



Pengantar **BIOKIMIA GIZI**

Tim Penulis:

Khoirul Anwar | Aviani Harfika | Catherine Halim
Zainal Abidin | Mulya Agustina | Yoni Astuti
Riska Mayang Saputri Ginting | Indira Pipit Miranti
Zora Olivia | Aletheia Threskeia | Riza Mazidu Sholihin
Riska Melanie | Megah Stefani | Aprillia Veranita
Cynthia Puspa Pitaloka | Kristian Triatmaja Raharja
Wardina Humayrah | Kristiawan Prasetyo Agung Nugroho
Dwi Santy Damayati | Hayuti Windha Pagiu



PENGANTAR BIOKIMIA GIZI

**Khoirul Anwar
Aviani Harfika
Catherine Halim
Zainal Abidin
Mulya Agustina
Yoni Astuti
Riska Mayang Saputri Ginting
Indira Pipit Miranti
Zora Olivia
Aletheia Threskeia
Riza Mazidu Sholihin
Riska Melanie
Megah Stefani
Aprillia Veranita
Cyntia Puspa Pitaloka
Kristian Triatmaja Raharja
Wardina Humayrah
Kristiawan Prasetyo Agung Nugroho
Dwi Santy Damayati
Hayuti Windha Pagiu**

PENGANTAR BIOKIMIA GIZI

Tim Penulis:

Khoirul Anwar
Aviani Harfika
Catherine Halim
Zainal Abidin
Mulya Agustina
Yoni Astuti
Riska Mayang Saputri Ginting
Indira Pipit Miranti
Zora Olivia
Aletheia Threskeia
Riza Mazidu Sholihin
Riska Melanie
Megah Stefani
Aprillia Veranita
Cyntia Puspa Pitaloka
Kristian Triatmaja Raharja
Wardina Humayrah
Kristiawan Prasetyo Agung Nugroho
Dwi Santy Damayati
Hayuti Windha Pagiu

Tata Letak : Asep Nugraha, S.Hum.
Desain Cover : Septimike Yourintan Mutiara, S.Gz.
Ukuran : UNESCO 15,5 x 23 cm
Halaman : viii, 339
ISBN : 978-634-7021-50-2
Terbit Pada : Juni 2025
Anggota IKAPI : No. 073/BANTEN/2023

Hak Cipta 2025 @ Sada Kurnia Pustaka dan Penulis

Hak cipta dilindungi undang-undang dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.

PENERBIT PT SADA KURNIA PUSTAKA

Jl. Warung Selikur Km.6 Sukajaya – Carenang, Kab. Serang-Banten
Email : sadapenerbit@gmail.com
Website : sadapenerbit.com & repository.sadapenerbit.com
Telpon/WA : +62 838 1281 8431

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku **"Pengantar Biokimia Gizi"** ini dapat hadir di hadapan pembaca. Buku ini ditulis dengan tujuan untuk memberikan pemahaman dasar yang komprehensif mengenai interaksi kompleks antara biokimia dan gizi, dua disiplin ilmu yang fundamental dalam menjaga kesehatan dan kesejahteraan manusia.

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering mendengar tentang pentingnya pola makan seimbang, gizi, dan peran makanan dalam tubuh. Namun, seringkali kita tidak menyadari bagaimana setiap molekul makanan yang kita konsumsi diolah, dimanfaatkan, dan memengaruhi fungsi seluler hingga sistem organ secara mendalam. Di sinilah biokimia gizi memainkan peran krusial, menjelaskan proses-proses molekuler yang terjadi di dalam tubuh kita, mulai dari pencernaan, penyerapan, metabolisme makronutrien (karbohidrat, protein, lemak) dan mikronutrien (vitamin, mineral), hingga peran mereka dalam berbagai jalur biokimia vital.

Buku ini dirancang untuk menjadi jembatan bagi mahasiswa, akademisi, praktisi kesehatan, dan siapa pun yang memiliki minat untuk mendalami lebih jauh tentang bagaimana makanan benar-benar menjadi "bahan bakar" dan "pembangun" bagi tubuh kita. Kami berusaha menyajikan materi dengan bahasa yang jelas dan mudah dipahami, didukung oleh ilustrasi dan contoh yang relevan, agar konsep-konsep yang kompleks dapat dicerna dengan baik.

Kami menyadari bahwa tidak ada karya yang sempurna. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik, saran, dan masukan yang membangun dari para pembaca demi penyempurnaan buku ini di masa mendatang. Semoga buku **"Pengantar Biokimia Gizi"** ini dapat memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan pemahaman kita tentang pentingnya gizi dan biokimia untuk kesehatan yang optimal.

Selamat membaca!

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 DEFINISI, RUANG LINGKUP DAN HUBUNGAN BIOKIMIA DENGAN ILMU GIZI.....	1
Definisi Biokimia	2
Ruang Lingkup Biokimia	3
Hubungan Biokimia Dengan Ilmu Gizi.....	5
Daftar Pustaka	10
Profil Penulis	13
BAB 2 STRUKTUR DAN FUNGSI BIOMOLEKUL.....	14
Pendahuluan	15
Karbohidrat	15
Protein.....	17
Lipid	19
Asam Nukleat.....	21
Daftar Pustaka	24
Profil Penulis	25
BAB 3 METABOLISME KARBOHIDRAT	26
Metabolisme dan Karbohidrat.....	27
Jalur Metabolisme Karbohidrat	28
Glikolisis	31
Siklus Asam Sitrat.....	33
Jalur Pentosa Fosfat.....	33
Glikogenesis dan Glukoneogenesis	34
Daftar Pustaka	36
Profil Penulis	37
BAB 4 METABOLISME LEMAK (LIPID).....	38
Pendahuluan	39
Klasifikasi dan Sumber Lemak	41
Katabolisme Lemak	46
Anabolisme Lemak.....	49
Metabolisme Lemak dalam Kondisi Khusus	51
Daftar Pustaka	52

Profil Penulis.....	53
BAB 5 METABOLISME PROTEIN	54
Protein.....	55
Metabolisme Protein.....	59
Analisis Protein.....	67
Daftar Pustaka.....	73
Profil Penulis.....	78
BAB 6 BIOENERGETIKA DAN FOSFORILASI OKSIDATIF	79
Bioenergetika.....	80
Fosforilasi Oksidatif.....	90
Daftar Pustaka.....	99
Profil Penulis.....	101
BAB 7 HORMON DAN REGULASI METABOLIK	102
Pengantar Hormon.....	103
Klasifikasi dan Sintesis Hormon.....	104
Sekresi, Umpan Balik dan Transportasi Hormon.....	108
Mekanisme Kerja Hormon dan Transduksi Sinyal	109
Regulasi Metabolisme oleh Hormon.....	112
Umpan Balik Hormon	113
Daftar Pustaka.....	114
Profil Penulis.....	115
BAB 8 BIODOKIMIA VITAMIN	116
Pendahuluan	117
Definisi dan Peran Vitamin	117
Vitamin yang Larut Dalam Air	118
Vitamin yang Larut Dalam Lemak	121
Daftar Pustaka.....	126
Profil Penulis.....	128
BAB 9 BIODOKIMIA MINERAL DAN ELEKTROLIT	129
Definisi Mineral.....	130
Kelompok dan Kegunaan Mineral.....	130
Biodokimia Mineral.....	133
Elektrolit	139
Daftar Pustaka.....	140
Profil Penulis.....	142

BAB 10 BIOKIMIA SERAT PANGAN	143
Pendahuluan	144
Klasifikasi Serat Pangan	146
Struktur Kimia Serat Pangan.....	148
Nasib Serat Pangan dalam Tubuh	150
Manfaat Serat Pangan terhadap Kesehatan	151
Daftar Pustaka	153
Profil Penulis.....	155
BAB 11 BIOKIMIA KELAPARAN DAN PUASA.....	156
Pendahuluan	157
Metabolisme Tubuh pada Keadaan Tidak puasa.....	157
Adaptasi Metabolik Saat Puasa / Kelaparan.....	158
Metabolisme Glikogen Saat Puasa/Kelaparan.....	161
Metabolisme Lipid Saat Puasa/Kelaparan.....	161
Metabolisme Asam Amino Saat Puasa/Kelaparan.....	163
Daftar Pustaka	165
Profil Penulis.....	167
BAB 12 BIOKIMIA PANGAN: TEKNOLOGI DAN KEAMANANNYA	168
Pendahuluan	169
Definisi Biokimia Pangan	169
Definisi Keamanan Pangan.....	170
Manfaat Penerapan Teknologi Pangan.....	172
Keamanan Penerapan Teknologi Pangan dan Tantangan yang Harus Dihadapi	176
Masa Depan: Teknologi Pangan yang Lebih Aman dan Berkelanjutan	177
Daftar Pustaka	179
Profil Penulis.....	181
BAB 13 BIOMARKER STATUS GIZI	182
Pendahuluan	183
Biomarker Gizi	183
Biomarker Malgizi	190
Protein Visceral Serum sebagai Penanda Biomarker Status Gizi.....	192

Non- Protein Visceral Serum sebagai Penanda Biomarker Status Gizi	193
Daftar Pustaka.....	196
Profil Penulis.....	200
BAB 14 METABOLISME ALKOHOL DAN DAMPAKNYA	201
Pendahuluan	202
Faktor Genetik.....	202
Peranan NAD + /NADH	203
Metabolisme Alkohol (<i>Alcohol Metabolism</i>).....	205
Mekanisme Cedera Organ di Seabkan Oleh Konsumsi Alkohol.....	206
Efek Alkohol Bagi Tubuh Manusia.....	209
Cara Alkohol Dapat Berkontribusi Pada Perkembangan Kanker.....	211
Sistem Kekebalan Tubuh.....	212
Daftar Pustaka.....	215
Profil Penulis.....	218
BAB 15 OBESITAS DAN SINDROM METABOLIK	219
Pendahuluan	220
Biokimia Dasar Obesitas.....	221
Biokimia Sindrom Metabolik.....	222
Faktor Risiko dan Etiologi	223
Dampak Klinis dan Komplikasi	224
Evaluasi dan Diagnosis.....	225
Pencegahan dan Penatalaksanaan.....	228
Kesimpulan.....	230
Daftar Pustaka.....	232
Profil Penulis.....	233
BAB 16 ANTIOKSIDAN DAN STRES OKSIDATIF	234
Radikal Bebas	235
Antioksidan.....	247
Daftar Pustaka.....	252
Profil Penulis.....	254
BAB 17 GIZI DAN EKSPRESI GEN (NUTRIGENOMIK)	255
Perkembangan Gizi dan Nutrigenomik.....	256
Dasar-dasar Nutrigenomik.....	257

Penerapan Nutrigenomik dalam Kesehatan	261
Tantangan dan Peluang Masa Depan dalam Nutrigenomik	263
Daftar Pustaka	265
Profil Penulis	266
BAB 18 MIKROBIOTA USUS DAN METABOLISME GIZI.....	267
Pendahuluan	268
Komposisi Mikrobiota Usus.....	269
Mikrobiota dan Pencernaan Makronutrien	270
Mikrobiota dan Pencernaan Mikronutrien.....	272
Peran Mikrobiota Dalam Regulasi Metabolisme Energi	273
<i>Gut-Brain Axis</i> dan Metabolisme.....	275
Disbiosis dan Gangguan Metabolik	276
Penutup	277
Daftar Pustaka	279
Profil Penulis	283
BAB 19 BIOKIMIA MALNUTRISI	284
Pendahuluan	285
Dampak Malnutrisi: Kekurangan Zat Gizi Terhadap Sintesis Protein, Kognitif, Pertumbuhan Linear dan Hormonal	286
Dampak Malnutrisi: Obesitas Pada Mekanisme Jalur Dalam Tubuh.....	289
Indikator Biokimia Malnutrisi.....	294
Daftar Pustaka	296
Profil Penulis	301
BAB 20 TOKSIKOLOGI PANGAN DAN GIZI	302
Prinsip Toksikologi.....	303
Ilmu Bahan Pangan	304
Mikrobiologi dan Keamanan Pangan	307
Jenis-Jenis Toksikologi Pada Bahan Pangan	315
Sumber Cemaran Pada Bahan Pangan dan Makanan.....	328
Zat Anti Gizi	330
Pengaruh Proses Pengolahan terhadap Penurunan Kandungan Zat Anti Gizi	333
Daftar Pustaka	337
Profil Penulis	339



BAB 1

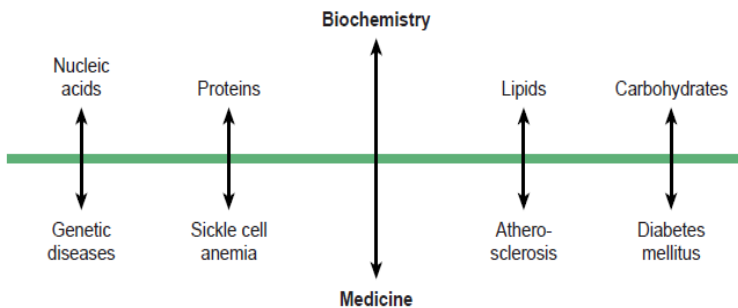
DEFINISI, RUANG LINGKUP DAN HUBUNGAN BIOKIMIA DENGAN ILMU GIZI

Khoirul Anwar, S.Gz., M.Si.
Universitas Sahid, Jakarta



Definisi Biokimia

Biokimia adalah studi tentang proses dan jalur kimia dalam organisme hidup (Brown, 2023). Biokimia dapat didefinisikan sebagai ilmu tentang dasar kimia kehidupan (bahasa Yunani bios “hidup”). Sel adalah unit struktural dari sistem kehidupan. Dengan demikian, biokimia juga dapat digambarkan sebagai ilmu tentang unsur-unsur kimia dari sel hidup dan reaksi serta proses yang mereka jalani. Berdasarkan definisi ini, biokimia mencakup bidang biologi sel, biologi molekuler, dan genetika molekuler. Tujuan utama biokimia adalah pemahaman lengkap, pada tingkat molekuler, tentang semua proses kimia yang terkait dengan sel hidup. Biokimia juga beririsan dengan beberapa ilmu lainnya seperti genetika, fisiologi, imunologi, farmakologi, patologi dan banyak ilmu lainnya (Murray *et al.*, 2009).



Gambar 1.1: Contoh Hubungan Dua Arah Antara Biokimia dan Kesehatan

Sumber : (Murray *et al.*, 2009)

Biokimia adalah studi tentang proses kimia dalam organisme hidup, termasuk, tetapi tidak terbatas pada, materi hidup. Biokimia mengatur semua organisme hidup dan proses kehidupan. Dengan mengendalikan aliran informasi melalui sinyal biokimia dan aliran energi kimia melalui metabolisme, proses biokimia memunculkan kompleksitas kehidupan yang luar biasa. Selama beberapa dekade terakhir abad ke-20, biokimia menjadi sangat berhasil dalam menjelaskan proses kehidupan sehingga sekarang hampir semua bidang ilmu kehidupan mulai dari botani hingga kedokteran dan

metabolisme lainnya. Sebagai contoh, vitamin A adalah komponen pigmen rhodopsin yang terletak di retina, yang memungkinkan proses visual dan mencegah kebutaan. Namun, dalam banyak kasus lain, sifat keterlibatan mikronutrien dalam reaksi molekuler dan seluler yang menghasilkan efek fisiologis dan fungsional masih kurang dipahami (Tardy *et al.*, 2020).

Beberapa hal yang dapat digunakan sebagai contoh dalam penerapan biokimia pada ilmu gizi adalah bagaimana penggunaan struktur biokimia dari setiap zat gizi yang kita peroleh dari makanan. Misalkan saja, zat gizi mineral dikategorikan menjadi 2 kelompok yaitu makro mineral seperti kalsium (Ca^{2+}), fosfor (dalam bentuk PO_4^{3-}), magnesium (Mg^{2+}), natrium (Na^{+}), kalium (K^{+}), dan klorida (Cl^{-}), dan trace mineral seperti besi ($\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$), yodium (I^{-}), seng (Zn^{2+}), selenium (Se^{2-}), kobalt ($\text{Co}^{2+} / \text{Co}^{3+}$), kromium (Cr^{3+}), tembaga ($\text{Cu}^{1+} / \text{Cu}^{2+}$), fluor (F^{-}), molibdenum (Mo) memiliki struktur yang berbeda yang berdampak pada setiap metabolisme dan fisiologis yang terjadi pada tubuh kita. Klasifikasi unsur-unsur biokimia dilakukan melalui indikator yang bervariasi; beberapa di antaranya diklasifikasikan menurut jumlah kebutuhan hariannya, dan beberapa diklasifikasikan menurut peran fisiologisnya (Fiorentini *et al.*, 2021; Ali, 2023; Arif *et al.*, 2024). Biokimia dalam ilmu gizi juga memiliki peran penting pada peran berbagai zat gizi tertentu untuk Asuhan gizi sebuah penyakit, seperti peran beberapa mineral yang berfungsi sebagai antidiabetes dan manajemen pada pasien diabetes (Kibiti and Afolayan, 2015).

1																	2
H																	He
3	4															10	
Li	Be															Ne	
11	12															18	
Na	Mg															Ar	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115			
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup			

Gambar 1.2: Tabel Periodik yang Menyoroti Unsur-Unsur yang Penting Bagi Kehidupan
Sumber : (Ali, 2023)

Daftar Pustaka

- Alanazi, F.D. *et al.* (2024) 'Biochemical Considerations in Nutritional Care and Patient Recovery : A Model for Nurses', 7, pp. 1647–1658. Available at: <https://doi.org/10.26655/JMCHEMSCI.2024.11.18>.
- Ali, A.A.H. (2023) 'Overview of the vital roles of macro minerals in the human body', *Journal of Trace Elements and Minerals*, 4(January), p. 100076. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100076>.
- Arif, L. *et al.* (2024) 'Role of Micronutrients (Vitamins & Minerals)', *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Arts*, 3(1), pp. 333–337.
- Baek, K.W. *et al.* (2025) 'Correlation between physiological and biochemical variables during short term adequate protein intake combined with resistance exercise in sedentary adults', *Scientific Reports*, 15(1), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89925-x>.
- Brown, D. (2023) 'Biochemistry of Lipid and Carbohydrate Biosynthesis', *Biochemistry of Lipid and Carbohydrate Biosynthesis*, 6, pp. 35–37. Available at: [https://doi.org/10.37532/oabr.2023.6\(2\).35-37](https://doi.org/10.37532/oabr.2023.6(2).35-37).
- Cox, C. (2015) *Nutritional Biochemistry : Current Topics in Nutrition Research*.
- Fiorentini, D. *et al.* (2021) 'Impact of Diseases Linked to Its Deficiency', *Journals of Nutrient*, 13(1136), pp. 1–44.
- Gupta, K. and Pandey, P.K. (2023) 'Fundamentals of Nutritional Biochemistry', in *UGHN-103*.
- Gurung, T. (2023) 'Biochemistry and Molecular Biology Journal Commentary Study of Protein Structure and its Function of Biomolecules and Mac-romolecules', *Biochemistry and Molecular Biology Journal*, 09(01), p. 8084. Available at: <https://www.primescholars.com/biochemistry-and-molecular->

biology.html.

- Hoffer, L.J. (2020) 'Vitamin C and the Brain', *Vitamin C: New Biochemical and Functional Insights, Chapter 11: Vitamin C and The Brain*, pp. 213–236. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780429442025-11>.
- Hsia, S.M. (2023) 'Nutritional Biochemistry', *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24, 9661. [https://doi.org/10.3390/24\(9661\)](https://doi.org/10.3390/24(9661)). Available at: <https://doi.org/10.1136/gut.35.12.1774-a>.
- Ismaya, W.T. (2011) 'The Role of Protein Biochemistry in Biotechnology', *Inovasi Online*, 19(23), pp. 11–18.
- Juda, T.M., Ali, Z.A. and Mohammed, S.B. (2022) 'Concept of biochemistry of food', *Medical Journal of Babylon*, 19(3), pp. 341–344. Available at: https://doi.org/10.4103/MJBL.MJBL_87_22.
- Kibiti, C.M. and Afolayan, A.J. (2015) 'The biochemical role of macro and micro-minerals in the management of diabetes mellitus and its associated complications: A review', *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 85(1–2), pp. 88–103. Available at: <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000226>.
- Kurzyna-Szklarek, M., Cybulska, J. and Zdunek, A. (2022) 'Analysis of the chemical composition of natural carbohydrates – An overview of methods', *Food Chemistry*, 394(May), p. 133466. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133466>.
- Murray, R.K. *et al.* (2009) *Harper's biochemistry 24th edition, Biochemical Education*. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0307-4412\(97\)80776-5](https://doi.org/10.1016/s0307-4412(97)80776-5).
- Nakamura, T. (2022) *A Sustainable Healthy Diet, Japan Nutrition*. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-16-6316-1_10.
- Ozcelik-Ersu, D. and Kızıltan, G. (2021) 'Association of the relationship between nutritional status and certain biochemical parameters in obese children', *Progress in Nutrition*, 23(3). Available at: <https://doi.org/10.23751/pn.v23i3.10184>.
- Shailja and Singh, P. (2024) 'Carbohydrate Structure and Role',

International Journal of Multidisciplinary Research & Reviews,
3(2), pp. 52–72. Available at:
<https://doi.org/10.56815/ijmrr.v3i2.2024/52-72>.

Sugandhi, V. V. *et al.* (2024) 'Pharmacokinetics of vitamin dosage forms: A complete overview', *Food Science and Nutrition*, 12(1), pp. 48–83. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3787>.

Tardy, A.L. *et al.* (2020) 'Vitamins and minerals for energy, fatigue and cognition: A narrative review of the biochemical and clinical evidence', *Nutrients*, 12(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/nu12010228>.

Voiculescu, V.M. *et al.* (2025) 'Vitamin D: Beyond Traditional Roles—Insights into Its Biochemical Pathways and Physiological Impacts', *Nutrients*, 17(5), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu17050803>.

Volkert, D. *et al.* (2022) 'ESPEN practical guideline: Clinical nutrition and hydration in geriatrics', *Clinical Nutrition*, 41(4), pp. 958–989. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.01.024>.

Wang, L.J. *et al.* (2019) 'Dietary profiles, nutritional biochemistry status, and attention-deficit/hyperactivity disorder: Path analysis for a case-control study', *Journal of Clinical Medicine*, 8(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/jcm8050709>.

PROFIL PENULIS



Khoirul Anwar, S.Gz., M.Si.

Penulis memiliki ketertarikan tinggi terhadap ilmu gizi terutama pada bidang biologi, biokimia, kuliner dan food service sejak lama dan dimulai sejak penulis kuliah di Departemen Gizi Masyarakat, Fakultas Ekologi Manusia, IPB University. Setelah kuliah sarjana, penulis melanjutkan pendidikan ke Pascasarjana IPB University bidang Ilmu Gizi tahun 2014. Selanjutnya penulis juga menerima exchange program satu semester di Chulalongkorn University, Thailand. Penulis saat ini merupakan dosen yang bekerja di Program Studi Gizi, Fakultas Teknologi Pangan dan Kesehatan, Universitas Sahid Jakarta. Kepakaran penulis secara khusus terdapat di bidang gizi, terutama terkait dengan bidang gizi kuliner, penyelenggaraan makanan, gizi Keluarga dan aktif sebagai dosen, peneliti, penulis, dan narasumber di berbagai kegiatan edukasi dan pelatihan di tingkat nasional dan internasional di bidang gizi.

Saat ini penulis telah banyak melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat yang didanai oleh internal perguruan tinggi, kemenbudsaintek dan Lembaga lainnya. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku tentang gizi, pangan, dan buku lainnya yang berkolaborasi dengan berbagai pihak termasuk pemerintah. Penulis juga aktif terlibat dalam berbagai kegiatan dan publikasi terkait dengan tempe, dan termasuk dalam tim pengusul tempe sebagai WBTB dan ICH ke UNESCO. Penulis saat ini juga aktif menjadi pengurus dari berbagai organisasi seperti Perhimpunan Pakar Gizi dan Pangan (PERGIZI PANGAN) Indonesia, Yayasan Makanan dan Minuman Indonesia (YAMMI), dan Forum Tempe Indonesia (FTI), dan Soybean Indonesia, serta menjadi bagian dari Food Culture Alliance Indonesia.

Email Penulis: khoirulgizi2016@gmail.com



BAB 2

STRUKTUR DAN

FUNGSI BIOMOLEKUL

Aviani Harfika, S.Gz., M.Si.
Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Holistik



Pendahuluan

Biomolekul merupakan komponen utama dalam sistem kehidupan, menyusun struktur dasar sel serta memungkinkan berlangsungnya reaksi kimia esensial untuk kelangsungan hidup. Empat kelompok utama biomolekul meliputi karbohidrat, protein, lipid, dan asam nukleat. Masing-masing memiliki struktur kimia spesifik dan fungsi biologis yang kompleks, serta saling berinteraksi membentuk sistem yang saling terintegrasi. Pemahaman tentang struktur dan fungsi biomolekul sangat penting dalam berbagai disiplin ilmu seperti biokimia, biologi molekuler, kedokteran, dan bioteknologi (Berg *et al.*, 2019).

Karbohidrat merupakan molekul penyimpan dan penyedia energi yang juga memiliki peran struktural dalam dinding sel tumbuhan. Protein, sebagai polimer dari asam amino, memiliki peran sebagai enzim, struktur seluler, hingga regulator hormon. Lipid berperan penting sebagai cadangan energi, komponen membran, dan prekursor hormon steroid. Sementara itu, asam nukleat seperti DNA dan RNA bertanggung jawab dalam menyimpan dan mentransmisikan informasi genetik.

Karbohidrat

Karbohidrat terdiri atas atom karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dengan rumus umum $(CH_2O)_n$. Gugus fungsional utama dalam molekul karbohidrat adalah gugus hidroksil (-OH) dan gugus karbonil, baik berupa aldehida (aldosa) maupun keton (ketosa). Berdasarkan kompleksitas strukturnya, karbohidrat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama: monosakarida, oligosakarida, dan polisakarida.

Monosakarida adalah unit dasar karbohidrat, contohnya glukosa, fruktosa, dan galaktosa. Glukosa dapat berbentuk rantai lurus (linear) atau siklik (piranosa atau furanosa), dan menjadi sumber energi utama dalam metabolisme sel. Dalam bentuk siklik, glukosa mengalami mutarotasi antara bentuk α dan β (Voet & Voet, 2016).

berupa heliks ganda (*double helix*), di mana dua untai saling melilit dengan ikatan hidrogen antara pasangan basa komplementer: A-T (2 ikatan hidrogen) dan G-C (3 ikatan hidrogen). RNA biasanya berbentuk untai tunggal dengan berbagai bentuk struktur tersier yang kompleks (Watson *et al.*, 2014).

DNA tersusun dari dua rantai polinukleotida antiparalel yang saling berpilin membentuk heliks ganda. Gula deoksiribosa pada setiap nukleotida berikatan dengan gugus fosfat di karbon 5' dan 3' membentuk tulang punggung gula-fosfat. Basa nitrogen menonjol ke dalam dan berpasangan secara spesifik melalui ikatan hidrogen.

RNA biasanya terdiri dari satu rantai polinukleotida dengan gula ribosa, dan menggunakan urasil sebagai pengganti timin. RNA dapat membentuk struktur sekunder seperti *hairpin loop*, *stem-loop*, dan *pseudoknot* karena adanya ikatan intramolekuler antar basa.

Disfungsi atau mutasi pada asam nukleat dapat menyebabkan berbagai penyakit genetik, kanker, dan gangguan perkembangan. Berikut fungsi biologis asam nukleat:

1. Penyimpanan dan transmisi informasi genetik: DNA menyimpan instruksi genetik yang diwariskan antar generasi, mengubah informasi untuk sintesis protein melalui proses transkripsi dan translasi. Informasi ini ditranskripsi menjadi RNA, yang kemudian diterjemahkan menjadi urutan asam amino dalam protein (Lodish *et al.*, 2021).
2. Sintesis protein: RNA memiliki peran penting dalam biosintesis protein. mRNA membawa informasi genetik dari DNA ke ribosom, tRNA membawa asam amino ke ribosom, dan rRNA merupakan bagian struktural dari ribosom itu sendiri. Ketiganya bekerja sama dalam proses translasi (Alberts *et al.*, 2015).
3. Pengaturan ekspresi gen: RNA non-koding seperti miRNA dan siRNA berperan dalam regulasi ekspresi gen melalui mekanisme interferensi RNA, yang dapat menekan atau menghancurkan mRNA target (Bartel, 2009).
4. Replikasi dan pewarisan sifat: DNA mampu mereplikasi dirinya secara semikonservatif, memungkinkan informasi genetik diwariskan ke sel anak selama pembelahan sel (Watson *et al.*, 2014).

5. Peran katalitik dan struktural: Beberapa jenis RNA memiliki aktivitas katalitik, seperti ribozim. Misalnya, rRNA dalam ribosom dapat membentuk ikatan peptida antar asam amino selama translasi. Ini menunjukkan RNA tidak hanya sebagai molekul pembawa pesan, tetapi juga sebagai biomolekul aktif secara fungsional (Cech & Steitz, 2014).
6. Diagnosis dan terapi molekuler: Asam nukleat saat ini digunakan sebagai biomarker penyakit (misalnya deteksi mutasi genetik), serta sebagai dasar pengembangan terapi berbasis gen, vaksin mRNA, dan teknologi *CRISPR* untuk pengeditan genetik (Doudna & Charpentier, 2014).

