



BUNGA RAMPAI MIKRONUTRIEN ESENSIAL DAN PERANANNYA DALAM METABOLISME

Penulis :

- Dwi Kurnia Putri
- Itzar Chaidir Islam
- Etik Lusiani
- Rinza Rahmawati Samsudin
- Hendra Agung Herlambang
- Ernawaty Ginting
- Ayusti Dirga
- Lilia Faridatul Fauziah
- Kiki Rizky Ananda
- Dian Ekayanti Astari
- Johanna Tomaso
- Dewi Mey Lestanti Mukodri
- Zulya Erda



BUNGA RAMPAI MIKRONUTRIEN ESENSIAL DAN PERANANNYA DALAM METABOLISME

Dwi Kurnia Putri; Itzar Chaidir Islam;
Etik Lusiani; Rinza Rahmawati Samsudin;
Hendra Agung Herlambang; Ernawaty Ginting;
Ayusti Dirga; Lilia Faridatul Fauziah; Kiki Rizky Ananda;
Dian Ekayanti Astari; Johanna Tomaso;
Dewi Mey Lestanti Mukodri; Zulya Erda;

Editor: Leni Halimatusyadiah



PT. Mustika Sri Rosadi

Bunga Rampai Mikronutrien Esensial Dan Peranannya Dalam Metabolisme

Penulis:

Dwi Kurnia Putri; Itzar Chaidir Islam; Etik Lusiani; Rinza Rahmawati Samsudin; Hendra Agung Herlambang; Ernawaty Ginting; Ayusti Dirga; Lilia Faridatul Fauziah; Kiki Rizky Ananda; Dian Ekayanti Astari; Johanna Tomaso; Dewi Mey Lestanti Mukodri; Zulya Erda;

Editor: Leni Halimatusyadiah

Layout: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

Desain Sampul: Hapsah Meta

ISBN: 978-634-7535-51-1 (PDF)

Cetakan Pertama: 28 Januari 2026

Hak Cipta 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh Penerbit Mustika Sri Rosadi

Alamat Penerbit: Citra Indah City, Bukit Heliconia AG 23/32,
Kecamatan Jonggol, Kab. Bogor.

Email: mars.mustikasrirosadi@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku bunga rampai ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai bentuk kontribusi akademik dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang gizi dan kesehatan, khususnya terkait peran mikronutrien dalam mendukung fungsi fisiologis tubuh, sistem imun, serta pencegahan berbagai masalah kesehatan masyarakat. Hingga saat ini, defisiensi mikronutrien masih menjadi tantangan yang berdampak luas, terutama pada kelompok rentan seperti remaja putri, ibu hamil, dan anak.

Buku bunga rampai ini memuat berbagai kajian ilmiah yang disusun oleh para penulis dengan latar belakang keilmuan yang relevan. Pembahasan mencakup peran, metabolisme, dan dampak defisiensi berbagai mikronutrien, serta strategi pemenuhannya melalui pola makan sehari-hari dan fortifikasi pangan. Setiap bab disusun secara sistematis dan berbasis bukti ilmiah sehingga dapat memberikan pemahaman yang komprehensif dan aplikatif bagi pembaca.

Akhir kata, diharapkan buku ini dapat memberikan manfaat sebagai referensi akademik bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan tenaga kesehatan, serta menjadi bahan rujukan dalam upaya peningkatan status gizi dan

kesehatan masyarakat. Segala kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan buku ini di masa mendatang.

Bogor, 28 Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
PENDAHULUAN – Leni Halimatusyadiah	1
BAB 1. KONSEP DASAR MIKRONUTRIEN DAN FUNGSINYA - Dwi Kurnia Putri.....	4
A. Pendahuluan	4
B. Konsep Dasar Mikronutrien.....	6
C. Fungsi Mikronutrien dalam Proses Fisiologis.....	10
D. Bioavailabilitas dan Interaksi Mikronutrien	11
E. Dampak Defisiensi dan Toksisitas Mikronutrien ..	12
F. Penutup.....	12
G. Daftar Pustaka	14
BAB 2. PERAN VITAMIN A DALAM KESEHATAN MATA DAN IMUNITAS - Itzar Chaidir Islam.....	16
A. Pendahuluan	16
B. Metabolisme dan Mekanisme Biologis	18
C. Peran Vitamin A dalam Kesehatan Mata	20
D. Peran Vitamin A dalam Sistem Imunitas dan Kerentanan Infeksi.....	25
E. Penutup.....	27
F. Daftar Pustaka	28
BAB 3. Vitamin D dan Metabolisme Tulang - Etik Lusiani	30

A. Pendahuluan	30
B. Definisi Vitamin	31
C. Kebutuhan Mikronutrien	32
D. Jenis dan Klasifikasi Vitamin	33
E. Fungsi Vitamin	34
F. Kepentingan Biomedis.....	34
G. Vitamin D.....	35
H. Kimia Dan Metabolisme.....	37
I. Metabolisme Vitamin D Dan Homeostasis Kalsium	39
J. Fungsi Utama Vitamin D	41
K. Sintesis Vitamin D di Kulit	42
L. Defisiensi Vitamin D	43
M. Kelebihan Vitamin D Bersifat Toksik.....	44
N. Dampak Kelebihan Vitamin D	45
O. Penyakit Defisiensi Vitamin D	45
P. Tes Biokimia Status Vitamin D.....	47
Q. Osteoporosis Dan Osteomalasia.....	47
R. Sumber Makanan	48
S. Interaksi.....	48
T. Asupan Gizi Dianjurkan	49
U. Kebutuhan Vitamin	50
V. Penutup.....	51
W. Daftar Pustaka	52
BAB 4. VITAMIN E SEBAGAI ANTIOKSIDAN ALAMI - Rinza Rahmawati.....	54
A. Pendahuluan	54

