 8 – Disorders Of Calcium, Magnesium, And Phosphate Balance. In *Pocket Companion To Brenner And Rector’s The Kidney*, 8th Ed.; (Eds.) W.B. Saunders: Philadelphia, PA, USA.
- Davidson, M.B., Thakkar, S., Hix, J.K., Bhandarkar, N.D., Wong, A., Schreiber, M.J. (2004). Pathophysiology, Clinical Consequences, And Treatment Of Tumor Lysis Syndrome. *Am. J. Med*, 116 (8) : 546–554.

- Fine, K.D., Seidel, R.H., Do, K. (2000). The Prevalence, Anatomic Distribution, And Diagnosis Of Colonic Causes Of Chronic Diarrhea. *Gastrointest. Endosc*, 51 (3) : 318–326
- Follet, H. Boivin, G. Rumelhart, C. Meunier, P.J. (2004). The Degree Of Mineralization Is A Determinant Of Bone Strength: A Study On Human Calcanei. *Bone*, 34 (5) : 783–789.
- Forster, I. C., Hernando, N., Biber, J., Murer, H. (2006). Proximal Tubular Handling Of Phosphate: A Molecular Perspective. *Kidney Int*, 70 (9) : 1548–1559.
- Gonzalez Ballesteros, L.F., Ma, N.S., Gordon, R.J., Ward, L., Backeljauw, P., Wasserman, H., Weber, D.R., DiMeglio, L.A., Gagne, J., Stein, R., *et al.* (2017). Unexpected Widespread Hypophosphatemia And Bone Disease Associated With Elemental Formula Use In Infants And Children. *Bone*, 97, 287–292.
- Gropper, S. S., Smith, J. L. (2013). *Advanced Nutrition and Human Metabolism, Sixth Edition*. Wadsworth : Cengage Learning.
- Hruska, K.A., Mathew, S., Lund, R., Qiu, P., Pratt, R. (2008). Hyperphosphatemia Of Chronic Kidney Disease. *Kidney Int*, 74 (2) : 148–157.
- Kaneko, I., Segawa, H., Furutani, J., Kuwahara, S., Aranami, F., Hanabusa, E., Tominaga, R., Giral, H., Caldas, Y., Levi, M., *et al.* (2011). Hypophosphatemia In Vitamin D Receptor Null Mice: Effect Of Rescue Diet On The Developmental Changes In Renal Na⁺-Dependent Phosphate Cotransporters. *Pflug. Arch*, 461 (1) : 77–90.
- Keefe, P., Bokhari, S.R.A. (2020). *Fanconi Syndrome*. Statpearls: Treasure Island, FL, USA.
- Kemenkes RI. (2019). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan untuk Masyarakat Indonesia.

- Kim, O.-H., Booth, C.J., Choi, H.S., Lee, J., Kang, J., Hur, J., Jung, W.J., Jung, Y.-S., Choi, H.J., Kim, H., *Et al.* (2020). High-Phytate/Low-Calcium Diet Is A Risk Factor For Crystal Nephropathies, Renal Phosphate Wasting, And Bone Loss. *Elife*, 9, E52709.
- Kulnigg-Dabsch, S. (2016). Autoimmune Gastritis. *Wien. Med. Wochenschr*, 166 (13) : 424–430.
- Lahner, E., Annibale, B. (2009). Pernicious Anemia: New Insights From A Gastroenterological Point Of View. *World J. Gastroenterol*, 15 (41) : 5121–5128.
- MacKay, M., Jackson, D., Eggert, L., Fitzgerald, K., Cash, J. (2011). Practice-Based Validation Of Calcium And Phosphorus Solubility Limits For Pediatric Parenteral Nutrition Solutions. *Nutr. Clin. Pract*, 26 (6) : 708–713.
- Miyamoto K, Ito M, Tatsumi S. (2007). New Aspect Of Renal Phosphate Reabsorption : The Type Iic Sodium-Dependent Phosphate Transporter. *Am J Nephrol*, 27 (5) : 503–515.
- Moe, O.W., Seldin, D.W., Baum, M. (2009). The Fanconi Syndrome. In *Genetic Diseases of the Kidney*; Academic Press: San Diego, CA, USA.
- Mozar, A. Haren, N. Chasseraud, M. Louvet, L. Maziere, C. Wattel, A. Mentaverri, R. Morliere, P. Kamel, S. Brazier, M. *et al.* (2008). High Extracellular Inorganic Phosphate Concentration Inhibits Rank-Rankl Signaling In Osteoclast-Like Cells. *J. Cell Physiol*, 215 (1) : 47–54.
- Nanci, A. (2017). *Ten Cate's Oral Histology-E-Book: Development, Structure, and Function*. Elsevier Health Sciences: Amsterdam, The Netherlands.
- Parikh, M.J., Dumas, G., Silvestri, A., Bistrrian, B.R., Driscoll, D.F. (2005). Physical Compatibility Of Neonatal Total Parenteral Nutrient Admixtures Containing Organic Calcium And Inorganic Phosphate Salts. *Am. J. Health Syst. Pharm*, 62 (11) : 1177–1183.

- Serna, J., Bergwitz, C. (2020). Importance of Dietary Phosphorus for Bone Metabolism and Healthy Aging. *Nutrients*, 12 (10) : 1-44.
- Sharma, S., Hashmi, M.F., Castro, D. (2020). *Hypophosphatemia. Statpearls: Treasure Island, FL, USA.*
- Shimada, T., Hasegawa, H., Yamazaki, Y., Muto, T., Hino, R., Takeuchi, Y., Fujita, T., Nakahara, K., Fukumoto, S., Yamashita, T. (2004). FGF-23 Is A Potent Regulator Of Vitamin D Metabolism And Phosphate Homeostasis. *J. Bone Miner. Res*, 19 (3) : 429-435.
- Silva, B. C., Bilezikian, J. P. (2015). Parathyroid Hormone: Anabolic And Catabolic Actions On The Skeleton. *Curr. Opin. Pharm*, 22, 41-50.
- Takeda, E., Yamamoto, H., Okumura, H. Y., Taketani, Y. (2012). Dietary Phosphorus in Bone Health and Quality of Life. *Nutrition Reviews*, 70 (6) : 311-321.
- Tenenhouse, H. S. (2006). Regulation Of Phosphorus Homeostasis By The Type Iia Na/Phosphate Cotransporter. *Annu Rev Nutr*, 25 : 197-214.
- Vervloet, M.G., Sezer, S., Massy, Z.A., Johansson, L., Cozzolino, M., Fouque, D. (2017). On behalf of the ERA-EDTA Working Group on Chronic Kidney Disease-Mineral and Bone Disorders and the European Renal Nutrition Working Group. The role of phosphate in kidney disease. *Nat. Rev. Nephrol*, 13 (1) : 27-38.
- Waning, D.L., Guise, T.A. (2014). Molecular Mechanisms Of Bone Metastasis And Associated Muscle Weakness. *Cancerres*, 20 (12) : 3071-3077.
- Yan, X., Yokote, H., Jing, X., Yao, L., Sawada, T., Zhang, Y., Liang, S. Sakaguchi, K. (2005). Fibroblast Growth Factor 23 Reduces Expression Of Type Iia Na⁺/Pi Co-Transporter By Signaling Through A Receptor Functionally Distinct From The Known Fgfrs In Opossum Kidney Cells. *Genes Cells*, 10 (5) : 489-502.

BAB 14 | METABOLISME ZAT BESI

Kuntari Astriana, S.Gz., M.Gz.

