EDITOR
Dr. La Banudi, SST., M.Kes
Dr. Sultan Akbar Toruntju, SKM. MKes

METABOLISME ENERGI DAN ZAT GIZI MAKRO

Afiska Prima Dewi | Ritma Dewanti | Mayesti Akhriani | Rauza Sukma Rita | Alifiyanti Muharramah | Dera Elva Junita
Dian Estiningtyas | Desti Ambar Wati | Kuntari Astriana | Ayu Puspitasari | Riska Nur Suci Ayu | Sri Zeineke Ibrahim
Dessy Arisanty | Arinda Eka Pratiwi | Wiwi Febriani | Retno Ayu Widyastuti | Liliriawati Ananta Kahar | Puspita Raras Anindita

METABOLISME ENERGI DAN ZAT GIZI MAKRO

Buku Metabolisme Energi dan Zat Gizi Makro yang berada di tangan pembaca ini terdiri dari 18 bab, yaitu :

BAB I Konsep Dasar Metabolisme Energi dan Zat Gizi Makro
BAB 2 Karbohidrat: Karakteristik, Klasifikasi, Digestif, Absorpsi
BAB 3 Jalur Utama Pembentukan Energi dari Karbohidrat
BAB 4 Glikogenesis, Glikogenolisis, dan Glukoneogenesis
BAB 5 Metabolisme Galaktosa dan Fruktosa
BAB 6 Metabolisme Karbohidrat Non Energi
BAB 7 Pengendalian Kadar Glukosa Darah dan Kelainan Metabolisme Karbohidrat
BAB 8 Lemak: Karakteristik, Klasifikasi, Digestif, Absorpsi
BAB 9 Biosintesis Asam Lemak, Gliserol, dan Trigliserida
BAB 10 Pembentukan Energi dari Lemak
BAB 11 Pengendalian dan kelainan Metabolisme Lemak
BAB 12 Protein : Karakteristik, Klasifikasi, Digestif, Absorpsi
BAB 13 Biosintesis, Klasifikasi, dan Peran Asam Amino
BAB 14 Biosintesis Kolesterol, Lipoprotein, Dan Fosfolipid
BAB 15 Transport dan Metabolisme Lemak
BAB 16 Asam Amino Glukogenik dan Asam Amino Ketogenik
BAB 17 Pembentukan Energi dari Protein (Asam Amino)
BAB 18 Pengendalian dan kelainan Metabolisme Protein

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

0858 5343 1992
eurekamediaaksara@gmail.com
JL. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362

ISBN 978-623-120-245-1
9 786231 202451

METABOLISME ENERGI DAN ZAT GIZI MAKRO

Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M
Ritma Dewanti, S.Gz., M.Gz
Mayesti Akhriani., S.Gz, M.Sc
dr.Rauza Sukma Rita, Ph.D
Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz
Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz
Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M
Desti Ambar Wati, S.Gz., M.Gz
Kuntari Astriana, S.Gz., M. Gizi
Ayu Puspitasari, ST, M.Si
Riska Nur Suci Ayu, S.ST., M.Gz
Sri Zeineke Ibrahim, Skm, M.Kes
Dr. Dessy Arisanty, M.Sc
Arinda Eka Pratiwi, S.Gz
Wiwi Febriani, S.Gz., M.Si.
Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz
Dr. dr Liliriawati Ananta Kahar, SpAnTI SubSp TI
apt. Puspita Raras Anindita, M.Farm-Klin