B. Jenis Dan Sumber	56
C. Sifat Vitamin E.....	58
D. Sifat Biologis Vitamin E Didalam Tubuh.....	60
E. Metabolisme Vitamin E	61
F. Peran Vitamin E Sebagai Antioksidan	63
G. Daftar Pustaka	67
BAB 5. Peran Vitamin K dalam Pembekuan Darah dan Metabolisme Tulang - Hendra A. Herlambang	71
A. Pendahuluan: Sekilas Pandang Vitamin K dalam Sistem Biologis	71
B. Peran Vitamin K dalam Koagulasi Darah	72
C. Keterlibatan Vitamin K dalam Metabolisme Tulang	74
D. Implikasi Klinis dan Terapi.....	75
E. Struktur dan Metabolisme Vitamin K.....	78
F. Peran Vitamin K Dalam Pembekuan Darah.....	81
G. Peran Vitamin K Dalam Metabolisme Tulang	85
H. Efek Vitamin K pada Kepadatan Mineral Tulang dan Risiko Fraktur	88
I. Kombinasi Vitamin K dan Vitamin D Untuk Kesehatan Tulang Optimal.....	89
J. Protein Gla Vitamin K-Dependen Lainnya dan Fungsi Ekstrahepatik.....	91
K. Perbedaan Metabolik Antara Vitamin K1 dan Vitamin K2.....	94
L. Daftar Pustaka	97

BAB 6. FUNGSI VITAMIN C DALAM SINTESIS KOLAGEN DAN IMUNITAS - Ernawaty Ginting.....	110
A. Pendahuluan	110
B. Fungsi Vitamin C dalam Sintesis Kolagen	110
C. Peran Spesifik Vitamin C dalam Sintesis Kolagen	115
D. Bukti Ilmiah Terkait Vitamin C dan Kolagen	115
E. Vitamin C dan Sistem Imunitas	115
F. Implikasi Klinis dan Kesehatan Masyarakat.....	117
G. Kesimpulan	117
H. Daftar Pustaka	118
BAB 7. Vitamin B Kompleks dan Peranannya dalam Produksi Energi - Ayusti Dirga.....	120
A. Pendahuluan	120
B. Produksi Energi Seluler dan Peran Vitamin B Kompleks.....	122
C. Gambaran Umum Vitamin B Kompleks.....	124
D. Daftar Pustaka	135
BAB 8. Defisiensi Zat Besi dan Dampaknya terhadap Kejadian Anemia - Lilia Faridatul Fauziah.....	138
A. Pendahuluan	138
B. Zat Besi.....	139
C. Metabolisme Zat Besi.....	140
D. Hubungan Zat Besi terhadap Kejadian Anemia .	143
E. Daftar Pustaka	159
BAB 9. Seng dan Sistem Imun: Hubungan yang Kompleks - Kiki Rizky Ananda.....	174

A. Pendahuluan	174
B. Seng Sebagai Mineral Esensial	175
C. Metabolisme dan Homeostasis Seng.....	177
D. Peran Seng dalam Sistem Imun	179
E. Dampak Kekurangan Kadar Seng terhadap Sistem Imun	181
F. Rekomendasi Asupan Seng	184
G. Penutup.....	187
H. Daftar Pustaka	187
BAB 10. Peran Magnesium dalam Fungsi Neuromuskular - Dian Ekayanti Astari.....	191
A. Pendahuluan	191
B. Peran Magnesium dalam Fungsi Otot	195
C. Peran Magnesium dalam Fungsi Sistem Saraf....	202
D. Kebutuhan Magnesium, Sumber, dan Regulasi Klinis	207
E. Magnesium dalam Tatalaksana Klinis	208
F. Penutup.....	209
G. Daftar Pustaka	210
BAB 11. Yodium dan Kesehatan Tiroid - Johanna Tomaso.....	212
A. Pendahuluan	212
B. Yodium	213
C. Kesehatan Tiroid	220
D. Penutup.....	227
E. Daftar Pustaka	228

BAB 12. Sumber Alami Mikronutrien dalam Pola Makan Sehari-hari - Dewi Mey Lestanti Mukodri..231

A. Pendahuluan	231
B. Konsep Dasar Mikronutrien.....	232
C. Sumber Alami Vitamin dalam Pola Makan Sehari-hari.....	233
D. Sumber Alami Mineral dalam Pola Makan Sehari-hari.....	236
E. Integrasi Sumber Mikronutrien dalam Pola Makan Sehari-hari.....	238
F. Penutup.....	239
G. Daftar Pustaka	240

TOPIK 13. FORTIFIKASI MAKANAN UNTUK MENGATASI DEFISIENSI MIKRONUTRIEN - Zulya

Erda	243
A. Pendahuluan	243
B. Defisiensi Mikronutrien dan Dampaknya	245
C. Fortifikasi Pangan sebagai Solusi	249
D. Konsep dan Prinsip Fortifikasi Pangan	260
E. Teknologi Fortifikasi Pangan	264
F. Penutup.....	267
G. Daftar Pustaka	268

PENUTUP - Leni Halimatusyadiah273

GLOSARIUM.....275

BIOGRAFI EDITOR.....283

BIOGRAFI PENULIS.....285

SINOPSIS.....303

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Ringkasan Jenis, Fungsi, dan Sumber Vitamin	10
Tabel 1.2. Ringkasan Jenis, Fungsi, dan Sumber	11
Tabel 5.1. Faktor Koagulasi dan Fungsi Utamanya	73
Tabel 8.1. Kadar Serum Ferritin Pada Kondisi Defisiensi Zat Besi	143
Tabel 8.2. Kriteria Anemia Berdasarkan Kadar Hb.....	145
Tabel 8.3. Penyebab Umum Anemia Berdasarkan Kerusakan Sel Darah Merah	147
Tabel 8.4. Penyebab Umum Anemia Berdasarkan Ketidakseimbangan Eritrosit	147
Tabel 8.5. Kriteria Diagnosis Anemia Defisiensi Besi ..	155
Tabel 8.6. Penyebab Anemia Defisiensi Zat Besi.....	156
Tabel 9.1. Angka Kecukupan Seng yang dianjurkan (per orang per hari)	186
Tabel 11.1. Gangguan Akibat Kekurangan Yodium (GAKY).....	219
Tabel 12.1. Vitamin, Fungsi, dan Sumber Alami	233
Tabel 12.2. Mineral, Fungsi, dan Sumber Alami	236
Tabel 13.1. Dampak Defisiensi Mikronutrien	249
Tabel 13.2. Perbedaan antara Fortifikasi, Suplementasi dan Biofortifikasi	258