A. Peran dan Fungsi Zat Besi (Fe)

Tubuh sangat membutuhkan mikronutrien besi untuk melakukan berbagai fungsinya. Dalam tubuh, besi berikatan dengan protein untuk berbagai tujuan. Ini termasuk membawa dan mengikat oksigen (seperti Hb dan mioglobin), mengkatalisis metabolisme (seperti sitokrom, mieloreduktase, dan oksidase fosfat hidrogen *Nikotinamide Adenine Dinucleotide* (NADPH), dan menyimpan atau mengangkut besi

Besi adalah logam periode 4 golongan transisi dengan berat atom 26 dan berat molekul (bm). Besi memiliki beberapa bilangan oksidasi, seperti logam transisi lainnya, mulai dari -2 hingga +6. Namun, dalam sistem biologis, bilangan oksidasinya terbatas pada ferro (2+), ferri (3+) dan ferryl (4+). Zat besi berfungsi sebagai unsur hemoglobin, mioglobin, dan beberapa enzim oksidatif. Ada dalam semua sel tubuh, tetapi disimpan dalam hati, limpa, dan sumsum tulang dalam bentuk ferritin, yang terutama ditemukan dalam jaringan retikulo endotelial.

Jumlah mineral mikro terbesar dalam tubuh adalah besi, yang mencapai sekitar 3-5 gram atau 40-50 mg/kg berat badan (BB) untuk laki-laki dewasa dan 35-50 mg/kg BB untuk wanita dewasa. Pada bayi baru lahir, tingkat besi lebih tinggi, yaitu 70 mg/kg BB. Hanya sebagian kecil besi yang berbentuk ion, dan sebagian besar besi terikat oleh protein. Protein heme diet dan non-heme memiliki ikatan besi yang kuat pada gugus prostetik heme. Contohnya adalah sitokrom, hemoglobin, mioglobin, dan

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, L.H. 2000. Anemia and Iron Deficiency. Effect on Pregnancy Outcome. *Am.J. Clin. Nutr* ; 70 : 1280-1284.
- Bakta, I Made (2006). *Hematologi Klinis Ringkas*. Jakarta : EGC.
- Curis, Celine (2013). *Iron Supplementation In Nutritional Program: Pathophysiological Basic And Correlations With Health In Developing Countries*. Biosciences Mater Review, USA
- Ganz, Tomas (2013). *Systemic Iron Homeostasis*. Departments of Medicine and Pathology, David Geffen School of Medicine, University of California, Los Angeles, California. journals.physiology.org/journal/physrev (103.164.115.042) on April 3, 2024
- Hallberg, L., Sandstorm, B., Aggett, P.J. 1993. *Iron, Zinc And Other Trace Elements*. In *Human Nutrition and dietetics* (Garrow and James eds). 9th ed. Churchill Livingstone. London.
- Hellen Keller in Indonesia. 1997. *Iron Deficiency Anemia in Indonesia*. Report of Policy Workshop. Jakarta.
- Whitney, Eleanor Noss and Sharon Rady Rolfes (1993). *Understanding Nutrition*. West Publishing Company, USA
- Yuniastuti, Ari (2014). *Nutrisi Micromineral & Kesehatan*. Semarang. UNNES Press.

BAB 15 | METABOLISME IODIUM

Taufiqurrahman, S.K.M., M.P.H.

A. Pendahuluan

Iodium adalah mineral esensial yang diperlukan oleh tubuh manusia untuk fungsi normal kelenjar tiroid dan sintesis hormon tiroid. Tubuh membutuhkan iodium sebagai mineral yang berperan penting dalam pembentukan hormon tiroksin. Metabolisme iodium adalah serangkaian proses kompleks yang terjadi dalam tubuh untuk mengatur penyerapan, transportasi, dan penggunaan iodium dalam produksi hormon tiroid.

Iodium adalah elemen esensial yang penting untuk kesehatan manusia, terutama dalam proses produksi hormon tiroid, yang penting sekali sebagai fungsi kognitif, pertumbuhan, dan perkembangan fisik. Hormon tiroid, yaitu tiroksin (T4) dan triiodotironin (T3), memainkan peran kunci dalam regulasi metabolisme basal, pertumbuhan, perkembangan, dan fungsi sistem saraf.

Gangguan kesehatan yang serius dapat terjadi akibat ketidakseimbangan iodium dalam tubuh, termasuk gangguan tiroid seperti gondok, hipotiroidisme, atau hipertiroidisme. Dalam kasus yang ekstrem, kekurangan iodium pada ibu hamil dapat mengakibatkan cacat kognitif permanen pada janin yang sedang berkembang. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang metabolisme yodium dan pentingnya asupan yodium yang memadai sangat penting untuk mencegah dan mengatasi masalah kesehatan terkait kekurangan yodium.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahad Farhana, & Ganie Shaiq A. (2010). Iodine, Iodine Metabolism And Iodine Deficiency Disorders Revisited. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 1(14), 13–17. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3063534>
- Cholik, I. N. (2017). Perbedaan Kadar KIO₃ pada Telur Asin Berdasarkan Metode dan Lama Pemasakan. *Skripsi*, 6–19. [http://repository.unimus.ac.id/3062/4/BAB II.pdf](http://repository.unimus.ac.id/3062/4/BAB%20II.pdf)
- Ekawanti, A., Irawati, D., Cholidah, R., Nurbaiti, L., Ayunda, R. D., Arsy, L., Agustina, S., Abida, A. N., & Putra, B. P. (2022). Edukasi Pemilihan dan Pengolahan Ikan yang Aman Sebagai Sumber Iodium Masyarakat Pesisir di Lingkar Tambang Desa Buwun Mas. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 5(4), 120–123. <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v5i4.2226>
- Irawati, T. E., Hadi, H., & Widodo, U. (2011). Tingkat konsumsi garam beryodium dan kaitannya dengan gangguan akibat kekurangan yodium ibu hamil. *Jurnal Gizi Klinik Indonesia*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.22146/ijcn.17724>
- Jayadi, Y. I., Adnan, Y., Ibrahim, H., Rezkiyanti, F. A., & Awaliah, N. P. (2023). Peningkatan Perilaku Masyarakat terhadap Konsumsi Sumber Pangan Lokal dan Garam Beryodium di Dusun Maccini Baji, Kabupaten Takalar : Studi Quasi Eksperimental. *Ghidza : Jurnal Gizi Dan Kesehatan*, 7(1), 106–117.
- Jayadi, Y. I., Elfira, E., Nurul, N., Wisda Sri Wahyuni, & Ramadan, F. (2023). Penggunaan Garam Beryodium di Dusun Halahalaya, Desa Kanreapia, Kabupaten Gowa. *Sociality: Journal of Public Health Service*, 2, 173–179. <https://doi.org/10.24252/sociality.v2i2.40317>
- Kumorowulan, S., Dwi Nurcahyani, Y., Kadarsih Soejono, S., & Hamim Sadewo, A. (2013). PENGARUH IODIUM Terhadap Perubahan Fungsi Tiroid Dan Status Iodium Effect of Iodine

Intervention in Thyroid Function and Iodine Status. 5(1), 17-29.

- Monikasari, N. N. T., Wayan Gunam, I. B., & Wisaniyasa, N. W. (2021). Pemanfaatan Tepung Rumput Laut *Gracilaria* sp. pada Tempe sebagai Alternatif Pangan Sumber Yodium. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 16(1), 53-61. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v16i1.689>
- Pearce, E. N., & Caldwell, K. L. (2016). Urinary Iodine, Thyroid Function, And Thyroglobulin As Biomarkers Of Iodine Status. *American Journal of Clinical Nutrition*, 104, 898S-901S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.110395>
- Putri, M. C., Adiputra, F. B., & Indria, D. M. (2022). Hubungan Pengetahuan Dan Sosial Ekonomi Terhadap Perilaku Pencegahan Defisiensi Yodium Dan Perilaku Konsumsi Makanan Tinggi Yodium Pada Wanita Usia Subur 15-49 Tahun. *Jurnal Bio Komplementer Medicine*, 9(1), 1-9.
- Riwayati. (2013). Iodium Mineral Sebagai Zat Gizi. *Jurnal Keluarga Sehat Sejahtera*, 11(22), 35-41.
- Samsudin, M., Kusriani, I., Nurcahyani, Y. D., Ashar, H., Asturiningtyas, I. P., Museddaq, M. A., & Hidayat, T. (2020). Surveilans untuk Mengatasi Masalah Gangguan Akibat Kekurangan Iodium. In Suparyanto dan Rosad (2015 (Vol. 5, Issue 3).
- WHO. (2014). Assessment of Iodine Deficiency Disorders and Monitoring Their Elimination. World Health Organization, 28(2), 1-108.