PENERBIT CV. EUREKA MEDIA AKSARA

METABOLISME ENERGI DAN ZAT GIZI MAKRO

Penulis : Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M., Ritma Dewanti, S.Gz., M.Gz., Mayesti Akhriani., S.Gz, M.Sc., dr.Rauza Sukma Rita, Ph.D., Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz., Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz., Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M. Desti Ambar Wati, S.Gz., M.Gz., Kuntari Astriana, S.Gz., M. Gizi., Ayu Puspitasari, ST, M.Si., Riska Nur Suci Ayu, S.ST., M.Gz., Sri Zeineke Ibrahim, SKM, M.Kes., Dr. Dessy Arisanty, M.Sc., Arinda Eka Pratiwi, S.Gz., Wiwi Febriani, S.Gz., M.Si., Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz., Dr. dr Liliriawati Ananta Kahar, SpAnTI SubSp TI., apt. Puspita Raras Anindita, M.Farm-Klin

Editor : Dr. La Banudi, SST., M.Kes
Dr. Sultan Akbar Toruntju, SKM. MKes

Desain Sampul : Ardyan Arya Hayuwaskita

Tata Letak : Via Maria Ulfah

ISBN : 978-623-120-245-1

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

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

All right reserved
Hak Cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah hirobbil'alamin. Puji syukur kami ucapkan pada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, buku berjudul "*Metabolisme Energi dan Zat Gizi Makro*" ini dapat selesai disusun dan diterbitkan. Penulis juga mengucapkan terima kasih pada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini hingga buku ini dapat diterbitkan.

Penyusunan buku ini bertujuan untuk membantu pembaca dalam memahami materi/topik terkait metabolisme energi dan zat gizi makro. Materi yang disampaikan pada buku ini berfokus pada konsep dasar metabolisme energi dan bagaimana zat gizi makro (karbohidrat, protein, dan lemak) yang dikonsumsi oleh manusia di dalam tubuh dapat diubah dan dimetabolisme menjadi energi. Selain itu, di buku ini, dijelaskan pula karakteristik masing-masing zat gizi makro, pengendalian metabolisme masing-masing zat gizi makro, dan akibat yang dapat ditimbulkan apabila terjadi kelainan metabolisme zat gizi makro. Selain digunakan untuk memahami topik terkait metabolisme energi dan zat gizi makro, buku ini juga dapat digunakan oleh pembaca sebagai referensi dalam penulisan tulisan, makalah, buku, penelitian, atau karya tulis ilmiah yang berkaitan dengan topik metabolisme energi dan zat gizi makro.

Buku Metabolisme Energi dan Zat Gizi Makro yang berada di tangan pembaca ini terdiri dari 15 bab, yaitu :

BAB I Konsep Dasar Metabolisme Energi dan Zat Gizi Makro
BAB 2 Karbohidrat: Karakteristik, Klasifikasi, Digestif, Absorpsi
BAB 3 Jalur Utama Pembentukan Energi dari Karbohidrat
BAB 4 Glikogenesis, Glikogenolisis, dan Glukoneogenesis
BAB 5 Metabolisme Galaktosa dan Fruktosa
BAB 6 Metabolisme Karbohidrat Non Energi
BAB 7 Pengendalian Kadar Glukosa Darah dan Kelainan Metabolisme Karbohidrat
BAB 8 Lemak: Karakteristik, Klasifikasi, Digestif, Absorpsi
BAB 9 Biosintesis Asam Lemak, Gliserol, dan Trigliserida
BAB 10 Pembentukan Energi dari Lemak
BAB 11 Pengendalian dan kelainan Metabolisme Lemak

BAB 12 Protein : Karakteristik, Klasifikasi, Digestif, Absorpsi
BAB 13 Biosintesis, Klasifikasi, dan Peran Asam Amino
BAB 14 Biosintesis Kolesterol, Lipoprotein, Dan Fosfolipid
BAB 15 Transport dan Metabolisme Lemak
BAB 16 Asam Amino Glukogenik dan Asam Amino Ketogenik
BAB 17 Pembentukan Energi dari Protein (Asam Amino)
BAB 18 Pengendalian dan kelainan Metabolisme Protein

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan pada penyusunan materi buku ini. Oleh karena itu, saran ataupun kritik yang bersifat membangun untuk perbaikan dan penyempurnaan isi materi buku ini dimasa mendatang sangat penulis harapkan. Atas perhatian yang diberikan, penulis ucapkan terimakasih.