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Biokimiawi Vitamin A	18
Gambar 2.2. Manfaat Vitamin A untuk Mata	21
Gambar 2.3. Dampak Defisiensi Vitamin A pada Mata	24
Gambar 4.1. Pembentukan Radikal Bebas	56
Gambar 4.2. Struktur Kimia Dari Berbagai Isoform Vitamin E.....	59
Gambar 4.3. Sterio-Isoform Vitamin E Alami Dan Sintetis	60
Gambar 4.4. Transportasi Vitamin E Dari Usus Ke Jaringan Lain	63
Gambar 4.5. Vitamin E Sebagai Antioksidan	65
Gambar 6.1. Struktur Molekul Kolagen	111
Gambar 6.2. Sintesa Kolagen dalam Tubuh.....	113
Gambar 8.1. Vitamin B digunakan untuk mengubah Asam Amino menjadi Energi.....	123
Gambar 8.1. Konsep Etiologi Anemia	148
Gambar 10.1. Susunan Filamen Penyusun Otot.....	196
Gambar 10.2. Proses Kontraksi Otot	198
Gambar 10.3. Proses Relaksasi Otot.....	200
Gambar 10.4. Magnesium pada Reseptor NMDA.....	204

PENDAHULUAN

Oleh: Leni Halimatusyadiah

Mikronutrien merupakan komponen esensial dalam pemeliharaan kesehatan manusia, meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang relatif kecil. Vitamin dan mineral berperan penting dalam berbagai proses fisiologis, mulai dari metabolisme energi, pembentukan sel dan jaringan, fungsi neuromuskular, regulasi sistem imun, hingga kesehatan reproduksi. Kekurangan mikronutrien, yang sering disebut sebagai *hidden hunger*, masih menjadi permasalahan kesehatan masyarakat global dan berdampak luas terhadap kualitas sumber daya manusia.

Buku bunga rampai ini disusun sebagai respons akademik terhadap tingginya beban defisiensi mikronutrien yang masih ditemukan pada berbagai kelompok populasi, terutama bayi dan anak, remaja, wanita usia subur, ibu hamil, serta kelompok rentan lainnya. Berbagai temuan ilmiah mutakhir menunjukkan bahwa defisiensi mikronutrien tidak hanya berkonsekuensi pada gangguan kesehatan individu, tetapi juga berdampak pada produktivitas, kualitas hidup, serta pembangunan sosial dan ekonomi secara berkelanjutan.

Secara khusus, buku ini mengulas peran penting mineral dan mikronutrien utama dalam fungsi fisiologis

tubuh manusia. Pembahasan dimulai dengan defisiensi zat besi dan dampaknya terhadap kejadian anemia sebagai salah satu masalah gizi mikro paling umum di dunia. Selanjutnya, dibahas peran seng dalam sistem imun yang melibatkan mekanisme molekuler dan seluler yang kompleks, serta implikasinya terhadap daya tahan tubuh. Peran magnesium dalam fungsi neuromuskular dan sistem saraf turut diuraikan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai pentingnya mineral ini dalam menjaga stabilitas neuromuskular dan fungsi neurologis.

Selain membahas aspek biologis dan klinis, buku ini juga menyoroti pendekatan berbasis pangan melalui pemanfaatan sumber alami mikronutrien dalam pola makan sehari-hari. Integrasi pangan lokal dan penerapan prinsip gizi seimbang menjadi bagian penting dalam upaya pencegahan defisiensi mikronutrien secara berkelanjutan. Sebagai pelengkap, fortifikasi pangan dibahas sebagai strategi kesehatan masyarakat yang efektif dan berbasis kebijakan, dengan menampilkan pengalaman global dan nasional, prinsip pelaksanaan, serta inovasi teknologi fortifikasi yang terus berkembang.

Dengan pendekatan multidisiplin yang mengintegrasikan aspek biomedis, gizi masyarakat, dan kebijakan kesehatan, buku bunga rampai ini diharapkan dapat menjadi rujukan akademik bagi mahasiswa, dosen, peneliti, serta tenaga kesehatan. Buku ini juga

diharapkan berkontribusi dalam penguatan literasi gizi dan mendukung upaya pencegahan defisiensi mikronutrien dalam konteks kesehatan ibu dan anak serta pembangunan kesehatan masyarakat secara menyeluruh.

BAB 1. KONSEP DASAR MIKRONUTRIEN DAN FUNGSINYA

Oleh: Dwi Kurnia Putri

A. Pendahuluan

Mikronutrien merupakan zat gizi esensial yang dibutuhkan tubuh manusia dalam jumlah relatif kecil, namun memiliki peran yang sangat penting dalam menunjang berbagai proses biologis dan metabolisme. Mikronutrien tidak berfungsi sebagai sumber energi, tetapi berperan sebagai regulator dan katalisator dalam reaksi biokimia, pembentukan dan pemeliharaan jaringan, serta pengaturan sistem fisiologis tubuh. Vitamin dan mineral sebagai komponen utama mikronutrien memiliki kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan, perkembangan, fungsi sistem imun, serta pencegahan berbagai penyakit.

Permasalahan gizi mikro masih menjadi tantangan kesehatan masyarakat di tingkat global maupun nasional. Berbagai laporan menunjukkan bahwa defisiensi mikronutrien, seperti kekurangan zat besi, vitamin A, yodium, dan seng, masih banyak ditemukan, khususnya pada kelompok rentan seperti ibu hamil, bayi, anak-anak, dan lansia. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada meningkatnya risiko penyakit dan gangguan kesehatan, tetapi juga berpengaruh

terhadap penurunan kualitas sumber daya manusia, produktivitas kerja, serta perkembangan kognitif.