Daftar Pustaka

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., et al. (2015). *Molecular Biology of the Cell (6th ed.)*. Garland Science.
- Bartel, D.P. (2009). *MicroRNAs: target recognition and regulatory functions*. Cell, 136(2), 215–233.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Gatto, G.J., & Stryer, L. (2019). *Biochemistry (9th ed.)*. W.H. Freeman and Company.
- Cech, T.R., & Steitz, J.A. (2014). *The noncoding RNA revolution—trashing old rules to forge new ones*. Cell, 157(1), 77–94.
- Doudna, J.A., & Charpentier, E. (2014). *The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9*. Science, 346(6213).
- Garrett, R.H., & Grisham, C.M. (2016). *Biochemistry (6th ed.)*. Cengage Learning.
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C.A., et al. (2021). *Molecular Cell Biology (9th ed.)*. W.H. Freeman.
- Nelson, D.L., & Cox, M.M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry (7th ed.)*. W.H. Freeman and Company.
- Nelson, D.L., & Cox, M.M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry (7th ed.)*. W.H. Freeman.
- Rosen, E.D., & Spiegelman, B.M. (2014). *What we talk about when we talk about fat*. Cell, 156(1-2), 20-44.
- Vance, D.E., & Vance, J.E. (2008). *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes (5th ed.)*. Elsevier.
- Voet, D., & Voet, J.G. (2016). *Biochemistry (4th ed.)*. Wiley.
- Watson, J.D., Baker, T.A., Bell, S.P., et al. (2014). *Molecular Biology of the Gene (7th ed.)*. Pearson.

PROFIL PENULIS



Aviani Harfika, S.Gz., M.Si.

Penulis adalah seorang Dosen dan Peneliti yang memiliki ketertarikan pada bidang ilmu gizi. Penulis menyelesaikan studi S1 Ilmu Gizi di IPB University pada tahun 2015 dan pendidikan S2 Ilmu Gizi di IPB University pada tahun 2021. Penulis juga pernah mengikuti *Short Course Master Class* di *Department of Nutrition and Dietetics*, Chulalongkorn University, Thailand pada

tahun 2015. Sejak tahun 2019 hingga saat ini penulis aktif sebagai Dosen Program Studi Ilmu Gizi, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Holistik, Purwakarta. Penulis merupakan Dosen Pengampu untuk Mata Kuliah Biokimia Biomolekuler, Dietetika Penyakit Infeksi dan Menular, Metabolisme Zat Gizi dan Gizi Olahraga.

Penulis juga aktif mengikuti kegiatan ilmiah dan meraih beberapa prestasi diantaranya, *Best Oral Presentation* di 3rd *Amerta Nutrition Conference* (2023), Finalis Ide Gagasan Dosen Terbaik LLDIKTI IV (2022), Tim Pakar Percepatan Penurunan Stunting Kabupaten Purwakarta (2022 – sekarang), *Best Oral Presentation*, *The 24th Tri-University International Joint Seminar and Symposium* Mie University Japan (2017), *Awardee Competitive Conference Grant by Food and Nutrition Society Indonesia dan Danone Institute Foundation Malaysia* (2017). Penulis juga meraih Hibah Kompetitif Dosen Nasional dari Kemendikbudristek untuk Penelitian Dosen Pemula dan Penelitian Fundamental pada tahun 2024 dan 2025.

Email Penulis: aviharfika@gmail.com



BAB 3

METABOLISME

KARBOHIDRAT

dr. Catherine Halim, M.Sc., Sp.PK.
Universitas Kristen Satya Wacana



Metabolisme dan Karbohidrat

Metabolisme adalah proses vital dalam tubuh makhluk hidup. Dalam proses ini, serangkaian reaksi kimia terjadi secara bersamaan untuk menghasilkan energi yang diperlukan bagi kelangsungan hidup. Metabolisme juga berkaitan erat dengan bagaimana tubuh mencerna, menyerap, dan mengasimilasi makanan, lalu mengubahnya menjadi energi yang dibutuhkan untuk berbagai aktivitas (Henggu, K.U. & Nurdiansyah, Y, 2021).

Karbohidrat adalah salah satu gizi penting yang dibutuhkan tubuh manusia karena berfungsi sebagai sumber energi utama untuk beraktivitas. Karbohidrat adalah makromolekul yang paling banyak, sebagian dari selulosa dan pati, keduanya tersusun dari beberapa molekul glukosa terkonjugasi. Karbohidrat dapat dikatabolisme untuk energi berupa Adenosina Trifosfat (ATP) atau digunakan untuk fungsi anabolik, seperti produksi asam lemak. (Chandel, N.S, 2021).

Karbohidrat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama berdasarkan struktur kimianya:

1. Gula sederhana (monosakarida dan disakarida): Ini adalah bentuk karbohidrat paling dasar, contohnya glukosa atau sukrosa (yang merupakan kombinasi glukosa dan fruktosa).
2. Karbohidrat kompleks: Kelompok ini terdiri dari molekul glukosa yang saling terhubung dalam jumlah besar, seperti glikogen, pati, dan selulosa.
3. Glikokonjugat: Ini adalah bentuk glukosa yang telah dimodifikasi dan terikat secara kimia pada protein (glikoprotein) atau lemak (glikolipid). Glikokonjugat memiliki peran penting dalam berbagai fungsi tubuh, termasuk sistem kekebalan tubuh dan sebagai komponen membran sel (Chandel, N.S, 2021).

Katabolisme karbohidrat adalah proses pemecahan karbohidrat yang bisa terjadi dengan atau tanpa oksigen. Dalam proses ini, senyawa glukosa digunakan sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan ATP (energi) di dalam sel.

Produk akhir dari metabolisme karbohidrat adalah berbagai jenis gula sederhana seperti glukosa, fruktosa, galaktosa, manosa, dan monosakarida lainnya. Senyawa-senyawa ini kemudian diserap melalui dinding usus dan dibawa ke hati oleh darah. Jika ada kelebihan

fruktosa dan glukosa menjadi glukosa. Enzim kunci pada jalur ini adalah Glukosa-6-Phosphat Dehidrogenase (G-6-PD).

Jalur pentosa fosfat adalah jalur metabolisme alternatif untuk glukosa yang menghasilkan NADPH dan ribosa 5-fosfat. (Caserio, M.C., Roberts, J.D., 2025).

Jalur pentosa fosfat terdiri dari dua fase, fase oksidatif dan non-oksidatif. Peningkatan regulasi siklus pentosa fosfat oksidatif menyediakan sel yang kekurangan nitrogen dengan NADPH yang diperlukan untuk sintesis asam lemak.

Proses glikolisis memecah glukosa dan menghasilkan molekul berkarbon enam yang diperlukan untuk jalur pentosa fosfat. Pada langkah awal glikolisis, glukosa diubah oleh fosfat menjadi glukosa-6-fosfat. Molekul glukosa-6-fosfat ini kemudian dapat digunakan oleh jalur pentosa fosfat, baik yang berasal dari glikolisis maupun sumber lainnya (Caserio, M.C., Roberts, J.D., 2025).

Jalur Pentosa Fosfat dibagi menjadi 2 fase, yaitu fase oksidatif dan non oksidatif. Pada fase oksidatif, dua molekul NADP⁺ direduksi menjadi NADH, menggunakan energi dari perubahan glukosa-fosfat menjadi ribulosa-5-fosfat. Sedangkan pada fase non-oksidatif bersifat *reversibel*. Molekul yang berbeda masuk ke jalur pentosa fosfat pada tempat yang berbeda pada fase non-oksidatif dan bisa ditransformasikan sampai molekul pertama dari fase non-oksidatif (ribulose-5-fosfat). Ribulose-5-fosfat ini adalah prekursor dari gula yang menyusun DNA dan RNA, dan juga produk dari fase oksidatif. (Caserio, M.C., Roberts, J.D., 2025).

Glikogenesis dan Glukoneogenesis

Dalam proses glikogenesis terjadi pembentukan glikogen dari glukosa. Proses ini terjadi di dalam hati dan otot yang dibantu oleh ion Magnesium dan enzim glukokinase / heksokinase dihasilkan glukosa 6 Phosphat dan ADP, pada reaksi kedua terjadi pembentukan glukosa 1 Phosphat oleh enzim Fosfoglukomutase dan pembentukan Uridine 5'-diphospho-glucuronosyltransferase (UDPG) dan Pirofosfat oleh enzim UDPG Pirofosforilase

Glukoneogenesis adalah proses di mana tubuh membentuk glukosa atau glikogen dari senyawa non-karbohidrat. Pembentukan

glukosa dari glukosa-6-fosfat dibantu oleh enzim glukosa 6-fosfatase, yang hanya ditemukan di hati dan ginjal, tidak di jaringan lemak atau otot. Alternatifnya, enzim heksokinase dan glukokinase dapat membentuk glukosa-6-fosfat langsung dari glukosa.

Sumber utama dalam glukoneogenesis adalah asam amino glukogenik. Asam amino ini diubah menjadi piruvat atau masuk ke dalam siklus asam trikarboksilat (TCA) di mitokondria, sebelum akhirnya diubah menjadi oksaloasetat, dan pada tahap akhir, menjadi glukosa (Wahjuni, S., 2013).

Daftar Pustaka

- Caserio, M.C., Roberts, J.D. (2025). The Generation of Energy from Carbohydrate Metabolism. California Institute of Technology. 1 <https://chem.libretexts.org/>
- Chandel, N.S., (2021). Carbohydrate Metabolism. Cold Spring Harb Perspect Biol. 1-15.
- Fania, E., Kusdalinah, Witradharma, T.W., (2024). Hubungan Konsumsi Karbohidrat dan Aktivitas Fisik dengan Kadar Gula Darah Pegawai Poltekkes Kemenkes Bengkulu. Jurnal Sains Kesehatan Vol. 31 No. 2. 114-121.
- Firani, N.K., (2019). Metabolisme Karbohidrat, Tinjauan Biokimia dan Patologis. Tim UB Press. 1-5.
- Henggu, K.U., Nurdiansyah, Y. (2021). Review dari Metabolisme Karbohidrat, Lipid, Protein, dan Asam Nukleat. Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan Volume 3, Nomor 2. 9-17. <https://ejurnalunsam.id/index.php/JQ>
- Hikmah, A.M., Luthfianto, D., Silitonga, M., Vertygo, S., Rita, R.S., Gultom, E.S., Ulfah, M., Tika, I. N. (2022). Metabolisme Karbohidrat, Lipid, Protein, Asam Nukleat. Buku Ajar Biokimia, Teori dan Aplikasi. CV. Feniks Muda Sejahtera. 54-69.
- Sukaryawan, M., Sari, D.K. (2023). Buku Ajar Biokimia 2 Metabolisme. Bening Media Publishing. 19-28.
- Wahjuni, S. (2013). Metabolisme Biokimia-Metabolisme Karbohidrat. Udayana University Press. 1-19.

PROFIL PENULIS



dr. Catherine Halim, M.Sc, Sp.PK.

Lahir di Jakarta, 12 Januari 1985, menjalani Pendidikan dari TK sampai SMU di Jakarta, kemudian pada tahun 2002 menempuh pendidikan dan lulus dari Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada di Yogyakarta pada tahun 2008. Empat tahun kemudian pada tahun 2012, penulis melanjutkan studi Dokter Spesialis Prodi Patologi Klinik dan Pasca Sarjana Jurusan *Magister of Science* di Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta dan penulis menyelesaikan studi pada tahun 2017 dengan gelar Spesialis Patologi Klinik dan *Master of Science* (M.Sc, SpPK). Penulis memiliki kepakaran di bidang Patologi Klinik, dan pada tahun 2023 memiliki kesempatan untuk mengajar sebagai dosen di Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Satya Wacana sampai sekarang. Dalam melengkapi kinerja sebagai dosen, penulis melakukan penelitian dan menulis buku sesuai kompetensi penulis. Ini adalah kesempatan pertama bagi penulis dalam menulis buku, harapan penulis agar buku ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semoga penulis dapat terus menulis buku dengan lebih baik dan bermanfaat bagi para pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih dan mohon maaf apabila masih banyak kekurangan dalam penulisan bab ini.

Email Penulis: catherine.halim@uksw.edu



BAB 4

METABOLISME LEMAK

(LIPID)

Dr. Zainal Abidin, S.Si., M.Si.
Universitas Islam Raden Rahmat, Malang



larut dalam air, namun nantinya akan membentuk misel. Misel adalah sekumpulan rantai hidrokarbon yang ujungnya bersifat hidrofil (mudah larut dalam air atau suka air).

Perlu kita ketahui bersama bahwasanya sabun yang kita gunakan setiap hari, pada umumnya digunakan sebagai salah satu bahan pembersih kotoran. Salah satu kotoran yang melekat pada tubuh yaitu kotoran yang bersifat lemak atau minyak. Dapat disimpulkan bahwasanya sabun ini berfungsi sebagai emulgator. Pada saat proses pembentukan emulsi ini, setiap ujung hidrofob molekul sabun nantinya meresap ke dalam lemak, sedangkan setiap ujung lainnya bermuatan negatif. Setiap sabun yang dilarutkan di dalam air dan diaduk pastinya akan menimbulkan busa. Adanya busa ini dikarenakan sabun mempunyai sifat yang dapat menurunkan tegangan permukaan air.

2. Lipid yang tidak disabunkan, ini dapat terjadi karena dalam prosesnya tidak mampu membentuk sabun. Kemampuan tidak mampu membentuk sabun, ini dikarenakan mempunyai struktur berbeda. Salah contohnya yaitu fosfolipid dan steroid.

Klasifikasi dan Sumber Lemak

Berdasarkan jenis proses pemecahan asam lemak, maka dapat dibagi menjadi tiga macam. Diantaranya yaitu jenis asam lemak, gliserida, dan fosfogliserida. Perlu kita ketahui bersama pengertian dari asam lemak. Asam lemak ini merupakan jenis asam monokarboksilat dengan rantai panjangnya. Pada umumnya asam lemak ini mempunyai ukuran sebesar C12 hingga C24. Berdasarkan proses pembagiannya asam lemak ini dibagi menjadi dua macam, yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh.

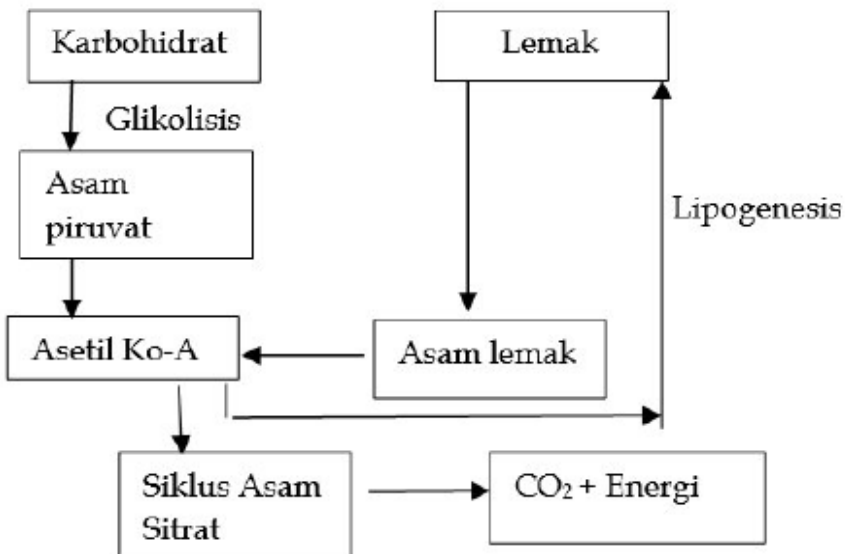
1. Asam Lemak Jenuh dan Tidak Jenuh

Asam lemak jenuh atau lebih sering dikenal dengan istilah *saturated fatty*. Salah satu ciri utama dari lemak jenuh ini yaitu tidak mempunyai ikatan rangkap dalam setiap rantainya. Selanjutnya kita akan membahas mengenai lemak tidak jenuh atau disebut dengan *unsaturated fatty acid*. *Unsaturated fatty acid* ini memiliki satu atau lebih ikatan rangkap pada setiap rantainya. Salah satu contohnya yaitu asam linoleat, asam linolenat, dan asam

akan mempengaruhi sel target (sel yang dituju) dalam proses metabolisme. Pada saat hormon sampai pada sel targetnya, maka hormon akan mempengaruhi proses sintesis lemak dan proses metabolisme sel targetnya (Victor Rodwell et al., 2015). Adapun peranan hormon insulin dalam proses metabolisme lemak yaitu trigliserida dan kolesterol. Kemudian peranan hormon glukagon di dalam tubuh manusia yaitu sebagai berikut; menghambat proses glikogenesis, menstimulasi glikogenolisis hati, glukoneogenesis, dan ketogenesis, dan menstimulasi lipolisis sel lemak.

2. Aktivasi Asam Lemak dan b-Oksidasi

Pada umumnya fungsi utama asam lemak yaitu membantu proses pembentukan glikolipid, fosfolipid, kolesterol, dan membran biologis. Nantinya pada proses interaksi asam lemak dan glukosa pada tubuh manusia, akan didahului oleh masuknya molekul Asetil Ko-A yang menjadi perantara untuk masuk ke dalam siklus asam sitrat (Shi et al., 2015). Untuk lebih detailnya pembahasan mengenai jalur metabolisme karbohidrat dan lemak tersaji pada (gambar 4.2).



Gambar 4.2: Jalur Metabolisme Karbohidrat dan Lemak

Sumber : (Shi et al., 2015)

(reaksi 3). Kemudian pada tahap selanjutnya reaksi hidrolisis asam fosfatidat 1, 2-digliserida (reaksi 4). Proses asilasi pada 1, 2-digliserida ini merupakan reaksi tahap akhir. Pada molekul asil koenzim A akan berikatan dengan atom C nomor 3, sehingga terbentuk trigliserida pada (reaksi 5).

Ditambahkan menurut pendapat (Alamsyah et al., 2024), bahwasanya lipid dengan rantai panjang ditransfer melalui saluran limfatik yang akan dibawa ke empedu di mana nantinya akan membentuk misel. Misel ini mempunyai sifat mudah larut dalam air dan cepat pecah dengan enzim lipase. Kemudian membentuk trigliserida yang kemudian akan menuju ke organ hati oleh kilomikron. Perlu kita ketahui bersama kilomikron ini diubah menjadi kolesterol dan trigliserida di hati, lalu keduanya dipindahkan ke jaringan lemak. Asam lemak nantinya dirakit dari asetil-KoA dan disimpan sebagai trigliserida. Proses pengangkutan trigliserida sebagai lipoprotein densitas sangat rendah.

Metabolisme Lemak dalam Kondisi Khusus

Lemak yaitu kelompok senyawa yang bersifat heterogen, secara biomolekul sifat lemak tidak bisa larut dalam air. Namun, dapat larut dalam pelarut organik sebagai contoh aseton, eter, benzena, dan kloroform. Menurut pendapat (Tuarita et al., 2024), lemak berperan sangat penting secara fisiologis bagi manusia. Lemak mempunyai fungsi utama sebagai berikut;

1. Lemak mampu memberikan bentuk dan kontur pada tubuh makhluk hidup.
2. Lemak membantu penyerapan vitamin larut dalam lemak seperti (A, D, E, dan K).
3. Lemak juga bertugas membawa pesan intraseluler yang nanti mampu melakukan tindakan hormonal, seperti pada *diacylglycerol*.
4. Lemak memberikan isolasi terhadap perubahan suhu luar (lemak subkutan).

Daftar Pustaka

- Agustine, D. et al. (2025). *Biokimia*. Sumedang: CV. Mega Press Nusantara.
- Alamsyah, P.R., Abidin, Z., (2024). *Gizi dan Kesehatan Masyarakat*. Banten: PT. Sada Kurnia Pustaka.
- Lehninger, A.L., (1970). *Biochemistry*, New York: Worth Publishers Inc.
- Poedjiadi, Anna., (2012). *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press.
- Syanita (2021). *Modul Biokimia Materi Metabolisme Lemak, Daur Asam Sitrat, Fosforilasi Oksidatif dan Jalur Pentosa Fosfat*. Lampung: UIN Raden Intan Press.
- Tuarita, M., Juliana Nendissa, S., Setiawan, E., Nendissa, D. M., Cucikodana, Y., Nurhayati, A., Khairina Hanum Hasibuan, A., Fahmi, A., & Ilhami Khurniyati, M. (2024). *Biokimia Hasil Petanian*. Bandung: Penerbit Widina Media Utama.
- Wahjuni, (2013). *Metabolisme Biokimia*. Bali: Udayana University Press.

PROFIL PENULIS



Dr. Zainal Abidin., S.Si, M.Si,

Penulis dosen tetap di Universitas Islam Raden Rahmat (UNIRA), Malang Jawa Timur. Penulis menempuh S1 Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, (UIN)Malang,kemudian penulis menemuh studi S2 dan S3 JurusanBiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan (MIPA) Universitas Brawijaya (UB) Malang. Selama mengajar penulis juga diamanahi menjadi Dekan Fakultas Sains dan Teknologi. Penulis juga menjadi pengurus jurnal G-Tech “Jurnal Terapan” (SINTA 4) Editor Bagian (*Associate Handling*), Radikula: Jurnal Ilmu Pertanian serta aktif dalam keanggotaan Mitra Bestari Jurnal Nasional dan Internasional. Selain itu penulis juga menjadi Auditor Halal.

Menulis buku diantaranya: Keanekaragaman Hayati Sebagai Komunitas Berbasis Autentitas Kawasan (2020), Botani “Pengantar ilmu Botani ditinjau dari keilmuan sains dan perspektif agama” (2021), Genetika dan Biologi Reproduksi (2022), dan BALESARI: Desa Budaya di Lereng Gunung Kawi (Monografi dan Kajian Disiplin Ilmu) (2023), Dasar Ilmu Gizi (2023), Fisiologi Hewan (2024), Gizi dan Kesehatan Masyarakat (2024), Bioteknologi, (2024), Teknik Produksi Tanaman Buah dan Pangan (2024).

Penulis membuka diskusi melalui email:
zainal.abidin@uniramalang.ac.id.



BAB 5

METABOLISME

PROTEIN

Mulya Agustina, S.Gz., M.Si.
Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Banyuwangi



Protein

Asupan protein diperlukan untuk pengembangan dan pemeliharaan komposisi tubuh. Pola makan seimbang menyediakan jumlah protein yang cukup (kebutuhan rata-rata untuk orang dewasa adalah 0,66 g/kg/hari menurut WHO/FAO) yang mengandung jumlah yang cukup dari masing-masing dari sembilan asam amino esensial untuk mendukung sintesis protein dan mencapai keseimbangan nitrogen. Asupan protein harian dalam jumlah yang cukup dari makanan menyediakan nitrogen dan asam amino (AA) untuk mendukung sintesis protein tubuh dan sebagai prekursor berbagai senyawa nitrogen dan senyawa penting lainnya dalam tubuh. Pasokan AA yang terus-menerus ke jaringan, dan khususnya asam amino esensial (EAA) yang tidak disintesis secara *de novo* dalam tubuh, diperlukan untuk kelangsungan hidup, untuk pengembangan dan pemeliharaan komposisi tubuh dan untuk mendukung proses metabolisme yang bergantung pada asam amino dan sebagian besar jika tidak semua fungsi fisiologis. Kecukupan asam amino dalam tubuh dan jaringan dan sel dikontrol dengan ketat dan terus-menerus melalui berbagai proses penginderaan dan pensinyalan yang memodulasi dan mengadaptasi metabolisme protein dan energi serta perilaku makan untuk mencegah atau mengatasi kekurangan protein dan untuk mencapai dan mempertahankan status protein yang seimbang (Tome, Benoit, & Azzout-Marniche, 2021)

Pola makan yang sangat kekurangan protein menyebabkan hilangnya massa tubuh tanpa lemak, dan konsumsi energi dan protein makanan yang cukup merupakan prasyarat untuk sintesis protein tubuh dan pemeliharaan otot, tulang, dan jaringan ramping lainnya serta fungsinya. Protein, kompartemen utama asam amino dalam tubuh, terus-menerus mengalami pergantian dengan asam amino bebas melalui sintesis dan degradasi protein, dan sebagian kecil asam amino bebas yang hilang karena oksidasi dalam mitokondria digantikan oleh penyerapan asam amino dan sintesis non-EAA *de novo*. Sintesis protein, degradasi protein, dan oksidasi asam amino diatur oleh ketersediaan asam amino dalam sel (Hinnebusch, Ivaylo P, & Nahum, 2016). Dalam keadaan makan dengan peningkatan

5. Prosedur spektrofotometri “dengan menggunakan reagen” (Subtipe 2): Prosedur spektrofotometri Subtipe 2 didasarkan pada pembentukan senyawa kompleks berwarna dan penentuan intensitas warnanya selanjutnya. Di antara prosedur-prosedur ini, yang banyak digunakan adalah yang berdasarkan reaksi biuret, di mana senyawa kompleks ungu terbentuk dalam interaksi protein dan ion Cu^{2+} dalam media alkali. Penyerapan kompleks yang dihasilkan di bawah radiasi yang memiliki panjang gelombang sekitar 540 nm (relatif terhadap reagen) atau 580 nm (relatif terhadap air suling) sebanding dengan jumlah ikatan peptida dalam protein (konsentrasi protein total dalam plasma atau serum). Prosedur spektrofotometri Subtipe 2 lainnya didasarkan pada metode yang diusulkan oleh Lowry pada tahun 1951, yang menurutnya interaksi ion Cu^{2+} dan senyawa protein dalam media alkali disertai dengan pembentukan senyawa kompleks dan ion Cu^{+} . Selanjutnya, ion Cu^{+} bereaksi dengan fenol dan asam fosfomolibdat, membentuk produk yang tidak stabil yang berubah menjadi molibdenum biru, yang ditandai dengan penyerapan cahaya maksimum pada panjang gelombang 750 nm. Penyerapan pada panjang gelombang ini sebanding dengan konsentrasi protein total dalam plasma dan serum. Keuntungan dari prosedur ini adalah sensitivitas penentuan yang tinggi, dan kerugiannya adalah selektivitas yang rendah (Buzanovskii, 2017).

Dalam keadaan fisiologis normal, urin diharapkan bebas protein. Protein dengan berat molekul tinggi dalam plasma (misalnya, albumin dan globulin) tidak dapat melewati membran filtrasi karena efek dari penghalang ukuran dan penghalang muatan membran filtrasi kapiler glomerulus. Namun, protein dengan berat molekul rendah (misalnya, β_2 -mikroglobulin ($\beta_2\text{-M}$), α_1 -mikroglobulin ($\alpha_1\text{-M}$), dan lisozim), dapat dengan bebas melewati membran filtrasi, meskipun jumlah filtrasinya rendah dan 95% dari protein ini diserap kembali saat memasuki tubulus kontortus proksimal (Zhang & Huang, 2012). Oleh karena itu, kandungan protein urin akhir rendah (hanya 30-130 mg/24 jam) dan terutama terdiri dari albumin plasma (40%), fragmen imunoglobulin (15%), protein plasma lainnya (5%), dan protein jaringan yang berasal dari sistem urin (40%). Konsentrasi protein

dalam sampel urin acak adalah 0-80 mg/L, dan hasil uji kualitatif untuk protein urokinase biasanya negatif. Bila protein urin melebihi 150 mg/24 jam atau konsentrasinya di atas 100 mg/L, hasil uji protein kualitatif menjadi positif. Ini dikenal sebagai proteinuria (Hong et al., 2016).

Karena prosedur pengukuran dan pengambilan sampel untuk penilaian proteinuria belum distandarkan, maka penting untuk mempertimbangkan berbagai jenis protein urin, albumin, teknik laboratorium, dan metode pengambilan sampel urin untuk mendapatkan pendekatan terbaik bagi setiap pasien. Total protein urin dapat dinilai menggunakan metode dipstick, presipitasi, dan elektroforesis. Spesimen urin untuk penilaian proteinuria dapat diperoleh baik dari pengumpulan terjadwal maupun sampel urin spontan. Meskipun demikian, saat ini rasio protein atau albumin terhadap kreatinin urin spontan lebih disukai daripada sampel urin 24 jam dalam praktik rutin (Toblli et al., 2012). Proteinuria umumnya dinilai dengan uji panas dan asam asetat. Kini uji dipstick menggantikan metode lama (Rahayu & Rustiana, 2020). Uji koagulasi panas dapat digunakan di tempat-tempat dengan sumber daya terbatas sebagai alternatif pengujian dipstick atau metode lain yang tidak tersedia atau terlalu mahal. Tabung reaksi diisi hingga dua pertiga dengan urin. Beberapa tetes asam asetat encer ditambahkan untuk membuat sampel urin bersifat asam. Bagian atas tabung reaksi yang berisi urin dipanaskan (tetapi tidak sampai mendidih) di atas kompor. Lingkungan asam dimaksudkan untuk memastikan bahwa koagulasi yang terbentuk adalah protein karena pada pemanasan, fosfat juga ikut menggumpal tetapi larut dalam lingkungan asam (A. Magee, von Dadelszen, Stones MD, & Mathai, 2016).

.