Bandar Lampung, 04 Januari 2024
Salam Hormat,

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **iii**
DAFTAR ISI ..... **v**
DAFTAR TABEL ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
BAB 1 KONSEP DASAR METABOLISME ENERGI DAN ZAT GIZI MAKRO **1**
A. Pendahuluan 1
B. Zat Gizi 2
C. Katabolisme dan Anabolisme 3
D. Metabolisme Energi 4
E. Metabolisme Basal 9
F. Faktor yang Mempengaruhi Metabolisme 10
G. Daftar Pustaka 13
BAB 2 KARBOHIDRAT: KARAKTERISTIK, KLASIFIKASI, DIGESTIF DAN ABSORPSI **15**
A. Pendahuluan 15
B. Karakteristik Sifat Karbohidrat 16
C. Klasifikasi Karbohidrat 18
D. Digestif dan Absorbsi Karbohidrat 26
E. Daftar Pustaka 29
BAB 3 JALUR UTAMA PEMBENTUKAN ENERGI DARI KARBOHIDRAT **30**
A. Adenosin Trifosfat atau ATP 30
B. Glikolisis 31
C. Siklus Krebs (*TCA CYCLE*) 33
D. Jumlah Total Produksi ATP dan Molekul yang Dihasilkan Pada Reaksi Jalur Utama Glukosa 37
E. Daftar Pustaka 38
BAB 4 GLIKOGENESIS, GLIKOGENOLISIS, DAN GLUKONEOGENESIS **40**
A. Pendahuluan 40
B. Glikogenesis 41
C. Glikogenolisis 43
D. Glukoneogenesis 47
E. Kesimpulan 53

F. Daftar Pustaka 54
BAB 5 METABOLISME GALAKTOSA DAN FRUKTOSA 57
A. Pendahuluan 57
B. Galaktosa 57
C. Galaktosa Pada Anabolisme dan Katabolisme 58
D. Fruktosa 62
E. Metabolisme Fruktosa 63
F. Daftar Pustaka 65
BAB 6 METABOLISME KARBOHIDRAT NON ENERGI (JALUR PENTOSA FOSFAT DAN JALUR URONAT) .. 67
A. Jalur Pentosa Fosfat 67
B. Fase pada Jalur Pentosa fosfat 72
C. Jalur Uronat 74
D. Daftar Pustaka 77
BAB 7 PENGENDALIAN KADAR GLUKOSA DARAH DAN KELAINAN METABOLISME KARBOHIDRAT 79
A. Pendahuluan 79
B. Pengendalian Kadar Glukosa Darah Sesudah Makan 80
C. Pengendalian Kadar Glukosa Darah Saat Puasa 81
D. Hormon yang Berperan dalam Regulasi Glukosa Darah 83
E. Kelainan Metabolisme Karbohidrat 86
F. Daftar Pustaka 90
BAB 8 LEMAK: KARAKTERISTIK, KLASIFIKASI, DIGESTIF, DAN ABSORPSI 93
A. Pendahuluan 93
B. Karakteristik Lemak 94
C. Klasifikasi Lemak 94
D. Digestif Lemak 106
E. Absorpsi Lemak 107
F. Daftar Pustaka 109
BAB 9 BIOSINTESIS ASAM LEMAK, GLISEROL DAN TRIGLISERIDA 111
A. Pendahuluan 111
B. Biosintesis Asam Lemak 112
C. Biosintesis Gliserol 115

