



# BIOKIMIA

## ADVANCE

Besse Hardianti | Irvan Anwar | Nurramadhani A. Sida | Eti Sumiati  
Rauza Sukma Rita | Astuti Amin | Suherman | Marius Agung Sasmita Jati  
Nina Indriyani Nasruddin | Manggiasih Dwiayu Larasati  
Salman | Yulia Ratna Dewi

EDITOR:

Prof. Subehan, M.Pharm.Sc., Ph.D.  
Tien, S.Si., M.Sc.

# BIOKIMIA

## ADVANCE

Buku ini merupakan salah satu dari buku referensi Biokimia Advance yang diharapkan akan berguna untuk menjadi referensi bagi para pembaca yang berminat mendalami hubungan masalah Biologi dan Kimia dalam kehidupan.

Buku ini terdiri dari 12 Bab yang menjelaskan secara terstruktur hal-hal yang terkait:

- Bab 1 Energi di dalam Sel
- Bab 2 Metabolisme Karbohidrat
- Bab 3 Metabolisme Lipid
- Bab 4 Metabolisme Protein dan Asam Amino
- Bab 5 Metabolisme Terintegrasi
- Bab 6 Biosintesis Karbohidrat, Glikolisis
- Bab 7 Biosintesis Lipid, Steroid, dan Membrane
- Bab 8 Kinetika Enzim
- Bab 9 Vitamin sebagai Kofaktor
- Bab 10 Genetika
- Bab 11 Proses Respirasi
- Bab 12 Biosintesis Purin dan Pirimidin, Mekanisme Replikasi

# BIOKIMIA ADVANCE

apt. Besse Hardianti, M.Pharm.Sc., Ph.D.  
apt. Irvan Anwar, S.Farm., M.Si.  
Nurramadhani A. Sida, M.Pharm.Sci., apt.  
Eti Sumiati, M.Sc.  
dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D.  
Astuti Amin, S.Si., M.Sc.  
Suherman, M.Si.  
Marius Agung Sasmita Jati, S.Si., M.Sc.  
dr. Nina Indriyani Nasruddin, M.Kes., M.Gizi.  
Manggiasih Dwiayu Larasati, S.ST., M.Biomed.  
Salman. S. Si, M.Farm.  
Yulia Ratna Dewi, S.Tr.A.K., M.Biomed.



**eureka**  
**media aksara**

**PENERBIT CV. EUREKA MEDIA AKSARA**

## BIOKIMIA ADVANCE

**Penulis** : apt. Besse Hardianti, M.Pharm.Sc., Ph.D. | apt. Irvan Anwar, S.Farm., M.Si. | Nurramadhani A. Sida, M.Pharm.Sci., apt. | Eti Sumiati, M.Sc. | dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D. | Astuti Amin, S.Si., M.Sc. | Suherman, M.Si. | Marius Agung Sasmita Jati, S.Si., M.Sc. | dr. Nina Indriyani Nasruddin, M.Kes., M.Gizi. | Manggiasih Dwiayu Larasati, S.ST., M.Biomed. | Salman. S. Si, M.Farm. | Yulia Ratna Dewi, S.Tr.A.K., M.Biomed.

**Editor** : Prof. Subehan, M.Pharm.Sc., Ph.D.  
Tien, S.Si., M.Sc.

**Desain Sampul** : Eri Setiawan

**Tata Letak** : Revita Amalia

**ISBN** : 978-623-151-758-6

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, OKTOBER 2023**  
**ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH**  
**NO. 225/JTE/2021**

### **Redaksi:**

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari  
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekamediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2023

### **All right reserved**

Hak Cipta dilindungi undang-undang

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

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Swt. yang telah memberikan nikmat serta hidayah-Nya terutama nikmat kesempatan dan kesehatan sehingga kami bisa menyelesaikan buku ini sesuai dengan waktunya.

Buku ini merupakan salah satu dari buku referensi Biokimia Advance yang diharapkan akan berguna untuk menjadi referensi bagi para pembaca yang berminat mendalami hubungan masalah Biologi dan Kimia dalam kehidupan. Buku ini terdiri dari 12 BAB yang menjelaskan secara terstruktur hal-hal yang terkait:

BAB 1 Energi di dalam Sel

BAB 2 Metabolisme Karbohidrat

BAB 3 Metabolisme Lipid

BAB 4 Metabolisme Protein dan Asam Amino

BAB 5 Metabolisme Terintegrasi

BAB 6 Biosintesis Karbohidrat, Glikolisis

BAB 7 Biosintesis Lipid, Steroid, dan Membrane

BAB 8 Kinetika Enzim

BAB 9 Vitamin sebagai Kofaktor

BAB 10 Genetika

BAB 11 Proses Respirasi

BAB 12 Biosintesis Purin dan Pirimidin, Mekanisme Replikasi

Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada segenap pihak yang telah memberikan support serta arahan selama penulisan buku ini.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penulisan buku ini maka itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi kesempurnaan edisi berikutnya.

Makassar, 6 Oktober 2023

Tim Penulis

## DAFTAR ISI

|  |            |
|--|------------|
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | <b>iv</b>  |
| <b>BAB 1 ENERGI DI DALAM SEL</b> .....                               | <b>1</b>   |
| A. Pendahuluan.....  | 1          |
| B. Konsep Energi bagi Kehidupan .....                                | 2          |
| C. Siklus Asam Citrat/Tricarboxylic Acid (TCA) .....                 | 4          |
| D. Bioenergi Mitokondria .....                                       | 5          |
| E. Komponen Electron Rantai Transportasi.....                        | 7          |
| F. Pelepasan ATP sebagai Sumber Energi Selular .....                 | 9          |
| G. Energi Respirasi Seluler .....                                    | 11         |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 13         |
| <b>BAB 2 METABOLISME KARBOHIDRAT</b> .....                           | <b>15</b>  |
| A. Pendahuluan.....  | 15         |
| B. Metabolisme Karbohidrat .....                                     | 16         |
| C. Jenis Metabolisme Karbohidrat.....                                | 18         |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 22         |
| <b>BAB 3 METABOLISME LIPID</b> .....                                 | <b>24</b>  |
| A. Pendahuluan.....  | 24         |
| B. Pencernaan Lipid .....  | 25         |
| C. Pembentukan Kembali Triasilgliserol dan Ester<br>Kolesterol ..... | 26         |
| D. Penggunaan lipid pada jaringan.....                               | 28         |
| E. Metabolisme Lipid .....   | 28         |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 41         |
| <b>BAB 4 METABOLISME PROTEIN DAN ASAM AMINO</b> .....                | <b>43</b>  |
| A. Pendahuluan.....  | 43         |
| B. Katabolisme Asam Amino .....                                      | 45         |
| C. Sintesis Asam Amino dan Protein .....                             | 48         |
| D. Transpor dan Penyimpanan Asam Amino.....                          | 49         |
| E. Siklus Urea .....   | 52         |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 53         |
| <b>BAB 5 METABOLISME TERINTEGRASI</b> .....                          | <b>54</b>  |
| A. Pendahuluan.....  | 54         |
| B. Peran Hormon pada Metabolisme.....                                | 55         |

|   |            |
|---|------------|
| C. Metabolisme Saat Kenyang ( <i>Fed state/Absorptive state</i> ) ..... | 57         |
| D. Metabolisme Saat Puasa .....   | 63         |
| E. Kesimpulan .....   | 68         |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 69         |
| <b>BAB 6 BIOSINTESIS KARBOHIDRAT, GLIKOLISIS .....</b>                  | <b>72</b>  |
| A. Biosintesis Karbohidrat .....  | 72         |
| B. Glikolisis .....   | 73         |
| C. Energi dari Glikolisis .....   | 84         |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 86         |
| <b>BAB 7 BIOSINTESIS LIPID, STEROID, DAN MEMBRANE .....</b>             | <b>87</b>  |
| A. Pendahuluan .....  | 87         |
| B. Metabolisme Asam Lemak .....   | 88         |
| C. Biosintesis Lipid .....  | 89         |
| D. Biosintesis Trigliserida .....                                       | 95         |
| E. Biosintesis Membran Lipid - fosfolipid .....                         | 99         |
| F. Biosintesis Steroid .....  | 100        |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 106        |
| <b>BAB 8 KINETIKA ENZIM .....</b>                                       | <b>108</b> |
| A. Definisi kinetika Enzim dan Peran Enzim Dalam Biokimia .....         | 108        |
| B. Sejarah Perkembangan Studi Kinetika Enzim .....                      | 109        |
| C. Mekanisme Reaksi Enzim .....   | 110        |
| D. Kinetika Reaksi Enzim .....  | 116        |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 120        |
| <b>BAB 9 VITAMIN SEBAGAI KOFAKTOR .....</b>                             | <b>121</b> |
| A. Pendahuluan .....  | 121        |
| B. Vitamin .....  | 123        |
| C. Kofaktor .....   | 126        |
| D. Peran vitamin dalam Reaksi Biokimia .....                            | 127        |
| E. Vitamin sebagai Kofaktor .....                                       | 129        |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 139        |
| <b>BAB 10 GENETIKA .....</b>  | <b>141</b> |
| A. Pendahuluan .....  | 141        |
| B. Terminologi Genetika .....   | 142        |
| C. Materi Genetik .....   | 145        |