Selain defisiensi, permasalahan lain yang juga perlu diperhatikan adalah potensi toksisitas akibat konsumsi mikronutrien secara berlebihan, terutama pada vitamin larut lemak dan mineral tertentu. Perkembangan industri pangan, fortifikasi, serta penggunaan suplemen yang tidak terkontrol dapat meningkatkan risiko kelebihan asupan mikronutrien apabila tidak disertai pemahaman yang memadai mengenai kebutuhan dan batas aman konsumsinya.

Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai konsep dasar mikronutrien, meliputi definisi, klasifikasi, fungsi fisiologis, bioavailabilitas, serta dampak defisiensi dan toksisitas, menjadi sangat penting. Bab ini disusun untuk memberikan landasan teoretis yang kuat bagi mahasiswa dan praktisi di bidang gizi, kesehatan, dan pangan dalam memahami peran mikronutrien secara ilmiah. Dengan pemahaman tersebut, diharapkan pembaca mampu mengaplikasikan konsep mikronutrien dalam perencanaan pola makan seimbang, upaya promotif dan preventif kesehatan, serta pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan yang berorientasi pada peningkatan kualitas gizi masyarakat.

B. Konsep Dasar Mikronutrien

Mikronutrien didefinisikan sebagai zat gizi esensial yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah mikro hingga miligram per hari. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah kecil, mikronutrien memiliki aktivitas biologis yang tinggi dan berperan penting dalam hampir seluruh proses biokimia tubuh. Kekurangan satu jenis mikronutrien dapat mengganggu fungsi metabolik tertentu dan berdampak sistemik terhadap kesehatan. Mikronutrien diklasifikasikan menjadi dua kelompok:

1. Vitamin

Vitamin merupakan senyawa organik yang berperan dalam regulasi metabolisme tubuh. Berdasarkan kelarutannya, vitamin dibedakan menjadi Vitamin larut lemak (A, D, E, dan K), yang disimpan dalam jaringan lemak dan hati. Vitamin larut air (vitamin B kompleks dan vitamin C), yang umumnya tidak disimpan dalam tubuh dan diekskresikan melalui urin.

a. Vitamin A

Vitamin A berperan dalam proses penglihatan, khususnya dalam pembentukan rodopsin pada retina mata. Selain itu, vitamin A penting dalam diferensiasi dan proliferasi sel epitel, mendukung fungsi sistem imun, serta berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan embrio.

b. Vitamin D

Vitamin D berfungsi sebagai prohormon yang berperan dalam regulasi metabolisme kalsium dan fosfor. Kekurangan vitamin D dapat menyebabkan gangguan mineralisasi tulang, seperti rakhitis pada anak dan osteomalasia pada dewasa.

c. Vitamin E

Vitamin E dikenal sebagai antioksidan utama yang melindungi membran sel dari kerusakan akibat radikal bebas. Vitamin ini berperan dalam menjaga integritas sel darah merah dan mendukung fungsi sistem imun.

d. Vitamin K

Vitamin K berperan dalam sintesis faktor pembekuan darah dan metabolisme tulang. Defisiensi vitamin K dapat menyebabkan gangguan koagulasi dan meningkatkan risiko perdarahan.

e. Vitamin B kompleks

Kelompok vitamin B berperan sebagai koenzim dalam metabolisme energi. Vitamin B1 (tiamin) penting dalam metabolisme glukosa, vitamin B6 terlibat dalam metabolisme asam amino, sedangkan vitamin B12 dan asam folat berperan dalam pembentukan sel darah merah dan sintesis DNA.

f. Vitamin C

Vitamin C berfungsi sebagai antioksidan, meningkatkan penyerapan zat besi non-heme, serta berperan dalam sintesis kolagen. Vitamin ini juga mendukung penyembuhan luka dan meningkatkan daya tahan tubuh.

2. Mineral

Mineral adalah unsur anorganik yang diperlukan untuk pembentukan jaringan tubuh, keseimbangan cairan, serta aktivitas enzim dan hormon. Mineral dibagi menjadi Mineral makro, yang dibutuhkan dalam jumlah relatif besar. Mineral mikro, yang dibutuhkan dalam jumlah sangat kecil namun memiliki fungsi biologis yang spesifik.

a. Mineral Makro

Mineral makro dibutuhkan dalam jumlah relatif besar dan berperan dalam pembentukan struktur tubuh serta keseimbangan cairan.

1) Kalsium dan Fosfor

Kedua mineral ini merupakan komponen utama tulang dan gigi. Selain itu, kalsium berperan dalam kontraksi otot, transmisi impuls saraf, dan pembekuan darah.

2) Magnesium

Magnesium berperan sebagai kofaktor lebih dari 300 enzim dan terlibat dalam

metabolisme energi, sintesis protein, serta fungsi neuromuskular.

3) Natrium, Kalium, dan Klorida

Mineral ini berperan dalam keseimbangan cairan dan elektrolit serta menjaga tekanan osmotik dan fungsi saraf.

b. Mineral Mikro (Trace Elements)

Mineral mikro dibutuhkan dalam jumlah sangat kecil, namun memiliki fungsi biologis yang sangat spesifik.

1) Zat Besi

Zat besi merupakan komponen utama hemoglobin dan mioglobin yang berfungsi dalam transport oksigen. Defisiensi zat besi merupakan penyebab utama anemia gizi.

2) Seng (Zn)

Seng berperan dalam sintesis protein, penyembuhan luka, fungsi sistem imun, dan regulasi ekspresi gen.

3) Yodium

Yodium diperlukan untuk sintesis hormon tiroid yang mengatur laju metabolisme basal tubuh.

4) Selenium

Selenium berperan sebagai komponen enzim antioksidan dan membantu melindungi sel dari kerusakan oksidatif.

C. Fungsi Mikronutrien dalam Proses Fisiologis

Vitamin berperan sebagai koenzim atau prekursor koenzim dalam berbagai reaksi metabolisme, menjaga integritas jaringan, serta mendukung sistem imun dan sistem saraf. Vitamin juga berperan sebagai antioksidan yang melindungi sel dari kerusakan oksidatif.