D. Biosintesis Trigliserida 117
E. Daftar Pustaka 121
BAB 10 PEMBENTUKAN ENERGI DARI LEMAK 123
A. Pendahuluan 123
B. Pembentukan Energi Dari β-Oksidasi Asam Lemak 126
C. Pembentukan Energi dari Gliserol 144
D. Pembentukan Energi dari Badan Keton 144
E. Daftar Pustaka 146
BAB 11 PENGENDALIAN DAN KELAINAN METABOLISME LEMAK 148
A. Pendahuluan 148
B. Dislipidemia 149
C. Klasifikasi Dislipidemia 150
D. Faktor Risiko Kelainan Metabolisme Lemak 151
E. Patofisiologi Dislipidemia 152
F. Kelainan Metabolisme Lemak pada Kondisi Tertentu 154
G. Pengendalian Kelainan Metabolisme Lemak 155
H. Daftar Pustaka 157
BAB 12 PROTEIN: KARAKTERISTIK, KLASIFIKASI, DIGESTIF DAN ABSORPSI.....160
A. Karakteristik Protein 160
B. Klasifikasi Protein 164
C. Digestif Protein 169
D. Absorpsi Protein 172
E. Daftar Pustaka 174
BAB 13 BIOSINTESIS, KLASIFIKASI DAN PERAN ASAM AMINO.....175
A. Pendahuluan 175
B. Klasifikasi Asam Amino 177
C. Metabolisme Asam Amino 190
D. Sintesa Asam Amino 191
E. Peranan Asam Amino 198
F. Daftar Pustaka 201
BAB 14 BIOSINTESIS KOLESTEROL, LIPOPROTEIN, DAN FOSFOLIPID.....203

A. Pendahuluan 203
B. Kolesterol 203
C. Lipoprotein 205
D. Fosfolipid 210
E. Daftar Pustaka 213
BAB 15 TRANSPORT DAN METABOLISME LEMAK 215
A. Pendahuluan 215
B. Klasifikasi Lipid 215
C. Pencernaan Lemak 218
D. Absorbsi dan Metabolisme Lemak 220
E. Transport dan Penyimpanan Lemak 221
F. Daftar Pustaka 229
BAB 16 ASAM AMINO GLUKOGENIK DAN ASAM AMINO KETOGENIK 231
A. Pendahuluan 231
B. Siklus Krebs 232
C. Asam Amino Glukogenik 235
D. Asam Amino Ketogenik 240
E. Asam Amino Gluko-Ketogenik 241
F. Daftar Pustaka 243
BAB 17 PEMBENTUKAN ENERGI DARI PROTEIN (ASAM AMINO) 244
A. Pendahuluan 244
B. Sumber Protein 247
C. Proses Pencernaan Protein 248
D. Katabolisme Protein 255
E. Pengaruh Asupan Protein dan Asam Amino terhadap Asupan Energi secara Keseluruhan, Berat Badan, dan Komposit Tubuh (Fromentin *et al.*, 2012). 264
F. Daftar Pustaka 267
BAB 18 PENGENDALIAN DAN KELAINAN METABOLISME PROTEIN 269
A. Proses Metabolisme Protein 269
B. Patofisiologi Akibat Kelainan Metabolisme Protein 276
C. Kelainan Metabolisme Protein 277
D. Daftar Pustaka 279
TENTANG PENULIS 280