|  |            |
|--|------------|
| D. Hukum Pewarisan Sifat .....   | 147        |
| E. Proses Meiosis dan Mitosis .....                                      | 148        |
| F. Penyakit Kelainan Genetik .....                                       | 153        |
| G. Deteksi Kelainan Genetik.....   | 157        |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 159        |
| <b>BAB 11 PROSES RESPIRASI.....</b>                                      | <b>160</b> |
| A. Pendahuluan.....  | 160        |
| B. Pengertian Fosforilasi Oksidatif.....                                 | 161        |
| C. Mekanisme Fosforilasi Oksidatif .....                                 | 164        |
| D. Urutan Langkah dalam Proses Fosforilasi Oksidatif .                   | 167        |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 182        |
| <b>BAB 12 BIOSINTESIS PURIN DAN PIRIMIDIN, MEKANISME REPLIKASI .....</b> | <b>183</b> |
| A. Pendahuluan.....  | 183        |
| B. Basa Nitrogen: Purin dan Pirimidin .....                              | 184        |
| C. Nukleosida .....  | 185        |
| D. Nukleotida .....  | 186        |
| E. Biosintesis Purin.....  | 189        |
| F. Biosintesis Pirimidin.....  | 193        |
| G. Perbandingan Antara Biosintesis Purin dan Pirimidin.....              | 197        |
| H. Mekanisme Replikasi DNA .....   | 198        |
| I. DNA Peran Enzim dan Kofaktor .....                                    | 199        |
| DAFTAR PUSTAKA .....   | 201        |
| <b>TENTANG PENULIS.....</b>  | <b>203</b> |



# BAB

# 1

# ENERGI DI DALAM SEL

apt. Besse Hardianti, M.Pharm.Sc., Ph.D.

## A. Pendahuluan

Asal usul kehidupan atau diistilahkan *Origin of Life* (OOL) merupakan salah satu masalah ilmiah yang paling sulit untuk diselesaikan. Prinsipnya bahwa setiap sistem yang mereplikasi dan yang terjadi secara stabil (terus-menerus) cenderung berkembang menuju sistem yang lebih stabil dari waktu ke waktu. Namun, stabilitas kinetik dinamis adalah jenis stabilitas yang sangat berbeda dari stabilitas termodinamika tradisional yang biasanya menjadi pusat pemikiran dalam fisika dan kimia. Prinsip-prinsip sederhana ini memungkinkan untuk melakukan penilaian ulang mendasar atas hubungan kimia-biologi dasar, dengan dampak yang luas. Disini berkembang teori-teori bagaimana kehidupan pertama kali muncul di Bumi, tetapi, seperti halnya dengan teori Darwin, kita tampaknya dapat mengidentifikasi dasar dari prinsip-prinsip ahistoris yang melandasi proses tersebut. Dengan cara yang paling sederhana, Darwin menunjukkan bagaimana seleksi alam memungkinkan kehidupan yang sederhana berkembang menjadi system yang kompleks. Dengan cara yang sama, teori evolusi umum yang baru-baru ini diusulkan menunjukkan dengan cara yang paling sederhana bagaimana sistem replikasi yang sederhana, tetapi rapuh, dapat berkembang menjadi sistem kimiawi yang kompleks (Pross, 2016, Pross, 2011).

## DAFTAR PUSTAKA

- BARTLETT, K. & EATON, S. 2004. Mitochondrial  $\beta$ -oxidation. *European Journal of Biochemistry*, 271, 462-469.
- BELL, P. D., LAPOINTE, J.-Y., SABIROV, R., HAYASHI, S., PETI-PETERDI, J., MANABE, K.-I., KOVACS, G. & OKADA, Y. 2003. Macula densa cell signaling involves ATP release through a maxi anion channel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 4322-4327.
- GORDON, J. L. 1986. Extracellular ATP: effects, sources and fate. *Biochem J*, 233, 309-19.
- JACOBSON, J. & DUCHEN, M. R. 2004. Interplay between mitochondria and cellular calcium signalling. *Molecular and cellular biochemistry*, 256, 209-218.
- MAECHLER, P., CAROBBIO, S. & RUBI, B. 2006. In beta-cells, mitochondria integrate and generate metabolic signals controlling insulin secretion. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 38, 696-709.
- MARTIN, W. F., SOUSA, F. L. & LANE, N. 2014. Energy at life's origin. *science*, 344, 1092-1093.
- OSELLAME, L. D., BLACKER, T. S. & DUCHEN, M. R. 2012. Cellular and molecular mechanisms of mitochondrial function. *Best practice & research Clinical endocrinology & metabolism*, 26, 711-723.
- PROSS, A. 2011. Toward a general theory of evolution: Extending Darwinian theory to inanimate matter. *Journal of Systems Chemistry*, 2, 1-14.
- PROSS, A. 2016. *What is life?: How chemistry becomes biology*, Oxford University Press.

- PROSS, A. & PASCAL, R. 2013. The origin of life: what we know, what we can know and what we will never know. *Open biology*, 3, 120190.
- ROMAN, R. M., WANG, Y., LIDOFISKY, S. D., FERANCHAK, A. P., LOMRI, N., SCHARSCHMIDT, B. F. & FITZ, J. G. 1997. Hepatocellular ATP-binding cassette protein expression enhances ATP release and autocrine regulation of cell volume. *Journal of Biological Chemistry*, 272, 21970-21976.
- RYAN, M. T. & HOOGENRAAD, N. J. 2007. Mitochondrial-nuclear communications. *Annu. Rev. Biochem.*, 76, 701-722.
- SEMBIRING, S. P. K. *Biokimia: Metabolisme Lemak: Free Ebook*, SamuelKarta. com.
- TREVORS, J. T. & POLLACK, G. H. 2005. Hypothesis: the origin of life in a hydrogel environment. *Progress in biophysics and molecular biology*, 89, 1-8.
- WANG, Y., ROMAN, R., LIDOFISKY, S. D. & FITZ, J. G. 1996. Autocrine signaling through ATP release represents a novel mechanism for cell volume regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93, 12020-12025.
- WILLIAMSON, J. R. & COOPER, R. H. 1980. Regulation of the citric acid cycle in mammalian systems. *FEBS Letters*, 117, K73-K85.

# BAB 2 | METABOLISME KARBOHIDRAT

apt. Irvan Anwar, S.Farm., M.Si.

## A. Pendahuluan

Perubahan makro molekul yang terjadi karena interkonversi kimiawi yang dilakukan secara biologis terutama terjadi pada senyawa organik disebut "metabolime". Metabolisme, secara biokimia, adalah proses pembentukan dan penguraian makromolekul organik seperti protein, lemak, karbohidrat, dan asam nukleat (Wali *et al.*, 2021).

Metabolisme mencakup semua proses reaksi kimia yang terjadi pada makhluk hidup, mulai dari makhluk bersel satu yang sangat sederhana seperti bakteri, protozoa, jamur, tumbuhan, hewan, dan manusia. Makhluk yang memiliki struktur tubuh yang kompleks. Selama proses ini, makhluk hidup memperoleh, mengubah, dan menggunakan senyawa kimia yang ada di sekitarnya untuk tetap hidup (Delsita *et al.*, 2023).

Anabolisme dan katabolisme adalah dua jenis metabolisme. Anabolisme terjadi ketika molekul kecil seperti protein, polisakarida, dan asam nukleat terbentuk menjadi makromolekul. Input energi diperlukan untuk menyelesaikan proses sintesis seperti itu. ATP memberikan energi untuk aktivitas anabolik sel secara tidak langsung. Hasil metabolisme adalah energi dan zat-zat yang diperlukan tubuh. Agar metabolisme berjalan cepat, diperlukan enzim (Delsita *et al.*, 2023).