BAB 16 | METABOLISME SENG

Dr. Gita Syahputra, S.Si, M.Si.

A. Mineral Seng dan Fungsinya

Seng merupakan mineral kedua paling melimpah yang terdapat di dalam tubuh setelah besi (Fe). Terdapat 2 gram seng pada tubuh orang dewasa dengan > 95% nya terdapat pada intraseluler. Seng berada pada seluruh jaringan dan cairan tubuh, sebagian besar terdapat pada otot rangka dan tulang. Seng tidak dapat disimpan dalam tubuh walaupun jumlahnya melimpah. Adanya proses pergantian jaringan membuat ketersediaan seng dapat digunakan pada organ lain dengan proses yang lambat. Organ hati dan jaringan lainnya menyediakan 10% kelimpahan seng pada intraseluler, yang dialirkan pada sistemik pada plasma berkisar 0.1% dari total seng dan pada plasma seng terikat pada albumin dan 2 macroglobulin (Livingstone, 2015).

Berdasarkan fungsi fisiologisnya, seng terbagi atas tiga fungsi yaitu katalitik, struktural, dan regulator. Seng menjadi metaloenzim dan kofaktor dari sekitar 300 reaksi enzimatik termasuk diantaranya *carbonic anhydrase*, *alkaline phosphatase*, *alcohol dehydrogenase*, *DNA polymerase*, *protein chain elongator factor*. Seng merupakan komponen yang tidak terpisahkan pada metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein dan antioksidan. Seng berperan dalam membantu proses penglihatan terutama pada transportasi vitamin A dan sintesis rodopsin.

DAFTAR PUSTAKA

- Blewett, H.J., Taylor, C.G., 2012. Dietary zinc deficiency in rodents: Effects on T-cell development, maturation and phenotypes. *Nutrients*. <https://doi.org/10.3390/nu4060449>
- Caulfield, L.E., Black, R.E., n.d. Zinc deficiency.
- Dempski, R.E., 2016. Molecular insights of the human zinc transporter hZIP4 Submitted to the Faculty of the in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Biochemistry March 2016 Approved :
- Duan, M., Li, T., Liu, B., Yin, S., Zang, J., Lv, C., Zhao, G., Zhang, T., 2023. Zinc nutrition and dietary zinc supplements. *Crit Rev Food Sci Nutr*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1963664>
- Gibson, R.S., Manger, M.S., Krittaphol, W., Pongcharoen, T., Gowachirapant, S., Bailey, K.B., Winichagoon, P., 2007. Does zinc deficiency play a role in stunting among primary school children in NE Thailand? 167-175. <https://doi.org/10.1017/S0007114507250445>
- Hambidge, M., Krebs, N.F., 2001. Zinc metabolism and requirements. *Food Nutr Bull* 22, 126-132. <https://doi.org/10.1177/156482650102200202>
- Hennigar, S.R., Kelley, A.M., McClung, J.P., 2016. Metallothionein and zinc transporter expression in circulating human blood cells as biomarkers of zinc status: A systematic review. *Advances in Nutrition*. <https://doi.org/10.3945/an.116.012518>
- Kambe, T, Tsuji, T., Hashimoto, A., Itsumura, N., 2015. The Physiological, Biochemical, and Molecular Roles of Zinc Transporters in Zinc Homeostasis and Metabolism. *Physiol Rev* 95, 749-784. <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2104.-Zinc>

- Kambe, Taiho, Tsuji, T., Hashimoto, A., Itsumura, N., 2015. The physiological, biochemical, and molecular roles of zinc transporters in zinc homeostasis and metabolism. *Physiol Rev* 95, 749–784. <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2014>
- Kasim Baltaci, A., Yuce, K., Mogulkoc, R., 2011. Zinc Metabolism and Metallothioneins. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1119-7>
- Katimba, H.A., Wang, R., Cheng, C., 2021. Current findings support the potential use of bioactive peptides in enhancing zinc absorption in humans. *Crit Rev Food Sci Nutr*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1996328>
- Kaur, K., Gupta, R., Saraf, S.A., Saraf, S.K., 2014. Zinc: The metal of life. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12067>
- Kelkitli, E., Ozturk, N., Aslan, N.A., Kilic-Baygutalp, N., Bayraktutan, Z., Kurt, N., Bakan, N., Bakan, E., 2016. Serum zinc levels in patients with iron deficiency anemia and its association with symptoms of iron deficiency anemia. *Ann Hematol* 95, 751–756. <https://doi.org/10.1007/S00277-016-2628-8>
- Kimura, T., Kambe, T., 2016. The functions of metallothionein and ZIP and ZnT transporters: An overview and perspective. *Int J Mol Sci*. <https://doi.org/10.3390/ijms17030336>
- Krebs, N.F., Hambidge, K.M., 2001. Zinc metabolism and homeostasis: The application of tracer techniques to human zinc physiology. *BioMetals* 14, 397–412. <https://doi.org/10.1023/A:1012942409274>
- Livingstone, C., 2015. Zinc: Physiology, deficiency, and parenteral nutrition. *Nutrition in Clinical Practice*. <https://doi.org/10.1177/0884533615570376>

- Murakami, M., Hirano, T., 2008. Intracellular zinc homeostasis and zinc signaling. *Cancer Sci.* <https://doi.org/10.1111/j.1349-7006.2008.00854.x>
- Prasad, A.S., 2013. Discovery of Human Zinc Deficiency: Its Impact on Human Health and Disease. *Advances in Nutrition* 4, 176. <https://doi.org/10.3945/AN.112.003210>
- Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R., Schulin, R., 2013. Zinc and its importance for human health: An integrative review, *Journal of Research in Medical Sciences.*
- Vuralli, D., Tumer, L., Hasanoglu, A., 2017. Zinc deficiency in the pediatric age group is common but underevaluated 13. <https://doi.org/10.1007/s12519-017-0007-8>
- Wapnir, R.A., 2000. Zinc deficiency, malnutrition and the gastrointestinal tract. *Journal of Nutrition* 130, 1388-1392. <https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1388s>

BAB 17 | METABOLISME SELENIUM

Tuty Hertati Purba, SKM., M.Kes.

A. Pendahuluan

Mineral merupakan salah satu zat gizi yang terdapat dalam bahan makanan yang dibutuhkan oleh tubuh. Mineral salah satu zat gizi mikronutrien yang dibutuhkan dalam jumlah kecil. Mineral memiliki berbagai fungsi di dalam tubuh seperti pembentuk tulang, menjaga keseimbangan cairan asam basah, mempertahankan tingkat koloidal cairan, komponen hormon, activator enzim, mengontrol jumlah cairan di dalam dan luar sel agar tetap seimbang, berperan dalam proses penyerapan energi, sebagai katalis dan transmisi sinyal (Agustini, 2019).

Selenium adalah salah satu zat gizi mineral yang dibutuhkan oleh tubuh. Di dalam bahan makanan terdapat dua jenis selenium yaitu selenometionin dan selenosistoin (Agustini, 2019). Berdasarkan penelitian Yunita dan Sumiwi (2018) menyatakan bahwa defisiensi selenium berkaitan erat dengan patogenesis penyakit tertentu seperti kardiovaskular, autoimun dan inflamasi (Yunita and Sumiwi, 2018).