Daftar Pustaka

- A. Magee, L., von Dadelszen, P., Stones MD, W., & Mathai, M. (2016). Pregnancy Hypertension An evidence-based guide to monitoring, prevention and management. In *The Global Library of Women's Medicine*. <https://doi.org/10.1093/milmed/145.12.857a>
- Aikawa, T., Matsutaka, H., Yamamoto, H., Okuda, T., Ishikawa, E., Kawano, T., & Matsumura, E. (1973). Gluconeogenesis and amino acid metabolism: II. inter-organal relations and roles of glutamine and alanine in the amino acid metabolism of fasted rats. *Journal of Biochemistry*, 74(5), 1003–1017. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a130315>
- BELLAMY, D. (1962). The endogenous citric acid-cycle intermediates and amino acids of. *The Biochemical Journal*, 82, 218–224. <https://doi.org/10.1042/bj0820218>
- Biolo, G., Ciocchi, B., Lebenstedt, M., Barazzoni, R., Zanetti, M., Platen, P., ... Guarnieri, G. (2004). Short-term bed rest impairs amino acid-induced protein anabolism in humans. *Journal of Physiology*, 558(2), 381–388. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.066365>
- Bonjour, J. P., Schürch, M. A., Chevalley, T., Ammann, P., & Rizzoli, R. (1997). Protein intake, IGF-1 and osteoporosis. *Osteoporosis International*, 7(SUPPL. 3), 36–42. <https://doi.org/10.1007/bf03194340>
- Bröer, S. (2008). Amino acid transport across mammalian intestinal and renal epithelia. *Physiological Reviews*, 88(1), 249–286. <https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2006>
- Bröer, S., & Bröer, A. (2017). Amino acid homeostasis and signalling in mammalian cells and organisms. *Biochemical Journal*, 474(12), 1935–1963. <https://doi.org/10.1042/BCJ20160822>
- Bröer, S., & Fairweather, S. J. (2019). Amino acid transport across the mammalian intestine. *Comprehensive Physiology*, 9(1), 343–373. <https://doi.org/10.1002/cphy.c170041>
- Buzanovskii, V. A. (2017). Determination of proteins in blood. Part 1:

- Determination of total protein and albumin. *Review Journal of Chemistry*, 7(1), 79–124.
<https://doi.org/10.1134/s2079978017010010>
- Ciechanover, A. (1998). The ubiquitin-proteasome pathway: On protein death and cell life. *EMBO Journal*, 17(24), 7151–7160.
<https://doi.org/10.1093/emboj/17.24.7151>
- Dawson-Hughes, B., Harris, S. S., Rasmussen, H., Song, L., & Dallal, G. E. (2004). Effect of dietary protein supplements on calcium excretion in healthy older men and women. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 89(3), 1169–1173.
<https://doi.org/10.1210/jc.2003-031466>
- Del Mar, E. G., Largman, C., Brodrick, J. W., Fassett, M., & Geokas, M. C. (1980). Substrate Specificity of Human Pancreatic Elastase 2. *Biochemistry*, 19(3), 468–472.
<https://doi.org/10.1021/bi00544a011>
- Devries, M. C., McGlory, C., Bolster, D. R., Kamil, A., Rahn, M., Harkness, L., ... Phillips, S. M. (2018). Leucine, Not Total Protein, Content of a Supplement Is the Primary Determinant of Muscle Protein Anabolic Responses in Healthy Older Women. *Journal of Nutrition*, 148(7), 1088–1095.
<https://doi.org/10.1093/jn/nxy091>
- Dideriksen, K., Reitelseder, S., & Holm, L. (2013). Influence of amino acids, dietary protein, and physical activity on muscle mass development in humans. *Nutrients*, 5(3), 852–876.
<https://doi.org/10.3390/nu5030852>
- Fruton, J. S. (1970). The specificity and mechanism of pepsin action. *Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology*, 33, 401–443. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-211850-0.50022-7>
- Gaffney-Stomberg, E., Insogna, K. L., Rodriguez, N. R., & Kerstetter, J. E. (2009). Increasing dietary protein requirements in elderly people for optimal muscle and bone health. *Journal of the American Geriatrics Society*, 57(6), 1073–1079.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2009.02285.x>

- Galvan, E., Arentson-Lantz, E., Lamon, S., & Paddon-Jones, D. (2016). Protecting skeletal muscle with protein and amino acid during periods of disuse. *Nutrients*, 8(7), 1–11. <https://doi.org/10.3390/nu8070404>
- Harris, R. A., Joshi, M., Jeoung, N. H., & Obayashi, M. (2005). Overview of the molecular and biochemical basis of branched-chain amino acid catabolism. *J Nutr*, 135(6), 1527–1530.
- Hinnebusch, A. G., Ivaylo P, I., & Nahum, S. (2016). Translational control by 5'-untranslated regions of eukaryotic mRNAs. *Science*, 352(6292), 1413–1416. <https://doi.org/10.1126/science.aad9868>. Translational
- Holmes, R., & Lobley, R. W. (1989). Alimentary tract Intestinal brush border revisited. *Gut*, 30, 1667–1678.
- Hong, D. S. C., Oh, I. H., Park, J. S., Lee, C. H., Kang, C. M., & Kim, G. H. (2016). Evaluation of Urinary Indices for Albuminuria and Proteinuria in Patients with Chronic Kidney Disease. *Kidney and Blood Pressure Research*, 41(3), 258–266. <https://doi.org/10.1159/000443429>
- Ji, B., & Logsdon, C. D. (2011). Digesting new information about the role of trypsin in pancreatitis. *Gastroenterology*, 141(6), 1972–1975. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2011.10.021>
- Kim, I. Y., Schutzler, S., Schrader, A., Spencer, H. J., Azhar, G., Ferrando, A. A., & Wolfe, R. R. (2015). The anabolic response to a meal containing different amounts of protein is not limited by the maximal stimulation of protein synthesis in healthy young adults. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 310(1), E73–E80. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00365.2015>
- Leist, M., & Èa, J. (2001). Triggering of apoptosis by cathepsins. *Cell Death Differ*, 8(4), 324–326. Retrieved from www.nature.com/cdd
- Ma, W., Tang, C., & Lai, L. (2005). Specificity of trypsin and chymotrypsin: Loop-motion-controlled dynamic correlation as a determinant. *Biophysical Journal*, 89(2), 1183–1193. <https://doi.org/10.1529/biophysj.104.057158>

- Magee, D. F. (1974). Pepsin. *Medical Clinics of North America*, 58(6), 1277–1287. [https://doi.org/10.1016/S0025-7125\(16\)32070-3](https://doi.org/10.1016/S0025-7125(16)32070-3)
- Paddon-Jones, D., & Leidy, H. (2014). Dietary protein and muscle in older persons. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 17(1), 5–11. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000011>.Dietary
- Puertollano, R. (2014). mTOR and lysosome regulation. *F1000Prime Reports*, 6(July), 1–7. <https://doi.org/10.12703/P6-52>
- Rahayu, D., & Rustiana, T. (2020). Laboratory Trial of Protein Determination in Urine Using Different pH Values of Acetic Acid and Acetate Buffer Method. *Indonesian Journal of Medical Laboratory Science and Technology*, 2(1), 34–41. <https://doi.org/10.33086/ijmlst.v2i1.1459>
- Rechsteiner, M., & Rogers, S. W. (1996). PEST sequences and regulation by proteolysis. *Trends in Biochemical Sciences*, 21(7), 267–271. [https://doi.org/10.1016/S0968-0004\(96\)10031-1](https://doi.org/10.1016/S0968-0004(96)10031-1)
- Sahni, S., Mangano, K. M., Hannan, M. T., Kiel, D. P., & McLean, R. R. (2015). Higher protein intake is associated with higher lean mass and quadriceps muscle strength in adult men and women. *Journal of Nutrition*, 145(7), 1569–1575. <https://doi.org/10.3945/jn.114.204925>
- Sandri, M. (2013). Protein breakdown in muscle wasting: Role of autophagy-lysosome and ubiquitin-proteasome. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 45(10), 2121–2129. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2013.04.023>
- Tobey, N., Heizer, W., Yeh, R., Huang, T. I., & Hoffner, C. (1985). Human Intestinal Brush Border Peptidases. *Gastroenterology*, 88(4), 913–926. [https://doi.org/10.1016/S0016-5085\(85\)80008-1](https://doi.org/10.1016/S0016-5085(85)80008-1)
- Toblli, J. E., Bevione, P., Di Gennaro, F., Madalena, L., Cao, G., & Angerosa, M. (2012). Understanding the mechanisms of proteinuria: Therapeutic implications. *International Journal of Nephrology*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/546039>
- Tome, D., Benoit, S., & Azzout-Marniche, D. (2021). Protein metabolism and related body function: Mechanistic approaches and health

- consequences. *Proceedings of the Nutrition Society*, 80(2), 243–251. <https://doi.org/10.1017/S0029665120007880>
- Volpi, E., Kobayashi, H., Sheffield-Moore, M., Mittendorfer, B., & Robert R, W. (2003). Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *Am J Clin Nut*, 78(2), 250–258.
- Wiencek, J. R., Duh, S.-H., & Christenson, R. H. (2020). Proteins: analysis and interpretation in serum, urine, and cerebrospinal fluid. In *Contemporary Practice in Clinical Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815499-1.00022-3>
- Witard, O. C., Jackman, S. R., Breen, L., Smith, K., Selby, A., & Tipton, K. D. (2014). Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99(1), 86–95. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.055517>
- Wolfe, R. R. (2017). Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: Myth or reality? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0184-9>
- Wolfe, R. R. (2018). The 2017 Sir David P Cuthbertson lecture. Amino acids and muscle protein metabolism in critical care. *Clinical Nutrition*, 37(4), 1093–1100. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.12.010>
- Wullschleger, S., Loewith, R., & Hall, M. N. (2006). TOR signaling in growth and metabolism. *Cell*, 124(3), 471–484. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.01.016>
- Zhang, A., & Huang, S. (2012). Progress in pathogenesis of proteinuria. *International Journal of Nephrology*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/314251>

PROFIL PENULIS



Mulya Agustina, S.Gz., M.Si.

Penulis mulai tertarik dengan ilmu gizi pada tahun 2011 di saat penulis memutuskan untuk menempuh pendidikan Diploma III di Institut Pertanian Bogor di Program Keahlian Manajemen Industri Jasa Makanan dan Gizi, kemudian melanjutkan ekstensi ke Strata 1 di Universitas Esa Unggul pada tahun 2014 dengan jurusan Ilmu Gizi. Setelah mendapatkan gelar Sarjana Gizi tahun 2016, penulis menempuh pendidikan Magister di Program Studi Ilmu Gizi, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2017 dan lulus dengan gelar Magister Sains.

Penulis memiliki ketertarikan pada bidang gizi manusia dan gizi masyarakat. Pada proses karir penulis menempuh karir sebagai dosen tetap Program Studi S1 Gizi, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Banyuwangi. Selain melaksanakan tugas pendidikan berupa pengajaran dan pembimbingan mahasiswa, penulis juga melakukan penelitian, dan pengabdian masyarakat di bidang gizi. Penulis juga menjadi pemateri di seminar nasional dan telah menulis beberapa buku terkait gizi dan kesehatan dengan harapan dapat memberikan kontribusi yang baik untuk pembaca dan masyarakat umum.

Email Penulis: mulyaagustina@stikesbanyuwani.ac.id



BAB 6

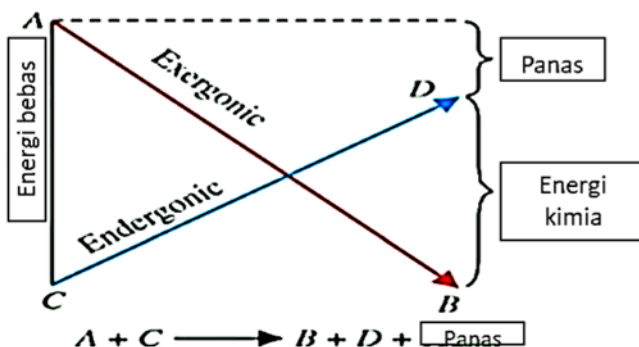
BIOENERGETIKA DAN FOSFORILASI OKSIDATIF

Dra. Yoni Astuti, M.Kes., Ph.D.
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Bioenergetika

Bioenergetika, juga dikenal sebagai termodinamika biokimia, adalah bidang ilmu yang mempelajari biokimia dan sel biologi serta perubahan energi yang terkait dengan reaksi biokimia. Ini juga mencakup masalah aliran energi melalui sistem kehidupan. Energi dilepaskan saat reaksi bergerak dari tingkat energi yang tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah. Seringkali, energi panas dilepaskan. Dalam sistem non-biologis, energi panas dapat diubah menjadi energi mekanik atau energi listrik. Karena sistem biologis pada dasarnya isotermik, panas yang dihasilkan tidak dapat digunakan secara langsung untuk melakukan proses penting seperti reaksi sintesis, kontraksi otot, konduksi saraf, dan transportasi aktif. Sebaliknya, panas ini digunakan untuk menghasilkan energi kimia dalam bentuk reaksi oksidatif yang dikenal sebagai *coupling*. Gambar 6.1 menunjukkan contoh reaksi penggabungan. Pelepasan energi menyebabkan perubahan metabolit A menjadi metabolit B. Reaksi ini berhubungan dengan reaksi yang membutuhkan energi untuk mengubah senyawa C menjadi senyawa D. Akibatnya, sejumlah energi yang dilepaskan pada reaksi degradasi ditransfer ke reaksi sintesis dalam bentuk bukan panas. Untuk reaksi ini, istilah kimia konvensional seperti eksotermik dan endotermik tidak relevan (Botham & Mayes, 2003).



Gambar 6.1: Penggabungan / Perangkaian Reaksi Eksergonik dengan Reaksi Endergonik

Sumber: (Botham & Mayes, 2003)

dipindahkan dari molekul sitokrom c ke atom oksigen. Atom oksigen kemudian berfungsi sebagai penerima elektron terakhir.. Dua ion H^+ dikeluarkan dari matriks selama proses reduksi oksigen dan dipindahkan ke atom oksigen yang direduksi, membentuk air (H_2O). Pada saat yang sama, kompleks tersebut memompa empat ion H^+ ke dalam ruang antarmembran. Penting untuk diingat bahwa peningkatan elektronegativitas masing-masing kompleks mendorong perpindahan elektron dari satu kompleks ke kompleks berikutnya.

e. Kompleks V

Karena struktur enzim ini memiliki banyak subunit, subunit F1 berputar (seperti turbin) dengan kekuatan proton yang mencoba masuk kembali ke matriks, yang memungkinkan transformasi energi potensial menjadi energi mekanik dan kimia. Kompleks kelima (kompleks V) terdiri dari banyak subunit protein, seperti F0 dan F1, dan berperan dalam sintesis ATP menggunakan gaya gerak proton. Bagian F0, yang berakar pada lapisan ganda fosfolipid, bersifat hidrofobik dan memiliki saluran yang memungkinkan ion H^+ melewati bagian F1. Bagian F1 hidrofilik, yang berbentuk seperti tongkat yang menempel pada silinder, adalah situs katalitik utama. Cincin subunit alfa dan beta di bagian ini berputar di sekitar subunit gamma. Ion H^+ bergerak dari bagian F0 ke bagian F1, yang memaksa rotasi bagian F1, yang mengkatalisis pengikatan ADP dan fosfat anorganik (P_i) untuk menghasilkan ATP. Proses ini dikenal sebagai perubahan ikatan (Letts, dkk 2017, Pehar, dkk, 2018 dan Derevenkov dkk, 2020).

5. Patofisiologi

Patofisiologi yang bisa terjadi dari system fosforilasi oksidatif diantaranya (Scialò et al., 2017; Sinnecker et al., 2019):

- a. Pembentukan gradien ion hidrogen antara membran dalam dan luar mitokondria, yang juga dikenal sebagai gradien kemiosmotik, adalah proses biokimia yang sangat penting yang melibatkan fosforilasi oksidatif. Dalam matriks mitokondria,

produksi ATP didorong oleh energi dari gradien ini, yang dikenal sebagai gaya gerak proton. Banyak molekul yang ditemukan mengganggu atau menghambat proses ini dalam berbagai cara, yang menghasilkan manfaat klinis dan non-klinis. Selain itu, penyakit metabolik (seperti miopati mitokondria) dan neurologis (seperti gangguan bipolar) dapat disebabkan oleh disfungsi rantai transpor elektron.

b. Toksin dan Obat-obatan

Ketahui bahwa sianida dan karbon monoksida mengikat dan menghalangi kompleks protein sitokrom c oksidase, juga dikenal sebagai kompleks IV, dari rantai transpor elektron secara ireversibel. Ini menghentikan produksi ATP dan menyebabkan kematian sel, bahkan pada konsentrasi yang sangat tinggi. Meskipun amobarbital bersifat sedatif dan merupakan agonis GABA yang potensial, ia juga mengikat dan menghambat NADH dehidrogenase, yang mengurangi produksi ATP.

c. Stres Oksidatif

Spesies oksigen reaktif (ROS) adalah produk sampingan dari kompleks rantai transpor elektron yang menyebabkan kerusakan sel melalui produksi dan proliferasi radikal bebas seperti peroksida (H_2O_2) dan oksida (seperti superoksida). ROS yang dihasilkan dari reaksi redoks dalam keempat kompleks tersebut menyebabkan kerusakan membran sel dan penuaan sel.

d. Miopati Mitokondria

Kompleks I (NADH dehidrogenase) yang rusak dapat dihasilkan oleh mutasi genetik pada DNA mitokondria (seperti MT-ND1). Kerusakan ini akan menyebabkan fosforilasi oksidatif mengurangi produksi ATP. Sindrom yang dikenal sebagai MELAS, termasuk ensefalopati mitokondria, asidosis laktat, dan episode mirip stroke, adalah hasil makroskopis dari mutasi ini. Ensefalopati dan miopati MELAS menyebabkan kejang, kelemahan, dan beberapa gejala lain yang dimulai sejak masa kanak-kanak..

- e. Sindrom lain yang disebut MERRF (epilepsi mioklonik dengan serabut merah kasar) disebabkan oleh mutasi beberapa gen mitokondria, yang menyebabkan malformasi banyak komponen mitokondria, termasuk kompleks protein RTE. Penurunan produksi ATP melalui fosforilasi oksidatif menyebabkan banyak gejala klinis yang parah, termasuk epilepsi mioklonik..

6. Makna Klinis

Meskipun sebagian besar senyawa yang mengganggu RTE bersifat merusak, beberapa di antaranya benar-benar bermanfaat bagi tubuh. Protein yang berfungsi sebagai saluran ion H^+ dalam jaringan adiposa coklat, juga dikenal sebagai termogenin, memungkinkan ion H^+ masuk kembali ke matriks dari ruang antarmembran. Aliran cepat ion H^+ ke matriks menyebabkan panas dan melepaskan ikatan reaksi pembangkit ATP dan konsumsi ATP satu sama lain, yang mengganggu kemiosmosis. Karena rasio luas permukaan kulit terhadap volume tubuh yang tinggi, panas ini sangat membantu mempertahankan suhu inti tubuh neonatus.

Daftar Pustaka

- Bartolák-Suki, E., Imsirovic, J., Nishibori, Y., Krishnan, R., & Suki, B. (2017). Regulation of Mitochondrial Structure and Dynamics by the Cytoskeleton and Mechanical Factors. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(8), 1812. <https://doi.org/10.3390/ijms18081812>
- Botham, K. M., & Mayes, P. A. (2003). Bioenergetics: The Role of ATP. In P. J. Kennelly, K. M. Botham, O. P. McGuinness, V. W. Rodwell, & P. A. Weil (Eds.), *Harper's Illustrated Biochemistry*. McGraw Hill. <https://www.accessscience.com/content/book/9781260469943/chapter/chapter11>
- Dereven'kov, I. A., Hannibal, L., Makarov, S. V., & Molodtsov, P. A. (2020). Catalytic effect of riboflavin on electron transfer from NADH to aquacobalamin. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 25(1), 125–133. <https://doi.org/10.1007/s00775-019-01745-3>
- Montgomery, R., & Conway, T. (1990). *Biochemistry- A Case Oriented Approach*. The C.V. Mosby Company.
- Neufer, P. D. (2018). The Bioenergetics of Exercise. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(5), a029678. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029678>
- Neupane, P., Bhujju, S., Thapa, N., & Bhattarai, H. K. (2019). ATP Synthase: Structure, Function and Inhibition. *Biomolecular Concepts*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1515/bmc-2019-0001>
- Pehar, M., Harlan, B. A., Killoy, K. M., & Vargas, M. R. (2018). Nicotinamide Adenine Dinucleotide Metabolism and Neurodegeneration. *Antioxidants & Redox Signaling*, 28(18), 1652–1668. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7145>
- Scialò, F., Fernández-Ayala, D. J., & Sanz, A. (2017). Role of Mitochondrial Reverse Electron Transport in ROS Signaling: Potential Roles in Health and Disease. *Frontiers in Physiology*, 8, 428. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00428>

- Sinnecker, T., Andelova, M., Mayr, M., Rüegg, S., Sinnreich, M., Hench, J., Frank, S., Schaller, A., Stippich, C., Wuerfel, J., & Bonati, L. H. (2019). Diagnosis of adult-onset MELAS syndrome in a 63-year-old patient with suspected recurrent strokes – a case report. *BMC Neurology*, 19, 91. <https://doi.org/10.1186/s12883-019-1306-6>
- Skulachev, V. P., Bogachev, A. V., & Kasparinsky, F. O. (2013). *Principles of Bioenergetics*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33430-6>
- Vinogradov, A. D. (2019). New Perspective on the Reversibility of ATP Synthesis and Hydrolysis by Fo×F1-ATP Synthase (Hydrolase). *Biochemistry. Biokhimiia*, 84(11), 1247–1255. <https://doi.org/10.1134/S0006297919110038>

PROFIL PENULIS



Dra. Yoni Astuti, M.Kes., Ph.D.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu Kesehatan diawali sejak Sekolah Menengah Atas mengambil jurusan IPA SMA N Kota Purworejo Jawa Tengah. Selanjutnya di Tahun 1991 penulis menyelesaikan studi S1 Jurusan Biologi Lingkungan Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada. Selama berkarier sebagai Dosen di Bidang Biokimia Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas

Muhammadiyah Yogyakarta menambah keilmuannya dengan mengikuti pendidikan S2 di Pasca Sarjana Universitas Kedokteran UGM dengan Minat Biokimia Di jurusan Ilmu Kedokteran Dasar yang diselesaikan pada tahun 2000. Selanjutnya untuk meningkatkan kebutuhan kariernya melanjutkan mengambil pendidikan S3 di Program Doktorat di Prodi Kedokteran dengan minat Biokimia signaling di Departemen Obstetery dan Ginekologi Universitas Kobe Jepang, yang diselesaikan pada tahun 2015.

Penulis kembali menekuni pengajaran dan mengetuai Departemen Biokimia prodi Kedokteran, Fakultas Kedokteran dan ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah hingga sekarang. Beberapa penelitian yang dilakukan setiap tahunnya dengan biaya baik dari internal Perguruan Tinggi maupun dari DIKTI RI dengan berkolaborasi bersama departemen lain seperti Departemen Patologi anatomi, Departemen Anak, Departemen Obstetery Ginekologi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, juga institusi luar seperti BRIN Tawangmangu Karanganyar Solo, Fakultas Biologi UGM dan lain lain. Selain itu juga aktif mengikuti seminar maupun konferensi tentang ilmu kesehatan baik tingkat Nasional maupun Internasional, yang di beberapa kesempatan mendapatkan penghargaan penyaji terbaik ditahun 2017 Di Universitas Mataram, tahun 2019 dan 2020 Di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Selain peneliti, penulis juga menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.



BAB 7

HORMON DAN

REGULASI METABOLIK

Riska Mayang Saputri Ginting, S.Gz., M.Kes.
Universitas Mulawarman



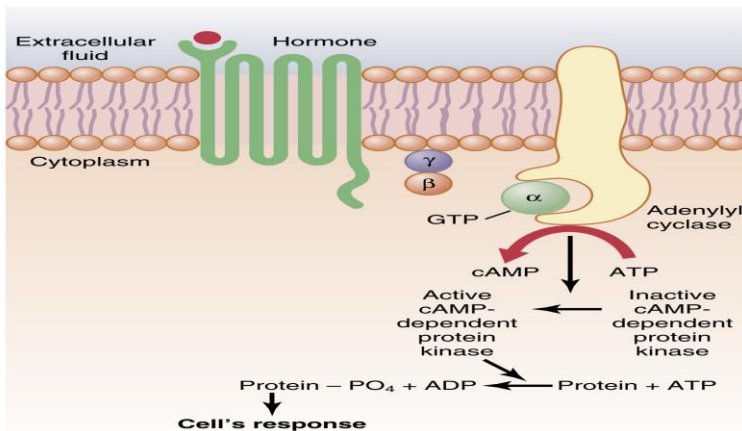
Pengantar Hormon

Hormon adalah zat kimia pemberi sinyal (Koolman & Roehm, 2011). Istilah "hormon" berasal dari bahasa Yunani *hormon*, yang artinya mendorong atau menggerakkan, sebuah karakterisasi yang tepat dari molekul-molekul yang kuat ini (Norman & Henry, 2015). Went & Thimann (1937) mendefinisikan hormon sebagai suatu zat yang diproduksi di satu bagian tubuh organisme, dipindahkan ke bagian lain dan kemudian memengaruhi suatu proses fisiologis secara spesifik.

Hormon menjalankan berbagai fungsi penting, mulai dari pertumbuhan, perkembangan seksual, fungsi reproduksi, produksi sel darah, hingga metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak. Tubuh hewan mengandung lebih dari 100 jenis hormon dan zat mirip hormon yang dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur kimianya atau fungsinya. Secara kimia, sebagian besar hormon merupakan turunan asam amino, peptida atau protein, atau steroid. Hormon mengatur proses-proses berikut (Koolman & Roehm, 2011):

1. Pertumbuhan dan diferensiasi sel, jaringan, dan organ. Proses ini meliputi proliferasi sel, perkembangan embrio, dan diferensiasi seksual yaitu proses yang membutuhkan waktu panjang dan melibatkan sintesis protein baru (*de novo*). Oleh karena itu, hormon steroid yang bekerja melalui pengaturan transkripsi sangat dominan dalam area ini.
2. Jalur metabolik. Regulasi metabolisme membutuhkan mekanisme yang bekerja cepat. Banyak hormon yang terlibat mengatur interkonversi enzim. Proses utama yang diatur oleh hormon meliputi: Pengambilan dan degradasi zat penyimpanan seperti glikogen dan lemak, Jalur biosintesis dan degradasi metabolit penting (glukosa dan asam lemak), serta penyediaan energi metabolik.
3. Proses pencernaan. Proses ini umumnya diatur oleh peptida yang bekerja secara lokal (parakrin), namun mediator lain seperti amina biogenik dan neuropeptida juga terlibat.
4. Pemeliharaan konsentrasi ion (homeostasis)
Konsentrasi ion seperti Na^+ , K^+ , dan Cl^- dalam cairan tubuh, serta variabel fisiologis yang bergantung padanya (misalnya tekanan

seperti reseptor leptin yang mengaktifkan enzim intraseluler dan memicu reaksi biokimia lanjutan, termasuk aktivasi jalur genetik. Selain itu, beberapa hormon menempel pada reseptor di permukaan sel dan mengaktifkan enzim adenyl cyclase, yang kemudian membentuk senyawa cAMP sebagai *second messenger*. cAMP bertugas menyampaikan sinyal hormonal ke dalam sel untuk mengatur berbagai aktivitas, dan mekanisme serupa juga berlaku untuk *second messenger* lain seperti cGMP. Hormon yang larut lemak seperti steroid, retinoid, dan tiroid tidak bekerja di membran sel, tetapi langsung masuk ke dalam sel dan membentuk kompleks dengan reseptor di sitoplasma atau inti. Kompleks ini akan menempel pada DNA dan mengatur sintesis protein, menghasilkan efek hormon yang lebih lambat namun bertahan lama. Sementara itu, aktivasi reseptor melalui protein G dapat bersifat stimulasi (G_s) yang meningkatkan produksi cAMP atau penghambat (G_i) yang mencegah pembentukannya. Efek dari cAMP bervariasi tergantung jenis sel, misalnya merangsang produksi hormon tiroid, meningkatkan pelepasan steroid, atau memperkuat penyerapan air. Selain cAMP, jalur lain seperti sistem fosfolipid membran dan kalsium-kalmodulin juga berfungsi sebagai *second messenger*, menunjukkan bahwa hormon dapat menggunakan berbagai mekanisme untuk menghasilkan respons fisiologis yang spesifik dan sesuai dengan fungsi sel target (Hall, 2015).



Gambar 7.5: Mekanisme Enzim Cyclic Adenosine Monophosphate (cAMP)

Sumber: (Hall, 2015)

Daftar Pustaka

- Hall, J. E. (2015). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. Elsevier Health Sciences.
- Kaufmann, H. (2008). L-dihydroxyphenylserine (Droxidopa): A new therapy for neurogenic orthostatic hypotension: The US experience. *Clinical Autonomic Research: Official Journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 18 Suppl 1, 19–24. <https://doi.org/10.1007/s10286-007-1002-2>
- Kennelly, P. J., Botham, K. M., McGuinness, O. P., Rodwell, V. W., & Weil, P. A. (Eds.). (2023). *Harper's Illustrated Biochemistry* (Thirty-second ed). McGraw-Hill Education LLC.
- Koolman, J., & Roehm, K. H. (2011). *Color Atlas of Biochemistry*. Thieme.
- McLaughlin, M. B., & Jialal, I. (2025). *Biochemistry, Hormones*. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541112/>
- Nelson, D. L., Cox, M. M., & Hoskins, A. A. (2021). *Lehninger principles of biochemistry* (Eighth edition). Macmillan Learning.
- Norman, A. W., & Henry, H. L. (2015). Chapter 1 - Hormones: An Introduction. In A. W. Norman & H. L. Henry (Eds.), *Hormones (Third Edition)* (pp. 1–25). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091906-5.00001-X>
- Nussey, S., & Whitehead, S. (2001). Principles of endocrinology. In *Endocrinology: An Integrated Approach*. BIOS Scientific Publishers. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK20/>
- Went, F. W., & Thimann, K. V. (1937). *Phytohormones*. The Macmillan Company. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.5695>

PROFIL PENULIS



Riska Mayang Saputri Ginting, S.Gz., M.Kes.