## DAFTAR PUSTAKA

- Adeva-Andany, M. M., Pérez-Felpete, N., Fernández-Fernández, C., Donapetry-García, C., & Pazos-García, C. (2016). Liver glucose metabolism in humans. *Bioscience Reports*, 36(6), 1–15. <https://doi.org/10.1042/BSR20160385>
- Chen, L., Zhaoyue Zhang, Hoshino, A., Zheng, H. D., Morley, M., Arany, Z., & Rabinowitz, J. D. (2019). NADPH production by the oxidative pentose-phosphate pathway supports folate metabolism. *Physiology & Behavior*, 176(3), 139–148.
- Coelho, A. I., Berry, G. T., & Rubio-Gozalbo, M. E. (2015). Galactose metabolism and health. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 18(4), 422–427. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000189>
- Delsita, D. A., Nurfaizi, E., & Saputra, R. E. (2023). Journey: Journal of Development and Researh in Education. *Journal of Development and Researh in Education*, 1, 18–24.
- Johnson, R. J., Perez-Pozo, S. E., Sautin, Y. Y., Manitius, J., Sanchez-Lozada, L. G., Feig, D. I., Shafiu, M., Segal, M., Glasscock, R. J., Shimada, M., Roncal, C., & Nakagawa, T. (2009). Hypothesis: Could excessive fructose intake and uric acid cause type 2 diabetes? *Endocrine Reviews*, 30(1), 96–116. <https://doi.org/10.1210/er.2008-0033>
- Jones, J. G. (2016). Hepatic glucose and lipid metabolism. *Diabetologia*, 59(6), 1098–1103. <https://doi.org/10.1007/s00125-016-3940-5>
- Murray, R. K., Granner, D. K., & Rodwell, V. W. (2009). *Biokimia Harper Ed.27* (27th ed.). EGC.
- Park, S., Jeon, J. H., Min, B. K., Ha, C. M., Thoudam, T., Park, B. Y., & Lee, I. K. (2018). Role of the pyruvate dehydrogenase complex in metabolic remodeling: Differential pyruvate dehydrogenase complex functions in metabolism. *Diabetes and Metabolism Journal*, 42(4), 270–281. <https://doi.org/10.4093/dmj.2018.0101>

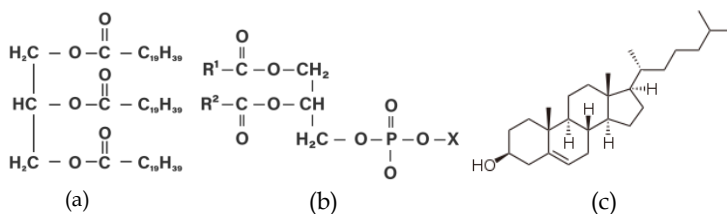
- Prahastuti, S. (2011). Consuming Excessive Amount of Fructose may Affect Our Health. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 173–189.
- Rukmana, E., & Fitranti, D. Y. (2013). Pengaruh Pemberian Minuman Berkarbohidrat Sebelum Latihan Terhadap Kadar Glukosa Darah Atlet. *Journal of Nutrition College*, 2(4), 557–563. <https://doi.org/10.14710/jnc.v2i4.3739>
- Shi, L., & Tu, B. P. (2015). Acetyl-CoA and the regulation of metabolism: Mechanisms and consequences. *Current Opinion in Cell Biology*, 33, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2015.02.003>
- Siregar, N. S. (2014). Karbohidrat. *Jurnal Ilmu Keolahragaan*, 13(2), 38–44.
- Umbu Henggu, K., & Nurdiansyah, Y. (2022). Review dari Metabolisme Karbohidrat, Lipid, Protein, dan Asam Nukleat. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 3(2), 9–17. <https://doi.org/10.33059/jq.v3i2.5688>
- Wali, J. A., Milner, A. J., Luk, A. W. S., Pulpitel, T. J., Dodgson, T., Facey, H. J. W., Wahl, D., Kebede, M. A., Senior, A. M., Sullivan, M. A., Brandon, A. E., Yau, B., Lockwood, G. P., Koay, Y. C., Ribeiro, R., Solon-Biet, S. M., Bell-Anderson, K. S., O'Sullivan, J. F., Macia, L., ... Simpson, S. J. (2021). Impact of dietary carbohydrate type and protein–carbohydrate interaction on metabolic health. In *Nature Metabolism* (Vol. 3, Issue 6). Springer US. <https://doi.org/10.1038/s42255-021-00393-9>
- Wright, E. M. (2013). Glucose transport families SLC5 and SLC50. *Molecular Aspects of Medicine*, 34(2–3), 183–196. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2012.11.002>

# BAB 3 | METABOLISME LIPID

Nurramadhani A. Sida, M.Pharm.Sci., apt.

## A. Pendahuluan

Lipid merupakan senyawa organik yang tidak larut dalam air dan larut dalam pelarut organik. Lipid merupakan ester asam lemak yang terdiri dari struktur trigliserida, fosfolipid, dan steroid (Gambar 4.1) (Natesan dan Kim, 2021). Lipid memiliki banyak fungsi, beberapa diantaranya yaitu sebagai cadangan energi bagi makhluk hidup, menjaga suhu tubuh, sebagai pembawa pesan kimia untuk komunikasi antar sel syaraf, melindungi organ tubuh dari gesekan seperti limpa, hati, jantung, ginjal (Daulay *et al.*, 2023).



**Gambar 3.1 Struktur molekul dari jenis-jenis lipid, (a) Trigliserida, (b) fosfolipid, dan (c) steroid**

Lipid dapat kita peroleh dari makanan sehari-hari. Triasilgliserol (TAG) merupakan lipid dominan dalam makanan, menyumbang 90–95% total energi. Adapun macam-macam lipid yang berasal dari makanan yaitu fosfolipid (PL), sterol (misalnya

## DAFTAR PUSTAKA

- Catelli Rocha Torres, L. *et al.* (2022) "Bioaccessibility and uptake/epithelial transport of vitamin E: Discoveries and challenges of in vitro and ex vivo assays," *Food Research International*, 162, hal. 112143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112143>.
- Champe, P. C., Harvey, R. A. dan Ferrier, D. R. (2004) *Biokimia Ulasan Bergambar*. 3 ed. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Chandel, N. S. (2021) "Lipid metabolism," *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(9). doi: 10.1101/CSHPERSPECT.A040576.
- Chen, H. *et al.* (2019) "Lipid metabolism in chronic obstructive pulmonary disease," *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 14(null), hal. 1009-1018. doi: 10.2147/COPD.S196210.
- Daulay, R. A. *et al.* (2023) "Proses Metabolisme Lipid Dalam Perspektif Al-Qur'an Dan Hadis," *Jurnal Riset Pendidikan Dan Pengajaran*, 2(2), hal. 176-191. doi: 10.55047/jrpp.v2i2.465.
- Li, J. *et al.* (2023) "Triglyceride-Rich Lipoprotein-Mediated Polymer Dots for Multimodal Imaging Interscapular Brown Adipose Tissue Capillaries," *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(24), hal. 28981-28992. doi: 10.1021/acsami.3c04525.
- Lopez, C. *et al.* (2023) "Solubilization of free  $\beta$ -sitosterol in milk sphingomyelin and polar lipid vesicles as carriers: Structural characterization of the membranes and sphingosome morphology," *Food Research International*, 165, hal. 112496. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112496>.
- Marks, D. B., Marks, A. D. dan Smith, C. M. (2000) *Biokimia Kedokteran Dasar*. Jakarta: EGC.



- Mekkaoui, A. *et al.* (2021) "Effect of bile salts on the interfacial dilational rheology of lecithin in the lipid digestion process," *Journal of Oleo Science*, 70(8), hal. 1069–1080. doi: 10.5650/jos.ess21081.
- Natesan, V. dan Kim, S.-J. (2021) "Lipid Metabolism, Disorders and Therapeutic Drugs - Review.," *Biomolecules & therapeutics*, 29(6), hal. 596–604. doi: 10.4062/biomolther.2021.122.
- Stone, S. J. (2022) "Mechanisms of intestinal triacylglycerol synthesis," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1867(6), hal. 159151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2022.159151>.
- Tietel, Z. *et al.* (2023) "An overview of food lipids toward food lipidomics," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, n/a(n/a), hal. 1–53. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13225>.
- Yang, W.-H. *et al.* (2020) "Decreased Blood Glucose and Lactate: Is a Useful Indicator of Recovery Ability in Athletes?," *International Journal of Environmental Research and Public Health*. doi: 10.3390/ijerph17155470.

# BAB 4 | METABOLISME PROTEIN DAN ASAM AMINO

Eti Sumiati, M.Sc.