Berdasarkan Angka Kecukupan Gizi (2019) kebutuhan zat gizi selenium sebagai berikut:

Tabel 17. 1. Angka Kebutuhan Zat Gizi Selenium

Kelompok Umur	Kebutuhan/Hari
0-5 bulan	7 mcg
6-11 bulan	10 mcg
1-3 tahun	18 mcg

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, R. (2019) *Mineral Fungsi Dan Metabolisme*. Pertama. Surabaya: Penerbit Karunia.
- Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat (2022) *Mengenal Penyakit Gondok dan Apa yang Menyebabkannya*.
- Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat (2022b) *Stroke*.
- Kashin-bek disease (2018) *Liberal Dictionary*.
- Kusmana, F. (2017) 'Selenium: Peranannya dalam Berbagai Penyakit dan Alergi', *Cdk-251*, 44(4), pp. 289-294.
- Mehdi, Y. *et al.* (2013) 'Selenium dalam Lingkungan, Metabolisme dan Keterlibatan dalam Fungsi Tubuh'.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia (2019) *ANGKA KECUKUPAN GIZI YANG DIANJURKAN UNTUK MASYARAKAT INDONESIA*. Jakarta.
- Nihayati, N. (2024) *Ketahui, 5 Langkah Mengobati Penyakit Kanker Menurut dr Zaidul Akbar* Artikel ini telah tayang di SerambiNews.com dengan judul *Ketahui, 5 Langkah Mengobati Penyakit Kanker Menurut dr Zaidul Akbar*, <https://aceh.tribunnews.com/2024/01/16/ketahui-5-langkah-me>, Serambinews.com.
- Penyakit keshan dicirikan oleh nekrosis miokard multifokal dan penurunan kandungan se serum (2015) *VARIASIMAKANAN.WEEBLY.COM*.
- Sulistiyowati, Y. and Yuniritha, E. (2015) *Metabolisme zat gizi pertama*. Yogyakarta: Trans Medika.
- Syah, E. (2014) *Penyebab dan Pengobatan Infertilitas pada Pria*, MEDKES.
- Yuniastuti, A. (2014) *Nutrisi Mikromineral Dan Kesehatan*. Semarang.

Yunita and Sumiwi, S.A. (2018) 'Selenium Dan Manfaatnya Untuk Kesehatan: Review Jurnal', *Farmaka*, 16(1), pp. 1-13.

BAB 18 | METABOLISME TEMBAGA

Dr. Ir. Juliana Christyaningsih, M.Kes.

A. Peran Tembaga dalam Tubuh

Tembaga, dengan lambang Cu dan nomor atom 29, merupakan unsur kimia dalam tabel periodik. Lambangnya berasal dari bahasa Latin, Cuprum. Salah satu bentuk persenyawaan tembaga yang umum digunakan adalah tembaga sulfat pentahidrat, yang sering dipakai dalam industri seperti pewarnaan tekstil, penyepuhan, pelapisan, dan pembilasan pada industri perak.

Tembaga dan beberapa persenyawaannya tidak larut dalam air dingin atau panas, tetapi dapat larut dalam asam, seperti asam sulfat panas, dan dalam larutan basa amonium hidroksida. Ion tembaga dapat terlarut dalam air. Fungsi tembaga dalam konsentrasi tinggi termasuk sebagai agen antibakteri dan bahan tambahan untuk kayu. Namun, dalam konsentrasi rendah, tembaga menjadi nutrisi penting bagi kehidupan dan tanaman. Di dalam tubuh manusia, tembaga biasanya terdapat di hati, otak, usus, jantung, dan ginjal.

B. Absorpsi, Transportasi, dan Distribusi Tembaga

Tembaga yang terdapat dalam makanan akan masuk ke dalam lambung dan duodenum, kemudian diuraikan dalam usus halus dan diserap ke dalam darah melalui eritrosit. Tembaga memiliki peran penting dalam berbagai proses tubuh, seperti pembentukan eritrosit dan leukosit, pengolahan zat besi, regulasi metabolisme, dan sebagai kofaktor dalam reaksi

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, J., Jiang, Y., Shi, H., Peng, Y., Fan, X., & Li, C. (2020). The Molecular Mechanisms Of Copper Metabolism And Its Roles In Human Diseases. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 472(10), 1415–1429. <https://doi.org/10.1007/s00424-020-02412-2>
- Christyaningsih, J. (2002). Pengaruh Suplementasi Vitamin E Dan C terhadap Aktivitas Enzim Superoxide Dismutase (SOD) dalam Eritrosit Tikus yang Terpapar Asap Rokok Kretek. Universitas Airlangga.
- Elalfy, M. M., Abomosallam, M. S., Sleem, F., & Elhadidy, M. (2021). Copper And Copper Containing Pesticide As Copper Oxychloride Toxicity And Its Adverse Effects On Animal And Human Health. *Medico Research Chronicles*, 8(2), 89–98.
- Franco, M. C., Dennys, C. N., Rossi, F. H., & Estévez, A. G. (2013). Superoxide Dismutase and Oxidative Stress in Amyotrophic Lateral Sclerosis. In A. G. Estévez (Ed.), *Current Advances in Amyotrophic Lateral Sclerosis*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/56488>
- Kumar, V., Pandita, S., Sidhu, G. P. S., Sharma, A., Khanna, K., Kaur, P., Bali, A. S., & Setia, R. (2021). Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. *Chemosphere*, 262, 127810.
- Lee, J., Lee, H.-J., Jang, H., Lee, J.-J., & Ha, J.-H. (2024). High-iron Consumption Decreases Copper Accumulation And Colon Length, And Alters Serum Lipids. *Applied Biological Chemistry*, 67(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13765-024-00861-2>
- Martemucci, G., Costagliola, C., Mariano, M., D'andrea, L., Napolitano, P., & D'Alessandro, A. G. (2022). Free Radical Properties, Source and Targets, Antioxidant Consumption and Health. *Oxygen*, 2(2), 48–78. <https://doi.org/10.3390/oxygen2020006>

Peraturan Menteri Kesehatan No. 28 Tahun 2019. (2019).

Pizent, A., Lazarus, M., Kovačić, J., Tariba Lovaković, B., Brčić Karačonji, I., Živković Semren, T., Sekovanić, A., Orct, T., Branović-Čakanić, K., Brajenović, N., Jurič, A., Miškulin, I., Škratić, L., Stasenکو, S., Mioč, T., Jurasović, J., & Piasek, M. (2020). Cigarette Smoking during Pregnancy: Effects on Antioxidant Enzymes, Metallothionein and Trace Elements in Mother-Newborn Pairs. *Biomolecules*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/biom10060892>

Poujols, A., & Woimant, F. (2018). Wilson's disease: A 2017 update. *Clinics and Research in Hepatology and Gastroenterology*, 42(6), 512-520. <https://doi.org/10.1016/j.clinre.2018.03.007>

Shanbhag, V. C., Gudekar, N., Jasmer, K., Papageorgiou, C., Singh, K., & Petris, M. J. (2021). Copper metabolism as a unique vulnerability in cancer. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 1868(2), 118893. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2020.118893>

Squitti, R., & Salustri, C. (2009). Agents Complexing Copper As A Therapeutic Strategy For The Treatment of Alzheimer's disease. *Current Alzheimer Research*, 6(6), 476-487. <https://doi.org/10.2174/156720509790147133>

Zhao, S., Zhang, X., Gao, F., Chi, H., Zhang, J., Xia, Z., Cheng, C., & Liu, J. (2023). Identification Of Copper Metabolism-Related Subtypes And Establishment Of The Prognostic Model In Ovarian Cancer. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1145797. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1145797>

BAB 19 | METABOLISME MANGAN

Fista Utami, S.Tr.Gz, M.Gz.