Mineral berperan dalam pembentukan struktur tubuh, seperti tulang dan gigi, menjaga keseimbangan elektrolit, transmisi impuls saraf, kontraksi otot, serta sebagai komponen enzim dan hormon.

Adapun ringkasan vitamin dan mineral bisa dilihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

Tabel 1.1. Ringkasan Jenis, Fungsi, dan Sumber Vitamin

Vitamin	Fungsi Utama	Sumber Pangan
Vitamin A	Kesehatan mata, diferensiasi sel, sistem imun	Hati, wortel, bayam, susu
Vitamin D	Metabolisme kalsium dan fosfor, kesehatan tulang	Ikan berlemak, kuning telur, sinar matahari
Vitamin E	Antioksidan, perlindungan membran sel	Kacang-kacangan, biji-bijian, minyak nabati
Vitamin K	Pembekuan darah, kesehatan tulang	Sayuran hijau, brokoli
Vitamin B1 (Tiamin)	Metabolisme energi, fungsi saraf	Beras, gandum, daging

Vitamin B6	Metabolisme protein, pembentukan neurotransmitter	Pisang, daging, kacang
Vitamin B12	Pembentukan sel darah merah, fungsi saraf	Produk hewani
Vitamin C	Antioksidan, pembentukan kolagen	Buah sitrus, jambu biji

Tabel 1.2. Ringkasan Jenis, Fungsi, dan Sumber Mineral

Mineral	Fungsi Utama	Sumber Pangan
Kalsium	Pembentukan tulang dan gigi, kontraksi otot	Susu, keju, ikan bertulang
Fosfor	Struktur tulang, metabolisme energi	Daging, ikan, kacang
Zat Besi	Transport oksigen (hemoglobin)	Daging merah, hati, bayam
Seng (Zn)	Sistem imun, penyembuhan luka	Kerang, daging, biji-bijian
Yodium	Sintesis hormon tiroid	Garam beryodium, seafood
Magnesium	Aktivitas enzim, fungsi saraf	Kacang, biji-bijian, sayuran
Selenium	Antioksidan, fungsi imun	Ikan, telur, sereal

D. Bioavailabilitas dan Interaksi Mikronutrien

Bioavailabilitas mikronutrien dipengaruhi oleh bentuk kimia zat gizi, matriks pangan, serta interaksi dengan zat gizi lain. Sebagai contoh, penyerapan zat

besi non-heme dipengaruhi oleh keberadaan vitamin C yang meningkatkan absorpsi, sementara fitat dan tanin dapat menghambatnya.

Interaksi antar mikronutrien juga perlu diperhatikan, karena kelebihan satu zat dapat mengganggu penyerapan zat lainnya. Oleh karena itu, keseimbangan asupan mikronutrien menjadi aspek penting dalam perencanaan diet.

E. Dampak Defisiensi dan Toksisitas Mikronutrien

Defisiensi mikronutrien dapat menimbulkan gangguan klinis spesifik, seperti anemia defisiensi besi, rabun senja akibat kekurangan vitamin A, serta gangguan pertumbuhan dan perkembangan. Sebaliknya, konsumsi mikronutrien secara berlebihan, terutama vitamin larut lemak dan mineral tertentu, dapat menyebabkan efek toksik. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhan mikronutrien harus mengacu pada Angka Kecukupan Gizi (AKG) yang dianjurkan.

F. Penutup

Mikronutrien merupakan komponen esensial dalam sistem gizi manusia yang memiliki peran strategis dalam menjaga keseimbangan fungsi fisiologis, metabolisme, serta kesehatan secara menyeluruh. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah relatif kecil,

vitamin dan mineral berkontribusi besar terhadap keberlangsungan proses biologis, mulai dari aktivitas enzimatis, regulasi hormon, hingga perlindungan sel dari kerusakan oksidatif. Oleh karena itu, keberadaan mikronutrien yang memadai menjadi prasyarat penting bagi pertumbuhan, perkembangan, dan kualitas hidup manusia. Pembahasan dalam bab ini menegaskan bahwa mikronutrien tidak dapat dipandang secara terpisah, melainkan saling berinteraksi dan dipengaruhi oleh faktor bioavailabilitas, pola konsumsi, serta kondisi fisiologis individu. Kekurangan mikronutrien dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan, baik yang bersifat akut maupun kronis, sementara kelebihan asupan tertentu juga berpotensi menyebabkan efek toksik. Dengan demikian, pemenuhan kebutuhan mikronutrien harus dilakukan secara seimbang dan mengacu pada rekomendasi Angka Kecukupan Gizi yang berlaku.

Pemahaman yang komprehensif mengenai konsep dasar, jenis, fungsi, serta dampak mikronutrien diharapkan dapat menjadi landasan ilmiah bagi mahasiswa, akademisi, dan praktisi dalam bidang gizi, kesehatan, dan pangan. Selain itu, pengetahuan ini diharapkan mampu mendukung upaya promotif dan preventif dalam meningkatkan status gizi masyarakat serta mencegah permasalahan kesehatan yang

berkaitan dengan defisiensi maupun toksisitas mikronutrien.

G. Daftar Pustaka

- Alrefaei, A. F., et al. (2025). Micronutrient testing, supplement use, and knowledge: Contributions to growth, development, and immune functioning. *Nutrients*, 17(24), 3897. <https://doi.org/10.3390/nu17243897>
- Almatsier, S. (2019). Prinsip dasar ilmu gizi (Edisi revisi). PT Gramedia Pustaka Utama.
- Brown, K. H., Hess, S. Y., Moore, S. E., Combs, G. F., Cashman, K. D., McNulty, H., et al. (2025). Neglected micronutrients—considering a broader set of vitamins and minerals in public health nutrition programs worldwide: A narrative review. *The American Journal of Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2025.06.030>
- Gibney, M. J., Lanham-New, S. A., Cassidy, A., & Vorster, H. H. (2018). Introduction to human nutrition (3rd ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119233974>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang angka kecukupan gizi yang dianjurkan untuk masyarakat Indonesia. Kementerian Kesehatan RI.