Penulis lahir di Samarinda tanggal 14 April 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sarjana Gizi, Universitas Mulawarman. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Gizi dan Dietetika Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 pada Jurusan Kesehatan Masyarakat, Peminatan Gizi

Masyarakat, Universitas Airlangga. Penulis memiliki ketertarikan kuat pada bidang gizi terutama kebijakan dan masyarakat. Penulis telah terlibat dalam berbagai proyek yang terkait dengan ketahanan pangan rumah tangga, ketersediaan pangan, transisi gizi, pilihan pangan, serta kesehatan ibu dan anak. Memiliki keahlian yang terbukti dalam menangani sejumlah besar data kuantitatif. Riska memiliki pengalaman dan minat yang besar sebagai peneliti untuk studi kuantitatif dan kualitatif di berbagai daerah di Indonesia, baik di daerah pedesaan maupun perkotaan.

Email Penulis: riskamayangsg@fkm.unmul.ac.id



BAB 8

BIOKIMIA VITAMIN

Indira Pipit Miranti, M.Sc.
STIKes Ibnu Sina Ajibarang



Pendahuluan

Vitamin adalah kelompok senyawa organik yang penting dalam sejumlah kecil di tubuh untuk melakukan fungsi fisiologis dan biokimia yang berbeda, tetapi tidak dapat disintesis dalam jumlah yang cukup maka dari itu harus didapat dari makanan (Combs, 2012). Kehadiran vitamin seperti mikronutrien esensial adalah kunci untuk menjaga kesehatan, metabolisme sel dan pencegahan berbagai kekurangan. Vitamin terbagi menjadi dua jenis, yaitu vitamin yang dapat larut dalam lemak, dan vitamin yang dapat larut dalam air.

Istilah "vitamin" pertama kali diperkenalkan oleh Casimir Funk pada tahun 1912, yang menunjukkan bahwa penyakit seperti *beriberi* disebabkan oleh kurangnya zat yang disebut "vitamin"-*"amina vital"* (Bendich dan Deckelbaum, 2005). Di bidang biokimia, vitamin berperan sebagai co-factor atau koenzim dalam berbagai reaksi enzim penting, seperti dekarboksil, transaminasi dan reaksi transfer kelompok metil. Tanpa adanya vitamin tertentu, fungsi enzim ini terganggu dan dapat menyebabkan konsekuensi metabolisme yang serius (Gropper dan Smith, 2021). Pada dasarnya, vitamin ini digunakan untuk membantu tubuh berkembang dan tumbuh secara normal. Dengan perkembangan ilmu biokimia dan nutrisi, pemahaman tentang fungsi vitamin tidak hanya untuk pencegahan penyakit defisiensi, tetapi juga berkembang ke bagian neurologi, imunologi, bahkan epigenetik (Stover, 2004).

Definisi dan Peran Vitamin

Vitamin adalah senyawa organik esensial yang diperlukan tubuh dalam jumlah kecil untuk melakukan fungsi fisiologis dan biokimia yang penting dalam tubuh, seperti pertumbuhan, pertahanan fisik dan metabolisme (Statpearls, 2021a; Priadiamati, K., 2022). Senyawa ini diproduksi oleh tubuh dalam jumlah terbatas, tidak dapat disintesis secara mandiri oleh tubuh dalam jumlah yang tepat dan harus ada dalam makanan sehari-hari (Ofoedu et al., 2021). Vitamin memiliki peran sebagai kofaktor untuk berbagai reaksi enzimatik, dan jika kekurangan maka dapat menyebabkan gangguan metabolik dan penyakit tertentu (Andr setal., 2024).

(Ofoedu et al., 2021). Kekurangan vitamin K dapat mempengaruhi proses pembekuan darah yang menyebabkan masalah pendarahan (Imbrescia & Zbigniew, 2023). Beberapa faktor yang mempengaruhi kekurangan vitamin K yaitu konsumsi makanan yang mengandung vitamin K tidak mencukupi, termasuk produk fermentasi dan sayuran hijau yang dapat menjadi penyebab utama. Sumber utama vitamin K adalah sayuran yang memiliki daun warna hijau seperti kangkung, bayam dan brokoli, bayam, dan brokoli, serta produk fermentasi dan telur (Statpearls, 2021a). Kurangnya vitamin ini menyebabkan perdarahan berlebih (perdarahan pada bayi baru lahir dapat membahayakan) dan juga gangguan proses pembekuan darah (Ofoedu et al., 2021).

Meskipun ada perbedaan struktural, semua vitamin diangkut dan diserap dengan cara yang sama pada media hidrofilik kelarutan rendah. Tubuh menyerap vitamin yang larut dalam lemak misel yang baru saja terbentuk di usus kecil. Misel adalah kelompok lipid yang mengandung gugus hidrofobik dan hidrofilik di luar. Proses ini tergantung pada sekresi enzim empedu dan pankreas. Ketika mereka dimasukkan ke dalam enterosit, vitamin yang larut dalam lemak dikemas ke dalam chylomicron dan diblokir oleh sistem limfatik sebelum memasuki aliran darah. Chylomicron dimetabolisme oleh lipoprotein lipase, yang melepaskan dan menyimpan sekresi vitamin dalam lemak di jaringan (Priya, 2022).

Daftar Pustaka

- Andrès, E., Lorenzo-Villalba, N., Terrade, J.-E., & Méndez-Bailon, M. (2024). Fat-Soluble Vitamins A, D, E, and K: Review of the Literature and Points of Interest for the Clinician. *Journal of Clinical Medicine*, 13(13), 3641. <https://doi.org/10.3390/jcm13133641>.
- Bendich, A., & Deckelbaum, R. J. (2005). *Preventive Nutrition: The Comprehensive Guide for Health Professionals*. Totowa, NJ: Humana Press.
- Combs, G. F. (2012). *The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health* (4th ed.). Academic Press.
- Dianatasya, A. (2020). Analisis Kadar Vitamin C Infused Water Bunga Telang (*Clitoria ternatea*) dan Lemon (*Citrus Limon*). Karya Tulis Ilmiah. STIKES Insani Cendekia Medika Jombang.
- Emily P. McEldrew., Michael, J. L., Harold, M. (2025). Vitamin A. National Library of Medicine.
- Gropper, S. S., & Smith, J. L. (2021). *Advanced Nutrition and Human Metabolism* (7th ed.). Cengage Learning.
- Ofoedu, C. E., et al. (2021). Revisiting food-sourced vitamins for consumer diet and health needs: a perspective review. *PeerJ*, 9, e11940. <https://doi.org/10.7717/peerj.11940>.
- Hanna, M., dkk, (2022). *B Vitamins: Functions and Uses in Medicine*
- Imbrescia, K., Zbigniew, M, (2023). *Vitamin K. National Library of Medicine*.
- Jauharuddin, A. (2024). Peranan Vitamin C Terhadap Kesehatan Tubuh dan Rongga Mulut. *Journal of Public Health and Industrial Nutrition*.
- Julianna, L. M., Connor, C. K., Harshit, D., Reddog, E. S., David, S. F. (2024). Vitamin B1 (Tiamin). National Library of Medicine.
- Kementerian Kesehatan RI, (2020). Manfaat Pemberian Vitamin A untuk Anak. Direktorat Promosi Kesehatan dan Pemberdayaan Masyarakat. Jakarta: Kemenkes RI.

- Lykstad, J., dan Sandeep, S. (2023). Biokimia Vitamin yang Larut Dalam Air. National Library of Medicine.
- Medina, J., Vikas, G. (2023). Vitamin E. StatPearls. National Library of Medicine.
- Nadif, D. A., dan Mega, W. P. (2023). Description and Concepts About The Role of Vitamins. Jurnal Abdimas.
- Priadiamanti, A., Vani, W., Vika, I. Q., Visca, N. (2022). Pengenalan Macam-macam Vitamin yang Terkandung Pada Buah dan Sayur. Jurnal Pengabdian Farmasi Malahayati. Volume 5, nomor 2, 2022.
- Que BJ, Titaley CR, De Lima FVI. (2020). Pengaruh Kadar Vitamin D dan Kalsium Pada Status Kesehatan Penyakit Tidak Menular Masyarakat Pesisir Di Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat. Molucca Medica.
- Reddy, P., dan Ishwari, J. (2022). Biokimia, Vitamin Larut Lemak. StatPearls.
- Sari, P. M., Suharmanto., dan Oktafany. (2023). Efektivitas Pemberian Vitamin A Pada Ibu Nifas dan Bayi. Jurnal Penelitian Perawat Nasional. Volume 5 nomor 2, Mei 2023.
- StatPearls. (2021a). Biochemistry, Fat Soluble Vitamins. NCBI Bookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534869/>
- StatPearls. (2021b). Biochemistry, Water Soluble Vitamins. NCBI Bookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538510/>
- Van Kempen, T. A. T. G., Benitez Punal, S., Huijser, J., and De Smet, S. (2022). Tocopherol more bioavailable than tocopheryl-acetate as a source of vitamin E and their putative relevance for atherogenesis.
- Zoromi, A dan Irfan, H. (2023). Implementasi Sistem Pakar Forward Chaining untuk Mendiagnosa Kekurangan Vitamin Pada Manusia. Jurnal Teknik dan Teknologi Tepat Guna. Volume 2 (2), tahun 2023 hal: 71-84.

PROFIL PENULIS



Indira Pipit Miranti, S.Pd., M.Sc.

Ketertarikan penulis terhadap ilmu biologi dimulai pada tahun 2005 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Sekolah Menengah Atas di SMA Muhammadiyah 1 Purwokerto dengan memilih IPA dan berhasil lulus pada tahun 2008. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi pada tahun 2008 dan berhasil menyelesaikan studi S1 di prodi Pendidikan Biologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) pada tahun 2013. Setelah menyelesaikan pendidikan S1, penulis melanjutkan studi S2 di prodi Magister Biologi, Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada (UGM) dengan konsentrasi ilmu Biologi sejak tahun 2013 sampai 2016. Penulis memiliki kepakaran dibidang Biologi. Dan untuk mewujudkan karier sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Email Penulis:

indirapipit@stikes-ibnusina.ac.id / indira.pipit@gmail.com



BAB 9

BIOKIMIA MINERAL DAN ELEKTROLIT

apt. Zora Olivia, S.Farm., M.Farm.
Politeknik Negeri Jember



Definisi Mineral

Mineral dan vitamin adalah zat gizi penting yang ditemukan dalam makanan. Perbedaan utamanya adalah vitamin adalah zat organik (artinya mengandung unsur karbon) dan mineral adalah zat anorganik. Mineral dibutuhkan untuk banyak hal selain memakannya dalam bentuk zat gizi dalam makanan. Zat besi dan tembaga dalam peralatan masak adalah mineral yang sama yang ditemukan dalam makanan. Itulah sebabnya memasak dalam wajan besi cor dapat menyediakan zat besi dalam makanan. Saat memasak makanan dalam wajan besi, sedikit zat besi akan terlepas dan bercampur dengan makanan. Orang dapat menyerap dan menggunakannya seperti zat besi yang sudah ada dalam makanan. Mineral adalah bagian paling permanen dari makhluk hidup. Mineral tidak terbakar, dan bahkan dapat ditemukan dalam abu sesuatu yang telah terbakar.

Kelompok dan Kegunaan Mineral

Terdapat dua kelompok mineral, mineral makro dan mineral mikro. Mineral makro dibutuhkan dalam makanan dalam jumlah 100 miligram (mg) perhari. Satu miligram adalah jumlah yang sangat kecil. Jumlah ini perseribu gram, dan ada 28 gram dalam satu ons. Mineral makro adalah kalsium, fosfor, magnesium, sulfur, kalium, natrium, dan klorida. Tubuh membutuhkan mineral mikro dalam jumlah yang lebih kecil (kurang dari 100 mg setiap hari). Beberapa mineral mikro adalah zat besi, yodium, seng, fluorida, selenium, tembaga, kromium, mangan, dan molibdenum. (Herman, 2021) Tubuh mengandung banyak mineral yang berbeda.

Mineral sendiri merupakan unsur kimia yang tidak aktif, seperti zat besi dalam wajan atau kalsium dalam batu. Namun, di dalam tubuh, kalsium digunakan untuk membentuk tulang dan gigi, sedangkan zat besi digunakan untuk membentuk hemoglobin dalam sel darah merah. Tubuh menggunakan zat besi ini untuk membawa oksigen ke sel-selnya. lainnya membantu dalam banyak proses tubuh lainnya: menjadi bagian dari struktur jaringan, seperti pada tulang dan gigi, membantu menjaga keseimbangan asam-basa, agar pH tubuh tetap netral, membantu mengatur proses tubuh, seperti

2017). Tembaga merupakan logam transisi yang terdapat dalam bentuk Cu^+ dan Cu^{2+} . Cu^+ merupakan bentuk tembaga tereduksi kupro. Cu^{2+} merupakan bentuk tembaga teroksidasi kupri. Tembaga diserap ke dalam sel dalam bentuk tereduksi, tetapi dicerna dan mengalir melalui aliran darah dalam bentuk teroksidasi (Myint ZW, 2016; Livingstone, 2017).

10. Yodium

Yodium dapat dicerna dalam berbagai bentuk kimia. Iodida diserap dengan cepat dan hampir seluruhnya di lambung dan usus halus. Iodat, yang digunakan dalam garam beryodium, direduksi di usus dan kemudian diserap sebagai iodida. Dalam peredaran darah, yodium diserap terutama oleh kelenjar tiroid dan ginjal. Penyerapan yodium oleh tiroid bergantung pada asupan yodium, sedangkan penyerapan oleh ginjal tetap cukup konstan. Yodium dikeluarkan melalui urin. Sebagian besar yodium dalam tubuh disimpan di tiroid untuk digunakan dalam sintesis hormon tiroid (Zimmermann MB, 2009). Yodium merupakan unsur nonlogam yang diidentifikasi dengan uap ungu yang khas. Yodium dikonsumsi dan diserap dalam bentuk tereduksi iodida (I^-). Yodium juga dapat dikonsumsi dalam bentuk teroksidasi iodat (IO_3^-), serta ketika terikat secara organik dengan tiroksin (T_4) dan triiodotironin (T_3) (Zimmermann MB, 2009).

11. Selenium

Mekanisme penyerapan selenium belum diketahui dengan baik. Penyerapan selenium terjadi di usus halus melalui mekanisme yang bergantung pada bentuk selenium. Penyerapan selenat anorganik terjadi melalui transpor aktif dengan pompa natrium. Penyerapan selenit anorganik terjadi melalui difusi pasif. Selenometionina dan selenosistein organik diserap melalui mekanisme transpor aktif yang mirip dengan asam amino netral seperti metionina. Selenium diserap ke dalam aliran darah portal dari enterosit dan diangkut ke hati dalam berbagai bentuk. Selenit diambil oleh eritrosit dan direduksi oleh glutathione reduktase

Daftar Pustaka

- Alyssa L.Moris ; Syamim S.Mohiuddin, 2023. Biokimia, Nutrisi. StatPearls Publishing LLC. National Library of Madicine.
- Agarwal R, Afzalpurkar R, Fordtran JS. Patofisiologi penyerapan dan sekresi kalium oleh usus manusia. Gastroenterologi. 1994 Agustus; 107 (2):548-71
- Berend K, van Hulsteijn LH, Gans RO. Klorida: ratu elektrolit? Eur J Magang Med. April 2012; 23 (3):203-11
- Blaine J, Chonchol M, Levi M. Kontrol ginjal terhadap homeostasis kalsium, fosfat, dan magnesium. Clin J Am Soc Nephrol. 2015 Jul 07; 10 (7):1257-72
- Costello R, Wallace TC, Rosanoff A. Magnesium. Adv Nutr. 2016 Jan; 7 (1):199-201.
- Cook JD. Elemen jejak parenteral: zat besi. Bull NY Acad Med. 1984 Mar; 60 (2):156-62
- Hermann J R, 2021. Mineral and the bod , Division of Agricultural Sciences and Natural Resources: Oklahoma State University; T-3164-2
- Huang L, Drake VJ, Ho E. Seng. Adv Nutr. Maret 2015; 6 (2):224-6
- Iheagwara OS, Ing TS, Kjellstrand CM, Lew SQ. Fosfor, fosfor, dan fosfat. Hemodial Int. 2013 Okt; 17 (4):479-82
- Kiela PR, Ghishan FK. Fisiologi Penyerapan dan Sekresi Usus. Best Pract Res Clin Gastroenterol. 2016 Apr; 30 (2):145-59.
- Livingstone C. Tinjauan Penyediaan Tembaga dalam Nutrisi Parenteral Orang Dewasa [Formula: lihat teks]. Nutr Clin Pract. 2017 April; 32 (2):153-165.
- Mehdi Y, Hornick JL, Istasse L, Dufrasne I. Selenium di lingkungan, metabolisme dan keterlibatan dalam fungsi tubuh. Molekul. 2013 Mar 13; 18 (3):3292-311.
- Miret S, Simpson RJ, McKie AT. Fisiologi dan biologi molekuler

- penyerapan zat besi dari makanan. *Annu Rev Nutr.* 2003; 23 :283- 301 Myint ZW, Oo TH, Thein KZ, Tun AM, Saeed H. Anemia defisiensi tembaga: artikel tinjauan. *Ann Hematol.* 2018 Sep; 97 (9):1527- 1534
- Rivera-Mancía S, Pérez-Neri I, Ríos C, Tristán-López L, Rivera-Espinosa L, Montes S. Logam transisi tembaga dan besi pada penyakit neurodegeneratif. *Interaksi Kimia Biol.* 30 Juli 2010; 186 (2):184-99.
- Palmer BF, Clegg DJ. Fisiologi dan patofisiologi homeostasis kalium. *Adv Physiol Educ.* 2016 Desember; 40 (4):480-490
- Saito H. METABOLISME PENYIMPANAN BESI. *Nagoya J Med Sci.* Agustus 2014; 76 (3-4):235-254
- Santiago P. Formulasi zat besi oral ferrous versus ferric untuk pengobatan defisiensi zat besi: tinjauan klinis. *ScientificWorldJournal.* 2012; 2012 :846824.
- Strazzullo P, Leclercq C. Sodium. *Adv Nutr.* 2014 Mar 01; 5 (2):188-90
- Wright EM, Loo DD. Penggabungan antara Na⁺, gula, dan transportasi air melalui usus. *Ann NY Acad Sci.* 2000; 915 :54-66.
- Yin J, Hu Y, Yoon J. Probe fluoresensi dan bioimaging: logam alkali, logam alkali tanah dan pH. *Chem Soc Rev.* 21 Juli 2015; 44 (14):4619-44.
- Zimmermann MB. Kekurangan yodium. *Endocr Rev.* 2009 Jun; 30 (4):376-408.

PROFIL PENULIS



apt. Zora Olivia, S. Fram., M. Farm.

Penulis dilahirkan di Jember Jawa Timur pada tanggal 7 Maret 1987. Ketertarikan penulis terhadap ilmu Farmasi dimulai pada tahun 2005 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih perguruan tinggi di Fakultas Farmasi Universitas Jember dan berhasil menyelesaikan studi S1 pada tahun 2009.

Penulis kemudian melanjutkan pendidikan profesi sebagai apoteker pada tahun yang sama di institut teknologi bandung (ITB) selama 1 tahun dan berhasil meraih gelar apoteker tahun 2010. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Airlangga. Kemudian pada tahun 2014 penulis meraih gelar magister kefarmasian ilmu kefarmasian jurusan kebijakan dan manajemen kefarmasian di Universitas Airlangga, Surabaya.

Penulis saat ini merupakan tenaga pengajar di prodi gizi klinik jurusan Kesehatan Politeknik Negeri Jember. Mata kuliah yang penulis ajar yaitu, farmakologi, interaksi obat dan makanan, kimia pangan, metabolisme gizi makro , metabolisme gizi mikro. Penulis memiliki kepakaran dibidang biomedik obat dan makanan. Dan untuk mewujudkan karier sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI.

Email Penulis: zora@polije.ac.id



BAB 10

BIOKIMIA SERAT

PANGAN

Aletheia Threskeia, S.Ked., M.Imun., M.Si.
Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Petra



Sebagai gantinya, Institute of Medicine menetapkan Adequate Intake (AI) berdasarkan konsumsi serat yang berhubungan dengan penurunan risiko penyakit jantung koroner (CHD). Rekomendasi AI untuk serat adalah 14 gram per 1.000 kalori, termasuk untuk anak-anak dan lansia, dengan penyesuaian sesuai kebutuhan energi. Untuk bayi berusia 0–6 bulan, tidak ada AI karena konsumsi terbatas pada ASI yang tidak mengandung serat pangan secara definisional, meskipun kaya akan oligosakarida yang tidak dicerna dan mendukung mikrobiota usus (Dahl & Stewart, 2015).

Namun, studi seperti Feeding Infants and Toddlers Study menemukan bahwa rata-rata konsumsi serat pada bayi dan balita masih jauh di bawah rekomendasi AI. Rata-rata konsumsi serat pada bayi usia 6–11 bulan, 12–23 bulan, dan 24–47 bulan masing-masing hanya sekitar 6 gram, 9 gram, dan 10 gram per hari, sedangkan rekomendasi AI sebesar 19 gram per hari (Dahl & Stewart, 2015).

Klasifikasi Serat Pangan

Serat pangan (dietary fiber) merupakan fraksi karbohidrat non-pati dan lignin yang resisten terhadap pencernaan dan absorpsi di usus halus manusia, serta mengalami fermentasi parsial atau penuh di kolon. Untuk memahami karakteristik fungsionalnya, serat pangan diklasifikasikan dengan berbagai pendekatan, di antaranya yang paling umum adalah berdasarkan kelarutan dalam air, yang memiliki implikasi besar terhadap efek fisiologis dan aplikasi dalam industri pangan (Dai & Chau, 2017; He et al., 2022).

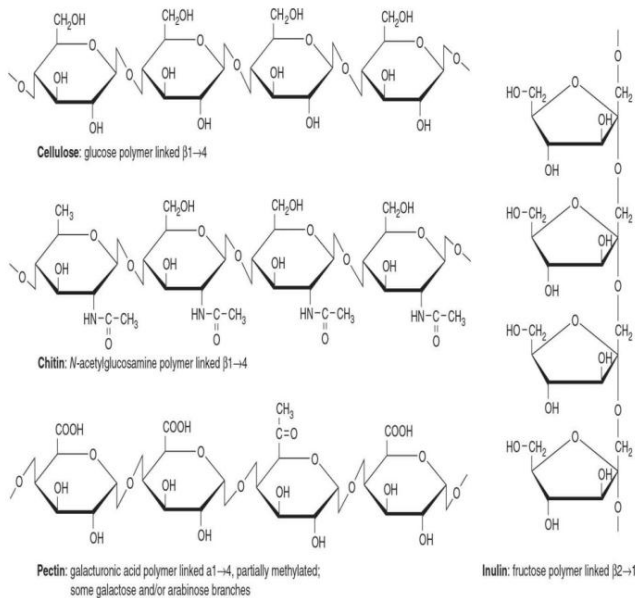
Serat pangan secara umum dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu serat larut air (*soluble dietary fiber*, SDF) dan serat tidak larut air (*insoluble dietary fiber*, IDF). Masing-masing memiliki struktur kimia dan fungsi biologis yang berbeda.

Serat larut dapat larut dalam air membentuk larutan kental atau gel, dan sebagian besar dapat difermentasi oleh mikrobiota usus besar. Sifat viskositas dan fermentabilitas ini berkontribusi terhadap efek kesehatan seperti penurunan kadar glukosa darah postprandial, penurunan kolesterol serum, serta perbaikan profil mikrobiota usus (Dahl & Stewart, 2015; Deehan et al., 2017). Contoh serat larut meliputi:

1. Pektin (dari apel, jeruk, dan sayuran)
2. Inulin dan fruktooligosakarida/FOS (dari chicory root, bawang, pisang)
3. Beta-glukan (dari oat dan barley)
4. Guar gum dan psyllium (digunakan juga sebagai aditif fungsional)

Sebaliknya, serat tidak larut tidak larut dalam air dan tidak bersifat viskos, namun berperan penting dalam mempercepat waktu transit usus, meningkatkan massa feses, dan mencegah konstipasi. Sebagian besar serat ini juga memiliki tingkat fermentabilitas yang rendah (He et al., 2022). Contohnya termasuk:

1. Selulosa (dari sayuran, dedak, dan kacang-kacangan)
2. Hemiselulosa (dari biji-bijian)
3. Lignin (dari bagian kayu dan biji buah)



Gambar 10.1: Struktur beberapa polisakarida nonpati penting
Sumber: (Rodwell et sl., 2017)

Selain kelarutan, serat pangan dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa pendekatan lain:

Daftar Pustaka

- Aleixandre, A., & Miguel, M. (2016). Dietary fiber and blood pressure control. In *Food and Function* (Vol. 7, Issue 4, pp. 1864–1871). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c5fo00950b>
- Capuano, E. (2017). The behavior of dietary fiber in the gastrointestinal tract determines its physiological effect. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3543–3564. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1180501>
- Dahl, W. J., & Stewart, M. L. (2015). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Health Implications of Dietary Fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 115(11), 1861–1870. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.09.003>
- Dai, F. J., & Chau, C. F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. In *Journal of Food and Drug Analysis* (Vol. 25, Issue 1, pp. 37–42). Elsevier Taiwan LLC. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>
- El-Salhy, M., Ystad, S. O., Mazzawi, T., & Gundersen, D. (2017). Dietary fiber in irritable bowel syndrome (Review). In *International Journal of Molecular Medicine* (Vol. 40, Issue 3, pp. 607–613). Spandidos Publications. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2017.3072>
- Fuller, S., Beck, E., Salman, H., & Tapsell, L. (2016). New Horizons for the Study of Dietary Fiber and Health: A Review. In *Plant Foods for Human Nutrition* (Vol. 71, Issue 1). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0529-6>
- He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X., & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.FSHW.2021.07.001>
- Makki, K., Deehan, E. C., Walter, J., & Bäckhed, F. (2018). The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. In

- Cell Host and Microbe* (Vol. 23, Issue 6, pp. 705–715). Cell Press.
<https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>
- Merenkova, S. P., Zinina, O. V., Stuart, M., Okuskhanova, E. K., & Androsova, N. V. (2020). Effects of dietary fiber on human health: A review. *Human Sport Medicine*, 20(3), 106–113.
<https://doi.org/10.14529/HSM200113>
- Rodwell, V. W., Bender, D., Botham, K. M., Kennelly, P. J., & Weil, P. A. (2018). *Harper's Illustrated Biochemistry Thirty-First Edition*. McGraw Hill Professional.
- Soliman, G. A. (2019). Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11(5).
<https://doi.org/10.3390/nu11051155>
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Campbell Biology*.
- Veronese, N., Solmi, M., Caruso, M. G., Giannelli, G., Osella, A. R., Evangelou, E., Maggi, S., Fontana, L., Stubbs, B., & Tzoulaki, I. (2018). Dietary fiber and health outcomes: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. In *American Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 107, Issue 3, pp. 436–444). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqx082>
- Weickert, M. O., & Pfeiffer, A. F. H. (2018). Impact of dietary fiber consumption on insulin resistance and the prevention of type 2 diabetes. *Journal of Nutrition*, 148(1), 7–12.
<https://doi.org/10.1093/jn/nxx008>

PROFIL PENULIS



Aletheia Threskeia, S.Ked., M.Imun., M.Si.

Penulis menamatkan studi kedokterannya di Universitas Airlangga pada tahun 2014. Didorong oleh minat yang besar dalam dunia pendidikan, setelah menyelesaikan S1 Pendidikan Dokter, penulis melanjutkan studi S2 di bidang Imunologi di Fakultas Pasca Sarjana pada tahun 2021. Pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi magister kedua di bidang Biokimia Kedokteran pada Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar di Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga. Penulis merupakan dosen tetap di Departemen Biomedik, Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Petra Surabaya, dengan fokus pengajaran pada mata kuliah Biomolekuler dan Biokimia Kedokteran. Selain mengajar, penulis aktif meneliti dan menulis berbagai topik terkait biomolekuler dan biokimia kedokteran. Ia juga terlibat dalam pengembangan kurikulum dan kegiatan pengabdian masyarakat yang berfokus pada kedokteran berbasis bukti.

Email Penulis: aletheia.threskeia@petra.ac.id



BAB 11

BIOKIMIA KELAPARAN DAN PUASA

dr. Riza Mazidu Sholihin, Sp.U.
Akafarma Sunan Giri Ponorogo



Pendahuluan

Puasa dan kelaparan merupakan kondisi fisiologis yang memicu berbagai perubahan biokimia dalam tubuh manusia. Puasa adalah suatu praktik yang melibatkan pembatasan asupan makanan atau minuman untuk jangka waktu tertentu. Puasa telah dilakukan dengan berbagai alasan, mulai dari diet, kepercayaan agama, hingga pemeriksaan medis. Ketika asupan makanan dan minuman dibatasi atau dihentikan dalam jangka waktu tertentu, tubuh harus beradaptasi dengan mengubah sumber energi yang digunakan untuk mempertahankan fungsi vital dan aktivitas seluler. Pada awalnya, glukosa yang berasal dari karbohidrat adalah sumber energi utama. Namun, ketika cadangan glukosa menipis, tubuh mulai memecah lemak menjadi asam lemak dan keton sebagai sumber bahan bakar alternatif. Proses ini melibatkan berbagai jalur metabolik seperti glukoneogenesis, lipolisis, dan ketogenesis (Hindle & Rosen, 2023; Wang & Wu, 2022).