## A. Pendahuluan

Protein merupakan suatu polipeptida yang mempunyai bobot molekul yang sangat bervariasi dari 5.000 hingga lebih dari satu juta. Di samping berat molekul yang berbeda-beda, protein mempunyai sifat yang berbeda-beda pula. Ada protein yang mudah larut dalam air, tetapi ada juga yang sukar larut dalam air. Rambut dan kuku adalah suatu protein yang tidak larut dalam air. Sedangkan putih telur mudah larut dalam air.

Struktur protein tersusun dari empat tingkatan yaitu struktur primer, sekunder, tersier, dan kuarternner. Struktur primer menunjukkan jumlah, jenis, dan urutan asam amino dalam molekul protein. Struktur primer juga menunjukkan ikatan peptida yang urutannya diketahui. Struktur sekunder yaitu ditandai dengan ikatan hidrogen antara dua rantai polipeptida atau lebih membentuk konfigurasi alfa. Struktur tersier yaitu struktur yang lebih kompleks membentuk lipatan atau gulungan. Struktur ini ditandai dengan adanya beberapa ikatan antara gugus R pada molekul asam amino yang membentuk protein. Struktur kuarternner menunjukkan derajat persekutuan unit-unit protein, merupakan sebagian besar protein globular yang terdiri dari beberapa rantai polipeptida yang terpisah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ferrier, R. D. (2014) *Biokimia*, Edisi Keenam Jilid Dua. Binarupa Aksara. Tangerang Selatan.
- Fessenden, J. R & Fessenden, S. J. (1986) *Kimia Organik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Romanen, (2023) *Anatomy and Physiology II: Metabolism and Nutrition, Protein Metabolism, Module 8*.
- Sadler, T.W. (2010) *Embriologi Kedokteran Langman*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Sherwood, Lauralee (2012) *Fisiologi Manusia*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Solomon, P. E., Berg, R. L., & Martin, W. D. (2008) *Biology*. Thomson Brooks. USA
- Sumarlin, La Ode. (2020) *Biokimia: Dasar-Dasar Biomolekul Dan konsep Metabolisme* . Depok: Rajawali Pers.

# BAB 5

## METABOLISME TERINTEGRASI

dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D.

### A. Pendahuluan

Serangkaian proses biokimiawi yang terjadi dalam sel makhluk hidup untuk mempertahankan kehidupan secara kolektif disebut sebagai metabolisme. Proses metabolisme secara garis besar dapat dikategorikan menjadi dua yaitu anabolisme dan katabolisme. Anabolisme yaitu proses biokimiawi dalam metabolisme melalui penggabungan molekul sederhana menjadi molekul yang kompleks, sedangkan katabolisme merupakan proses penguraian molekul besar yang kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana.

Metabolisme karbohidrat, protein dan lipid/lemak berperan besar dalam tubuh untuk menghasilkan energi. Pada tingkat seluler, bentuk sederhana karbohidrat, lemak dan protein, akan diubah menjadi asetil koA, dan selanjutnya masuk ke dalam Siklus Krebs (TCA), dan menghasilkan ATP. (Pang *et al.*, 2014)

Hubungan antar metabolisme dapat dilihat pada organ tubuh dan bersifat spesifik terhadap organ. Interaksi metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein dapat dilihat pada saat kelaparan (starvation), saat kenyang (fed/absorptive state), saat stres, dan pada kondisi penyakit seperti diabetes melitus, dan lain-lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agius, L. (2016), "Hormonal and Metabolite Regulation of Hepatic Glucokinase", *Annual Review of Nutrition*, Annual Reviews Inc., 17 July, doi: 10.1146/annurev-nutr-071715-051145.
- Campbell, J.E. and Newgard, C.B. (2021), "Mechanisms controlling pancreatic islet cell function in insulin secretion", *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, Nature Research, 1 February, doi: 10.1038/s41580-020-00317-7.
- Dimitriadis, G.D., Maratou, E., Kountouri, A., Board, M. and Lambadiari, V. (2021), "Regulation of postabsorptive and postprandial glucose metabolism by insulin-dependent and insulin-independent mechanisms: An integrative approach", *Nutrients*, MDPI AG, 1 January, doi: 10.3390/nu13010159.
- García-Rodríguez, D. and Giménez-Cassina, A. (2021), "Ketone Bodies in the Brain Beyond Fuel Metabolism: From Excitability to Gene Expression and Cell Signaling", *Frontiers in Molecular Neuroscience*, Frontiers Media S.A., Vol. 14, doi: 10.3389/fnmol.2021.732120.
- Harvey, R. and Ferrier, D. (2011), *Lippincott's Illustrated Reviews Biochemistry 5th Edition*, edited by Harvey, R.A. and Ferrier, D.R., 5th ed., Wolters Kluwer, Philadelphia.
- Jensen-Urstad, A.P.L. and Semenkovich, C.F. (2012), "Fatty acid synthase and liver triglyceride metabolism: Housekeeper or messenger?", *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids*, May, doi: 10.1016/j.bbalip.2011.09.017.
- Kawamori, D. and Sasaki, S. (2023), "Newly discovered knowledge pertaining to glucagon and its clinical applications", *Journal of Diabetes Investigation*, John Wiley and Sons Inc, 1 July, doi: 10.1111/jdi.14009.

- Kersten, S. (2023), "The impact of fasting on adipose tissue metabolism", *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids*, Elsevier B.V., 1 March, doi: 10.1016/j.bbalip.2022.159262.
- Li, J.X. and Cummins, C.L. (2022), "Fresh insights into glucocorticoid-induced diabetes mellitus and new therapeutic directions", *Nature Reviews Endocrinology*, Nature Research, 1 September, doi: 10.1038/s41574-022-00683-6.
- Mann, G., Mora, S., Madu, G. and Adegoke, O.A.J. (2021), "Branched-chain Amino Acids: Catabolism in Skeletal Muscle and Implications for Muscle and Whole-body Metabolism", *Frontiers in Physiology*, Frontiers Media S.A., 20 July, doi: 10.3389/fphys.2021.702826.
- Pang, G., Xie, J., Chen, Q. and Hu, Z. (2014), "Energy intake, metabolic homeostasis, and human health", *Food Science and Human Wellness*, Elsevier B.V., Vol. 3 No. 3–4, pp. 89–103, doi: 10.1016/j.fshw.2015.01.001.
- Qaid, M.M. and Abdelrahman, M.M. (2016), "Role of insulin and other related hormones in energy metabolism – A review", *Cogent Food and Agriculture*, Informa Healthcare, doi: 10.1080/23311932.2016.1267691.
- Rahman, M.S., Hossain, K.S., Das, S., Kundu, S., Adegoke, E.O., Rahman, M.A., Hannan, M.A., et al. (2021), "Role of insulin in health and disease: An update", *International Journal of Molecular Sciences*, MDPI, 2 June, doi: 10.3390/ijms22126403.
- Rui, L. (2014), "Energy metabolism in the liver", *Comprehensive Physiology*, Wiley-Blackwell Publishing Ltd, Vol. 4 No. 1, pp. 177–197, doi: 10.1002/cphy.c130024.

Saltiel, A.R. (2021), "Insulin signaling in health and disease", *Journal of Clinical Investigation*, American Society for Clinical Investigation, 4 January, doi: 10.1172/JCI142241.

Tao, Z. and Cheng, Z. (2023), "Hormonal regulation of metabolism-recent lessons learned from insulin and estrogen", *Clinical Science*, Portland Press Ltd, 1 March, doi: 10.1042/CS20210519.

# BAB 6

## BIOSINTESIS KARBOHIDRAT, GLIKOLISIS

Astuti Amin, S.Si., M.Sc.