A. Pendahuluan

Mangan atau yang dikenal dengan singkatan Mn merupakan salah satu mineral mikro yang tersedia secara alami di tanah, air, bebatuan, serta bahan makanan. Mangan berperan penting dalam berbagai proses metabolisme didalam tubuh manusia antara lain: metabolisme energi, metabolisme glikosaminoglikan dan osteosintesis, kofaktor berbagai enzim, sistem koagulasi, sistem reproduksi, sistem antibodi, sistem pencernaan, sistem saraf pusat, dan lain sebagainya (Chen, Bornhorst dan Aschner, 2018). Mangan merupakan zat gizi mikro yang esensial bagi tubuh dan direkomendasikan untuk dikonsumsi dari makanan berkisar 2-5 mg/hari untuk memelihara kesehatan tubuh (Wityadarda *et al.*, 2023).

Mangan dapat ditemukan pada bahan makanan antara lain: beras, kacang-kacangan, tepung-tepungan, kacang-kacangan, sayuran hijau, seafood, dan juga tersedia di dalam air minum yang dikonsumsi sehari-hari berkisar 1-2 µg/L. Meskipun bermanfaat bagi kesehatan, mangan juga dapat bersifat toksik apabila dikonsumsi dalam jumlah yang besar. Mangan dapat terakumulasi di hati, pancreas, tulang, ginjal, hingga otak manusia. Beberapa penyakit yang ditemukan akibat kelebihan mangan salah satunya: sirosis hati, distonia, dan penyakit mirip gejala Parkinson (Chen, Bornhorst dan Aschner, 2018; Studer *et al.*, 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Amsia, H.A.S. (2021) 'Efek Asam Hialuronat pada Berbagai Jenis Luka', *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, 3(2), pp. 269–278. Available at: <https://doi.org/10.37287/jppp.v3i2.371>.
- Che, J. *et al.* (2023) 'Nrf2: A Promising Therapeutic Target In Bone-Related Diseases', *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 168(October), p. 115748. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115748>.
- Chen, P., Bornhorst, J. dan Aschner, M. (2018) 'Manganese metabolism in humans', *Frontiers in Bioscience - Landmark*, 23(9), pp. 1655–1679. Available at: <https://doi.org/10.2741/4665>.
- Chevalier, X. dan Conrozier, T. (2017) 'Access to Highly Purified Chondroitin Sulfate for Appropriate Treatment of Osteoarthritis: A Review', *Medicine Access @ Point of Care*, 1(5), p. maapoc.0000022. Available at: <https://doi.org/10.5301/maapoc.0000022>.
- Kim, S.I. *et al.* (2012) 'Effect of Manganese Exposure on the Reproductive Organs in Immature Female Rats', *Development & Reproduction*, 16(4), pp. 295–300. Available at: <https://doi.org/10.12717/dr.2012.16.4.295>.
- Kitada, M. *et al.* (2020) 'Manganese Superoxide Dismutase Dysfunction And The Pathogenesis Of Kidney Disease', *Frontiers in Physiology*, 11(July), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00755>.
- Koh, E.S. *et al.* (2014) 'Association of blood Manganese Level With Diabetes And Renal Dysfunction: A Cross-Sectional Study Of The Korean General Population', *BMC Endocrine Disorders*, 14. Available at: <https://doi.org/10.1186/1472-6823-14-24>.
- Lall, S.P. dan Kaushik, S.J. (2021) 'Nutrition and metabolism of minerals in fish', *Animals*, 11(9), pp. 1–41. Available at: <https://doi.org/10.3390/ani11092711>.

- Layal, K. (2016) 'Peran Nrf2 Dalam Patogenesis Stres Oksidatif dan Inflamasi pada Penyakit Ginjal Kronik', *Syifa' MEDIKA: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, 7(1), p. 16. Available at: <https://doi.org/10.32502/sm.v7i1.1390>.
- Lee, B. *et al.* (2007) 'Manganese Stimulates Luteinizing Hormone Releasing Hormone Secretion In Prepubertal Female Rats: Hypothalamic Site And Mechanism Of Action', *Journal of Physiology*, 578(3), pp. 765-772. Available at: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.123083>.
- Marisa, A. *et al.* (2013) 'Toxins from *Lonomia obliqua* – Recombinant Production and Molecular Approach', *An Integrated View of the Molecular Recognition and Toxinology - From Analytical Procedures to Biomedical Applications [Preprint]*, (May). Available at: <https://doi.org/10.5772/53697>.
- Muhdar, I.N. (2024) 'Relationship Between Manganese Minerals And Type 2 Diabetes Mellitus: A Mini Review', *Arsip Keilmuan Gizi (AKG)*, 1(1), pp. 1-12. Available at: <https://doi.org/10.36590/akg.v1i1.818>.
- Nelson, D.L. dan Michael, M.C. (1983) 'Principles of Biochemistry (Fourth Edition)', 47(3), pp. 661-662. Available at: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90289-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90289-2).
- Ridwan, E. (2012) 'Kajian Interaksi Zat Besi dengan Zat Gizi Mikro Lain dalam Suplementasi', *Panel Gizi Makan*, 35(1), pp. 49-54.
- Sirisha, V.L. dan D'Souza, J.S. (2016) *Polysaccharide-Based Nanoparticles as Drug Delivery Systems*, *Marine OMICS*. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781315372303-32>.
- Souza, T.L. *et al.* (2020) 'Evaluation of Mn Exposure In The Male Reproductive System And Its Relationship With Reproductive Dysfunction In Mice', *Toxicology*, 441(April), p. 152504. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2020.152504>.

- Steimle, B.L., Smith, F.M. dan Kosman, D.J. (2019) 'The Solute Carriers ZIP8 and ZIP14 Regulate Manganese Accumulation In Brain Microvascular Endothelial Cells And Control Brain Manganese Levels', *Journal of Biological Chemistry*, 294(50), pp. 19197-19208. Available at: <https://doi.org/10.1074/jbc.RA119.009371>.
- Studer, J.M. *et al.* (2022) 'Functions of Manganese In Reproduction', *Animal Reproduction Science*, 238(January), p. 106924. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.106924>.
- Utami, P., Kalangi, S.J.R. dan Pasiak, T. (2013) 'Peran Glukosamin Pada Osteoarthritis', *Jurnal Biomedik (Jbm)*, 4(3). Available at: <https://doi.org/10.35790/jbm.4.3.2012.1202>.
- Winslow, J.W.W. dan Limesand, K.H. (2020) 'The Functions of ZIP8 , ZIP14 , and ZnT10 in the Regulation of Systemic Manganese Homeostasis'.
- Wityadarda, C. *et al.* (2023) *Dasar Ilmu Gizi*. Sada Kurnia Pustaka.
- Yang, H. *et al.* (2019) 'Occupational Manganese Exposure, Reproductive Hormones, And Semen Quality In Male Workers: A Cross-Sectional Study', *Toxicology and Industrial Health*, 35(1), pp. 53-62. Available at: <https://doi.org/10.1177/0748233718810109>.

BAB 20 | METABOLISME FLOUR

Evi Kusumawati, SST, M.Si.Med.

A. Pendahuluan

Kontaminasi fluorida dalam air minum berbeda antara wilayah satu dengan wilayah lainnya. Kontaminasi fluorida terbesar terjadi pada air tanah di wilayah tropis yang lembab (Cina, negara-negara di Asia Selatan, dan negara-negara di Afrika). Terjadinya air tanah dengan kandungan fluoride yang tinggi berdampak pada masalah kesehatan lingkungan yang terkenal secara global, terutama di Asia dan Afrika (Lacson *et al.*, 2021; Mthembu *et al.*, 2021). Meskipun demikian, diperkirakan lebih dari 200 juta orang di seluruh dunia mengonsumsi air minum yang terkontaminasi fluorida. Sebuah temuan menunjukkan bahwa di Meksiko saja, lebih dari 5 juta orang mengonsumsi air tanah yang terkontaminasi fluoride.