Selain itu, hormon seperti insulin, glukagon, dan kortisol berperan penting dalam mengatur respons tubuh terhadap kondisi kekurangan nutrisi. Pemahaman tentang mekanisme biokimia selama puasa dan kelaparan sangat penting karena dapat menjelaskan bagaimana tubuh mempertahankan homeostasis dan kesehatan, serta bagaimana puasa dapat memberikan manfaat atau risiko tertentu bagi kesehatan manusia. Studi tentang biokimia puasa juga memberikan wawasan penting dalam bidang medis, terutama dalam pengelolaan penyakit metabolik dan pencegahan komplikasi akibat gangguan nutrisi (Hindle & Rosen, 2023; Karimi et al., 2021).

Metabolisme Tubuh pada Keadaan Tidak puasa

Sumber energi tubuh secara umum berasal dari glukosa. Terdapat tiga jalur metabolik yaitu jalur anabolik dimana jalur ini melibatkan proses sintesis komponen penyusun tubuh seperti sintesis protein, jalur katabolik dimana terjadi proses melepaskan energi bebas seperti pada rantai respirasi dan fosforilasi oksidatif, dan jalur amfibolik yang merupakan perantara dari kedua jalur seperti pada siklus asam sitrat (Longo & Mattson, 2014; Mattson et al., 2016; Wang & Wu, 2022).

menjadi acetoacetyl-CoA oleh enzim tiolase. Acetoacetyl-CoA kemudian bergabung dengan asetil-CoA lain membentuk beta-hidroksi-beta-metilglutaril-CoA (HMG-CoA) oleh enzim HMG-CoA sintetase. HMG-CoA dipecah menjadi asetoasetat, prekursor utama keton. Asetoasetat dapat mengalami dekarboksilasi spontan menjadi aseton atau direduksi menjadi beta-hidroksibutirat oleh enzim D-beta-hidroksibutirat dehidrogenase. Keton-keton ini dilepaskan ke darah dan digunakan sebagai sumber energi oleh jaringan seperti otot dan otak selama periode puasa panjang. Ketogenesis sangat penting untuk menjaga suplai energi terutama saat glukosa terbatas, dan ini merupakan adaptasi metabolik utama tubuh selama puasa atau kelaparan (Hindle & Rosen, 2023; Jensen et al., 2021; Kersten, 2023).

Metabolisme Asam Amino Saat Puasa/Kelaparan

Saat puasa atau kelaparan, tubuh mengalami kekurangan asupan energi dari makanan sehingga mulai memanfaatkan cadangan internal untuk mempertahankan fungsi vital, termasuk produksi glukosa dan energi. Salah satu sumber penting adalah asam amino yang berasal dari pemecahan protein, terutama dari otot rangka (Felig et al., 2021; Hindle & Rosen, 2023).

Asam amino yang dilepaskan selama puasa masuk ke dalam aliran darah dan diangkut ke hati, di mana mereka mengalami proses metabolisme untuk menghasilkan energi dan glukosa baru melalui glukoneogenesis. Proses ini penting karena beberapa jaringan seperti otak dan sel darah merah sangat bergantung pada glukosa sebagai sumber energi. Asam amino glukogenik diubah menjadi senyawa antara siklus Krebs atau piruvat, yang kemudian dapat digunakan untuk menghasilkan glukosa. Contohnya, alanin dan glutamin adalah asam amino yang banyak diubah menjadi piruvat atau senyawa siklus asam sitrat, yang berperan dalam menjaga kadar glukosa darah saat puasa (Felig et al., 2021; Hindle & Rosen, 2023).

Selain itu, ada asam amino ketogenik yang diubah menjadi asetil-KoA atau asetoasetat, molekul yang digunakan dalam produksi keton di hati. Keton ini kemudian menjadi sumber energi alternatif bagi jaringan tubuh saat glukosa mulai menipis. Selama puasa, proses pemecahan protein otot akan meningkat untuk menyediakan asam

amino bagi glukoneogenesis. Namun, tubuh berusaha meminimalkan kehilangan massa otot dengan berbagai mekanisme hormonal, seperti penurunan kadar insulin dan peningkatan hormon pertumbuhan dan kortisol. Metabolisme asam amino saat puasa juga melibatkan pembentukan urea sebagai produk limbah dari pemecahan nitrogen dalam asam amino. Urea kemudian dikeluarkan melalui ginjal (Felig et al., 2021; Hindle & Rosen, 2023).

Daftar Pustaka

- Browning, J. D., Baxter, J., Satapati, S., & Burgess, S. C. (2012). The effect of short-term fasting on liver and skeletal muscle lipid, glucose, and energy metabolism in healthy women and men. *Journal of Lipid Research*, 53(3), 577. <https://doi.org/10.1194/JLR.P020867>
- Dai, Z., Zhang, H., Sui, X., Wu, F., Zhang, C., Fan, Z., Wang, H., Guo, Y., Yang, C., Jiang, S., Wang, L., Xin, B., & Li, Y. (2024). Analysis of physiological and biochemical changes and metabolic shifts during 21-Day fasting hypometabolism. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/S41598-024-80049-2>;SUBJMETA=163,2743,2814,319,443,631,692,700;KWRD=ENDOCRINE+SYSTEM+AND+METABOLIC+DISEASES,METABOLISM, NUTRITION
- Felig, P., Owen, O. E., Wahren, J., & Cahill, G. F. (2021). Amino acid metabolism during prolonged starvation. *The Journal of Clinical Investigation*, 48(3), 584–594. <https://doi.org/10.1172/JCI106017>,
- Hindle, A., & Rosen, D. (2023). Physiology, Fasting. *Physiology of Marine Mammals: Adaptations to the Ocean*, 231–253. <https://doi.org/10.1201/9781003297468-11>
- Jensen, M. D., Ekberg, K., & Landau, B. R. (2021). Lipid metabolism during fasting. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 281(4), 44–49. <https://doi.org/10.1152/AJPENDO.2001.281.4.E789>,
- Karimi, R., Cleven, A., Elbarbry, F., & Hoang, H. (2021). The Impact of Fasting on Major Metabolic Pathways of Macronutrients and Pharmacokinetics Steps of Drugs. *European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics*, 46(1), 25–39. <https://doi.org/10.1007/S13318-020-00656-Y>,
- Kersten, S. (2023). The impact of fasting on adipose tissue metabolism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1868(3), 159262.

<https://doi.org/10.1016/J.BBALIP.2022.159262>

Longo, V. D., & Mattson, M. P. (2014). Fasting: Molecular Mechanisms and Clinical Applications. *Cell Metabolism*, 19(2), 181. <https://doi.org/10.1016/J.CMET.2013.12.008>

Mattson, M. P., Longo, V. D., & Harvie, M. (2016). Impact of intermittent fasting on health and disease processes. *Ageing Research Reviews*, 39, 46. <https://doi.org/10.1016/J.ARR.2016.10.005>

Nakrani, M. N., Wineland, R. H., & Anjum, F. (2023). Physiology, Glucose Metabolism. *StatPearls*.

Pharmacy180. (2022). *Brain in Fasting - The Feed-Fast Cycle*. Biochemistry. <https://www.pharmacy180.com/article/brain-in-fasting-1977/>

Tripolt, N. J., Stekovic, S., Jasmin, & Aberer, F. (2018). Glucose Metabolism after Overnight and Prolonged Fasting in Healthy Subjects. *Diabetes*, 67(Supplement_1). <https://doi.org/10.2337/DB18-1821-P>

Wang, Y., & Wu, R. (2022). The Effect of Fasting on Human Metabolism and Psychological Health. *Disease Markers*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5653739>

PROFIL PENULIS



dr. Riza Mazidu Sholihin, Sp.U.

Penulis menempuh pendidikan dasar sampai SMA di Ponorogo. Kemudian mengambil jurusan pendidikan Dokter dan spesialis Urologi di FK Unair lulus tahun 2018. Saat ini menjadi pengajar di Akademi Farmasi dan Makanan (AKAFARMA) Sunan Giri Ponorogo dan Dokter pendidik Klinis di RSUD Dr Harjono Ponorogo. Selain itu penulis juga bekerja di RSU Muslimat Ponorogo dan aktif di kegiatan sosial bersama LKNU dan Banser Husada.



BAB 12

BIOKIMIA PANGAN: TEKNOLOGI DAN KEAMANANNYA

Riska Melanie, S.T., M.Si.
PT TUV Rheinland Indonesia



Pendahuluan

Perkembangan teknologi pangan telah membawa perubahan signifikan dalam industri makanan, mulai dari produksi hingga konsumsi. Dalam konteks ini, biokimia pangan memainkan peran penting dalam memahami komposisi, reaksi kimia, dan perubahan nutrisi selama pengolahan makanan. Integrasi antara biokimia pangan dan teknologi pangan memungkinkan pengembangan produk makanan yang lebih aman, bergizi, dan tahan lama. Namun, keamanan penerapan teknologi pangan sering menjadi pertanyaan, terutama terkait dampaknya terhadap kesehatan manusia. Bab ini akan membahas definisi biokimia pangan dan teknologi pangan, hubungan keduanya, manfaat penerapan teknologi pangan, keamanannya, serta contoh keberhasilan implementasinya dalam industri dan kehidupan sehari-hari.

Definisi Biokimia Pangan

Berikut adalah beberapa definisi biokimia pangan:

1. Biokimia pangan adalah cabang ilmu yang mempelajari komposisi kimia makanan, reaksi biokimia yang terjadi selama pengolahan, penyimpanan, dan pencernaan, serta dampaknya terhadap nilai gizi dan keamanan pangan (Belitz, dkk., 2009). Fokus utama biokimia pangan meliputi:
 - a. Komponen Makronutrien (karbohidrat, protein, lemak) dan mikronutrien (vitamin, mineral).
 - b. Reaksi Enzimatis seperti hidrolisis, oksidasi, dan fermentasi.
 - c. Perubahan Kimia selama Pengolahan seperti reaksi Maillard, denaturasi protein, dan oksidasi lemak.
2. Biokimia Pangan adalah studi tentang komposisi kimia bahan pangan, reaksi-reaksi biokimia selama pengolahan, serta metabolisme nutrisi dalam tubuh manusia (Simpson, B.K., 2019).
3. Biokimia Pangan merupakan ilmu yang mempelajari struktur, sifat, dan transformasi senyawa bioaktif dalam makanan serta interaksinya dengan sistem biologis (Damodaran, S., 2020).
4. Biokimia Pangan mencakup penelitian tentang enzim pangan, perubahan biokimia selama penyimpanan, dan pengaruh proses pengolahan terhadap nilai gizi (Eskin, N.A.M., 2021).

b. Keamanan Kimiawi. Beberapa teknologi berisiko menghasilkan senyawa berbahaya:

- 1) Akrilamida, terbentuk saat pemanasan tinggi (keripik, kopi).
- 2) *Heterocyclic Amines* (HCAs), terbentuk ketika daging yang dipanggang berlebih.
- 3) Residu Pestisida dan Antibiotik pada produk pertanian dan peternakan.

Solusi: Optimasi Proses (suhu & waktu pengolahan), Deteksi Cepat (biosensor untuk kontaminan kimia), Bahan Pengemasan *Food-Grade* (hindari migrasi BPA).

c. Keamanan Nutrisi. Teknologi pengolahan dapat mengurangi nilai gizi: Hilangnya Vitamin (misalnya: vitamin C saat pemanasan), Denaturasi Protein (perubahan struktur dan alergenitas), Oksidasi Lemak (memicu radikal bebas). Solusi: *Minimal Processing* (HPP, *freeze-drying*) dan Fortifikasi Pasca-Proses (penambahan vitamin setelah pengolahan).

2. Tantangan Utama dalam Penerapan Teknologi Pangan

- a. Tantangan Teknis, misalnya: teknologi laboratorium yang sulit diaplikasikan secara massal, penggunaan HPP dan PEF yang memerlukan investasi besar, proses pengeringan dan sterilisasi yang boros energi.
- b. Tantangan Regulasi, misalnya: standar keamanan pangan yang berbeda (FDA vs. EFSA vs. BPOM), klaim kesehatan yang tidak terbukti (contohnya adalah probiotik tanpa uji klinis), labelisasi produk rekayasa genetik yang menimbulkan pro dan kontra di berbagai negara.
- c. Tantangan Sosial dan Konsumen, misalnya: penolakan terhadap makanan olahan (tren "*clean label*"), kekhawatiran akan GMO & nanoteknologi, literasi gizi yang rendah.

Masa Depan: Teknologi Pangan yang Lebih Aman dan Berkelanjutan

1. Tren Teknologi *Emerging: Blockchain* untuk *Traceability*. *3D Food Printing*, dan AI dalam *Quality Control*.
2. Pendekatan *One Health*, integrasi keamanan pangan dengan:

- a. Kesehatan hewan, misalnya terkait penggunaan dosis antibiotik pada hewan ternak.
- b. Lingkungan, misalnya melalui pengurangan limbah plastik.
- c. Manusia, misalnya melalui edukasi gizi berkelanjutan.

Integrasi biokimia pangan dan teknologi pangan telah menghasilkan inovasi yang meningkatkan keamanan, nutrisi, dan keberlanjutan makanan. Meskipun ada kekhawatiran tentang keamanan, regulasi dan penelitian terus memastikan bahwa teknologi pangan yang digunakan aman bagi konsumen. Dengan perkembangan lebih lanjut, teknologi pangan akan terus memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan global.

Daftar Pustaka

- Balasubramaniam, V. M., Martínez-Monteagudo, S. I., & Gupta, R. (2015). *Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry*. Annual Review of Food Science and Technology, 6, 435-462.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed.). Springer.
- Coultate, T.P. (2023). *Food: The Chemistry of its Components*, 7th ed. Royal Society of Chemistry.
- Damodaran, S. (2020). *Fennema's Food Chemistry*. 5th ed. CRC Press.
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). CRC Press.
- Eskin, N.A.M. (2021). *Biochemistry of Foods*. 3rd ed. Academic Press
- Farber, J. N., et al. (2019). *Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmosphere Packaging*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(1), 34-61.
- Fellows, P. J. (2017). *Food Processing Technology: Principles and Practice* (4th ed.). Woodhead Publishing.
- Fellows, P.J. (2022). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. 5th ed. Woodhead Publishing.
- Fennema, O. R. (2017). *Food Chemistry* (5th ed.). CRC Press.
- Gibson, G. R., et al. (2017). *Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics*. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology.
- Heldman, D.R. & Lund, D.B. (2020). *Handbook of Food Engineering*. 3rd ed. CRC Press
- Hill, C., et al. (2014). *Expert Consensus Document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic*. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology.

- Huang, H. W., Wu, S. J., Lu, J. K., Shyu, Y. T., & Wang, C. Y. (2017). *Current status and future trends of high-pressure processing in food industry*. Food Control, 72, 1-8.
- Jagtap, S. et al. (2022). *"Digital twin technology in food supply chains"*. Food Control, 133: 108587.
- Misra, N.N. et al. (2021). *"Emerging technologies for sustainable food processing"*. Trends in Food Science & Technology, 109: 417-430.
- Simpson, B.K. (2019). *Food Biochemistry and Food Processing*. Wiley-Blackwell.
- Singh, R.P. & Heldman, D.R. (2021). *Introduction to Food Engineering*. 6th ed. Academic Press.
- Velíšek, J. (2022). *The Chemistry of Food*. 2nd ed. Wiley.

PROFIL PENULIS



Riska Melanie, S.T., M.Si.

Penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di Sekolah Menengah Kejuruan yang berada di bawah Kementerian Perindustrian yaitu Sekolah Menengah Analis Kimia Bogor (SMAK Bogor) pada tahun 1999. Penulis kemudian bekerja di sebuah perusahaan manufaktur kabel optik sebagai staf Sistem Manajemen Mutu sambil melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di Prodi Teknik Kimia Universitas Jayabaya di Jakarta pada tahun 2005 dengan predikat *cum laude*. Setelah menyelesaikan studi S1 penulis bekerja di berbagai perusahaan multinasional yang bergerak di bidang manufaktur maupun bidang jasa, pada tahun 2010 penulis melanjutkan studi S2 di prodi Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Indonesia dan berhasil lulus dengan predikat *cum laude* pada tahun 2012.

Penulis memiliki kepakaran di bidang sistem manajemen mutu, sistem manajemen lingkungan, sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja. Penulis memiliki lebih dari 15 tahun pengalaman bekerja dan sejak tahun 2008 penulis bekerja di Lembaga Sertifikasi. Selain bekerja di industri, penulis pernah menjadi dosen tamu di Prodi Teknik Lingkungan dan Prodi Teknik Industri Universitas Sahid Jakarta pada semester genap tahun 2013. Penulis juga aktif menulis untuk memberikan kontribusi positif bagi masyarakat luas, salah satunya adalah beberapa kali menulis *blog* untuk PT TUV Rheinland Indonesia yang diterbitkan di website insights.tuv.com.

Email Penulis: ris.melanie@gmail.com.



BAB 13

BIOMARKER STATUS

GIZI

Megah Stefani, S.Gz., M.Si.
Universitas Sahid



Pendahuluan

Biomarker merupakan penilaian terhadap status gizi secara langsung dibandingkan dengan asupan makanan. Secara umum, biomarker gizi adalah suatu karakteristik yang dapat diukur secara objektif dan dapat digunakan sebagai indikator status gizi terkait dengan asupan gizi dan metabolisme zat gizi (Potischman, 2003). Status gizi akan mencerminkan kebutuhan fisiologis individu terhadap zat gizi yang dipenuhi pada setiap tahapan daur kehidupan. Ketika asupan zat gizi terpenuhi sesuai dengan kebutuhan harian dan proses metabolisme tubuh berlangsung secara normal maka individu tersebut akan memiliki status gizi yang optimal. Status gizi yang optimal ini mendukung proses pertumbuhan, perkembangan, pergantian sel atau jaringan yang sesuai, serta aspek kesehatan secara keseluruhan (Picó et al., 2019).

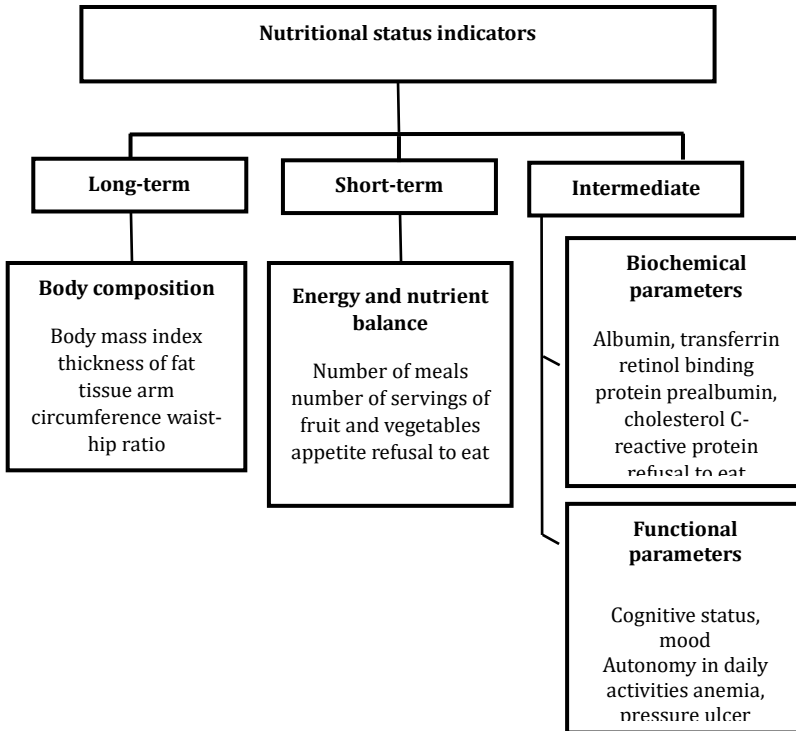
Kemampuan untuk menilai peran status gizi terhadap tubuh individu bergantung pada ketersediaan biomarker yang akurat dan valid, yang mencerminkan paparan zat gizi, status gizi, dan efek biologisnya. Biomarker gizi dapat dinilai menggunakan beberapa indikator sebagai berikut; biokimia, fungsional, atau klinis dari asupan, status, atau efek fungsional zat gizi. Indikator tersebut dapat memberikan informasi mengenai respons biologis atau fisiologis terhadap perilaku konsumsi makan atau proses patologis, serta dapat digunakan untuk memantau respons terhadap intervensi terapeutik dan memberikan informasi tentang variasi respons antar individu terhadap pola makan dan asupan gizi (Combs et al., 2013).

Biomarker Gizi

Biomarker gizi merupakan indikator biokimia jangka pendek atau jangka panjang dari status gizi dan/atau asupan makanan, yang berhubungan dengan komponen metabolisme zat gizi atau penentuan faktor biologis dari asupan makanan. Biomarker biokimia yang diukur secara objektif dari asupan zat gizi menggunakan spesimen serum, plasma, urin, dan feses digunakan untuk menilai hubungan diet dengan kejadian penyakit secara konsisten (Zheng & Tako, 2024).

Biomarker biokimia menggunakan peredaran dan penyimpanan zat gizi telah banyak digunakan dalam praktik klinis, tetapi, memiliki

biomarker laboratorium dalam darah (Račić et al., 2015). Terlampir pada Gambar 13.1. Definisi indikator status gizi di bawah ini.



Gambar 13.1: Definisi Indikator Status Gizi

Sumber: Račić et al., (2015)

1. Biomarker Biokimia

Analisis biokimia dari zat hasil metabolisme tubuh menunjukkan penanda standar nilai bioavibilitas zat gizi yang merupakan hasil objektif untuk menilai status gizi, yang lebih akurat secara metodologis untuk mendeteksi kondisi kekurangan zat gizi secara lebih valid dibandingkan dengan penilaian pola makan. Biomarker tersebut dinilai berdasarkan perubahan mencolok yang diamati dalam satu parameter. Biomarker tersebut juga berguna secara klinis, terutama untuk mendeteksi kekurangan zat gizi guna mendukung pengobatan terhadap suatu kejadian penyakit tertentu (Picó et al., 2019). Misalnya, analisis terhadap asam folat, zat besi,

pada subjek yang berisiko tinggi mengalami malgizi, terutama pada pria (Kvamme et al., 2015).

Penilaian status seng memiliki masalah karena hanya sebagian kecil seng tubuh yang beredar, dan sebagian besar seng serum terikat pada albumin. Oleh karena itu, defisiensi albumin membuat interpretasi kadar seng serum menjadi sulit. Studi uji coba terkontrol secara acak pada anak-anak dengan malgizi energi protein dan defisiensi seng menunjukkan manfaat penggantian seng (Makonnen et al., 2003). Kemungkinan defisiensi seng pada subjek yang berisiko mengalami malgizi masih sering tidak terdeteksi.

Daftar Pustaka

- Acar, S., Çatli, G., Küme, T., Tuhan, H., Gürsoy Çalan, Ö., Demir, K., Böber, E., & Abaci, A. (2018). Increased concentrations of serum nesfatin-1 levels in childhood with idiopathic chronic malnutrition. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 48(2), 378–385. <https://doi.org/10.3906/sag-1705-20>
- Beck, F. K., & Rosenthal, T. C. (2002). Prealbumin: A marker for nutritional evaluation. *American Family Physician*, 65(8), 1575–1578.
- Beckmann, M., Joosen, A. M., Clarke, M. M., Mugridge, O., Frost, G., Engel, B., Taillart, K., Lloyd, A. J., Draper, J., & Lodge, J. K. (2016). Changes in the human plasma and urinary metabolome associated with acute dietary exposure to sucrose and the identification of potential biomarkers of sucrose intake. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(2), 444–457. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500495>
- Bingham, S. A. (2002). Biomarkers in nutritional epidemiology. *Public Health Nutrition*, 5(6a), 821–827. <https://doi.org/10.1079/phn2002368>
- Cabrerizo, S., Cuadras, D., Gomez-Busto, F., Artaza-Artabe, I., Marín-Ciancas, F., & Malafarina, V. (2015). Serum albumin and health in older people: Review and meta analysis. *Maturitas*, 81(1), 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2015.02.009>
- Campillo, B., Paillaud, E., Bories, P. N., Noel, M., Porquet, D., & Le Parco, J. C. (2000). Serum levels of insulin-like growth factor-1 in the three months following surgery for a hip fracture in elderly: relationship with nutritional status and inflammatory reaction. *Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 19(5), 349–354. <https://doi.org/10.1054/clnu.2000.0124>
- Chan, L. N., & Mike, L. A. (2014). The science and practice of micronutrient supplementations in nutritional anemia: An evidence-based review. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 38(6), 656–672. <https://doi.org/10.1177/0148607114533726>

- Combs, G. F. (2015). Biomarkers of selenium status. *Nutrients*, 7(4), 2209–2236. <https://doi.org/10.3390/nu7042209>
- Combs, G. F., Trumbo, P. R., Mckinley, M. C., Milner, J., Studenski, S., Kimura, T., Watkins, S. M., & Raiten, D. J. (2013). Biomarkers in nutrition: New frontiers in research and application. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1278(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/nyas.12069>
- Corella, D., & Ordovás, J. M. (2015). Biomarcadores: Antecedentes, Clasificación y guía para su aplicación en epidemiología nutricional. *Nutricion Hospitalaria*, 31, 177–188. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8765>
- Gao, Q., Praticò, G., Scalbert, A., Vergères, G., Kolehmainen, M., Manach, C., Brennan, L., Afman, L. A., Wishart, D. S., Andres-Lacueva, C., Garcia-Aloy, M., Verhagen, H., Feskens, E. J. M., & Dragsted, L. O. (2017). A scheme for a flexible classification of dietary and health biomarkers. *Genes and Nutrition*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12263-017-0587-x>
- Gibson, R. S. (2005). *Measuring food composition in individuals In: Principles of Nutritional Assessment* (Gibson, R.). Oxford University Press.
- Jensen, G. L. (2015). Malnutrition and inflammation - “burning down the house”: Inflammation as an adaptive physiologic response versus self-destruction? *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 39(1), 56–62. <https://doi.org/10.1177/0148607114529597>
- Jones, K. S., Meadows, S. R., & Koulman, A. (2023). Quantification and reporting of vitamin D concentrations measured in human milk by LC-MS/MS. *Frontiers in Nutrition*, 10(November), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1229445>
- Keller, U. (2019). Nutritional laboratory markers in malnutrition. *Journal of Clinical Medicine*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/jcm8060775>
- Kvamme, J. M., Grønli, O., Jacobsen, B. K., & Florholmen, J. (2015). Risk of malnutrition and zinc deficiency in community-living elderly men and women: The Tromsø Study. *Public Health Nutrition*,

- 18(11), 1907–1913.
<https://doi.org/10.1017/S1368980014002420>
- Liu, Y. P., He, R. X., Chen, Z. H., Kang, L. L., Song, J. Q., Liu, Y., Shi, C. Y., Chen, J. Y., Dong, H., Zhang, Y., Li, M. Q., Jin, Y., Qin, J., & Yang, Y. L. (2023). Case report: An asymptomatic mother with an inborn error of cobalamin metabolism (cblC) detected through high homocysteine levels during prenatal diagnosis. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1124387>
- Livingstone, C. (2013). Insulin-like growth factor-I (IGF-I) and clinical nutrition. *Clinical Science (London, England : 1979)*, 125(6), 265–280. <https://doi.org/10.1042/CS20120663>
- Makonnen, B., Venter, A., & Joubert, G. (2003). A randomized controlled study of the impact of dietary zinc supplementation in the management of children with protein-energy malnutrition in Lesotho. II: Special investigations. *Journal of Tropical Pediatrics*, 49(6), 353–360. <https://doi.org/10.1093/tropej/49.6.353>
- Marcellini, F., Giuli, C., Papa, R., Gagliardi, C., Dedoussis, G., Herbein, G., Fulop, T., Monti, D., Rink, L., Jajte, J., & Mocchegiani, E. (2006). Zinc status, psychological and nutritional assessment in old people recruited in five European countries: Zincage study. *Biogerontology*, 7(5–6), 339–345. <https://doi.org/10.1007/s10522-006-9048-4>
- Mason, J. B. (2003). Biomarkers of nutrient exposure and status in one-carbon (methyl) metabolism. *Journal of Nutrition*, 133(3 SUPPL.), 941S–947S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.3.941s>
- Mueller, C., Compher, C., & Ellen, D. M. (2011). ASPEN Nutritional screening. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 35(1), 16–24.
- Picó, C., Serra, F., Rodríguez, A. M., Keijer, J., & Palou, A. (2019). Biomarkers of nutrition and health: New tools for new approaches. *Nutrients*, 11(5), 1–30. <https://doi.org/10.3390/nu11051092>
- Potischman, N. (2003). Biologic and methodologic issues for nutritional biomarkers. *Journal of Nutrition*, 133(3 SUPPL.), 875S–880S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.3.875s>

- Rachakonda, V., Borhani, A. A., Dunn, M. A., Andrzejewski, M., Martin, K., & Behari, J. (2016). Serum leptin is α biomarker of malnutrition in decompensated cirrhosis. *PLoS ONE*, 11(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159142>
- Račić, M., Ivković, N., & Kusmuk, S. (2015). Screening of nutritional status among elderly people at family medicine. *Acta Medica Croatica: Casopis Hrvatske Akademije Medicinskih Znanosti*, 69(4), 347–356.
- Ross, A. B., Bourgeois, A., Macharia, H. N. u., Kochhar, S., Jebb, S. A., Brownlee, I. A., & Seal, C. J. (2012). Plasma alkylresorcinols as a biomarker of whole-grain food consumption in a large population: Results from the WHOLEheart Intervention Study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 95(1), 204–211. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.008508>
- Sri Harsha, P. S. C., Wahab, R. A., Garcia-Aloy, M., Madrid-Gambin, F., Estruel-Amades, S., Watzl, B., Andrés-Lacueva, C., & Brennan, L. (2018). Biomarkers of legume intake in human intervention and observational studies: A systematic review. *Genes and Nutrition*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12263-018-0614-6>
- Tuerk, M. J., & Fazel, N. (2009). Zinc deficiency. *Current Opinion in Gastroenterology*, 25(2), 136–143. <https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e328321b395>
- Woodside, J. V., Draper, J., Lloyd, A., & McKinley, M. C. (2017). Use of biomarkers to assess fruit and vegetable intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, 76(3), 308–315. <https://doi.org/10.1017/S0029665117000325>
- Zhang, Y., Dai, R., Huang, Y., Prentice, R. L., & Zheng, C. (2023). Regression calibration utilizing biomarkers developed from high-dimensional metabolites. *Frontiers in Nutrition*, 10(5). <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1215768>
- Zheng, C., & Tako, E. (2024). Editorial: Biochemical biomarkers of nutritional status. *Frontiers in Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1397071>

PROFIL PENULIS



Megah Stefani, S.Gz., M.Si.