### A. Biosintesis Karbohidrat

Karbohidrat adalah sumber energi yang penting bagi manusia serta sarana penyimpanan energi kimiawi. Katabolisme karbohidrat menyediakan bagian utama dari kebutuhan untuk mempertahankan kehidupan. Dan Karbohidrat merupakan molekul organik yang terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen. (Blanco and Blanco, 2017). Golongan karbohidrat mencakup gula sederhana dan kompleks. Glukosa dan fruktosa adalah contoh gula sederhana, sedangkan pati, glikogen, dan selulosa adalah contoh gula kompleks. Gula kompleks juga disebut polisakarida dan terbuat dari beberapa molekul monosakarida. Polisakarida berfungsi sebagai penyimpan energi (misalnya, pati dan glikogen) dan sebagai komponen struktural (misalnya, kitin pada serangga dan selulosa pada tanaman). Selama pencernaan, karbohidrat dipecah menjadi gula sederhana yang mudah larut yang dapat diangkut melintasi dinding usus ke dalam sistem peredaran darah untuk disalurkan ke seluruh tubuh. Pencernaan karbohidrat dimulai di mulut dengan aksi amilase saliva pada pati dan diakhiri dengan monosakarida yang diserap melintasi epitel usus kecil. (Florkin and Stotz, 2014). Setelah monosakarida yang diserap diangkut ke jaringan, proses respirasi seluler dimulai (Gambar 1). Bagian ini akan berfokus pada glikolisis, sebuah proses di mana glukosa



## DAFTAR PUSTAKA

- Blanco, A., Blanco, G., 2017. Chapter 14 - Carbohydrate Metabolism, in: Blanco, A., Blanco, G. (Eds.), *Medical Biochemistry*. Academic Press, pp. 283–323. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803550-4.00014-8>
- Chandel, N.S., 2021. Carbohydrate Metabolism. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 13, a040568. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a040568>
- Florkin, M., Stotz, E.H., 2014. Carbohydrate Metabolism: *Comprehensive Biochemistry*. Elsevier.
- Fromm, H.J., Hargrove, M.S., 2012. Carbohydrate Metabolism A: Glycolysis and Gluconeogenesis, in: Fromm, H.J., Hargrove, M. (Eds.), *Essentials of Biochemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 163–204. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-19624-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-19624-9_8)
- Miljković, M., 2009. Carbohydrate-Based Antibiotics, in: Miljkovic, M. (Ed.), *Carbohydrates: Synthesis, Mechanisms, and Stereoelectronic Effects*. Springer, New York, NY, pp. 469–486. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-92265-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-0-387-92265-2_14)
- Satyanarayana, U., Chakrapani, U., 2015. *Biochemistry (with clinical concepts & case studies)*, 4th ed. ed. Elsevier Health Sciences APAC, New Delhi.

# BAB 7 | BIOSINTESIS LIPID, STEROID, DAN MEMBRANE

Suherman, M.Si.

## A. Pendahuluan

Lipid merupakan senyawa yang relatif tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut nonpolar. Berbeda dengan karbohidrat atau protein yang masing-masing memiliki struktur dasar yang sama, lipid tersusun dari banyak senyawa heterogen dengan struktur berbeda (Fahy *et al.*, 2005). Setiap jenis lipid mungkin memiliki fungsinya masing-masing dalam tubuh (Lehninger *et al.*, 2005).

1. Lipid penting bagi tubuh karena perannya dalam berbagai fungsi metabolisme. Sebagai sumber energy dimana sejumlah besar energi dapat dihasilkan dan oksidasi asam lemak dalam tubuh. Asupan lipid yang berlebihan harus diimbangi dengan asupan karbohidrat, jika tidak maka akan terjadi perlemakan hati dan ketosis (penyakit/kelainan keadaan tubuh internal dan eksternal melalui pemeriksaan darah).
2. Merupakan cadangan untuk menghasilkan energi yang tersimpan di dalam tubuh, dapat diubah menjadi energi ketika tubuh kekurangan sumber energi, untuk itu lipid disimpan dalam bentuk TG dan juga fosfolipid. Untuk menghasilkan energi, TG harus terlebih dahulu dihidrolisis (peristiwa lipolisis) untuk melepaskan asam lemak, yang

## DAFTAR PUSTAKA

- Bender, D. A., & Mayes, P. A. (2018). Harper's Illustrated Biochemistry, Thirty-first Edition. In *Harper's Illustrated Biochemistry*.
- Botham, K.M, dan Mayes, P. A. (2009). Sintesis, Transpor, & Ekskresi Kolesterol. In : Murray R.K, Granner D.K, dan Rodwell, V.W. Biokimia Harper. In *EGC*.
- Botham, K. M., & Mayes, P. (2006). Sintesis, Transport dan Ekskresi Kolesterol. In *Biokimia Harper*.
- Fahy, E., Subramaniam, S., Brown, H. A., Glass, C. K., Merrill, A. H., Murphy, R. C., Raetz, C. R. H., Russell, D. W., Seyama, Y., Shaw, W., Shimizu, T., Spener, F., Van Meer, G., VanNieuwenhze, M. S., White, S. H., Witztum, J. L., & Dennis, E. A. (2005). A comprehensive classification system for lipids. *Journal of Lipid Research*, 46(5). <https://doi.org/10.1194/jlr.E400004-JLR200>
- Han, E. S., & goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A. (2019). Illustrated Biochemistry [Harper]. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Haschke, R. H. (1978). Review of Physiological Chemistry. *Anesthesiology*, 48(2). <https://doi.org/10.1097/00000542-197802000-00031>
- Hawkins, J. D. (1966). Book Review: Review of Physiological Chemistry. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 59(5). <https://doi.org/10.1177/003591576605900556>
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2005). Lehninger Principles of Biochemistry. In *The American Journal of the Medical Sciences*.

- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2009). Principles of Biochemistry Lehninger Sixth edition. In *Principles of Biochemistry*.
- Murray, R. K. (2014). Biokimia Harper Edisi 27. In *Igarss 2014* (Issue 1).
- Murray, R. K., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., Rodwell, V. W., & P. Anthony Weil, P. (2017). Harper's biochemistry 30th edition. In *Biochemical Education*.
- Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A., & Rodwell, V. W. (2018). Harper's Illustrated Biochemistry (31st Edition). In *Biochemical Education* (Vol. 32, Issue 1).
- Nelson, D. and M. M. C. (2004). Lehninger Principles of Biochemistry (4th ed.). In *Biochemistry and Molecular Biology Education* (Vol. 33, Issue 1).
- Panini, S. (2019). Medical Biochemistry - An Illustrated Review. In *Medical Biochemistry - An Illustrated Review*. <https://doi.org/10.1055/b-005-148906>
- Poedjiadi, & Supriyanti. (2009). Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi. In *UI PRESS*.
- Rodwell, V. W., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., & Weil, A. P. (2015). Harper's Illustrated Biochemistry, 30th Ed. In *Harper's Illustrated Biochemistry*.

# BAB 8

# KINETIKA ENZIM

Marius Agung Sasmita Jati, S.Si., M.Sc.

## A. Definisi kinetika Enzim dan Peran Enzim Dalam Biokimia

Enzim tergolong dalam katalisator biologis yang berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi tanpa terlibat bereaksi dengan reaktannya, dalam hal ini enzim setelah membantu reaksi kimia tidak kehilangan sifat fisika maupun kimianya serta dapat digunakan lagi. Enzim tergolong senyawa yang spesifik dan bersifat inert. Pasangan enzim disebut sebagai substrat. Substrat inilah yang disebut dengan reaktan. Enzim merupakan suatu biomolekul yang terdapat pada semua makhluk hidup yang mempunyai peranan penting dalam aktivitasnya.

Kinetika enzim adalah ilmu yang mempelajari kecepatan reaksi enzim dan faktor-faktor yang mempengaruhi. Pada sub bab ini, kita akan membahas mengenai definisi enzim dan peran enzim dalam proses biokimia yang terjadi dalam tubuh makhluk hidup. Enzim merupakan senyawa dengan berat molekul tinggi yang secara dominan terdiri dari rantai asam amino yang terhubung satu sama lain melalui ikatan peptida. Mayoritas enzim merupakan molekul protein, walaupun ada beberapa enzim terbuat dari RNA yang disebut sebagai ribozim. Banyak dari enzim memerlukan senyawa lain, selain substrat yaitu disebut sebagai kofaktor. Kofaktor merupakan senyawa non protein yang dapat melaksanakan fungsi katalitik. Kofaktor

## DAFTAR PUSTAKA

- Berg, J., Tymoczko, J., & Stryer, L. (2004). *Biochemistry* (Vol. 5, Issue 1). W.H. Freeman and Company. <https://biokamikazi.files.wordpress.com/2013/10/biochemistry-stryer-5th-ed.pdf>
- BYJU'S. (n.d.). *Mechanism of Enzyme Reaction*. <https://cdn1.byjus.com/wp-content/uploads/2018/11/Enzymes.png>
- Cox, M. M., & Nelson, D. L. (2000). *Fifth Edition CHAPTER 19 Oxidative Phosphorylation* (Issue January). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08289-8>
- Enzyme, C. (n.d.). *Proximity and Orientation - Creative Enzymes*. [https://www.creative-enzymes.com/resource/proximity-and-orientation\\_37.html](https://www.creative-enzymes.com/resource/proximity-and-orientation_37.html)
- Enzyme, C. (2020). *Covalent Catalysis*. <https://doi.org/10.1002/9783527809080.cataz04096>
- Hammond, B. R. (1958). Enzyme kinetics. *Nature*, 182(4649), 1578. <https://doi.org/10.1038/1821578a0>
- Page, M. I., & Jencks, W. P. (1971). Entropic Contributions to Rate Accelerations in Enzymic and Intramolecular Reactions and the Chelate Effect. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 68(8), 1678–1683.
- Prasad, S. B. (n.d.). Enzyme Kinetics. In *mahatma Gandhi Central University*. [https://doi.org/10.1016/S0091-679X\(08\)61736-7](https://doi.org/10.1016/S0091-679X(08)61736-7)
- Wahyuni, S. (2017). Biokimia Enzim Dan Karbohidrat. *Dr. Sri Wahyuni, M.Sc*, 1(1), 104–116.
- Warshel, A., & Levitt, M. (1976). Theoretical Studies of Enzymatic Reactions: Dielectric Electrostatic and Steric Stabilization of the Carbonium Ion in the Reaction of Lysozyme. *J. Mol. Biol.*, 103, 227.
- Warshel, A., & Levitt, M. (2006). Electrostatic Basis of Enzyme Catalysis. *Chem. Rev*, 106, 3210–3235.