- Mahan, L. K., Raymond, J. L., & Escott-Stump, S. (2021). Krause's food & the nutrition care process (15th ed.). Elsevier.
- World Health Organization. (2023). Micronutrient deficiencies. World Health Organization. <https://www.who.int/health-topics/micronutrients>

BAB 2. PERAN VITAMIN A DALAM KESEHATAN MATA DAN IMUNITAS

Oleh: Itzar Chaidir Islam

A. Pendahuluan

Vitamin A merupakan salah satu mikronutrien esensial yang memiliki peran fundamental dalam berbagai proses biologis, terutama pada fungsi visual dan sistem imunitas. Kekurangan maupun kelebihan vitamin A dapat menimbulkan konsekuensi klinis yang signifikan, menjadikannya nutrisi yang memerlukan regulasi homeostasis yang ketat.

Secara global, defisiensi vitamin A masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius, khususnya di negara berkembang. Organisasi Kesehatan Dunia melaporkan bahwa defisiensi vitamin A merupakan penyebab utama kebutaan yang dapat dicegah pada anak, dengan manifestasi klinis yang dikenal sebagai xerophthalmia. Spektrum gangguan ini mencakup rabun senja, xerosis konjungtiva dan kornea, Bitot's spots, hingga keratomalasia yang dapat berujung pada kebutaan permanen. Mata merupakan salah satu organ yang paling sensitif terhadap ketidakseimbangan vitamin A. Pada retina, vitamin A berperan sebagai prekursor kromofor visual yang esensial bagi pembentukan rodopsin dan regenerasi siklus visual. Di luar retina, vitamin A berperan dalam

mempertahankan diferensiasi epitel konjungtiva dan kornea, termasuk pemeliharaan sel goblet dan stabilitas permukaan okular. Oleh karena itu, manifestasi okular sering kali menjadi indikator awal adanya defisiensi vitamin A, bahkan sebelum gejala sistemik lainnya muncul.

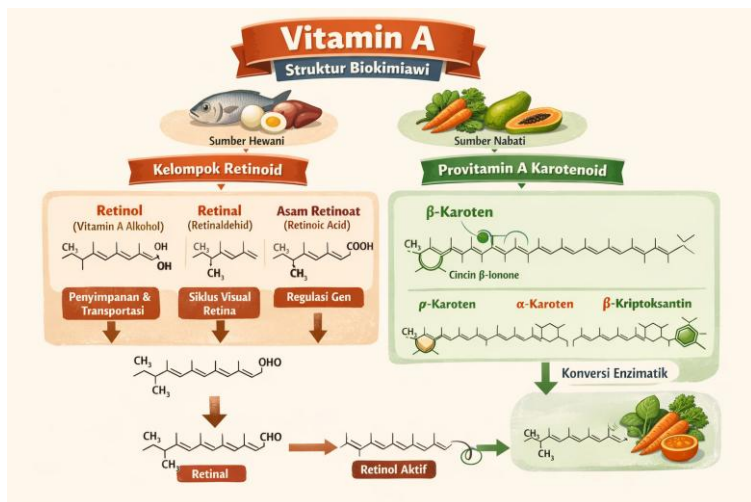
Selain fungsi visual, vitamin A memiliki peran krusial dalam sistem imunitas. Metabolit aktifnya, terutama asam retinoat, berfungsi sebagai imunomodulator yang memengaruhi diferensiasi dan fungsi sel T, keseimbangan respons proinflamasi dan antiinflamasi, serta integritas barrier mukosa. Defisiensi vitamin A telah terbukti berhubungan dengan disfungsi imun dan peningkatan kerentanan terhadap infeksi, memperkuat konsep hubungan dua arah antara status nutrisi dan penyakit infeksi.

Dengan latar belakang tersebut, pemahaman yang komprehensif mengenai metabolisme vitamin A, perannya dalam kesehatan mata dan sistem imunitas, serta implikasi klinis dan kesehatan masyarakat menjadi sangat penting bagi praktisi klinis dan peneliti. Bab ini bertujuan untuk mengulas secara terintegrasi peran vitamin A dalam kesehatan mata dan imunitas, dengan menekankan mekanisme biologis, manifestasi klinis, serta relevansinya dalam praktik kedokteran modern.

B. Metabolisme dan Mekanisme Biologis

1. Bentuk Vitamin A: Retinoid dan Karotenoid

Vitamin A merupakan istilah kolektif untuk sekelompok senyawa lipofilik yang memiliki aktivitas biologis retinol. Secara kimia dan fungsional, vitamin A terbagi menjadi dua kelompok utama, yaitu retinoid dan provitamin A karotenoid.



Gambar 2.1. Struktur Biokimiawi Vitamin A

Retinoid mencakup retinol, retinaldehid, dan asam retinoat, yang secara langsung aktif secara biologis dan terutama diperoleh dari sumber hewani. Retinol merupakan bentuk dominan dalam sirkulasi dan jaringan penyimpanan, sementara retinal berperan sebagai kromofor utama dalam siklus visual retina.

Asam retinoat (retinoic acid/RA) merupakan metabolit aktif yang bertanggung jawab terhadap sebagian besar efek regulasi gen vitamin A.

Sebaliknya, provitamin A karotenoid berasal dari sumber nabati dan memerlukan konversi enzimatik untuk menjadi bentuk aktif vitamin A. Di antara lebih dari 50 jenis karotenoid, hanya beberapa yang memiliki aktivitas provitamin A, terutama β -karoten, α -karoten, dan β -kriptoksantin.

Karotenoid ini memiliki cincin β -ionone yang memungkinkan pemecahan menjadi retinal di dalam tubuh manusia. Namun, tidak semua karotenoid dapat dikonversi menjadi vitamin A, sehingga kontribusinya sangat bergantung pada struktur kimia dan efisiensi metabolisme individu.