Penulis merupakan seorang Dosen, Peneliti, Ahli Gizi, yang memiliki ketertarikan pada bidang Gizi Masyarakat. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Ilmu Gizi di IPB University, Bogor pada tahun 2012 dan pendidikan S2 di Departemen Gizi Masyarakat, IPB University pada tahun 2015. Sejak tahun 2018 hingga saat ini penulis aktif sebagai Dosen Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Teknologi Pangan dan Kesehatan, Universitas Sahid, Jakarta. Penulis merupakan Dosen Pengampu untuk Mata Kuliah Dasar Ilmu Gizi, Gizi Dalam Daur Kehidupan, Penilaian Status Gizi, Pendidikan Gizi, Konsultasi Gizi, Metode Penelitian Gizi, dan Asuhan Gizi Ibu Hamil & Ibu Menyusui.

Penulis juga merupakan seorang peneliti yang telah mempublikasikan studinya dalam berbagai jurnal dan tahun 2025, berkolaborasi menulis publikasi berjudul ***“The role of micro-ribonucleic acid and small interfering-ribonucleic acid in precision nutrition for obesity management”*** pada jurnal Clinical Nutrition ESPEN. Penulis juga pernah lolos Hibah Kompetitif Dosen Nasional dari Kemendikbudristek untuk Program Penelitian yaitu Peneliti Dosen Pemula (PDP) tahun 2023. Penulis mendapatkan penghargaan sebagai **“Best Paper”** The 6th International Conference and Community Development (ICCD) 2024 di Binus University, Jakarta, Indonesia.

Email : stefanigultom@gmail.com



BAB 14

METABOLISME

ALKOHOL DAN

DAMPAKNYA

Ns. Aprillia Veranita, S.Kep., M.Kep., Sp. Kep, M.B.



Pendahuluan

Minum alkohol secara berlebihan dapat menyebabkan orang berisiko mengalami berbagai konsekuensi kesehatan yang merugikan, termasuk gangguan penggunaan alkohol, kerusakan hati, dan berbagai kanker (Matsui *et al.*, 2025). Namun, beberapa orang tampaknya memiliki risiko yang lebih tinggi daripada yang lain dalam menghadapi masalah ini. Apa yang menyebabkan beberapa orang mengonsumsi alkohol lebih banyak dibandingkan yang lain? Dan mengapa hal ini bisa terjadi? dan mengapa beberapa orang yang minum alkohol mengalami masalah, sedangkan yang lain tidak? (NIAAA, 2022).

Tubuh mengeluarkan alkohol melalui serangkaian proses metabolisme di hati dan organ lainnya. Terdapat enzim-enzim kunci yang berperan dalam hal ini yaitu *aldehyde dehydrogenase* (ALDH), *alcohol dehydrogenase* (ADH), *cytochrome P450 2E1* (CYP2E1). Sitokrom P450 merupakan enzim yang memproses alkohol. Enzim sitokrom P450 2E1 (CYP2E1) dan katalase juga memecah alkohol menjadi asetaldehida. Akan tetapi, CYP2E1 hanya aktif setelah seseorang mengonsumsi alkohol dalam jumlah besar, hanya memetabolisme sebagian kecil alkohol dalam tubuh (Edenberg, 2007), dan katalase. Proses ini akan menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS). Pembentukan asetaldehida dapat menyebabkan kerusakan pada sel dan jaringan (Cederbaum, 2012);(Teschke, 2018).

Faktor Genetik

Metabolisme alkohol dikendalikan oleh faktor genetik, seperti variasi enzim yang memecah alkohol, dan faktor lingkungan, seperti jumlah alkohol yang dikonsumsi seseorang dan nutrisi keseluruhannya. Hasil penelitian (Nishikawa, 2024) melaporkan bahwa genetika memainkan peran penting dalam perkembangan alkoholisme antara 40% hingga 60%. Beberapa gen yang terlibat dalam alkoholisme memengaruhi fungsi neurotransmitter, pembawa pesan kimiawi di otak. Misalnya, variasi gen yang mengkode reseptor untuk neurotransmitter seperti dopamin, serotonin, dan *Asam Gamma Aminobutyric* (GABA) dapat memengaruhi respons seseorang terhadap alkohol dan membuat mereka rentan terhadap

2. Alat Pengukur BAC

Kandungan alkohol dalam darah (BAC) dapat diukur dengan breathalyzer, biosensor yang dapat dikenakan, atau tes darah.



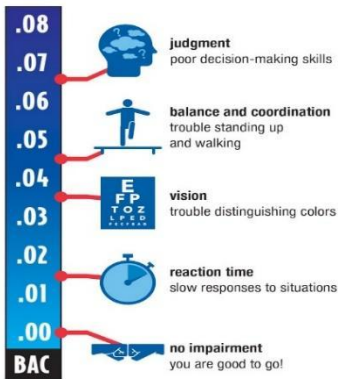
Gambar 14.3:
Blood Test for BAC

Sumber:
(Boat-Ed, 2025)
Ada pula BAC *Saliva test*, BAC *Urine Test*



Gambar 14.4:
BAC Breath Test

Sumber:
(Getty, 2025)



Gambar 14.5: Blood Alcohol Concentration

Sumber: (Boat-Ed, 2025)

Berikut ini adalah contoh aktivitas seseorang dibandingkan dengan tingkat BAC-nya;

Tabel 14.2: Waktu, Aktivitas dan Tingkat BAC

Waktu	Aktivitas	Level BAC
02.00 pagi	Di tempat tidur, pusing dan bingung	.200
03:00 pagi	Mual, tidak bisa tidur	.185
04:00 pagi	Sangat gelisah	.170
05.00 pagi	Tidur, tapi tidak nyenyak	.155
06.00 pagi	Tidur	.140
07:00 pagi	Bangun tidur ke sekolah dengan sakit kepala	.125
08.00 pagi	Berkendara ke sekolah, berisiko mengemudi dalam keadaan mabuk atau lebih buruk lagi	.110
09:00 pagi	Di kelas, kesulitan fokus pada ceramah	.095
10:00 pagi	Penilaian masih terganggu	.080
11:00 pagi	Pikiran masih berkabut, merasa lelah	.065
12:00 siang	Tidak lapar	.050
13.00 siang	Di kelas sore, masih belum fokus	.035
14.00 siang	Pembersihan kepala	.020

Waktu	Aktivitas	Level BAC
15.00 siang	Merasa sedikit lebih baik	.005
16.00 siang	Akhirnya sadar, tapi belum pulih sepenuhnya	.000

Level BAC Normal: 0,0%

Sumber : (BGSU, 2019)

Bagaimana Cara Mempercepat Pengeluaran Alkohol? Setelah alkohol masuk ke dalam sistem peredaran darah, proses pengeluarannya hanya dapat dilakukan melalui enzim alkohol dehidrogenase, keringat, urine, dan pernapasan. Meskipun banyak orang berpikir bahwa mengonsumsi air atau tidur bisa membantu, kedua cara ini tidak akan mempercepat pengeluaran alkohol dari tubuh. Begitu pula, mengonsumsi kopi, minuman berkafein, atau berendam dalam air dingin tidak akan mengeluarkan alkohol. (ABC, 2025). Sebuah pusat kesehatan dan kebugaran (Precision Performance Coaching, 2025) menjelaskan bahwa vitamin B (B-1, B-3, dan B-6) dapat membantu pemecahan etanol di hati.

Daftar Pustaka

- ABC (2025) *Alcohol Facts*. State of California. Tersedia pada: [https://www.abc.ca.gov/education/licensee-education/alcohol-facts/#:~:text=Allowing the liver enough time,an hour per standard drink\).](https://www.abc.ca.gov/education/licensee-education/alcohol-facts/#:~:text=Allowing the liver enough time,an hour per standard drink).)
- BGSU (2019) "Alcohol Metabolism," *Bowling Green State University*, Oktober. Tersedia pada: <https://www.bgsu.edu/recwell/wellness-connection/alcohol-education/alcohol-metabolism.html>.
- Cancer Research UK (2023) *How does alcohol cause cancer?*, *Cancer research UK*. England. Tersedia pada: <https://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/causes-of-cancer/alcohol-and-cancer/how-does-alcohol-cause-cancer>.
- Chen, T.H. *et al.* (2024) "Mitochondrial Glutathione in Cellular Redox Homeostasis and Disease Manifestation," *International Journal of Molecular Sciences*, 25(2). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/ijms25021314>.
- Covarrubias, A.J. *et al.* (2021) "NAD⁺ metabolism and its roles in cellular processes during ageing," *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 22(2), hal. 119–141. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1038/s41580-020-00313-x>.
- Gu, M. *et al.* (2021) "Alcohol-Associated Intestinal Dysbiosis Alters MucosalAssociated Invariant T-Cell Phenotype and Function," *Alcohol Clin Exp Res*, 45(5), hal. 934–947. Tersedia pada: <https://doi.org/doi:10.1111/acer.14589>.
- Heerden, K. van (2023) *The connection between alcohol and brain health*. Tersedia pada: <https://www.fivelives.health/fr/post/connection-alcohol-brain-health>.
- Maffei, V.J. *et al.* (2020) "Lifetime alcohol use among persons living with HIV is associated with frailty," *Aids*, 34(2), hal. 245–254. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1097/QAD.0000000000002426>.

- Matsui, M. *et al.* (2025) "Impact of Alcohol Intake on Skeletal Muscle: A Large Cross-Sectional Analysis in Japanese Adults," *Nutrients*, 17(5), hal. 1–11. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/nu17050894>.
- Molina, P.E. *et al.* (2014) "Alcohol abuse: Critical pathophysiological processes and contribution to disease burden," *Physiology*, 29(3), hal. 203–215. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1152/physiol.00055.2013>.
- NIAAA (2022) *Alcohol's Effects on Health*. USA. Tersedia pada: <https://www.niaaa.nih.gov/publications/alcohol-metabolism#:~:text=First%2C%20ADH%20metabolizes%20alcohol%20to%20a%20toxic%20substance%20and%20known%20carcinogen.&text=Then%2C%20acetaldehyde%20is%20further%20metabolized%20to%20carbon%20dioxide%20for%20easy%20elimination.>
- NIH (2024) *Alcohol's Effects on Health*. USA. Tersedia pada: <https://www.niaaa.nih.gov/alcohols-effects-health/alcohols-effects-body>.
- Nishikawa, H. (2024) "Alcoholism Genetics: A Genetic Predisposition and Environmental Factors," *Journal of Alcoholism & Drug Dependence*, 12(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.35248/2329-6488.24.12.412>.
- Precision Performance Coaching (2025) "Alcohol: Friend or Foe?," *Precision Performance Coaching*. Tersedia pada: <https://precisionperformancecoaching.com/alcohol-friend-or-foe/>.
- Shukla, P.K. *et al.* (2021) "Chronic stress and corticosterone exacerbate alcohol-induced tissue injury in the gut-liver-brain axis," *Scientific Reports*, 11(1), hal. 1–18. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80637-y>.
- Simon, L., Edwards, S. dan Molina, P.E. (2022) "Pathophysiological Consequences of At-Risk Alcohol Use; Implications for Comorbidity Risk in Persons Living With Human Immunodeficiency Virus," *Frontiers in Physiology*, 12(January), hal. 1–18. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.758230>.

- Teschke, R. (2018) "Alcoholic liver disease: Alcohol metabolism, cascade of molecular mechanisms, cellular targets, and clinical aspects," *Biomedicines*, 6(4). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/biomedicines6040106>.
- UPH (2024) *What Are the Long-Term Effects of Alcohol on Your Body?* Des Moines, Iowa. Tersedia pada: <https://www.unitypoint.org/news-and-articles/effects-of-alcohol-on-your-body>.
- White, A.T. dan Schenk, S. (2012) "NAD⁺/NADH and skeletal muscle mitochondrial adaptations to exercise," *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 303(3), hal. 308–321. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00054.2012>.
- Zakhari, S. (2006) "Overview: How is alcohol metabolized by the body?," *Alcohol Research and Health*, 29(4), hal. 245–254.

PROFIL PENULIS



Ns. Aprillia Veranita, S.Kep., M.Kep., Sp.Kep.M.B.

Penulis menyelesaikan pendidikan Spesialis Keperawatan Medikal Bedah di Universitas Indonesia dan berhasil lulus tahun 2022. Menyelesaikan pendidikan S2 Keperawatan di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Sint Carolus Jakarta lulus tahun 2016. Pendidikan S1 Keperawatan di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Sint Carolus Jakarta lulus tahun 2011. Sebagai Dosen Tetap Keperawatan STIKes Mitra Keluarga (2017-2024). Menjadi koordinator DIKLAT RS. Mitra Keluarga Cikarang- RS. Mitra Keluarga Bekasi Timur (2011-2014). Sebagai *Staff nurse*, RS Mitra Keluarga Bekasi Barat (1997-2010).

Penulis memiliki kepakaran dibidang Keperawatan Medikal Bedah. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang sangat tercinta ini.

Buku yang ditulis : Keperawatan Medikal Bedah Kekhususan Onkologi: Manajemen Kanker Paru, *Evidence Based Care* (EBC)| Osteoarthritis dan *Total Knee Arthroplasty* Dengan Pendekatan Teori Keperawatan| Ekonomi Kesehatan| Dasar Administrasi Kesehatan| *Spinal Cord Injury*; Hidup Dengan Cedera Tulang Belakang| Kebidanan Komplementer| Gizi Lansia | Gizi Dalam Daur Kehidupan |Pengantar Dasar Farmasi| Reumatoid Arthritis| Sistemik Lupus Eritematosus| Kanker Paru: Stage Kanker Paru, Patoflowdiagram, *Quality of Life*, Edisi 2.

Email Penulis: aprilliaveranita@gmail.com



BAB 15

OBESITAS DAN

SINDROM METABOLIK

dr. Cyntia Puspa Pitaloka, M.Kes.
Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Petra



Biokimia Dasar Obesitas

Obesitas terjadi akibat ketidakseimbangan antara energi yang dikonsumsi setiap hari dan energi yang dikeluarkan oleh tubuh sehingga menyebabkan peningkatan berat badan secara berlebihan (Panuganti et al., 2025). Ketika tubuh menerima kalori berlebih, energi yang tidak digunakan disimpan sebagai lemak di jaringan adiposa (lemak tubuh). Terdapat dua jenis utama jaringan adiposa, yaitu jaringan adiposa putih (*white adipose tissue* atau WAT), yang berperan dalam penyimpanan lemak dan produksi hormon, serta jaringan adiposa coklat (*brown adipose tissue* atau BAT), yang berfungsi menghasilkan panas ketika tubuh mengalami paparan suhu dingin. Jaringan adiposa putih sendiri terbagi menjadi dua bagian, yaitu visceral (di sekitar organ) dan subkutan (di bawah kulit). Keduanya memiliki peran penting dalam berbagai penyakit terkait obesitas (Jin et al., 2023).

Selain fungsi penyimpanan energi, jaringan adiposa menghasilkan berbagai hormon (adipoklin) seperti leptin, adiponektin, resistin, serta sitokin inflamasi (TNF- α , IL-6, chemerin). Obesitas menyebabkan kondisi peradangan kronis ringan di tubuh. Kondisi ini terjadi akibat masuknya makrofag (sel imun) tipe M1 ke jaringan adiposa yang kemudian melepaskan zat pro-inflamasi seperti TNF- α dan IL-6. Leptin meningkat pada obesitas dan memperparah inflamasi, sementara adiponektin yang berfungsi anti-inflamasi dan melindungi tubuh justru menurun. Akibatnya terjadi dominasi zat inflamasi dalam tubuh. Kondisi inflamasi kronis ini kemudian berkontribusi pada resistensi insulin sistemik dan gangguan metabolik lain yang merupakan karakteristik utama dari sindrom metabolik (Fahed et al., 2022; Jin et al., 2023).

Dalam kondisi obesitas kronis, tubuh mengalami resistensi leptin, sehingga sinyal kenyang tidak efektif dalam menekan asupan makanan. Sebaliknya, hormon ghrelin yang dihasilkan oleh lambung berfungsi sebagai stimulan rasa lapar mengalami peningkatan. Kondisi ini memperparah sindrom metabolik, yang ditandai oleh resistensi insulin, obesitas perut, kadar lemak darah abnormal, dan tekanan darah tinggi, serta meningkatkan risiko diabetes dan penyakit jantung. Selain itu, lemak berlebih juga dapat menumpuk di organ-

penyerta. Pasien harus menjalani tindak lanjut jangka panjang setelah operasi untuk menghindari komplikasi bedah, nutrisi, dan kejiwaan (Swarup et al., 2025).

4. Dukungan Psikosial

Tidak kalah pentingnya dalam pencegahan dan penatalaksanaan sindrom metabolik adalah edukasi dan dukungan psikososial. Pasien harus diberikan pemahaman menyeluruh mengenai kondisi mereka, risiko komplikasi, serta manfaat yang bisa diperoleh dari perubahan gaya hidup yang konsisten. Dukungan dari keluarga, lingkungan sosial, serta intervensi berbasis komunitas dapat membantu mempertahankan motivasi pasien dalam menjalankan program penurunan berat badan dan menjaga kesehatan secara keseluruhan. Pendekatan holistik ini sangat penting dalam mencapai keberhasilan jangka panjang dalam pencegahan dan pengelolaan obesitas serta sindrom metabolik (Swarup et al., 2025).

Kesimpulan

Obesitas dan sindroma metabolik merupakan tantangan kesehatan global yang signifikan, di mana keduanya saling berkaitan erat dalam aspek biokimia dan klinis. Obesitas ditandai oleh kelebihan jaringan lemak tubuh yang dihasilkan dari ketidakseimbangan asupan energi dengan energi yang dikeluarkan, sehingga menciptakan kondisi inflamasi kronis dan resistensi insulin. Kondisi ini kemudian berkembang menjadi sindroma metabolik, yang ditandai dengan kombinasi obesitas abdominal, dislipidemia, resistensi insulin, dan hipertensi, yang secara kolektif meningkatkan risiko diabetes tipe 2 serta penyakit kardiovaskular.

Penilaian biokimia memiliki peran penting dalam diagnosis dan pemantauan sindroma metabolik, meliputi pengukuran glukosa darah, profil lipid, indeks resistensi insulin seperti HOMA-IR, serta pemeriksaan komposisi tubuh. Pendekatan diagnostik yang akurat memungkinkan identifikasi pasien secara dini, sehingga intervensi yang tepat dapat diterapkan untuk mengurangi komplikasi jangka panjang.

Upaya pencegahan dan penatalaksanaan sindroma metabolik harus melibatkan pendekatan holistik yang mencakup modifikasi gaya hidup, farmakoterapi, hingga intervensi bedah pada kasus tertentu. Dukungan edukasi, psikologis, dan sosial juga memainkan peran penting untuk memastikan keberhasilan jangka panjang dalam pengendalian berat badan dan faktor risiko metabolik. Dengan pendekatan integratif ini, diharapkan angka kejadian obesitas dan sindroma metabolik serta dampak negatifnya terhadap kesehatan masyarakat dapat ditekan secara efektif.

Daftar Pustaka

- Fahed, G., Aoun, L., Bou Zerdan, M., Allam, S., Bou Zerdan, M., Bouferraa, Y., & Assi, H. I. (2022). Metabolic Syndrome: Updates on Pathophysiology and Management in 2021. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(2), 786. <https://doi.org/10.3390/ijms23020786>
- Huang, P. L. (2009). A Comprehensive Definition for Metabolic Syndrome. *Disease Models & Mechanisms*, 2(5–6), 231–237. <https://doi.org/10.1242/dmm.001180>
- Jin, X., Qiu, T., Li, L., Yu, R., Chen, X., Li, C., Proud, C. G., & Jiang, T. (2023). Pathophysiology of Obesity and Its Associated Diseases. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 13(6), 2403–2424. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2023.01.012>
- Kemenkes RI. (2023). *Survei Kesehatan Indonesia Dalam Angka 2023*. Kemenkes RI.
- Panuganti, K. K., Nguyen, M., & Kshirsagar, R. K. (2025). Obesity. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459357/>
- Pigeot, I., & Ahrens, W. (2025). Epidemiology of Metabolic Syndrome. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 477(5), 669–680. <https://doi.org/10.1007/s00424-024-03051-7>
- Swarup, S., Ahmed, I., Grigorova, Y., & Zeltser, R. (2025). Metabolic Syndrome. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459248/>
- World Health Organization. (2025). *Obesity and Overweight*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

PROFIL PENULIS



dr. Cyntia Puspa Pitaloka, M.Kes.

Penulis menamatkan studi kedokterannya di Universitas Airlangga pada tahun 2013. Setelah menyelesaikan satu tahun internsip, penulis memutuskan untuk bergabung dalam Program PTT Kementerian Kesehatan di Kecamatan Bungku Pesisir, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah. Tiga tahun pengalaman yang dihabiskan di Puskesmas daerah sangat terpencil telah menjadi titik

balik bagi penulis, memantik cinta mendalam pada bidang kesehatan masyarakat. Sementara bekerja di tengah-tengah masyarakat, penulis menyaksikan betapa besar kesenjangan antara fasilitas kesehatan di kota besar dan pedesaan, terutama dalam hal sumber daya manusia dan pelayanan yang tersedia. Penulis juga menyadari bahwa kesehatan ibu dan anak di daerah tersebut masih belum mendapat perhatian yang memadai.

Dengan gairah yang tumbuh dari ketidakpuasan tersebut, penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan ke tingkat magister, memfokuskan diri pada kesehatan ibu dan anak di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga pada tahun 2019. Penulis yakin bahwa untuk memperbaiki kesehatan masyarakat di suatu daerah tidak bisa dilakukan seorang diri. Sebagai manifestasi dari keyakinan tersebut, penulis kini aktif sebagai dosen di Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Petra, untuk mengajar dan berbagi pengalaman klinis serta pentingnya peran dokter di daerah terpencil kepada mahasiswa. Tujuannya sederhana: agar semakin banyak dokter yang tergerak untuk melayani dan memberikan cahaya harapan bagi setiap sudut di Indonesia.

Email Penulis: cyntia.pitaloka@petra.ac.id



BAB 16

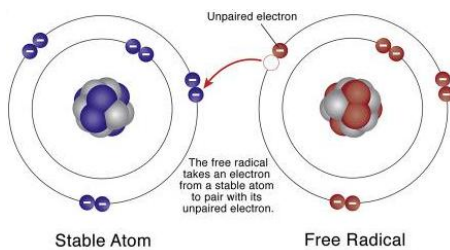
ANTIOKSIDAN DAN STRES OKSIDATIF

Kristian Triatmaja Raharja, S.Pd., M.Kes.
Politeknik Negeri Madura



Radikal Bebas

Radikal bebas merupakan atom atau molekul yang memiliki satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan pada orbital terluarnya (lihat Gambar 16.1). Keberadaan elektron tidak berpasangan ini menjadikan radikal bebas sangat reaktif, karena cenderung mencari pasangan dengan cara menyerang serta mengambil elektron dari molekul lain di sekitarnya, seperti protein, lemak, karbohidrat, maupun DNA. Walaupun sama-sama bersifat reaktif, radikal bebas berbeda dengan oksidan. Perbedaan utamanya terletak pada sifat elektronnya. Radikal bebas memiliki elektron tidak berpasangan, sedangkan oksidan merupakan senyawa yang berperan sebagai akseptor elektron (Sudiana, 2008).

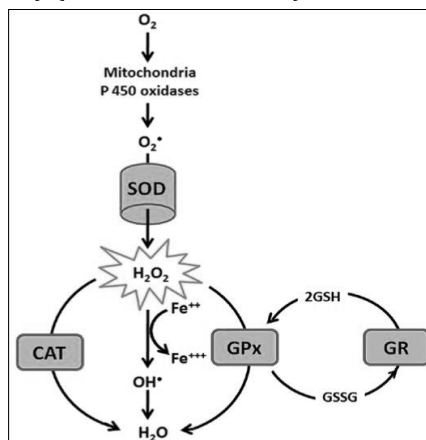


Gambar 16.1: Struktur Kimia Radikal Bebas

Sumber: sciencedirect.com/ Khammash *et al* (2023)

Struktur dasar atom terdiri atas inti atom (nukleus) yang mengandung proton bermuatan positif, serta elektron bermuatan negatif yang mengelilinginya. Jumlah proton dalam inti menentukan jumlah elektron yang mengorbit atom tersebut, menjaga keseimbangan muatan. Elektron memiliki peran penting dalam reaksi kimia, karena menjadi pengikat antaratom untuk membentuk molekul. Elektron mengorbit dalam beberapa tingkat energi (lapisan), dan akan mengisi lapisan-lapisan tersebut secara bertahap. Apabila satu lapisan telah terisi penuh, elektron berikutnya akan mengisi lapisan di atasnya. Lapisan kedua, misalnya, akan stabil jika terisi oleh delapan elektron. Atom-atom dengan lapisan elektron terluar yang telah penuh cenderung tidak berpartisipasi dalam reaksi kimia, karena telah mencapai kondisi stabil yang disebut kestabilan maksimum (Dröge, 2002).

tubuh juga dilengkapi dengan serangkaian enzim antioksidan yang berfungsi sebagai "penyapu" radikal bebas. Enzim-enzim ini secara strategis terdistribusi di lokasi-lokasi pembentukan radikal bebas di dalam sel. Enzim utama dalam sistem ini meliputi superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan glutathion peroksidase (GPx) (lihat gambar 16.4) (Kumar *et al.*, 2009).

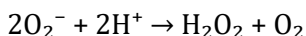


Gambar 16.4: Antioksidan Pencegah Terbentuknya Radikal Hidroksil

Sumber: researchgate.net/Pandey & Rizvi (2010)

SOD berperan sentral dalam mengeliminasi penumpukan O_2^- dengan mengkatalisis reaksi dismutasi menjadi H_2O_2 dan oksigen (O_2). Reaksi ini dianggap sebagai lini pertama pertahanan seluler terhadap stres oksidatif, karena O_2^- merupakan pemicu utama reaksi berantai oksidatif. Terdapat beberapa isoform SOD yang tersebar di berbagai kompartemen seluler, antara lain SOD mangan (Mn-SOD) yang terdapat di mitokondria, dan SOD tembaga-zink (Cu/Zn-SOD) yang berlokasi di sitosol (Zeinali *et al.*, 2015).

Aktivitas enzim SOD dapat ditingkatkan melalui induksi enzimatik yang dipicu oleh keberadaan senyawa kimia tertentu atau kondisi seluler yang meningkatkan produksi O_2^- (Mark *et al.*, 2000). Reaksi yang dikatalisis oleh SOD dapat dituliskan sebagai berikut:



Daftar Pustaka

- Burton, G. W., Hughes, L., Foster, D. O., Pietrzak, E., Goss-Samson, M. A., & Muller, D. P. R. (1993). Antioxidant mechanisms of vitamin E and β -carotene. *Free Radicals: From Basic Science to Medicine*, 388–399.
- Dröge, W. (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*.
- Imaram, W., Gersch, C., Kim, K. M., Johnson, R. J., Henderson, G. N., & Angerhofer, A. (2010). Radicals in the reaction between peroxynitrite and uric acid identified by electron spin resonance spectroscopy and liquid chromatography mass spectrometry. *Free Radical Biology and Medicine*, 49(2), 275–281.
- Inoue, M. (1994). Protective mechanisms against reactive oxygen species. *The Liver: Biology and Pathobiology*, 443–459.
- Khammash, D., Rajagopal, S. K., & Polk, T. A. (2023). Chapter 54 - The neurobiology of aging*. In M. J. Zigmond, C. A. Wiley, & M.-F. Chesselet (Eds.), *Neurobiology of Brain Disorders (Second Edition)* (pp. 977–993). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85654-6.00057-5>
- Kumar, V., Abbas, A. K., Fausto, N., & Pendit, B. U. (2009). Dasar patologi penyakit. *Jakarta: EGC*, 13–37.
- Mamta, Misra, K., Dhillon, G. S., Brar, S. K., & Verma, M. (2014). Antioxidants. *Biotransformation of Waste Biomass into High Value Biochemicals*, 117–138.
- Mark, D. B., Mark, A. D., & Smith, C. M. (2000). Biokimia kedokteran dasar. *Jakarta: EGC*, 484–532.
- Miyazawa, T., Burdeos, G. C., Itaya, M., Nakagawa, K., & Miyazawa, T. (2019). Vitamin E: regulatory redox interactions. *IUBMB Life*, 71(4), 430–441.