# BAB 9

# VITAMIN SEBAGAI KOFAKTOR

dr. Nina Indriyani Nasruddin, M.Kes., M.Gizi

## A. Pendahuluan

Vitamin merupakan molekul organik kecil yang tidak disintesis secara endogen dalam jumlah yang memadai oleh tubuh manusia. Meskipun memiliki ukuran molekul yang sangat kecil, fungsi fisiologis vitamin dalam tubuh menjadi hal yang tak terbantahkan mulai dari masa neonatal hingga usia lanjut. Vitamin adalah mikronutrien organik esensial (dibutuhkan dalam jumlah yang sangat kecil) yang tidak dapat disintesis oleh vertebrata, namun diperlukan untuk menjalankan fungsi biologis spesifik dalam pertumbuhan normal dan pemeliharaan kesehatan manusia. Kata "vitamin" berasal dari dua istilah, yaitu "vital" dan "amine," tetapi karena pada akhirnya disadari bahwa tidak semua vitamin adalah amina, maka huruf "e" dihilangkan. Saat ini, terdapat 13 vitamin yang diketahui, dan diklasifikasikan berdasarkan sifat kelarutannya dalam air atau lemak, yang selanjutnya memengaruhi sifat farmakokinetik molekul tersebut (Youness *et al.*, 2022; Zempleni *et al.*, 2007)

Kofaktor adalah senyawa kimia non-protein atau ion logam yang sangat dibutuhkan oleh enzim sebagai katalis dalam berbagai reaksi biokimia. Kofaktor ini dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis: ion anorganik dan molekul organik kompleks yang disebut sebagai koenzim. Sebagian besar koenzim berasal

## DAFTAR PUSTAKA

- Ball, G., 2004. *Vitamins: Their Role in the Human Body*. Blackwell Science, UK.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Gatto, G.J., 2015. *Biochemistry*, 8th ed. NY: W.H. Freeman and Company, New York.
- Combs, G.F., McClung, J.P., 2017. *The Vitamins Fundamental Aspects in Nutrition and Health*, 5th ed. Elsevier, London.
- Furie, B., Bouchard, B.A., Furie, B.C., 1999. Vitamin K-Dependent Biosynthesis of  $\gamma$ -Carboxyglutamic Acid. *Blood* 93, 1798-1808.  
[https://doi.org/10.1182/blood.V93.6.1798.406k22\\_1798\\_1808](https://doi.org/10.1182/blood.V93.6.1798.406k22_1798_1808)
- Goldman, A.D., Kacar, B., 2021. Cofactors are Remnants of Life's Origin and Early Evolution. *J Mol Evol* 89, 127-133.  
<https://doi.org/10.1007/s00239-020-09988-4>
- Piro, A., Tagarelli, G., Lagonia, P., Tagarelli, A., Quattrone, A., 2010. Casimir Funk: His Discovery of the Vitamins and Their Deficiency Disorders. *Annals of Nutrition and Metabolism* 57, 85-88. <https://doi.org/10.1159/000319165>
- Reddy, P., Jialal, I., 2023. *Biochemistry, Fat Soluble Vitamins*, in: *StatPearls*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).
- Robert K. Murray, Daryl K. Granner, Victor W. Rodwell, 2017. *Biokimia Harper*, 30th ed. Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Rodwell, V.W., Bender, D.A., Botham, K.M., Kennelly, P.J., Well, P.A., 2015. *HARPER'S ILLUSTRATED BIOCHEMISTRY*, 30th ed. McGraw-Hill Education.



- Semba, R.D., 2012. The Discovery of the Vitamins. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 82, 310–315. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000124>
- Tardy, A.-L., Pouteau, E., Marquez, D., Yilmaz, C., Scholey, A., 2020. Vitamins and Minerals for Energy, Fatigue and Cognition: A Narrative Review of the Biochemical and Clinical Evidence. *Nutrients* 12, 228. <https://doi.org/10.3390/nu12010228>
- Velazquez-Arellano, A., Hernandez-Vazquez, A. de J., 2020. Chapter 35 - Vitamins as Cofactors for Energy Homeostasis and Their Genomic Control, With Special Reference to Biotin, Thiamine, and Pantothenic Acid, in: Caterina, R.D., Martinez, J.A., Kohlmeier, M. (Eds.), *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics*. Academic Press, pp. 271–277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804572-5.00035-5>
- Youness, R.A., Dawoud, A., ElTahtawy, O., Farag, M.A., 2022. Fat-soluble vitamins: updated review of their role and orchestration in human nutrition throughout life cycle with sex differences. *Nutr Metab (Lond)* 19, 60. <https://doi.org/10.1186/s12986-022-00696-y>
- Zempleni, J., Rucker, R.B., McCormick, D.B., Suttie, J.W., 2007. *Handbook of Vitamins*, 4th ed. CRC Press, New York.

# BAB 10 | GENETIKA

Manggiasih Dwiayu Larasati, S.ST., M.Biomed

## A. Pendahuluan

Genetika adalah cabang ilmu biologi yang berkaitan dengan pewarisan sifat (hereditas) dan variasinya (Elrod and Stansfield, 2007). Berdasarkan Kamus Biologi Molekuler, genetika diartikan sebagai cabang ilmu biologi yang mengkaji bermacam-macam perspektif yang berkaitan dengan pewarisan sifat dan variasi sifat pada organisme (Nuswantara, Wulandari and Novel, 2010). Sedangkan unit-unit pewarisan sifat yang diturunkan dari satu individu ke individu lainnya disebut gen.

Materi genetik, *Deoxyribonucleic acid* (DNA), tersimpan didalam struktur makromolekul yang disebut kromosom. Kromosom berada didalam nukleus atau inti sel. Masing-masing gen menempati posisi spesifik di kromosom, disebut lokus (*locus* dari Bahasa Latin yang berarti 'tempat', jamak *loci*) (Campbell and Reece, 2008). Pada Bab ini akan dibahas tentang terminologi genetika, materi genetik, hukum pewarisan sifat, proses meiosis dan mitosis serta beberapa contoh kelainan genetik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, A. *et al* (2022) *Genetika dan Biologi Reproduksi*. Edited by M. Sari. PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Campbell, N. A. and Reece, J. B. (2008) *Biology*. Eight. English: Pearson Education Inc.
- Elrod, S. L. and Stansfield, W. D. (2007) *Schaum's Outlines of Theory and Problems of Genetics*. Fourth. Edited by McGraw-Hill. The McGraw-Hill Companies.
- Elston, R., Satagopan, J. and Sun, S. (2012) 'Genetic Terminology', *Methods Mol Biol*, 850, pp. 1-9. doi: 10.1007/978-1-61779-555-8.
- Hawley, R. & (2005) *The Human Genome A User's Guide Second Edition*. Amstersdam: Elsevier Academic Press.
- [https://www.researchgate.net/figure/Gel-elektroforesis-of-purified-platelet-on-Sepharose-4B-column-1-Leader-of-Molecular\\_fig1\\_304674364](https://www.researchgate.net/figure/Gel-elektroforesis-of-purified-platelet-on-Sepharose-4B-column-1-Leader-of-Molecular_fig1_304674364) (no date).
- Lewis, R. (2009) *Human Genetics: Concepts and Applications*. 9th Editio. USA: The McGraw-Hill Companies.
- Nusantari, E. (2015) *Genetika Ed Revisi, Cet.2*. Yogyakarta: deepublish.
- Nuswantara, S., Wulandari, A. P. and Novel, S. S. (2010) *Kamus Saku Biologi Molekuler*. Bandung: CV. Trans Info Media.
- Suryo (2010) *Genetika*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [www.lavidacotidiana.es](http://www.lavidacotidiana.es) (no date).
- Yuwono, T. (2005) *Biologi Molekuler*. Yogyakarta: Erlangga.