2. Proses Absorpsi, Transport, Penyimpanan, dan Metabolisme

Absorpsi vitamin A terjadi di usus halus bersama lipid diet. Retinil ester dari sumber hewani dihidrolisis menjadi retinol sebelum memasuki enterosit, sedangkan karotenoid diserap melalui transporter membran seperti scavenger receptor class B type 1 (SCARB1) dan CD36. Di dalam enterosit, sebagian karotenoid dikonversi menjadi retinal dan selanjutnya direduksi menjadi retinol. Retinol kemudian diesterifikasi kembali menjadi retinil ester dan

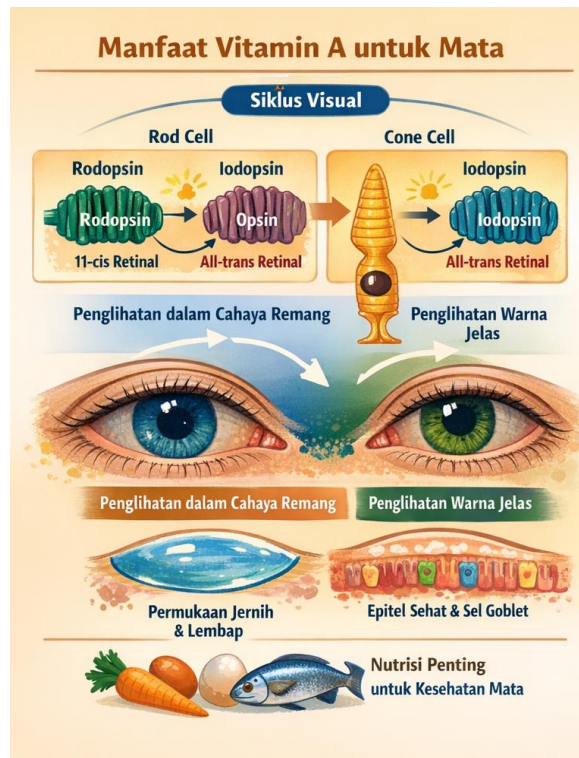
dikemas ke dalam kilomikron untuk disalurkan melalui sistem limfatik ke sirkulasi sistemik.

Hati merupakan organ utama penyimpanan vitamin A, dengan lebih dari 70% cadangan tubuh disimpan dalam sel stellata hepatik dalam bentuk retinil ester. Mekanisme ini memungkinkan tubuh mempertahankan homeostasis vitamin A dan melindungi jaringan dari toksisitas akibat kelebihan retinol bebas. Secara metabolik, retinol mengalami oksidasi bertahap menjadi retinal dan kemudian menjadi asam retinoat melalui kerja enzim retinol dehidrogenase (RDH) dan aldehid dehidrogenase (ALDH). Proses ini berlangsung terutama di hati dan jaringan target. Asam retinoat kemudian dimetabolisme lebih lanjut oleh enzim sitokrom P450 untuk menjaga kadar intraseluler tetap terkendali dan mencegah toksisitas.

C. Peran Vitamin A dalam Kesehatan Mata

Vitamin A memainkan peran esensial dalam proses fototransduksi visual melalui bentuk aktifnya, 11-cis-retinal, yang merupakan komponen kunci fotopigmen pada sel fotoreseptor. Pada sel batang, 11-cis-retinal berikatan dengan opsin membentuk rodopsin, sedangkan pada sel kerucut berikatan dengan iodopsin. Ketika foton cahaya mengenai fotopigmen, 11-cis-retinal mengalami isomerisasi menjadi all-

trans-retinal, memicu rangkaian reaksi biokimia yang menghasilkan impuls listrik menuju korteks visual. Proses ini dikenal sebagai siklus visual dan memerlukan regenerasi kontinu 11-cis-retinal agar sensitivitas visual tetap terjaga, terutama dalam kondisi cahaya redup.



Gambar 2.2. Manfaat Vitamin A untuk Mata

Defisiensi vitamin A mengganggu regenerasi rodopsin dan secara klinis pertama kali bermanifestasi

sebagai rabun senja (night blindness). Gangguan ini mencerminkan penurunan fungsi sel batang dan sering menjadi tanda awal kekurangan vitamin A sebelum muncul kelainan struktural pada permukaan okular.

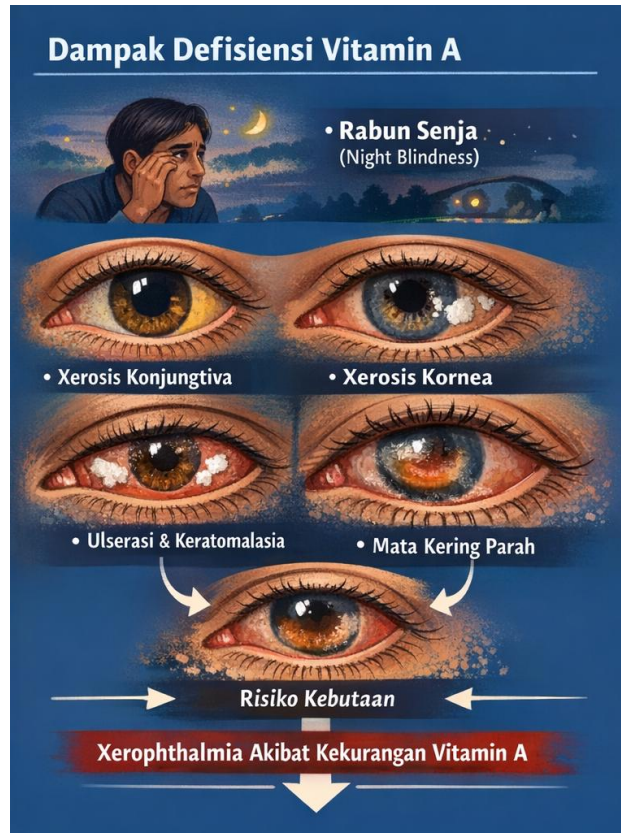
Selain perannya dalam retina, vitamin A sangat penting dalam mempertahankan integritas epitel permukaan okular, termasuk kornea dan konjungtiva. Asam retinoat, metabolit aktif vitamin A, mengatur diferensiasi dan proliferasi sel epitel serta mencegah metaplasia skuamosa. Vitamin A juga berperan dalam mempertahankan populasi sel goblet konjungtiva yang memproduksi mukin, komponen penting dalam stabilitas tear film dan perlindungan permukaan mata.