Di India tengah, sejumlah besar orang menderita perubahan warna gigi akibat asupan air yang terkontaminasi fluoride secara berlebihan, yang merupakan indikasi utama fluorosis gigi. Selain itu, masyarakat berusia 30-an dan 40-an tahun mengalami kelainan bentuk tulang yang diyakini akibat paparan air yang terkontaminasi fluoride dalam waktu lama. Air tanah yang terkontaminasi fluorida tidak hanya menimbulkan risiko kesehatan tetapi juga mempunyai konsekuensi sosial di banyak desa suku yang berlokasi di Jharkhand, Chhattisgarh, dan Odisha (Ayoob dan Gupta, 2006).

DAFTAR PUSTAKA

- Ayoob, S., & Gupta, A. K. (2006). Fluoride in Drinking Water: A Review on the Status and Stress Effects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(6), 433–487. <https://doi.org/10.1080/10643380600678112>
- Agtini M.D, dkk. Fluor dan Kesehatan Gigi. Media Litbang kesehatan, 2005
- Bai, C., Chen, T., Cui, Y., Gong, T., Peng, X. and Cul, H. M., 2010. Effect of high fluorine on the cell cycle and apoptosis of renal cells in chickens Biological Trace Element Research. 138. 173-180.
- Buzalaf C.P, De Lima Leite, A., & Buzalaf, M. A. R. (2015). CHAPTER 4: Fluoride Metabolism. *Food and Nutritional Components in Focus*, 2015-January(6), 54–72. <https://doi.org/10.1039/9781782628507-00054>
- Connect, Michael. Kerusakan Ginjal & Hati Ditemukan Pada Anak-Anak yang Terpapar Fluorida. 2006
- Campbell, James B., 1944. (2012). No Title ענף הקיווי: תמונת מצב. עלון 66, 39–37.
- Fitria, N. F., Hadi, B., & Hadi, S. (2022). SLR : Penggunaan Fluor Sistemik Dan Lokal. *Jurnal Ilmiah Keperawatan Gigi*, 3(1), 130–146.
- Iklimah, I., & Putri, D. A. (2020). Hubungan Antara Kandungan Fluor Dalam Air Minum Dengan Keluhan Kesehatan Gigi Pada Remaja Di Wilayah Kerja Puskesmas 1 Ulu <https://repository.unsri.ac.id/35350/>
- Kabir, M., Azad, M. J., & Islam, M. N. (2020). Exploring the determinants and constraints of smallholder vegetable farmers' adaptation capacity to climate change: A case of Bogura District, Bangladesh. *Journal of Agricultural and Crop Research*, 8(9), 176–186. https://doi.org/10.33495/jacr_v8i9.20.159

- Kashyap, S. J., Sankannavar, R., & Madhu, G. M. (2021). Fluoride sources, toxicity and fluorosis management techniques – A brief review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2021.100033>
- Kurniati, E., Huy, V. T., Anugroho, F., Sulianto, A. A., Amalia, N., & Nadhifa, A. R. (2020). The effect of pH and temperature on disinfection process using microbubble and pressurized carbon dioxide. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10(2), 247–256. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.247-256>
- Lacson, J. C. A., Doyle, S. H., Qian, L., Del Rio, J., Forgas, S. M., Valavanis, S., Carvajal, R., Gonzalez-Calderon, G., Kim, Y., Roetzheim, R. G., Sutton, S. K., Vadaparampil, S. T., & Kanetsky, P. A. (2021). A randomized trial of precision prevention materials to improve primary and secondary melanoma prevention activities among individuals with limited melanoma risk phenotypes. *Cancers*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/cancers13133143>
- Mthembu, J., Mabaso, M., Reis, S., Zuma, K., & Zungu, N. (2021). Prevalence and factors associated with intimate partner violence among the adolescent girls and young women in South Africa: findings the 2017 population based cross-sectional survey. *BMC Public Health*, 21(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11183-z>
- Peng, H., Xie, P., Liu, L., Kuang, X., Wang, Y., Qu, L., Gong, H., Jiang, S., Li, A., Ruan, Z., Ding, L., Yao, Z., Chen, C., Chen, M., Daigle, T. L., Dalley, R., Ding, Z., Duan, Y., Feiner, A., ... Zeng, H. (2021). Morphological diversity of single neurons in molecularly defined cell types. *Nature*, 598(7879), 174–181. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03941-1>
- Tiwari, K. K., Raghav, R., & Pandey, R. (2023). Recent advancements in fluoride impact on human health: A critical review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20(September), 100305. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100305>

- Willianti, E., Ilmu, B., Gigi, P., Mulut, D., Kedokteran, F., Wijaya, U., & Surabaya, K. (2015). Pengaruh Larutan Fluoride Terhadap Aktivitas Amilase Saliva. *Ilmiah Kedokteran*, 4, 54–67. <https://journal.uwks.ac.id/index.php/jikw/article/view/17/17>
- Wulandari, P. E., Pinontoan, O. R., Boky, H. B., Kesehatan, F., Universitas, M., & Ratulangi, S. (2019). Kualitas Air Sumur Berdasarkan Parameter Fluorida Dan Parameter pH Di Kelurahan Sumompo Kecamatan Tuminting Kota Manado. *Jurnal KESMAS*, 8(6), 13–19. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/kesmas/article/view/25337>
- Zhang, T., Wu, Q., & Zhang, Z. (2020). Probable Pangolin Origin of SARS-CoV-2 Associated with the COVID-19 Outbreak. *Current Biology*, 30(7), 1346-1351.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.022>
- Lestari, S. A. (2014). Pengaruh Paparan Per Oral Fluor dalam Pasta Gigi dengan Dosis Bertingkat terhadap Gambaran Mikroskopis Hepar Mencit. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Kashyap, S. J., Sankannavar, R., & Madhu, G. M. (2021). Fluoride sources, toxicity and fluorosis management techniques – A brief review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2021.100033>
- E. Johnson, MD, PhD,. . Reviewed/Revised Jul 2023. Fluorine Deficiency. University of Arkansas for Medical Sciences. <https://www.msmanuals.com/professional/nutritional-disorders/mineral-deficiency-and-toxicity/fluorine-deficiency?query=fluorine%20deficiency>
- Fitria, N. F., Hadi, B., & Hadi, S. (2022). SLR : Penggunaan Fluor Sistemik Dan Lokal. *Jurnal Ilmiah Keperawatan Gigi*, 3(1), 130–146.

- Willianti, : (2006). Pengaruh Larutan Fluoride Terhadap Aktivitas Amilase Saliva Effect of Fluoride Solution on Salivary Amylase Activity. 1-2.
- Latimer, Wendell M., Hildebrand, Joel H. Buku Referensi Kimia Anorganik. Perusahaan Macmillan: New York, 1938
- Liteplo R, Gomes Ms R. Fluorida. Organisasi Kesehatan Dunia: 2002
- Xiong X, dkk. Hubungan dosis-efek antara kadar fluoride air minum dengan kerusakan fungsi hati dan ginjal pada anak. 2007
- Yadav, M., Goswami, P., Paritosh, K., Kumar, M., & Pareek, N. (2019). Seafood Waste: A Source for Preparation of Commercially Employable Chitin/Chitosan Materials. *Bioresources and Bioprocessing*.
- Rasool S, Soya N, Truong L, Croteau N, Lukacs GL, Trempe JF. PINK1 autophosphorylation is required for ubiquitin recognition. *EMBO Rep.* 2018 Apr;19(4):e44981. doi: 10.15252/embr.201744981. Epub 2018 Feb 23. PMID: 29475881; PMCID: PMC5891426.
- Whitford, G. M., 1996. The metabolism and toxicity of fluoride. *Monographs in Oral Science.* 16: 1-153.
- Everett, E. T., 2011. Fluoride's effects on the formation of teeth and bones, and the influence of genetics. *Journal of Dental Research.* 90: 552-560.

TENTANG PENULIS



Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M.