# BAB 11 | PROSES RESPIRASI

Salman, S.Si., M.Farm.

## A. Pendahuluan

Pada bab ini, kita akan menjelajahi salah satu proses paling penting dalam biokimia seluler: proses respirasi, atau yang sering disebut sebagai fosforilasi oksidatif. Proses ini merupakan langkah akhir dari metabolisme glukosa dan berbagai bahan bakar lainnya dalam sel, yang menghasilkan sejumlah besar energi dalam bentuk adenosin trifosfat (ATP). Fosforilasi oksidatif adalah perwujudan sejati dari kompleksitas dan efisiensi mekanisme biokimia yang ada dalam sel.

Dalam bab ini, kita akan menyelami detail dari proses ini, dari mulai masukan substrat hingga pembentukan ATP, serta peran penting mitokondria dalam menjalankan fungsi ini. Kita juga akan menjelajahi peran molekul-molekul seperti NADH, FADH<sub>2</sub>, dan kompleks protein dalam memfasilitasi aliran elektron dalam rantai transport elektron yang mengarah pada pembentukan gradien proton.

Selain itu, kita akan mendalami konsep teori gradien proton, serta bagaimana gradien ini dimanfaatkan oleh enzim ATP sintase untuk menghasilkan ATP dalam proses yang disebut fosforilasi oksidatif. Kami akan memecahkan setiap langkah menjadi komponen-komponen yang lebih kecil, memahami bagaimana energi dilepaskan dan digunakan selama proses ini, dan menggali implikasi fisiologis serta patologis dari perubahan dalam fosforilasi oksidatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berg, J. M. *et al.* (2015) 'Biochemistry (eight edition)'. WH Freeman & Co Ltd.
- Bhagavan, N. V and Ha, C.-E. (2015) 'Chapter 13 - Electron Transport Chain, Oxidative Phosphorylation, and Other Oxygen-Consuming Systems', in Bhagavan, N. V and Ha, C.-E. B. T.-E. of M. B. (Second E. (eds). San Diego: Academic Press, pp. 187-204. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416687-5.00013-0>.
- Gaw, A. *et al.* (2013) *Clinical Biochemistry E-Book: An Illustrated Colour Text*. Elsevier Health Sciences.
- Murray, K. *et al.* (2009) 'Harper's illustrated biochemistry. 28', *Citeseer, New York, United States*.
- Nelson, D. and Cox, M. (2017) 'Lehninger principles of biochemistry.: Nueva York, EE', *UU: WH Freeman and Company*.
- Vasudevan, D. M., Sreekumari, S. and Vaidyanathan, K. (2013) *Textbook of biochemistry for medical students*. JP Medical Ltd.
- Zhou, Y., Duncan, T. M. and Cross, R. L. (1997) 'Subunit rotation in Escherichia coli FoF1-ATP synthase during oxidative phosphorylation', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(20), pp. 10583-10587. doi: [10.1073/pnas.94.20.10583](https://doi.org/10.1073/pnas.94.20.10583).

# BAB 12

## BIOSINTESIS PURIN DAN PIRIMIDIN, MEKANISME REPLIKASI

Yulia Ratna Dewi, S.Tr.AK., M.Biomed

### A. Pendahuluan

Nukleotida adalah dasar penting dari biologi molekuler yang membentuk polimer dari unit monomer. Senyawa organik ini terdiri dari nukleosida, yang mengandung ribosa atau 2-deoksiribosa, terikat pada purin atau pirimidin, serta satu atau lebih gugus fosfat. Nukleotida mengandung gula 5 karbon, deoksiribosa, basa nitrogen, dan gugus fosfat ini membentuk struktur yang esensial dalam DNA dan RNA, asam nukleat yang memainkan peran utama dalam penyimpanan dan transmisi informasi genetik serta pengendalian sifat-sifat makhluk hidup (Minchin and Lodge, 2019).

Tahun 1959 menyaksikan puncak penghargaan Nobel dalam Fisiologi atau Kedokteran kepada Severo Ochoa dan Arthur Kornberg atas penemuan mereka tentang mekanisme sintesis biologis asam ribonukleat dan asam deoksiribonukleat. Proses sintesis ini melibatkan polimerase DNA dan RNA, yang menggunakan nukleotida sebagai bahan dasar untuk membangun molekul DNA dan RNA. Menariknya, dalam banyak sel, ribonukleotida—seperti RNA pembawa pesan, ribosom, dan RNA transfer—berlimpah lebih banyak daripada deoksiribonukleotida, yaitu nukleotida dalam DNA. Oleh karena itu, biosintesis nukleotida berperan penting dalam

## DAFTAR PUSTAKA

- Asha Kumari (2018) 'Pyrimidine de novo Synthesis', in Asha Kumari (ed.) *Sweet Biochemistry*, pp. 101-103. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814453-4.00020-0>.
- B, A., A, J. and J, L. (2002) 'DNA Replication Mechanisms', in *Molecular Biology of the Cell. 4th edition*. New York. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26850>.
- Barra, L., Awakawa, T. and Abe, I. (2022) 'Noncanonical Functions of Enzyme Cofactors as Building Blocks in Natural Product Biosynthesis', *JACS Au*, 2(9), pp. 1950-1963. doi: 10.1021/jacsau.2c00391.
- Blanco, A. and Gustavo, B. (2022) 'Nucleic acids', in Blanco, A. and Gustavo, B. (eds) *Medical Biochemistry (Second Edition)*, pp. 131-152. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91599-1.00022-5>.
- Chandel, N. S. (2021) 'Nucleotide metabolism', *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(7), pp. 1-17. doi: 10.1101/CSHPERSPECT.A040592.
- Chaudhry, R. and Khaddour, K. (2023) *Biochemistry, DNA Replication*. StatPearls. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482125/>.
- Chen, J. et al. (2023) 'De novo nucleotide biosynthetic pathway and cancer', *Genes and Diseases*, 10(6), pp. 2331-2338. doi: 10.1016/j.gendis.2022.04.018.
- George L. Mendz. (2001) 'Nucleotide Metabolism', in *Helicobacter pylori: Physiology and Genetics*. ASM Press. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2414/>.
- Guanabara, E. et al. (2022) *Marks Basic Medical Biochemistry A Clinical Approach, 6th Ed, Lieberman-Peet*.
- Kumari, A. (2018) 'Purine Structures', *Sweet Biochemistry*, pp. 89-91. doi: 10.1016/b978-0-12-814453-4.00017-0.

- Lane, A. N. and Fan, T. W. M. (2015) 'Regulation of mammalian nucleotide metabolism and biosynthesis', *Nucleic Acids Research*, 43(4), pp. 2466–2485. doi: 10.1093/nar/gkv047.
- Minchin, S. and Lodge, J. (2019) 'Understanding biochemistry: Structure and function of nucleic acids', *Essays in Biochemistry*, 63(4), pp. 433–456. doi: 10.1042/EBC20180038.
- Moffatt, B. A. and Ashihara, H. (2002) 'Purine and Pyrimidine Nucleotide Synthesis and Metabolism', *The Arabidopsis Book*, 1(Figure 1), p. e0018. doi: 10.1199/tab.0018.
- Mullen, N. J. and Singh, P. K. (2023) 'Nucleotide metabolism: a pan-cancer metabolic dependency', *Nature Reviews Cancer*, 23(5), pp. 275–294. doi: 10.1038/s41568-023-00557-7.
- Sakinah, S., Djauhari, L. M. and Sunarti, D. (2019) 'Penambahan Nukleotida pada Ransum Ayam Broiler dengan Kondisi Lingkungan yang Berbeda Terhadap Bobot dan Panjang Saluran Pencernaan', *Jurnal Untidar*, (1), pp. 1–5. Available at: <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/lppmpmp/article/download/1836/1220>.
- Timotius, K. H., Kurniadi, I. and Rahayu, I. (2019) *Metabolisme purin dan pirimidin*. Yogyakarta: ANDI.
- Vasanthi, R. and Balamurugan, V. (2022) 'A Review on Pharmacological Aspects of Pyrimidine Derivatives', *Science Progress and Research*, 2(2), pp. 567–579. doi: 10.52152/spr/2022.172.
- Witz, S. *et al.* (2012) 'De novo pyrimidine nucleotide synthesis mainly occurs outside of plastids, but a previously undiscovered nucleobase importer provides substrates for the essential salvage pathway in arabidopsis', *Plant Cell*, 24(4), pp. 1549–1559. doi: 10.1105/tpc.112.096743.