Pada tingkat molekuler, vitamin A meningkatkan ekspresi gen mukin membran seperti MUC16, yang berfungsi sebagai barrier hidrofobik dan mencegah keratinisasi epitel kornea dan konjungtiva. Mekanisme ini menjelaskan peran vitamin A dalam menjaga permukaan okular tetap lembap, transparan, dan resisten terhadap iritasi serta infeksi.

Defisiensi vitamin A menyebabkan perubahan struktural dan fungsional pada seluruh unit permukaan okular. Pada konjungtiva, terjadi kehilangan sel goblet, penurunan produksi mukin, dan keratinisasi epitel yang secara klinis tampak sebagai konjungtiva kering (xerosis) dan Bitot's spots. Pada

kornea, defisiensi progresif menyebabkan hilangnya kilap permukaan, penurunan integritas epitel, dan peningkatan kerentanan terhadap ulserasi dan nekrosis stroma.

Sistem lakrimal juga terdampak melalui penurunan kualitas dan stabilitas tear film. Defisiensi vitamin A berhubungan dengan penurunan produksi air mata dan perubahan komposisi tear film, yang memperburuk gejala mata kering dan meningkatkan risiko kerusakan permukaan okular. Studi klinis menunjukkan bahwa suplementasi atau aplikasi topikal vitamin A dapat meningkatkan kepadatan sel goblet dan memperbaiki parameter klinis mata kering, menegaskan peran vitamin A dalam homeostasis sistem lakrimal.



Gambar 2.3. Dampak Defisiensi Vitamin A pada Mata

Kumpulan manifestasi okular akibat defisiensi vitamin A dikenal sebagai xerophthalmia, yang mencerminkan spektrum progresif gangguan mata. Kondisi ini dimulai dari rabun senja, diikuti xerosis konjungtiva, Bitot's spots, xerosis kornea, ulserasi kornea, hingga keratomalasia, yaitu pelunakan dan nekrosis kornea yang dapat menyebabkan perforasi dan kehilangan bola mata. Keratomalasia merupakan

keadaan gawat darurat oftalmologis dengan risiko kebutaan permanen yang sangat tinggi.

D. Peran Vitamin A dalam Sistem Imunitas dan Kerentanan Infeksi

1. Peran Vitamin A dalam Imunitas Innate

Imunitas innate merupakan lini pertahanan pertama terhadap patogen, dan vitamin A berperan penting dalam mempertahankan fungsi komponen-komponen sistem ini. Asam retinoat memengaruhi diferensiasi dan fungsi sel imun bawaan, termasuk makrofag, neutrofil, sel dendritik, dan sel natural killer (NK). Pada makrofag, vitamin A mengatur kapasitas fagositosis dan aktivitas antimikroba melalui modulasi produksi spesies oksigen reaktif dan sitokin proinflamasi seperti interleukin-12 (IL-12) dan interferon- γ (IFN- γ).

Defisiensi vitamin A terbukti mengganggu fungsi makrofag dan neutrofil, sehingga menurunkan kemampuan eliminasi patogen dan justru meningkatkan inflamasi yang tidak terkontrol. Kondisi ini menyebabkan peningkatan replikasi patogen di lokasi infeksi serta memperburuk kerusakan jaringan. Selain itu, vitamin A berperan dalam pematangan sel dendritik dan presentasi antigen, yang merupakan penghubung penting antara imunitas innate dan adaptif.

2. Peran Vitamin A dalam Imunitas Adaptif

Pada imunitas adaptif, vitamin A berperan dalam diferensiasi dan fungsi limfosit T dan B. Asam retinoat mengatur keseimbangan respons sel T helper, termasuk modulasi antara respons proinflamasi dan tolerogenik. RA berperan penting dalam induksi sel T regulator (Treg) dan pengendalian inflamasi kronis, sekaligus mendukung respons imun yang efektif terhadap patogen.

Vitamin A juga memengaruhi diferensiasi sel B dan produksi antibodi. Beberapa studi menunjukkan bahwa suplementasi vitamin A dapat meningkatkan produksi imunoglobulin, khususnya IgA sekretori (sIgA), yang merupakan komponen utama pertahanan imun mukosa. sIgA berfungsi mencegah adhesi dan invasi patogen pada permukaan epitel, sehingga berperan krusial dalam perlindungan terhadap infeksi saluran cerna dan pernapasan.

3. Pengaruh Vitamin A terhadap Integritas imunitas

Peran paling penting vitamin A dalam imunitas adalah pemeliharaan integritas barrier epitel dan mukosa, yang berfungsi sebagai garis pertahanan fisik terhadap patogen. Vitamin A mengatur diferensiasi dan maturasi sel epitel pada saluran pernapasan, gastrointestinal, dan genitourinaria,

serta mendukung produksi mukus melalui sel goblet. Mukus ini berperan sebagai penghalang mekanik sekaligus medium bagi faktor imun seperti IgA dan peptida antimikroba.

Selain itu, terdapat hubungan dua arah antara defisiensi vitamin A dan infeksi. Infeksi akut dapat menurunkan kadar retinol serum melalui mekanisme inflamasi dan perubahan metabolisme, sehingga memperburuk status vitamin A. Sebaliknya, defisiensi vitamin A memperlemah respons imun, menciptakan siklus yang meningkatkan kerentanan terhadap infeksi berulang dan memperberat dampak klinisnya. Fenomena ini menjelaskan mengapa suplementasi vitamin A terbukti efektif dalam menurunkan morbiditas dan mortalitas akibat infeksi pada populasi berisiko tinggi, terutama anak-anak dan ibu hamil.

E. Penutup

Vitamin A merupakan mikronutrien esensial yang memiliki peran fundamental dalam menjaga kesehatan mata dan sistem imunitas melalui mekanisme biologis yang saling terintegrasi. Perannya dalam siklus visual retina, pemeliharaan integritas epitel permukaan okular, serta modulasi imunitas innate dan adaptif menempatkan vitamin A sebagai