Lahir di Sragen pada 16 November 1988. Ia menempung pendidikan sarjana di Universitas Diponegoro pada Program Studi Ilmu Gizi dan lulus tahun 2013. Ia kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang magister di Universitas Mitra Indonesia pada Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat dan lulus tahun 2018. Setelah lulus, ia kemudian berprofesi sebagai dosen di Universitas Aisyah Pringsewu pada Program Studi Gizi pada kurun waktu September 2018 – Juli 2023. Pada Agustus 2023, ia memutuskan untuk pindah institusi dan bekerja sebagai dosen di STIKes Adila pada Program Studi Gizi.



Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M.

Lahir di Kediri pada 14 Januari 1992. Ia menempuh pendidikan sarjana di Universitas Diponegoro pada Program Studi Ilmu Gizi dan lulus tahun 2014. Ia kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang magister di Universitas Sebelas Maret di Program Studi Magister Kesehatan Masyarakat dan lulus tahun 2021. Ia berprofesi sebagai Ahli Gizi di Klinik Pratama Jimbun Medika sejak 2014 hingga kini dan *entrepreneur* usaha kuliner sejak 2018 hingga kini. Selain itu, ia pernah mengajar di Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata tahun 2015-2016 dan di SMK Kesehatan Bhakti Indonesia Medika Kediri tahun 2021-2023 serta menjadi ahli gizi relawan penanganan pasien COVID-19 secara massal di RSDC Wisma Atlet tahun 2020-2021.



Deniyati, S.Farm., M.Si.

Lahir di Palama, pada bulan Desember tahun 1992. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Hasanuddin. Wanita yang kerap disapa Yati ini adalah anak dari pasangan H. Ibrahim Bin Usman (ayah) dan Aminah Binti Ahmad (ibu). Ia juga merupakan seorang istri dan ibu dari 1 orang anak. Deniyati bukanlah orang baru di dunia literasi. Ia aktif dalam menulis jurnal, buku ajar dan book chapter serta buku referensi. Ia juga merupakan seorang Dosen Pengampu Mata Kuliah Farmakologi, Biofarmasetika dan lain-lain.



Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz.

Lahir di Sawah Lunto, pada 15 Juni 1994. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana Ilmu Gizi pada tahun 2018 di Universitas Andalas Padang dan Magister Ilmu Gizi pada tahun 2022 di Universitas Diponegoro dengan kepakaran Gizi Klinik. Penulis aktif sebagai Dosen Program Studi Gizi Universitas Aisyah Pringsewu sejak tahun 2022. Penulis juga seorang peneliti yang sudah mengembangkan karyanya berupa jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional. Selain itu ia juga aktif dalam menulis buku gizi, yang terbaru yaitu Ilmu Gizi (2023), Mikrobiologi Kedokteran (2023), Biologi Sel dan Molekuler (2024), Metabolisme Energi dan Zat Gizi Makro (2024), dan Konseling Gizi Dalam Proses Asuhan Gizi Terstandar (2024).



dr. Widia Sari, M.Biomed.

Lahir di Padang , pada 26 September 1993. Ia tercatat sebagai lulusan S1 dan Profesi Dokter di Universitas Andalas serta S2 Ilmu Biomedik di Universitas Indonesia. Widia Sari saat ini aktif sebagai Dosen Tetap di Bagian Fisiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Baiturrahmah.



Nur Rezky Khairun Nisaa, S. Farm., M.Si.

Lahir di Kendari, pada 10 Desember 1993. S1 Ilmu Farmasi di Universitas Muslim Indonesia (2015) kota Makassar kemudian melanjutkan pendidikan jenjang S2 di Universitas Hasanuddin Makassar (2020) di Fakultas Farmasi dengan peminatan Herbal Medicine.

Wanita yang kerap disapa khiky ini adalah dosen di Fakultas Farmasi Universitas Mulawarman sejak tahun 2022 dengan bidang keilmuan Biologi Farmasi yang berfokus dalam bidang pencarian dan pengembangan obat tradisional, farmakognosi, fitokimia dan beberapa kali terlibat dalam penelitian tanaman obat tradisional.



Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz.

Lahir di Metro, pada 2 Juli 1992. Penulis pernah menempuh pendidikan pada DIII Gizi di Poltekkes Kemenkes Tanjung Karang (2013), S1 Ilmu Gizi Universitas Esa Unggul (2015) dan S2 Ilmu Gizi Human Nutrition Universitas Sebelas Maret (2018).

Penulis memiliki kepakaran pada bidang gizi masyarakat yang terfokus pada anak sekolah dan remaja. Penulis ikut terlibat dalam penelitian sesuai dengan bidang kepakaran dengan publikasi jurnal penelitian pada jurnal nasional dan internasional selain itu penelitian yang telah dilakukan ada yang didanai oleh internal perguruan tinggi, untuk menunjang karir sebagai dosen profesional, selain melakukan penelitian penulis ikut aktif terlibat dalam penyusunan buku seperti bahan ajar dan pada buku panduan. Pada penyusunan buku ini diharapkan dapat menjadi kontribusi positif bagi masyarakat untuk dapat memahami lebih dalam serta menambah pengetahuan terkait metabolisme zat gizi mikro khususnya pada vitamin K.

Email : alifiyanthi@yahoo.com



Leny Eka Tyas Wahyuni, S.Gz., M.Si.

Penulis lahir di Banyuwangi, Jawa Timur 25 Juni 1992. Penulis tertarik dengan Ilmu Gizi dan Kesehatan sejak tahun 2010 ketika penulis mulai menempuh pendidikan di Program Studi D-III Gizi, Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang. Penulis lulus program D-III Gizi tahun 2013 dengan gelar Ahli Madya Gizi. Penulis melanjutkan pendidikan Strata I di Program Studi S1 Ilmu Gizi, Departemen Gizi Masyarakat, IPB University tahun 2014 dan lulus dengan gelar Sarjana Gizi tahun 2016, kemudian penulis melanjutkan pendidikan Magister Gizi tahun 2017 di Program Studi Ilmu Gizi, Sekolah Pascasarjana, IPB University dan lulus dengan gelar Magister Sains pada tahun 2019. Penulis pernah bekerja menjadi Ahli Gizi di puskesmas dan rumah sakit swasta di Banyuwangi, serta Dosen di STIKES Banyuwangi, Jawa Timur sebagai Kaprodi S1 Gizi (2020 – 2022).

Saat ini penulis berkarir sebagai Dosen di Prodi Gizi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Mulawarman (2022-sekarang). Penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang telah dilakukan penulis yaitu di bidang Gizi Klinis, Gizi Masyarakat, dan Gizi Pangan. Beberapa penelitian penulis telah dipublikasikan pada jurnal Nasional dan Internasional. Penulis juga aktif menulis buku dan mengikuti survei nasional bersama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI. Email Penulis: lenyekatyas@fkm.unmul.ac.id



Berliana Puspita, S.Tr.Gz., M.Gz.

Lahir dan dibesarkan di Kota Malang pada tanggal 10 Desember 1997. Memiliki *passion* dalam ilmu gizi dalam masyarakat sangat pandai dalam ilmu gizi.



Riska Rusydi, S.Tr.Gz., M.Gz.

Lahir di Padang, pada 8 Oktober 1996. Tercatat sebagai lulusan Universitas Sebelas Maret. Perempuan yang kerap disapa dengan nama Riska ini adalah anak dari pasangan Bapak Rusdi (ayah) dan Ibu Idrawati (ibu). Saat ini Riska bekerja sebagai seorang dosen di salah satu Universitas Swasta di Kota Padang.



dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D.

Merupakan dosen tetap Departemen Biokimia, Fakultas Kedokteran, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat. Penulis merupakan anak dari pasangan Asrizal Jarat (ayah) dan Yurnita, Amd.Keb (Ibu). Setelah tamat Dokter Umum di Fakultas Kedokteran Universitas Andalas, (2009), penulis melanjutkan S3 bidang Medicine di Jichi Medical University, Jepang (2011 sampai 2015). Penulis aktif menulis buku dan artikel di berbagai jurnal nasional dan internasional.



Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz.

Ayu adalah seorang nutrisionis dan dosen Jurusan Gizi Poltekkes Kemenkes Jakarta II. Ia menyelesaikan pendidikan sarjananya di Jurusan Gizi Universitas Indonesia dan melanjutkan ke jenjang magister di Universitas Diponegoro dengan peminatan gizi klinik. Ayu juga memegang sertifikasi ahli gizi olahraga dari Kemenpora dan Koni serta sertifikasi ilmu fisiologi olahraga dari Perfori. Penelitiannya tentang gizi olahraga pada remaja telah dipresentasikan pada konferensi internasional. Di sela kesibukannya, Ayu aktif dalam kegiatan pendidikan masyarakat lewat wawancara media, webinar, pembuatan konten di media sosial, dan penulisan buku. Ayu berharap ilmu gizi dapat membuat masyarakat Indonesia memiliki hidup yang lebih sehat, karena

kehatan adalah investasi terpenting untuk masyarakat dan masa depannya.



Triya Ulva Kusuma, S.Gz., M.Gz.

Lahir di Pontianak pada tahun 1994. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Ilmu Gizi di Universitas Brawijaya pada tahun 2016. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S2 Ilmu Gizi di Universitas Diponegoro dan lulus pada tahun 2019. Saat ini penulis aktif sebagai dosen di Program Studi S1 Gizi Universitas Muhammadiyah Kendal Batang sejak tahun 2020 dengan konsentrasi di bidang gizi klinik. Dengan motto “Learning by teaching, sharing by writing”, penulis ingin terus mengembangkan diri di dunia kepenulisan agar dapat lebih banyak berbagi sekaligus belajar untuk mengajar.



Kuntari Astriana, S.Gz., M.Gz.

Lahir di Bantul Yogyakarta, pada 9 Juni 1987. Ibu dari satu orang anak ini kerap disapa Ana, setelah tamat dari Sekolah Menengah Farmasi (SMF) penulis melanjutkan pendidikan S1 Ilmu Gizi di Universitas Respati Yogyakarta dan S2 Ilmu Gizi di Universitas Sebelas Maret Surakarta. Saat ini penulis tercatat sebagai dosen tetap di Program Studi Gizi Program Sarjana Universitas Respati Yogyakarta. Adapun buku yang pernah penulis terbitkan antara lain Survei Konsumsi Gizi, Manajemen Program Gizi, Gizi Kesehatan Masyarakat, Metabolisme Energi dan Zat Gizi Makro dan Keamanan Pangan.



Taufiqurrahman, S.K.M., M.P.H.

Jl. Panorama Raya B/19, Kelurahan Pandean,
Kecamatan Taman, Madiun

63133 Jawa Timur, taufiq@poltekkesdepkes-sby.ac.id

081299884171



Dr. Gita Syahputra, S.Si, M.Si.

Lahir di Jakarta, pada 31 Agustus 1989. Tercatat lulus pendidikan doktor bidang Ilmu Biomedik dari Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Saat ini bekerja sebagai Peneliti Ahli Madya (Senior Researcher) di Pusat Riset Vaksin dan Obat, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penelitian yang dilakukan saat ini terkait eksplorasi dan formulasi peptida sebagai sumber nutrisi dan terapi penyakit. Penulis juga bergabung sebagai praktisi mengajar Kemdikbud RI dari 2023 hingga sekarang. Penulis juga aktif membimbing magang dan tugas akhir mahasiswa dari berbagai universitas.

Kontak: gita002@brin.go.id/ gitasyahputra@gmail.com



Tutty Hertati Purba, SKM., M.Kes.

Lahir 17 Juni 1986 di Desa Lumban Purba, Kecamatan Doloksanggul, Kabupaten Humbang Hasundutan, Sumatera Utara, Indonesia. Penulis merupakan anak ke enam dari sepuluh bersaudara pasangan Jainar Purba dan St. Rimpu Silaban., S.Pd. Menyelesaikan Studi D3 Keperawatan dari Akper Teladan Bahagia Medan (2008), S1 Fakultas Kesehatan Masyarakat (FKM) Universitas Sumatera Utara (USU) -Medan (2012) dan S2 FKM USU-Medan (2015) peminatan Gizi Kesehatan Masyarakat. Tahun 2008, 2012 sd 2018 mengajar di Akper Kesehatan Baru Doloksanggul. Saat ini adalah Dosen tetap dengan tugas tambahan sebagai Unit Pelaksana Jaminan Mutu Program Studi S1 Gizi Fakultas Kesehatan Masyarakat Institut Kesehatan Helvetia Medan. Mengampu Mata Kuliah Penilaian Status Gizi, Tumbuh Kembang Anak, Perkembangan Gizi Terkini, Manajemen Program Gizi dan Gizi Geriatri. Selain mengajar penulis aktif melakukan publikasi jurnal dan menjadi Narasumber dalam beberapa workshop/seminar terkait gizi. Buku ini adalah yang kedua,

penulis berharap dapat bermanfaat. Penulis dapat dihubungi di email: tutyhertatipurba@gmail.com dengan nomor telepon 085276660107.



Dr. Ir. Juliana Christyaningsih, M.Kes.

Lahir di Surabaya, 1 Juli. Saat ini penulis tinggal di Kota Surabaya. Pendidikan terakhir adalah Doktor Ilmu Kedokteran dari Universitas Airlangga Surabaya dengan konsentrasi Toksikologi dan Biokimia (lulus 2011). Aktivitas penulis saat ini selain mengajar pendidikan vokasi di Poltekkes Kemenkes Surabaya adalah sebagai Ketua Komisi Etik Penelitian Kesehatan Poltekkes Kemenkes Surabaya periode 2019-2023, juga sebagai Tim Penilai Akreditasi di Lembaga Akreditasi Mandiri Perguruan Tinggi Kesehatan (LAM-PTKes) sejak 2017 sampai sekarang, Reviewer nasional penelitian di lingkungan Poltekkes Kemenkes sejak 2021 sampai sekarang, Detaser Poltekkes Kemenkes dan Asesor Akreditasi Komisi Etik Penelitian Kesehatan. Jalin kerja sama dengan penulis via surel juliana.christy123@gmail.co.id



Fista Utami, S.Tr.Gz, M.Gz.

Lahir di Podomoro, 02 Januari 1997. Ia merupakan fresh graduate lulusan Magister Gizi Clinical Nutrition dari Sekolah Pascasarjana Ilmu Gizi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta Indonesia (2023). Fista Utami juga berlatar belakang pendidikan Sarjana Terapan Gizi dan Dietetika dari Politeknik Kesehatan Bandung (2018). Wanita yang kerap disapa Fista ini adalah anak dari Bapak Sungkono dan Ibu Migiati. Baru-baru ini, Fista Utami merupakan CASN Asisten Ahli/Dosen Tahun 2023 di Prodi S1 Gizi Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan (FIKK) Universitas Negeri Surabaya (UNESA), Jawa Timur.



Evi Kusumawati, SST, M.Si.Med.

Lahir di Pacitan pada tanggal 27 Maret 1979, putri dari Alm. Bapak H. Slamet Riyanto, S. Pd dan Ibu Hj. Kiptini S. Pd. Penulis sebagai dosen di Jurusan gizi Poltekkes Kemenkes Kendari dengan riwayat pendidikan DIII PAM Gizi Malang tahun 2000, DIV Gizi Klinik di Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya tahun 2001, S2 Ilmu Biomedik Universitas Diponegoro tahun 2013. Selain mengajar di Jurusan Gizi Poltekkes Kemenkes Kendari, juga aktif sebagai pengurus DPD Persatuan ahli Gizi (PERSAGI) Sulawesi Tenggara. Email: evikusumawati214@gmail.com