## TENTANG PENULIS



**apt, Besse Hardianti, M.Pharm.Sc., Ph.D.** lahir di desa Tosewo, Kabupaten Wajo Sulawesi Selatan, pada 21 Februari 1978. Ia lulus sebagai sarjana Farmasi dan apoteker di Fakultas Farmasi Universitas Hasanuddin. selanjutnya melanjutkan S2 dan S3 di negeri sakura Jepang, Universitas Toyama, Institute Natural Medicine.

Besse Hardianti adalah anak bungsu dari 6 bersaudara sehari-hari berprofesi sebagai dosen STIFA Makassar. Besse berhasil meraih beberapa beasiswa bergengsi tanah air dan luar negeri. Serta tetap berkiprah sebagai peneliti.



**Irvan Anwar, S.Farm., M.Si., Apt** lahir di Kendari pada tanggal 11 Februari 1993. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Halu Oleo (UHO) tahun 2015. Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Bioteknologi, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor tahun 2018. Penulis menyelesaikan pendidikan profesi Apoteker pada Program Studi Pendidikan Profesi Apoteker, Fakultas Farmasi Universitas Halu Oleo tahun 2020. Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar non PNS di Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi Universitas Halu Oleo pada bulan September tahun 2021, kemudian diterima menjadi PNS di Universitas Halu Oleo pada Maret 2022 - sekarang. Penulis aktif mengikuti seminar, aktif mempublikasi artikel pada jurnal Nasional.



**Nurramadhani A. Sida, S.Farm., M.Pharm.Sci., Apt**, lahir di Kendari, pada 8 Maret 1994. Pendidikan S1 ditempuh Fakultas Farmasi di Universitas Halu Oleo, lalu melanjutkan Pendidikan Magister Sains dan Teknologi di Universitas Gadjah Mada, dan pendidikan Profesi Apoteker di Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Wanita yang kerap disapa In ini adalah anak dari pasangan Armada Sida (ayah) dan Zalifah (ibu). Saat ini, bekerja sebagai dosen di Fakultas Farmasi Universitas Halu Oleo.



**Eti Sumiati, M.Sc** lahir di Dompu, NTB, 06 September 1985. Menyelesaikan Program Magister di Fakultas Biologi UGM tahun 2012. Mengabdikan pada Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Mataram tahun 2012 sampai sekarang. Mengajar mata kuliah Biologi Reproduksi dan Mikrobiologi Kesehatan, Epidemiologi serta Anatomi dan Fisiologi, Ilmu Dasar Keperawatan pada Prodi DIV Kebidanan dan SI Keperawatan Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Mataram serta Mata Kuliah Mikrobiologi pada Prodi DIII Farmasi Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Mataram. Aktif melakukan Penelitian dan Publikasi Karya Ilmiah di Bidang Kesehatan dan Mikrobiologi. Menjadi Dosen Pembimbing Lapangan (DPL) pada Kampus Mengajar 4. Buku yang sudah diterbitkan: Penulisan Kolaborasi Buku "Teori dan Aplikasi Biologi Umum" (2021), "Genetika dan Biologi Reproduksi" (2023) merupakan buku kedua bagi penulis. Buku ini yaitu "Biokimia Advance" (2023) merupakan buku ketiga bagi penulis.



**dr.Rauza Sukma Rita, Ph.D.** merupakan dosen tetap di Departemen Biokimia, Fakultas Kedokteran, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat, sejak tahun 2009. Penulis merupakan anak dari pasangan Asrizal Jarat (Ayah) dan Yurnita, Amd.Keb (Ibu). Penulis menamatkan Dokter Umum di Fakultas Kedokteran Universitas Andalas (2009), dan melanjutkan S3 bidang *Medicine* di Jichi Medical University, Jepang (lulus 2015). Penulis aktif menulis artikel di jurnal internasional dan nasional, dan telah menulis lebih dari 10 buku.



**Astuti Amin, S.Si., M.Sc.** lahir di Sidrap, pada tanggal 7 Agustus 1986. Ia tercatat sebagai lulusan S1 jurusan Ilmu Kimia Universitas Hasanuddin dan S2 Ilmu Kimia di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Saat ini Sedang mengajar di Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Makassar dari 2013- sekarang.



**Suherman, M.Si.** lahir di Buhung Lantang, pada 30 Desember 1991. Pria yang kerap disapa Herman ini adalah anak pertama dari dua bersaudara dan lahir dari pasangan Sudirman (ayah) dan Mardiana (ibu). Tahun 2018, Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Hasanuddin dan sejak 2019 mengabdikan diri menjadi pendidik di salah satu perguruan tinggi swasta. Semasa Mahasiswa aktif dalam organisasi organisasi daerah Kab. Bulukumba dan Organisasi Pergerakan mahasiswa Islam Indonesia.



**Marius Agung Sasmita Jati, S.Si., M.Sc.** lahir di Magelang, pada 22 Februari 1985. Pendidikan S1 diperoleh di Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Pendidikan S2 berkonsentrasi pada Prodi Ilmu Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Mempunyai keahlian dalam bidang Kimia Analitik dan Spektrometri. Menjadi Dosen tetap pada STIKES Wira Husada Yogyakarta dari tahun 2015 hingga 2023.



**dr. Nina Indriyani Nasruddin, M.Kes., M.Gizi,** lahir pada tanggal 20 Desember 1986 di Kota Kendari, provinsi Sulawesi Tenggara. Anak kedua dari lima bersaudara dari pasangan H.Nasruddin Habib, SE., MM dan Hj. Sinarsi, S.Pd., M.Pd. Menyelesaikan kuliah di Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin (FK UNHAS) pada tahun 2009. Setelah berhasil meraih gelar sarjana, ia berusaha untuk mengembangkan pengetahuannya di bidang kesehatan dengan melanjutkan studi pascasarjana dengan meraih gelar Magister Kesehatan Masyarakat di Universitas Halu Oleo (UHO), di mana ia mendalami berbagai aspek kesehatan masyarakat, termasuk epidemiologi, kebijakan kesehatan, dan promosi kesehatan. Selain itu, Nina juga meraih gelar Magister Gizi Klinik di Universitas Indonesia (UI), yang memperdalam pemahamannya tentang gizi dan aplikasi dalam dunia kesehatan.



**Manggiasih Dwiayu Larasati, S.ST., M.Biomed** lahir di Jakarta, pada 11 Januari 1985. Penulis tercatat sebagai lulusan D-III di Akademi Kebidanan RSPAD Gatot Soebroto, kemudian melanjutkan D-IV Kebidanan di Poltekkes Kemenkes Jakarta III dan Magister Ilmu Biomedik Universitas Indonesia. Saat ini Penulis bekerja sebagai dosen di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan RSPAD Gatot Soebroto. Pada tahun 2021, Penulis

memperoleh beasiswa LPDP untuk melanjutkan studi Program Doktor Ilmu Biomedik di Universitas Indonesia.



**Salman, S.Si., M.Farm.** dilahirkan di Kota Lhokseumawe Provinsi Aceh, 9 April 1985. Pendidikan sarjana S-1 diperoleh pada Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala. Kemudian melanjutkan pendidikan S-2 di Fakultas Farmasi, Universitas Andalas, dengan bidang peminatan Sains dan Teknologi Farmasi.

Saat ini penulis mengabdikan diri sebagai dosen di Universitas Tjut Nyak Dhien Medan, dan mendapat amanah jabatan sebagai Wakil Rektor II, disela-sela kesibukan sebagai dosen, penulis juga disibukkan dengan kegiatan sebagai peneliti independen dan juga konsultan formulasi untuk produk obat herbal, kosmetik dan makanan. Penulis menfokuskan riset di bidang *polymeric drug delivery system* terutama untuk *hydrocolloid polymer* dan *Naturapolyceutics*. Beberapa artikel penelitian telah diterbitkan pada jurnal internasional terindek Scopus dan jurnal nasional.



**Yulia Ratna Dewi, S.Tr.AK., M.Biomed**, lahir di Ambarawa pada tanggal 16 Juli 1997. Lulusan Program Studi Teknologi Laboratorium Medik Universitas Muhammadiyah Semarang tahun 2019 dan telah meraih gelar Magister Ilmu Biomedik dari Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia pada tahun 2023.