- Nurhayati, S., Kisananto, T., & Syaifudin, M. (2011). Superoksida Dismutase (sod): Apa Dan Bagaimana Peranannya Dalam Radioterapi. *Buletin Alara*, 13(2).
- Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2010). Markers of Oxidative Stress in Erythrocytes and Plasma During Aging in Humans. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 3, 2–12. <https://doi.org/10.4161/oxim.3.1.10476>
- Proctor, P. H., & Reynolds, E. S. (1984). Free radicals and disease in man. *Physiol Chem Phys Med NMR*, 16(3), 175–195.
- Raharja, K. T., Susilawati, E. F., & Romadhoni, I. F. (2024). Kawista fruit improves lung histopathology of rats exposed to cigarette smoke. *Jurnal SAGO Gizi Dan Kesehatan*, 5(3A), 702–709.
- Rahman, I., Biswas, S. K., & Kode, A. (2006). Oxidant and antioxidant balance in the airways and airway diseases. *European Journal of Pharmacology*, 533(1–3), 222–239.
- Sudiana, I. K. (2008). *Patobiologi Molekuler Kanker*. Salemba Medika. <https://books.google.co.id/books?id=nL084SkundsC>
- Suprpto, B. (2006). Biological Antioxidant: What are They. *Kumpulan Makalah Lengkap PIT VII Endokrinologi, Surakarta: UNS Press*.
- Vranová, E., & Van Breusegem, F. (2002). Signal transduction during oxidative stress. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1227–1236. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1227>
- Zeinali, F., Homaei, A., & Kamrani, E. (2015). Sources of marine superoxide dismutases: Characteristics and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 627–637.

PROFIL PENULIS



Kristian Triatmaja Raharja, M.Kes.

Kristian Triatmaja Raharja lahir di Sidoarjo pada tanggal 15 Juli 1988. Saat ini, ia berkarier sebagai dosen di Jurusan Kesehatan, Politeknik Negeri Madura. Pendidikan sarjananya ditempuh di Universitas Negeri Surabaya, pada Program Studi Pendidikan Tata Boga, Jurusan Pendidikan Kesejahteraan Keluarga, dan diselesaikan pada tahun 2011. Ia kemudian melanjutkan studi magister di Universitas Airlangga Surabaya pada tahun 2014, dengan fokus pada Gizi Kesehatan Masyarakat dalam Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat. Sejak tahun 2015 hingga kini, ia aktif menjalani profesi sebagai pendidik sekaligus peneliti.

Penulis memfokuskan konsentrasi keilmuannya pada bidang gizi dan kesehatan, yang telah digeluti sejak masa perkuliahan dan terus dilanjutkan dalam perjalanan karier sebagai dosen. Sejumlah penelitian di bidang pangan, gizi, dan kesehatan telah berhasil dilaksanakan, baik melalui pendanaan internal institusi maupun hibah kompetitif dari KEMENDIKBUDRISTEK. Selain aktif dalam kegiatan penelitian, penulis juga secara konsisten menulis jurnal ilmiah dan menerbitkan buku, dengan harapan dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan ilmu pengetahuan serta pembangunan bangsa dan negara.

Email Penulis: kristian.triatmaja@poltera.ac.id



BAB 17

GIZI DAN EKSPRESI GEN

(NUTRIGENOMIK)

Wardina Humayrah, S.Gz., M.Si.
Universitas Sahid



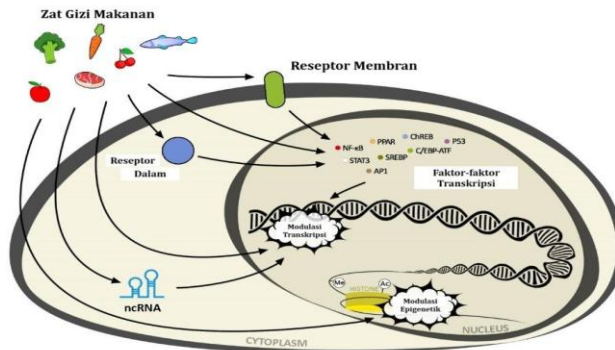
Perkembangan Gizi dan Nutrigenomik

Beberapa dekade terakhir ini, pemahaman tentang bagaimana makanan mempengaruhi tubuh telah berkembang pesat hingga ke tingkatan gen. Salah satu bidang yang semakin mendapatkan perhatian adalah nutrigenomik, yang mengkaji interaksi antara komponen gizi dan ekspresi genetik dalam tubuh manusia. Nutrigenomik berfokus pada bagaimana zat-zat gizi yang dikonsumsi dapat mempengaruhi aktivitas gen dalam tubuh, yang pada akhirnya berdampak pada kesehatan.

Nutrigenomik melihat bagaimana makanan bukan hanya sebagai sumber energi dan zat gizi penting, tetapi juga sebagai faktor yang dapat memodulasi fungsi genetik tubuh. Hal ini berarti, makanan yang dimakan tidak hanya memberikan kecukupan zat-zat gizi, tetapi juga dapat mempengaruhi bagaimana gen di dalam tubuh diekspresikan. Sebagai contoh, beberapa komponen dalam makanan dapat memodifikasi cara kerja gen yang terlibat dalam metabolisme energi, inflamasi, atau bahkan kontrol berat badan.

Penelitian nutrigenomik sangat relevan, terutama dalam konteks penyakit metabolik seperti obesitas, diabetes tipe 2, dan penyakit jantung. Obesitas, misalnya, bukan hanya masalah gaya hidup atau kebiasaan makan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor genetik. Pemahaman tentang bagaimana makanan mempengaruhi ekspresi gen yang terkait dengan metabolisme lemak dan sensitivitas insulin dapat membantu mengembangkan diet yang lebih terarah dan efektif untuk mencegah atau mengobati penyakit-penyakit tersebut.

Salah satu aspek penting dalam nutrigenomik adalah peran mikro-RNA (miRNA) dan siRNA (small interfering RNA), yang merupakan molekul non-koding kecil yang mengatur ekspresi gen pada tingkat pasca-transkripsi. MiRNA, misalnya, dapat mempengaruhi bagaimana gen-gen tertentu diekspresikan dalam tubuh kita, termasuk gen yang terlibat dalam metabolisme lemak dan regulasi gula darah. Di sisi lain, siRNA dapat digunakan untuk menghambat ekspresi gen yang menyebabkan gangguan metabolik, seperti gen yang mengatur produksi lemak di hati atau adipogenesis (proses pembentukan sel lemak).



Gambar 17.1: Mekanisme Nutrigenomik

Sumber: diolah penulis

Selain itu, komponen makanan juga berperan dalam memicu perubahan epigenetik pada genom. Perubahan epigenetik ini dapat mengubah ekspresi gen tanpa mengubah urutan DNA itu sendiri, seperti perubahan metilasi DNA dan modifikasi histon. Zat gizi yang dikonsumsi dapat mempengaruhi perubahan epigenetik ini, yang jika tidak terkontrol dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Berbeda dengan perubahan genetik yang bersifat tetap, perubahan epigenetik ini dapat bersifat reversibel dan dapat dimodifikasi melalui gaya hidup dan pola makan, sehingga membuka peluang untuk mencegah penyakit yang diwariskan pada keturunan.

2. Teknologi Omik dalam Nutrigenomik

Teknologi omik menawarkan pendekatan yang lebih mendalam untuk memahami interaksi antara nutrisi dan gen. Beberapa teknologi omik utama yang digunakan dalam nutrigenomik meliputi genomik, proteomik, dan metabolomik. Genomik menganalisis urutan DNA individu untuk mengidentifikasi variasi genetik yang dapat mempengaruhi respons terhadap nutrisi. Proteomik, di sisi lain, mempelajari protein yang dihasilkan dari ekspresi gen untuk mendeteksi biomarker yang mencerminkan respons tubuh terhadap makanan. Metabolomik fokus pada

Daftar Pustaka

- Afman, L., & Müller, M. (2006). Nutrigenomics: From molecular nutrition to prevention of disease. *Journal of the American Dietetic Association*, 106(4), 569-576. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.01.001>
- Dang, T. S., Walker, M., Ford, D., & Valentine, R. A. (2013). Nutrigenomics: The role of nutrients in gene expression. *Periodontology 2000*, 64(1), 154–160.
- Humayrah, W., Sabrina, N., Stefani, M., Taslim, N. A., Surya, R., Handoko, M. N., Lau, V., Hardinsyah, H., Tallei, T. E., Syahputra, R. A., & Nurkolis, F. (2025). The role of micro-ribonucleic acid and small interfering-ribonucleic acid in precision nutrition for obesity management. *Clinical Nutrition ESPEN*. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2025.03.049>
- Lagoumintzis, G., & Patrinos, G. P. (2023). Triangulating nutrigenomics, metabolomics, and microbiomics toward personalized nutrition and healthy living. *Human Genomics*, 17, 109. <https://doi.org/10.1186/s40246-023-00561-w>
- Mierziak, J., Kostyn, K., Boba, A., Czemplik, M., Kulma, A., & Wojtasik, W. (2021). Influence of the bioactive diet components on the gene expression regulation. *Nutrients*, 13(11), 3673. <https://doi.org/10.3390/nu13113673>
- Kortesniemi, M., Noerman, S., Kårlund, A., Raita, J., Meuronen, T., Koistinen, V., Landberg, R., & Hanhineva, K. (2023). Nutritional metabolomics: Recent developments and future needs. *Current Opinion in Chemical Biology*, 77, 102400. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2023.102400>
- Singh, V. (2023). Current challenges and future implications of exploiting the omics data into nutrigenetics and nutrigenomics for personalized diagnosis and nutrition-based care. *Nutrition*, 110, 112002. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2023.112002>

PROFIL PENULIS



Wardina Humayrah, S.Gz., M.Si.

Penulis merupakan seorang Dosen dan Peneliti yang memiliki ketertarikan pada bidang Gizi Masyarakat. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Ilmu Gizi di IPB University, Bogor pada tahun 2009 dan pendidikan S2 di Departemen Gizi Masyarakat, IPB University pada tahun 2018. Sejak tahun 2018, penulis adalah Dosen Program Studi Ilmu Gizi di Fakultas

Teknologi Pangan dan Kesehatan, Universitas Sahid, Jakarta. Penulis merupakan pengajar mata kuliah Ilmu Gizi Dasar, Statistika, Penilaian Status Gizi, Penilaian Konsumsi Pangan, Pendidikan Gizi, Asuhan Gizi Anak, dan Perilaku Konsumen. Penulis juga merupakan peneliti yang telah mempublikasikan penelitiannya di Jurnal Scopus Q2, Clinical Nutrition ESPEN, Elsevier berjudul *"The Role of Micro-Ribonucleic Acid and Small Interfering-Ribonucleic Acid in Precision Nutrition for Obesity Management"* pada tahun 2025. Penulis juga pernah lolos Hibah Kompetitif Dosen Nasional dari Kemendikbudristek untuk Program Pengabdian kepada Masyarakat tahun 2020 dan 2025.

Penulis berhasil memiliki 15 Sertifikat Hak Kekayaan Intelektual (HaKI) dan lebih dari 10 artikel ilmiah di jurnal/prosiding nasional dan internasional dari luaran berbagai kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Penulis juga pernah menjadi sebagai anggota tim perumus Naskah Akademik Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Mutu Gizi Pangan untuk Kementerian Kesehatan RI tahun 2019-2020. Selain menjalani kesibukannya sebagai Dosen, penulis juga aktif juga merupakan Founder Gizi Anaku yang merupakan media edukasi seputar gizi anak terkait pola asuh, praktek pemberian makan, kesehatan, *parenting*, psikologi untuk tumbuh kembang optimal anak.

Email Penulis: humayrahdina@gmail.com



BAB 18

MIKROBIOTA USUS DAN METABOLISME GIZI

Kristiawan Prasetyo Agung Nugroho, M.Si.
Universitas Kristen Satya Wacana



mikrobiota terhadap biokimia tubuh manusia (Arumugam *et al.*, 2011; Mayer *et al.*, 2014). Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa mikrobiota tidak hanya berperan dalam aspek pencernaan, tetapi juga memengaruhi ekspresi gen, sistem imun, dan bahkan fungsi saraf melalui sumbu usus-otak (*gut-brain axis*) (Cryan & Dinan, 2012; Carabotti *et al.*, 2015).

Komposisi Mikrobiota Usus

Mikrobiota usus manusia terdiri dari komunitas mikroorganisme yang kompleks, termasuk bakteri, *archaea*, virus, dan fungi, yang sebagian besar hidup di kolon. Komposisi mikrobiota ini sangat bervariasi antar individu, namun secara umum didominasi oleh empat filum bakteri utama yakni *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria*, dan *Proteobacteria* (Arumugam *et al.*, 2011; Thursby & Juge, 2017). *Firmicutes* dan *Bacteroidetes* merupakan komponen utama dan menyumbang lebih dari 90% dari total mikrobiota usus pada orang dewasa yang sehat (Turnbaugh *et al.*, 2006).

Firmicutes meliputi berbagai genus seperti *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Ruminococcus*, dan *Faecalibacterium*. Banyak dari bakteri ini terlibat dalam fermentasi serat kompleks menjadi *Short-Chain Fatty Acids* (SCFA), yang berperan dalam kesehatan kolon dan metabolisme sistemik (Koh *et al.*, 2016; Louis & Flint, 2017). *Bacteroidetes* mencakup genus seperti *Bacteroides* dan *Prevotella*, yang juga terlibat dalam degradasi polisakarida kompleks (Flint *et al.*, 2012). Perbandingan relatif antara *Firmicutes* dan *Bacteroidetes* sering digunakan sebagai indikator status metabolik, meskipun interpretasi rasio ini masih kontroversial (Cani & Delzenne, 2009; Tilg & Moschen, 2014).

Actinobacteria, yang didominasi oleh genus *Bifidobacterium*, memiliki peran penting pada awal kehidupan, terutama dalam pencernaan oligosakarida dari ASI (*Human Milk Oligosaccharides*/HMO) (LeBlanc *et al.*, 2013). *Proteobacteria*, walaupun jumlahnya relatif kecil, menjadi perhatian karena kelebihannya sering dikaitkan dengan keadaan inflamasi dan disbiosis (Lozupone *et al.*, 2012; Qin *et al.*, 2012).

ini berkontribusi pada peningkatan absorpsi SCFA yang bila berlebihan dapat menstimulasi lipogenesis (sintesis lemak) dan penyimpanan energi (Canfora *et al.*, 2015; Koh *et al.*, 2016). Disbiosis juga berperan dalam *low-grade inflammation* melalui translokasi LPS ke dalam sirkulasi sistemik (*metabolic endotoxemia*) yang menyebabkan resistensi insulin dan adipositas visceral (Cani *et al.*, 2008; Cani & Delzenne, 2009).

2. Disbiosis dan Diabetes Tipe 2

Pada penderita diabetes tipe 2, disbiosis ditandai dengan penurunan bakteri penghasil butirrat seperti *Faecalibacterium prausnitzii* dan *Roseburia*, peningkatan bakteri oportunistik dari kelompok *Proteobacteria*, serta peningkatan metabolit inflamasi, seperti LPS dan Trimetilamina (TMA) (Qin *et al.*, 2012; Louis & Flint, 2017). Disbiosis berkontribusi pada gangguan homeostasis glukosa melalui pengaruh terhadap sensitivitas insulin, inflamasi, dan integritas sawar epitel usus (Tilg & Moschen, 2014; Kootte *et al.*, 2017).

3. Disbiosis dan NAFLD

Perubahan mikrobiota juga berkontribusi pada akumulasi lemak di hati. Beberapa mekanisme yang terlibat, yakni produksi etanol oleh mikroba (misalnya oleh *Escherichia coli*) yang dapat merusak hepatosit, peningkatan SCFA tertentu yang menstimulasi lipogenesis di hati, serta translokasi bakteri dan produk mikroba ke hati melalui vena porta yang memicu inflamasi hepatik (Han *et al.*, 2023; LeBlanc *et al.*, 2013).

4. Sindrom Metabolik dan Inflamasi Kronis

Disbiosis mendukung terjadinya kondisi inflamasi kronis tingkat rendah (*low-grade chronic inflammation*) yang menjadi dasar dari sindrom metabolik. Gangguan ini mencakup hiperglikemia, hipertensi, dislipidemia, dan resistensi insulin (Tilg & Moschen, 2014; Cani *et al.*, 2008).

Penutup

Mikrobiota usus memainkan peran yang sangat penting dalam metabolisme gizi, baik secara langsung melalui fermentasi substrat makanan dan produksi metabolit (Flint *et al.*, 2012; Koh *et al.*, 2016;

Louis & Flint, 2017), maupun secara tidak langsung melalui interaksi dengan sistem imun, endokrin, dan saraf (Carabotti *et al.*, 2015; Mayer *et al.*, 2014). Memahami interaksi ini penting untuk penerapan gizi personalisasi dan intervensi diet yang berbasis sains (Valdes *et al.*, 2018; Zmora *et al.*, 2018). Keseimbangan mikrobiota atau eubiosis berkontribusi terhadap metabolisme yang sehat, sedangkan disbiosis dikaitkan dengan berbagai gangguan metabolik seperti obesitas, diabetes, dan penyakit hati (Cani *et al.*, 2008; Qin *et al.*, 2012; Tilg & Moschen, 2014).

Temuan-temuan terkini menegaskan bahwa intervensi gizi, khususnya berbasis serat, probiotik, prebiotik, dan sinbiotik, dapat secara signifikan memodulasi komposisi dan fungsi mikrobiota (Gibson *et al.*, 2017; Cotillard *et al.*, 2013; Dao *et al.*, 2016). Ini membuka peluang besar bagi ahli gizi untuk mengembangkan pendekatan terapi gizi berbasis mikrobiota, baik dalam konteks pencegahan maupun pengelolaan penyakit kronis (Kootte *et al.*, 2017; Canfora *et al.*, 2015).

Daftar Pustaka

- Arumugam, M., Raes, J., Pelletier, E., Le Paslier, D., Yamada, T., Mende, D. R., Fernandes, G. R., Tap, J., Bruls, T., Batto, J. M., Bertalan, M., Borruel, N., Casellas, F., Fernandez, L., Gautier, L., Hansen, T., Hattori, M., Hayashi, T., Kleerebezem, M., Kurokawa, K., ... Bork, P. (2011). *Enterotypes of the Human Gut Microbiome*. *Nature*, 473 (7346), 174 - 180. <https://doi.org/10.1038/nature09944>
- Backhed, F., Manchester, J. K., Semenkovich, C. F., & Gordon, J. I. (2007). *Mechanisms Underlying the Resistance to Diet-Induced Obesity in Germ-Free Mice*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (3), 979 - 984. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605374104>
- Canfora, E. E., Jocken, J. W., & Blaak, E. E. (2015). *Short-Chain Fatty Acids in Control of Body Weight and Insulin Sensitivity*. *Nature Reviews Endocrinology*, 11 (10), 577 - 591.
- Cani, P. D., & Delzenne, N. M. (2009). *The Role of the Gut Microbiota in Energy Metabolism and Metabolic Disease*. *Current Pharmaceutical Design*, 15 (13), 1546 - 1558.
- Cani, P. D., Bibiloni, R., Knauf, C., Waget, A., Neyrinck, A. M., Delzenne, N. M., & Burcelin, R. (2008). *Changes in Gut Microbiota Control Metabolic Endotoxemia-Induced Inflammation in High-Fat Diet-Induced Obesity and Diabetes In Mice*. *Diabetes*, 57 (6), 1470 - 1481. <https://doi.org/10.2337/db07-1403>
- Carabotti, M., Scirocco, A., Maselli, M. A., & Severi, C. (2015). *The Gut-Brain Axis: Interactions between Enteric Microbiota, Central and Enteric Nervous Systems*. *Annals of Gastroenterology*, 28 (2), 203 - 209.
- Cotillard, A., Kennedy, S. P., Kong, L. C., Prifti, E., Pons, N., Le Chatelier, E., ... & Clément, K. (2013). *Dietary Intervention Impact on Gut Microbial Gene Richness*. *Nature*, 500 (7464), 585 - 588. <https://doi.org/10.1038/nature12480>
- Cryan, J. F., & Dinan, T. G. (2012). *Mind-Altering Microorganisms: The Impact of the Gut Microbiota on Brain and Behaviour*. *Nature*

- Reviews *Neuroscience*, 13 (10), 701 – 712.
<https://doi.org/10.1038/nrn3346>
- Dao, M. C., Everard, A., Aron-Wisnewsky, J., Sokolovska, N., Prifti, E., Verger, E. O., ... & Clément, K. (2016). *Akkermansia Muciniphila and Improved Metabolic Health During a Dietary Intervention in Obesity: Relationship with Gut Microbiome Richness and Ecology*. *Gut*, 65 (3), 426 – 436. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-308778>
- Flint, H. J., Scott, K. P., Duncan, S. H., Louis, P., & Forano, E. (2012). *Microbial Degradation of Complex Carbohydrates in the Gut*. *Gut Microbes*, 3 (4), 289 – 306. <https://doi.org/10.4161/gmic.19897>
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., ... & Reid, G. (2017). *Expert Consensus Document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) Consensus Statement on the Definition and Scope of Prebiotics*. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14 (8), 491 – 502.
<https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Han, B., Lv, X., Liu, G., Li, S., Fan, J., Chen, L., Huang, Z., Lin, G., Xu, X., Huang, Z., Zhan, L., & Lv, X. (2023). *Gut Microbiota-Related Bile Acid Metabolism-FXR/TGR5 Axis Impacts the Response to Anti-A4β7-Integrin Therapy in Humanized Mice with Colitis*. *Gut microbes*, 15 (1), 2232143.
<https://doi.org/10.1080/19490976.2023.2232143>
- Koh, A., De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., & Bäckhed, F. (2016). *From Dietary Fiber to Host Physiology: Short-Chain Fatty Acids as Key Bacterial Metabolites*. *Cell*, 165 (6), 1332 – 1345.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.05.041>
- Kootte, R. S., Levin, E., Salojärvi, J., Smits, L. P., Hartstra, A. V., Udayappan, S. D., Hermes, G., Bouter, K. E., Koopen, A. M., Holst, J. J., Knop, F. K., Blaak, E. E., Zhao, J., Smidt, H., Harms, A. C., Hankemeijer, T., Bergman, J. J. G. H. M., Romijn, H. A., Schaap, F. G., Olde Damink, S. W. M., ... Nieuwdorp, M. (2017). *Improvement of*

- Insulin Sensitivity after Lean Donor Feces in Metabolic Syndrome Is Driven by Baseline Intestinal Microbiota Composition. Cell Metabolism*, 26 (4), 611 - 619.e6.
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.09.008>
- LeBlanc, J. G., Milani, C., de Giori, G. S., Sesma, F., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2013). *Bacteria as Vitamin Suppliers to Their Host: A Gut Microbiota Perspective. Current opinion in biotechnology*, 24 (2), 160 - 168. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.08.005>
- LeChatelier, E., Nielsen, T., Qin, J., Prifti, E., Hildebrand, F., Falony, G., ... & Ehrlich, S. D. (2013). *Richness of Human Gut Microbiome Correlates with Metabolic Markers. Nature*, 500 (7464), 541 - 546.
<https://doi.org/10.1038/nature12506>
- Louis, P., & Flint, H. J. (2017). *Formation of Propionate and Butyrate by the Human Colonic Microbiota. Environmental microbiology*, 19 (1), 29 - 41. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13589>
- Lozupone, C. A., Stombaugh, J. I., Gordon, J. I., Jansson, J. K., & Knight, R. (2012). *Diversity, Stability and Resilience of the Human Gut Microbiota. Nature*, 489 (7415), 220 - 230.
<https://doi.org/10.1038/nature11550>
- Mayer, E. A., Knight, R., Mazmanian, S. K., Cryan, J. F., & Tillisch, K. (2014). Gut microbes and the brain: *Paradigm Shift in Neuroscience. The Journal of Neuroscience*, 34 (46), 15490 - 15496. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3299-14.2014>
- Qin, J., Li, Y., Cai, Z., Li, S., Zhu, J., Zhang, F., ... & Wang, J. (2012). *A Metagenome-Wide Association Study of Gut Microbiota in Type 2 Diabetes. Nature*, 490 (7418), 55 - 60.
<https://doi.org/10.1038/nature11450>
- Thursby, E., & Juge, N. (2017). *Introduction to the Human Gut Microbiota. Biochemical Journal*, 474 (11), 1823 - 1836.
- Tilg, H., & Moschen, A. R. (2014). *Microbiota and Diabetes: An Evolving Relationship. Gut*, 63 (9), 1513 - 1521.

- Turnbaugh, P. J., Ley, R. E., Mahowald, M. A., Magrini, V., Mardis, E. R., & Gordon, J. I. (2006). *An Obesity-Associated Gut Microbiome with Increased Capacity for Energy Harvest*. *Nature*, 444 (7122), 1027 - 1031. <https://doi.org/10.1038/nature05414>
- Valdes, A. M., Walter, J., Segal, E., & Spector, T. D. (2018). *Role of the Gut Microbiota in Nutrition and Health*. *BMJ (Clinical research ed.)*, 361, k2179. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2179>
- Yatsunenko, T., Rey, F. E., Manary, M. J., Trehan, I., Dominguez-Bello, M. G., Contreras, M., Magris, M., Hidalgo, G., Baldassano, R. N., Anokhin, A. P., Heath, A. C., Warner, B., Reeder, J., Kuczynski, J., Caporaso, J. G., Lozupone, C. A., Lauber, C., Clemente, J. C., Knights, D., Knight, R., ... Gordon, J. I. (2012). *Human Gut Microbiome Viewed Across Age and Geography*. *Nature*, 486 (7402), 222 - 227. <https://doi.org/10.1038/nature11053>
- Zmora, N., Zilberman-Schapira, G., Suez, J., Mor, U., Dori-Bachash, M., Bashiardes, S., ... & Elinav, E. (2018). *Personalized Gut Mucosal Colonization Resistance to Empiric Probiotics is Associated with Unique Host and Microbiome Features*. *Cell*, 174 (6), 1388 - 1405.e21. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.08.041>

PROFIL PENULIS



Kristiawan Prasetyo Agung Nugroho, M.Si.

Sejak masa SMA, penulis tertarik terhadap berbagai hal seputar bidang sains, khususnya terhadap bidang kesehatan, medis, gizi, dan pangan. Ketertarikan tersebut membawa Penulis untuk mendalami Ilmu Biologi yang dinilai sebagai cikal bakal segala ilmu sains. Penulis menyelesaikan jenjang S1 dari Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana pada tahun 2009 dengan peminatan biokimia, kemudian pada tahun 2010 melanjutkan studi paska sarjana (S2) di Universitas yang sama, yakni Magister Biologi Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana.

Sejak tahun 2015, penulis mengabdikan kepada almamater dengan menjadi pengajar di Program Studi S1 Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Satya Wacana. Mata kuliah yang diajarkan kepada mahasiswa diantaranya *Biochemistry*, *Nutrition Ecology*, *Nutrition Epidemiology*, *Research Method*, *Diet & Gut Microbiome*, dan beberapa mata kuliah lainnya. Fokus riset penulis saat ini adalah mengenai gangguan/penyakit metabolik, khususnya adalah obesitas dan mikrobiota saluran cerna. Bersama dengan para penulis lainnya pernah terlibat dalam penulisan buku yang diterbitkan oleh Sada Kurnia Pustaka, yakni *Keamanan Pangan* (tentang Keracunan Makanan) dan *Pengantar Metodologi Kesehatan* (tentang Pemahaman terhadap Variabel dan Indikator), keduanya pada tahun 2023.

Surel Penulis: kristiawan.nugroho@uksw.edu



BAB 19

BIOKIMIA MALNUTRISI

Dr. Hj. Dwi Santy Damayati, S.KM., M.Kes.
UIN Alauddin Makassar



makan yang tidak memadai (Jamir & Erni, 2022). Tubuh berupaya mempertahankan kekuatan otot namun memerlukan asupan kalori dan protein yang cukup. Ketika asupan terganggu, tubuh mulai memanfaatkan jaringan otot sebagai sumber energi, hal ini menyebabkan terjadinya atrofi otot (Surana et al., 2022). Sehingga individu yang menderita malnutrisi dalam waktu yang panjang cenderung mengalami kelemahan otot dan penurunan fungsi tubuh (Ezalina et al., 2024 ; Budiputri et al., 2020).

Pada kalangan lansia, malnutrisi akan mempengaruhi massa otot yang mengakibatkan penurunan alami dalam kekuatan otot. Kombinasi antara malnutrisi dan penuaan memiliki efek yang merugikan, sehingga menyebabkan risiko tinggi terhadap jatuh, kehilangan keseimbangan, dan peningkatan kerentanan terhadap cedera (Nathania et al., 2023; Putri & Daba, 2024).

Dampak Malnutrisi: Kekurangan Zat Gizi Terhadap Sintesis Protein, Kognitif, Pertumbuhan Linear dan Hormonal

Kekurangan asupan protein yang parah pada kasus stunting menyebabkan sirkulasi asam amino esensial yang jauh lebih rendah daripada anak-anak yang tidak stunting. Asupan asam amino esensial yang kurang dapat mempengaruhi pertumbuhan secara negatif, melalui efeknya pada jalur regulasi pertumbuhan utama, Jalur *Mechanistic Target of Rapamycin Complex 1* (mTORC1) yang sangat sensitif terhadap ketersediaan asam amino. mTORC1 mengintegrasikan isyarat seperti nutrisi (terutama protein dan asam amino), faktor pertumbuhan, oksigen, dan energi untuk mengatur pertumbuhan di lempeng kondral, pertumbuhan otot rangka, mielinisasi sistem saraf pusat dan perifer, pertumbuhan dan diferensiasi sel di usus halus, hematopoiesis dan metabolisme zat besi serta ukuran organ.

Ketika asam amino kekurangan, mTORC1 menekan sintesis protein dan lemak serta pertumbuhan sel dan organisme. Pada konsentrasi asam amino rendah, mTORC1 didistribusikan secara difus dalam sitosol dan menjadi tidak aktif. Autophagy, adaptasi terhadap kekurangan nutrisi, adalah proses di mana protein yang rusak atau berlebih dan komponen sel lainnya dikirim ke lisosom dan kemudian didegradasi, melepaskan asam amino bebas ke dalam sitoplasma.

Indikator Biokimia Malnutrisi

Berbagai penelitian secara konsisten menunjukkan bahwa kadar albumin serum yang rendah berkorelasi secara signifikan dengan malnutrisi di berbagai demografi pasien, khususnya di antara mereka yang memiliki penyakit kronis seperti penyakit ginjal kronis (CKD) dan kondisi hati (Chaudhry et al., 2018; Reza et al., 2018; Naeini et al., 2025).

Status biokimia berperan sebagai indikator malnutrisi. Protein serum seperti albumin, yang berfungsi dalam mempertahankan tekanan osmotik dan transportasi berbagai zat, dianggap sebagai biomarker penting. Menurunnya level albumin sering kali mengindikasikan adanya malnutrisi, yang berhubungan dengan prognosis buruk pada pasien kanker, di mana malnutrisi dapat memicu persepsi sistem imun (Nie et al., 2017; Deng et al., 2016). Serum albumin juga berperan dalam mekanisme antioksidan, yang penting untuk melindungi sel dari kerusakan akibat radikal bebas (Nie et al., 2017; Zhao et al., 2019). Penelitian menunjukkan bahwa perbandingan C-Reactive Protein/Albumin dapat digunakan untuk memprediksi risiko kematian pada pasien yang mengalami malnutrisi, dengan temuan bahwa rasio ini tinggi pada individu dengan status gizi buruk (Toiyama et al., 2016; Wang et al., 2018). Faktor lain yang mempengaruhi efisiensi albumin adalah kondisi inflamasi, di mana peningkatan kadar protein fase akut, seperti C-reaktif protein, dapat mengindikasikan malnutrisi yang lebih parah dan membutuhkan segera intervensi nutrisi (Bruno et al., 2022; Zhao et al., 2019).

Penggabungan penanda peradangan, seperti protein C-reaktif (CRP), dapat meningkatkan proses penilaian malnutrisi, terutama dalam kasus kekurangan nutrisi yang diperparah oleh kondisi peradangan kronis, seperti yang terlihat pada cachexia kanker atau selama hemodialisis (Sat-Muñoz et al., 2022; Stojanović et al., 2008).

Dalam populasi anak-anak, malnutrisi secara signifikan menghambat pertumbuhan dan perkembangan kognitif. Kekurangan gizi pada anak usia dini dapat menyebabkan defisit kognitif yang bertahan lama, yang menggarisbawahi pentingnya gizi yang cukup selama 1000 hari pertama kehidupan (Engle & Fernández, 2010;

Reinhardt & Fanzo, 2014). Lebih jauh, kekurangan gizi juga terkait erat dengan kondisi kejiwaan, di mana asupan nutrisi yang tidak memadai dapat mengganggu perkembangan saraf dan berkontribusi terhadap gangguan kesehatan mental (Gomes et al., 2011). Anak-anak yang mengalami malnutrisi akut yang parah dapat mengalami perubahan biokimia yang mencerminkan kekurangan nutrisi, seperti hemoglobin rendah dan jumlah limfosit total, yang dapat memperburuk kerentanan mereka terhadap infeksi dan menghambat pemulihan (Rao et al., 2020; Fernandes, 2018).

Daftar Pustaka

- Bruno, R., Jimeno, C., Jasul, G., Sahagun, J. A. R., & Moalong, K. M. C. (2022). Quality of Nutritional Care Assessment Among Critically-Ill Patients in a Tertiary Government Hospital. *Acta Medica Philippina*, 56(6). <https://doi.org/10.47895/amp.v56i6.3592>
- Budiputri, G. L., Suryawan, I. W. B., & Dewi, M. R. (2020). Analisis Faktor “Faktor Yang Mempengaruhi Kejadian Malnutrisi Rumah Sakit (MRS) Pada Pasien Anak Di Bangsal Kaswari, RSUD Wangaya, Bali, Indonesia. *Intisari Sains Medis*, 11(2), 680–685. <https://doi.org/10.15562/ism.v11i2.647>
- Chaudhry, A., Toori, K. U., & Shaikh, J. I. (2018). To Determine Correlation Between Biochemical Parameters of Nutritional Status With Disease Severity in HCV Related Liver Cirrhosis. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 34(1). <https://doi.org/10.12669/pjms.341.14011>
- Damayati, D. S., Damayanthi, E., Riyadi, H., Wibawan, I. W. T., & Handharyani, E. (2024). The effect of sea grapes (*Caulerpa racemosa*) powder drink on improvement of obesity biomarker in Wistar rats. *Food Research*, 8(5), 1–7. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(5\).478](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(5).478)
- Deng, Y., Pang, Q., Miao, R., Chen, W., Zhou, Y., Bi, J., Liu, S., Zhang, J., Qu, K., & Liu, C. (2016). Prognostic Significance of Pretreatment Albumin/Globulin Ratio in Patients With Hepatocellular Carcinoma. *Oncotargets and Therapy*, Volume 9, 5317–5328. <https://doi.org/10.2147/ott.s109736>
- Engle, P. L., & Fernández, P. d. C. (2010). INCAP Studies of Malnutrition and Cognitive Behavior. *Food and Nutrition Bulletin*, 31(1), 83–94. <https://doi.org/10.1177/156482651003100109>
- Ernawati, A., Wiboworini, B., & Wasita, B. (2023). Evaluasi Efektifitas Malnutrition Screening Tool (Mst) Sebagai Alat Untuk Menentukan Risiko Malnutrisi Pada Pasien Geriatri. *Profesi (Profesional Islam) Media Publikasi Penelitian*, 19(No.2), 127–135. <https://doi.org/10.26576/profesi.v19ino.2.94>

- Ezalina, E., Fitriani, I. M., Harahap, A. S., Nita, Y., & Putra, I. D. (2024). Sosialisasi Edukasi Tentang Latihan Rom (Range of Motion) Sebagai Pencegahan Penurunan Kekuatan Otot Pada Lansia. *Medika*, 3(2), 95–101. <https://doi.org/10.31004/thcx1d31>
- Fernandes, T. (2018). Malnutrition and School Feeding Programmes. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(5). <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00292>
- Gomes, T. K. de C., Oliveira, S. L. d., & Manhães-de-Castro, R. (2011). Malnutrition and Experimental Epilepsy. *Journal of Epilepsy and Clinical Neurophysiology*, 17(1), 24–29. <https://doi.org/10.1590/s1676-26492011000100006>
- Huriah, T., Trisnantoro, L., Haryanti, F., & Julia, M. (2014). Malnutrisi Akut Berat Dan Determinannya Pada Balita Di Wilayah Rural Dan Urban. *Kesmas National Public Health Journal*, 9(1), 50. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v9i1.456>
- Jamir, A. F., & Erni, E. (2022). Upaya Pencegahan Kekurangan Energi Kronis (KEK) Dengan Kepatuhan Mengkonsumsi Tablet FE Dan Asupan Makanan Pada Ibu Hamil Di Puskesmas Makale Kabupaten Tana Toraja. *Media Publikasi Penelitian Kebidanan*, 4(1), 19–25. <https://doi.org/10.55771/mppk.v4i1.44>
- Lugito, N. P. H., Soejono, C. H., Wahyudi, E. R., & Dewiasty, E. (2017). Pengaruh Status Nutrisi Terhadap Kesintasan 30 Hari Pasien Geriatri Yang Dirawat Di Rumah Sakit. *Jurnal Penyakit Dalam Indonesia*, 2(3), 160. <https://doi.org/10.7454/jpdi.v2i3.81>
- Maryani, E., Prawirohartono, E. P., & Nugroho, S. (2017). Faktor Prediktor Malnutrisi Rumah Sakit Pada Anak. *Sari Pediatri*, 18(4), 278. <https://doi.org/10.14238/sp18.4.2016.278-84>
- Meier, R., & Stratton, R. (2008). Basics concepts in nutrition: Epidemiology of malnutrition. *E-SPEN*, 3(4). <https://doi.org/10.1016/j.eclnm.2008.04.002>
- Naeini, E. K., Zakizade, E., Maghsoudi, M., Tarrahi, M. J., Meshkinfar, S., Iraj, Z., & Heydari, N. (2025). Assessment of Nutritional Status

- and Associated Factors Among Hemodialysis Patients in Isfahan, Iran. *Journal of Research in Medical Sciences*, 30(1). https://doi.org/10.4103/jrms.jrms_26_25
- Nathanian, N. P. S., Nugraha, M. H. S., Primayanti, I. D. A. I. D., & Saraswati, P. A. S. (2023). Kekuatan Genggaman Tangan Berhubungan Dengan Keseimbangan Pada Lansia Wanita. *Majalah Ilmiah Fisioterapi Indonesia*, 11(2), 112. <https://doi.org/10.24843/mifi.2023.v11.i02.p01>
- Nie, M., Sun, P., Chen, C., Bi, X., Wang, Y., Yang, H., Liu, P., Li, Z., Xia, Y., & Jiang, W. (2017). Albumin-to-Alkaline Phosphatase Ratio: A Novel Prognostic Index of Overall Survival in Cisplatin-Based Chemotherapy-Treated Patients With Metastatic Nasopharyngeal Carcinoma. *Journal of Cancer*, 8(5), 809–815. <https://doi.org/10.7150/jca.17536>
- Putri, E. M., & Daba, M. (2024). Pengaruh Core Exercise Terhadap Peningkatan Keseimbangan Dinamis Pada Lansia. *Medika Respati Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 18(4), 243. <https://doi.org/10.35842/mr.v18i4.963>
- Rao, S. H., Kumar, D., & Singh, T. B. (2020). Clinico-Biochemical Profile of Sick Children With Severe Acute Malnutrition. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 9(5), 2269. https://doi.org/10.4103/jfmprc.jfmprc_1236_19
- Reinhardt, K., & Fanzo, J. (2014). Addressing Chronic Malnutrition Through Multi-Sectoral, Sustainable Approaches: A Review of the Causes and Consequences. *Frontiers in Nutrition*, 1. <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00013>
- Reza, H. M., Shuvo, S. D., & Ahmad, T. (2018). Assessing the Prevalence of Malnutrition in Chronic Kidney Disease Patients Undergoing Hemodialysis in Kushtia District, Bangladesh. *Nutrition & Food Science*, 48(1), 150–164. <https://doi.org/10.1108/nfs-05-2017-0103>
- Salari, N., Darvishi, N., Bartina, Y., Keshavarzi, F., Hosseinian-Far, M., & Mohammadi, M. (2025). Global prevalence of malnutrition in

- older adults: A comprehensive systematic review and meta-analysis. *Public Health in Practice*, 9(September 2024), 100583. <https://doi.org/10.1016/j.puhip.2025.100583>
- Sat-Muñoz, D., Martínez-Herrera, B.-E., González-Rodríguez, J.-A., Gutiérrez-Rodríguez, L.-X., Trujillo-Hernández, B., Quiroga-Morales, L.-A., Alcaráz-Wong, A.-A., Dávalos-Cobián, C., Solórzano-Meléndez, A., Flores-Carlos, J.-D., Rubio-Jurado, B., Salazar-Páramo, M., Carrillo-Núñez, G.-G., Gómez-Sánchez, E., Nava-Zavala, A. H., & Balderas-Peña, L.-M.-A. (2022). Phase Angle, a Cornerstone of Outcome in Head and Neck Cancer. *Nutrients*, 14(15), 3030. <https://doi.org/10.3390/nu14153030>
- Soliman, A., De Sanctis, V., Alaaraj, N., Ahmed, S., Alyafei, F., Hamed, N., & Soliman, N. (2021). Early and long-term consequences of nutritional stunting: From childhood to adulthood. *Acta Biomedica*, 92(1), 1–12. <https://doi.org/10.23750/abm.v92i1.11346>
- Stojanović, M., Stojanović, D., & Stefanović, V. (2008). The Impact of Malnutrition on Mortality in Patients on Maintenance Hemodialysis in Serbia. *Artificial Organs*, 32(5), 398–405. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2008.00558.x>
- Toiyama, Y., Shimura, T., Yasuda, H., Fujikawa, H., Okita, Y., Kobayashi, M., Ohi, M., Yoshiyama, S., Hiro, J., Araki, T., Inoue, Y., Mohri, Y., & Kusunoki, M. (2016). Clinical Burden of C-Reactive Protein/Albumin Ratio Before Curative Surgery for Patients With Gastric Cancer. *Anticancer Research*, 36(12), 6491–6498. <https://doi.org/10.21873/anticancer.11248>
- Wang, Y., Yang, L., Xia, L., & Chen, Y. (2018). High C-Reactive Protein/Albumin Ratio Predicts Unfavorable Distant Metastasis-Free Survival in Nasopharyngeal Carcinoma: A Propensity Score-Matched Analysis. *Cancer Management and Research, Volume 10*, 371–381. <https://doi.org/10.2147/cmar.s155604>
- Wen, X., Zhang, B., Wu, B., Xiao, H., Li, Z., Li, R., Xu, X., & Li, T. (2022). Signaling pathways in obesity: mechanisms and therapeutic

- interventions. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7(1).
<https://doi.org/10.1038/s41392-022-01149-x>
- World Health Organization (WHO). (2024). *Child Malnutrition Estimates UNICEF-WHO-WB*. World Health Organization.
- Xu, T., Dong, C., Shao, J., Huo, C., Chen, Z., Shi, Z., Yao, T., Gu, C., Wei, W., Rui, D., Li, X., Hu, Y., Ma, J., Niu, Q., & Yan, Y. (2024). Global burden of maternal disorders attributable to malnutrition from 1990 to 2019 and predictions to 2035: worsening or improving? *Frontiers in Nutrition*, 11(February), 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1343772>
- Zhao, L., Yang, Y., Ma, B., Li, W., Li, T., Han, L., Zhang, Y., Shang, Y., Lin, H., & Gao, Q. (2019). Factors Influencing the Efficacy of Anti-Pd-1 Therapy in Chinese Patients With Advanced Melanoma. *Journal of Oncology*, 2019, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2019/6454989>

PROFIL PENULIS



Dr. Hj. Dwi Santy Damayati, S.KM., M.Kes.

Penulis memiliki ketertarikan dibidang ilmu gizi kesehatan masyarakat sejak tahun 1999. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk pada perguruan tinggi negeri di Makassar yaitu Universitas Hasanuddin Fakultas Kesehatan Masyarakat dan menyelesaikan studi pada tahun 2003. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan pada program studi S2 di pada institusi yang sama dan berhasil lulus pada tahun 2008. Selanjutnya penulis melanjutkan program studi S3 pada tahun 2018 bidang ilmu gizi di Fakultas Ekologi Manusia IPB Bogor dengan menggunakan sponsor dari beasiswa dari MORA ministry of religious affairs dan proses penyelesaian studi pada tahun 2023. Penulis berupaya mendedikasikan keilmuan dibidang gizi yang dimiliki sebagai dosen profesional pada perguruan tinggi negeri yaitu Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar dibawah Kementerian Agama. Penulis aktif dalam penelitian bidang gizi. Selain itu penulis juga telah menulis beberapa karya tulis ilmiah gizi dengan harapan dapat menambah karya kajian ilmu bidang gizi sebagai bentuk kontribusi aktif bagi bangsa dan negara.

Email Penulis: santy@uin-alauddin.ac.id



BAB 20

TOKSIKOLOGI PANGAN

DAN GIZI

Hayuti Windha Pagiu, S.Gz., M.Kes.
STIKES Lakipadada



Prinsip Toksikologi

Toksikologi adalah cabang ilmu yang mempelajari tentang zat-zat kimia dan fisik yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap makhluk hidup. Ilmu ini juga dapat diartikan sebagai studi mengenai efek berbahaya yang ditimbulkan pada manusia akibat terpapar berbagai macam obat-obatan dan senyawa kimia, serta mencakup aspek keamanan maupun potensi risiko dari penggunaan zat-zat tersebut. Toksikologi memiliki hubungan yang erat dengan farmakologi, khususnya dalam konteks penggunaan dosis tinggi dalam penelitian toksikologis. Secara umum, semua zat kimia memiliki potensi sebagai racun; munculnya keracunan sangat ditentukan oleh jumlah dosis yang digunakan dan cara pemberiannya. Pernyataan dari tokoh ilmuwan ternama, Paracelsus, menyatakan bahwa: "Segala sesuatu adalah racun; tidak ada yang sepenuhnya bebas dari sifat racun. Hanya takaran dosis yang dapat membedakan antara obat dan racun" (Sukainah and Fadilah, 2022).

Efek toksik dalam sistem biologis tidak akan muncul kecuali suatu senyawa kimia, atau hasil metabolisme dari senyawa tersebut, mencapai target spesifik di dalam tubuh pada konsentrasi dan durasi yang memadai untuk menimbulkan reaksi toksik. Tingkat toksisitas suatu zat sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jalur masuk ke dalam tubuh, durasi paparan, dan seberapa sering tubuh terpapar bahan kimia tersebut (Sukainah and Fadilah, 2022).

Interaksi antar zat kimia dapat berlangsung melalui berbagai jalur mekanistik, dan ketika dua atau lebih senyawa diberikan secara bersamaan, efek yang ditimbulkan bisa bervariasi. Respon biologis yang terjadi dapat berupa penjumlahan efek (aditif), peningkatan efek secara bersama (sinergis), penguatan efek oleh zat non-toksik (potensiasi), atau justru pengurangan efek satu sama lain (antagonistik) (Sukainah and Fadilah, 2022).

Jumlah atau dosis suatu zat kimia yang masuk ke dalam tubuh sangat menentukan jenis respon biologis yang ditimbulkan. Semakin besar dosis yang diterima, maka semakin besar pula potensi dampak yang terjadi pada tubuh manusia. Dengan kata lain, dosis memiliki peranan penting dalam menentukan tingkat keparahan efek yang ditimbulkan oleh suatu zat kimia (Sukainah and Fadilah, 2022).

- d. Menggunakan bahan tambahan makanan yang diperbolehkan dan menghindari bahan tambahan yang terlarang jika memang harus memakai bahan tambahan.
- e. Memastikan alat memasak yang dipakai bebas dari lapisan logam berat yang berbahaya.
- f. Menghindari pemakaian kemasan yang tidak dirancang khusus untuk makanan.
- g. Tidak menggunakan wadah yang bukan food grade sebagai tempat penyimpanan makanan.

3. Cemar Fisik (*Physical Hazard*)

Cemaran fisik benda asing seperti rambut, kuku, staples, kerikil, serangga mati, pecahan kaca, atau logam yang masuk ke dalam makanan dan dapat menimbulkan gangguan kesehatan bagi konsumen. Gangguan yang ditimbulkan bisa berupa luka pada mulut, gigi, saluran pernapasan, hingga saluran pencernaan, bahkan dapat menyebabkan cedera pada anggota tubuh seperti tangan. Meskipun risiko akibat cemaran fisik ini relatif lebih kecil dibandingkan cemaran biologis dan kimia, tetap perlu diwaspadai dan dicegah. Untuk mencegah terjadinya cemaran fisik pada makanan, langkah yang bisa dilakukan yaitu sebelum mengonsumsi pangan atau makanan wajib memperhatikan dengan benar pangan/makanan yang akan dikonsumsi (Rokhmah *et al.*, 2022).

Zat Anti Gizi

Zat anti gizi merupakan senyawa yang terkandung dalam bahan makanan dan dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tubuh saat makanan tersebut dikonsumsi. Beberapa contoh zat anti gizi antara lain lektin, oksalat, fitat, fitoestrogen, dan tannin, yang dikenal dapat mengurangi ketersediaan zat gizi bagi tubuh. Namun, senyawa-senyawa tersebut juga ada yang memiliki efek positif bagi kesehatan. Berikut komponen tumbuhan, sumber, dan implikasi klinisnya (Rokhmah *et al.*, 2022):

Tabel 20.2: Komponen Tumbuhan, Sumber, dan Implikasi Klinis

No	Anti Gizi	Sumber	Implikasi Klinis
1	Lektin	Legum, sereal, buah-buahan, dan sayuran	Perubahan fungsi usus disertai dengan inflamasi
2	Oksalat	Bayam, lobak Swiss, sorrel, bit, akar bit, rhubarb, kacang-kacangan, legum, dan biji-bijian sereal	Mengurangi absorpsi kalsium, meningkatkan kadar kalsium di ginjal
3	Fitat	Sereal, legum, <i>psedocereals</i> (bayam, quinoa, millet) kacang-kacangan dan biji-bijian	Berpotensi mengurangi penyerapan zat besi, seng, dan kalsium, sekaligus berperan sebagai antioksidan dengan efek antikanker.
4	Goitrogen	Sayuran brassica (kangkung, kubis, brussel, kubis, lobak hijau, kubis china, brokoli), millet, singkong	Hipotiroidisme atau gondok, menghambat penyerapan yodium
5	Fitoestrogen	Kedelai dan produk kedelai, biji rami, kacang-kacangan, buah-buahan, dan sayuran	Gangguan pada sistem hormon dan peningkatan kemungkinan kanker yang dipengaruhi oleh estrogen
6	Tannin	Teh, kakao, anggur, beri, apel, buah batu, kacang-kacangan, buncis, biji-bijian utuh	Mengurangi kemampuan tubuh dalam menyerap zat besi.

Sumber : Petroski and Minich, 2020) dalam (Rokhmah *et al.*, 2022)

solusi alternatif dalam mengurangi ketergantungan pada pengawet dan zat aditif makanan. Agar implementasi ini efektif, perlu mempertimbangkan pandangan konsumen terhadap nilai tambah dan fungsi kemasan pintar. Pemilihan material, teknologi, serta metode pengemasan harus disesuaikan dengan karakteristik dan jenis produk pangan, guna memastikan kemasan pintar dapat bekerja secara optimal. Namun demikian, penerapan kemasan pintar dalam industri makanan menghadapi sejumlah tantangan. Kendala-kendala ini bisa diatasi dengan perencanaan manajemen strategi yang menyeluruh, sehingga seluruh pelaku dalam rantai pasokan pangan dapat memperoleh manfaat maksimal dari penggunaan kemasan pintar (Achmadi *et al.*, 2023).

Daftar Pustaka

- Achmadi, E.R. *et al.* (2023) 'Strategi Mengelola Kemasan Cerdas pada Pangan Strategies Managing Smart Packaging For Food Application', *Journal of Food and Agricultural Product*, 3(1), pp. 9–26. Available at: <http://journal.univetbantara.ac.id/index.php/jfap>.
- Desi, A. *et al.* (2024) 'Nephroprotective Effect of Dayak Onion (*Eleutherine palmifolia*) Against Monosodium Glutamate-Induced Renal Toxicity in Mice (*Mus musculus*)', *Journal of Applied Veterinary Science and Technology*, 05(2), pp. 129–134.
- Ghaffar, M. (2023) 'Review: asam bongkrek, toksin bakteri dari tempe bongkrek', *Nutrition Scientific Journal*, 2(1), pp. 73–80. Available at: <https://doi.org/10.37058/nsj.v2i1.7486>.
- Gusriani, I. *et al.* (2024) *Ilmu Bahan Pangan*. Kota Padang, Sumatera Barat: CV Hei Publishing Indonesia.
- Nurhayati *et al.* (2024) *Keamanan Pangan*. Kota Padang, Sumatera Barat: CV Hei Publishing Indonesia.
- Pawestri, S. and Arsyi, E.K. (2024) 'Kontaminasi Etilen Oksida pada Produk Pangan : Dampak , Risiko Kesehatan , dan Regulasi Ethylene Oxide Contamination in Food Products : Impact , Health Risks , and Regulatory Measures', *Jurnal Kolaboratif Sains*, 7(12), pp. 4838–4849. Available at: <https://doi.org/10.56338/jks.v7i12.6587>.
- Puspawati, N.N. and Duniaji, A.S. (2023) *Mikotoksin: Bahaya dan Pencegahannya*. kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah: Cv Eureka Media Aksara.
- Putri, S.K. *et al.* (2024) *Toksikologi*. Kota Padang, Sumatera Barat: CV Hei Publishing Indonesia.
- Raya Marcela *et al.* (2024) 'Keracunan Makanan', *Jurnal Anestesi: Jurnal Ilmu Kesehatan dan Kedokteran*, 2(1), pp. 41–51. Available at: <https://doi.org/10.59680/anestesi.v2i1.729>.

Rokhmah, L.N. *et al.* (2022) *Pangan dan Gizi, Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Penerbit Yayasan Kita Menulis.

Sukainah, A. and Fadilah, R. (2022) *TOKSIKOLOGI BAHAN PANGAN*. Badan Penerbit UNM.

Susanti, S. (2023) *Buku Ajar: Toksikologi Pangan, Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Semarang: UNDIP Press Semarang. Available at:
<https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.

PROFIL PENULIS



Hayuti Windha Pagiu, S.Gz., M.Kes.

Penulis bertempat lahir di Poso tanggal 13 Agustus 1991. Pada tahun 2013, Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana Ilmu Gizi pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin dan kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke program Magister Kesehatan Masyarakat Program studi Magister Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas

Hasanuddin pada tahun 2014. Saat ini penulis merupakan dosen pada Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKES) Lakipadada yang bertempat di Kabupaten Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan. Bidang ilmu yang digeluti oleh penulis saat ini adalah gizi dan kesehatan masyarakat.

Buku ini diharapkan dapat memperluas pengetahuan pembaca mengenai keterkaitan bidang pangan, gizi, dan kesehatan, berbagai zat toksik (beracun) yang terdapat dalam bahan pangan, interaksi antara zat gizi dan toksikan, sebagai landasan bagi kebijakan keamanan pangan, meningkatkan kesadaran konsumen dan praktisi terhadap potensi bahaya dalam makanan sehari-hari, serta sebagai referensi penting untuk tugas mahasiswa atau penelitian di bidang pangan dan gizi dan kesehatan. Buku ini ditujukan untuk mahasiswa, dosen pengajar, dan peneliti di bidang gizi, pangan, dan kesehatan, tenaga kesehatan, pelaku industri pangan, dan juga cocok untuk pembaca yang ingin memahami hubungan antara zat gizi, biokimia tubuh, dan potensi risiko toksik dari pangan terhadap kesehatan.

Email Penulis: hayutiwindhapagiu@gmail.com

Pengantar BIOKIMIA GIZI

Buku ini ditulis dengan tujuan untuk memberikan pemahaman dasar yang komprehensif mengenai interaksi kompleks antara biokimia dan gizi, dua disiplin ilmu yang fundamental dalam menjaga kesehatan dan kesejahteraan manusia. Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering mendengar tentang pentingnya pola makan seimbang, gizi, dan peran makanan dalam tubuh. Namun, seringkali kita tidak menyadari bagaimana setiap molekul makanan yang kita konsumsi diolah, dimanfaatkan, dan memengaruhi fungsi seluler hingga sistem organ secara mendalam. Di sinilah biokimia gizi memainkan peran krusial, menjelaskan proses-proses molekuler yang terjadi di dalam tubuh kita, mulai dari pencernaan, penyerapan, metabolisme makronutrien (karbohidrat, protein, lemak) dan mikronutrien (vitamin, mineral), hingga peran mereka dalam berbagai jalur biokimia vital. Kami berupaya menyajikan materi yang kompleks dengan bahasa yang mudah dipahami, dilengkapi dengan contoh dan ilustrasi yang relevan, agar pembaca dapat menangkap esensi setiap konsep. Topik utama pada buku ini sebagai berikut:

1. Definisi, Ruang Lingkup dan Hubungan Biokimia dengan Ilmu Gizi
2. Struktur dan Fungsi Biomolekul
3. Metabolisme Karbohidrat
4. Metabolisme Lemak (Lipid)
5. Metabolisme Protein
6. Bioenergetika dan Fosforilasi Oksidatif
7. Hormon dan Regulasi Metabolik
8. Biokimia Vitamin
9. Biokimia Mineral dan Elektrolit
10. Biokimia Serat Pangan
11. Biokimia Kelaparan dan Puasa
12. Biokimia Pangan: Teknologi dan Keamanan
13. Biomarker Status Gizi
14. Metabolisme Alkohol dan Dampaknya
15. Obesitas dan Sindrom Metabolik
16. Antioksidan dan Stres Oksidatif
17. Gizi dan Ekspresi Gen (Nutrigenomik)
18. Mikrobiota Usus dan Metabolisme Gizi
19. Biokimia Malnutrisi
20. Toksikologi Pangan dan Gizi