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Rumus Penaksiran AMB dari Berat Badan 10
Tabel 1. 2 Rumus Penaksiran AMB Harris Benedict 10
Tabel 2. 1 Jenis Karbohidrat dan Strukturnya 19
Tabel 2. 2 Ilustrasi Sederhana Proses Pencernaan Karbohidrat di Dalam Saluran Cerna 28
Tabel 3. 1 Ringkasan Jumlah ATP dari Proses Oksidasi Aerob Glukosa 37
Tabel 8. 1 Nilai Normal Profil Lipid (Sizer, 2020) 97
Tabel 8. 2 Fungsi Lemak (Sizer, 2020).....103
Tabel 8. 3 Penyerapan Lemak (Gropper, 2021) 107
Tabel 10. 1 Perhitungan Energi (ATP) dari Beta Oksidasi Asam Palmitat 141
Tabel 11. 1 Klasifikasi Fraksi Lemak (Total Kolesterol, LDL, HDL dan Trigliserida) 150
Tabel 12. 1 Jenis Protein yang Terdapat dalam Kuning Telur 168
Tabel 12. 2 Jenis Protein yang Terdapat dalam Putih Telur 168
Tabel 12. 3 Enzim dalam Cairan Pankreas yang Berperan dalam Proses Pencernaan Protein 171
Tabel 12. 4 Enzim yang Diproduksi oleh Usus Halus yang Berfungsi Menghidrolisis Protein 172
Tabel 12. 5 Mekanisme Penyerapan Asam-Asam Amino dalam Usus Halus 173
Tabel 13. 1 Kelompok Asam Amino Esensial dan Non Esensial ..178
Tabel 13. 2 Klasifikasi Asam Amino Berdasarkan Gugus R.....179
Tabel 13. 3 Family Biosintesis Asam Amino 192
Tabel 16. 1 Penggolongan Asam Amino Berdasarkan Sifat Katabolisme Pembentukan Energi 232

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pemecahan ATP menjadi ADP 4
Gambar 1. 2 Metabolisme Energi dari Tiga Zat Gizi Makro 7
Gambar 3. 1 Piruvat dalam Proses Aerob dan Anaerob 31
Gambar 3. 2 Proses Glikolisis 34
Gambar 3. 3 Proses Siklus Krebs 36
Gambar 4. 1. Sintesis Glikogen (Harvey *et al.*, 2011) 42
Gambar 4. 2 Glikogenolisis dan Beberapa Penyakit Penyimpanan Glikogen (Harvey *et al.*, 2011) 46
Gambar 4. 3 Jalur Utama Glukoneogenesis dan Glikolisis di Hati (Murray *et al.*, 2009) 51
Gambar 5. 1 Dua Monosakarida (Glukosa dan Galaktosa) 58
Gambar 5. 2 Rute Alternatif Metabolisme Galaktosa Ke Jalur Fosfat Melalui Galaktonat 59
Gambar 5. 3 Metabolisme Galaktosa 60
Gambar 5. 4 Skema Metabolisme Galaktosa 61
Gambar 5. 5 Dua Monosakarida (Glukosa dan Fruktosa) 62
Gambar 5. 6 Metabolisme Fruktosa 64
Gambar 6. 1 Reaksi Jalur Pentosa Fosfat 68
Gambar 6. 2 Jalur Oksidatif dan Non Oksidatif Pada Jalur Pentosa Fosfat 74
Gambar 6. 3 Rangkaian Reaksi Jalur Uronat 76
Gambar 8. 1 Struktur Kimia Lemak 94
Gambar 8. 2 Lipoprotein (Sizer, 2020) 96
Gambar 8. 3 Struktur Asam Lemak (Sizer, 2020) 98
Gambar 8. 4 Struktur Trigliserida (Sizer, 2020) 102
Gambar 8. 5 Sel Lemak (Sizer 2020) 102
Gambar 8. 6 Pembentukan Fosfolipid: (A) 3-fosfatidilkolin, (B) 3-fosfatidiletanomina, (C) 3-fosfatidilserin, (D) 3-fosfatidilinositol, dan (E) kardiolipin (difosfatidilgliserol) (Kennely, 2023) 104
Gambar 8. 7 Sfingomielin (Kennely, 2023) 105
Gambar 8. 8 Ringkasan pencernaan dan penyerapan lemak makanan. Singkatan: (TAG) Trigliserida; (C) Kolesterol; (CE) Kolesterol Ester; (PL) Fosfolipid;

(DAG) Diasilgliserol; (MAG) Monoasilgliserol; (FA) Asam lemak dan (A-GP) A-Gliserolfosfat (Gropper, 2021) 108
Gambar 9. 1 Hidrolisa Lemak 111
Gambar 9. 2 Metabolisme Lemak 112
Gambar 9. 3 Struktur Kimia Asam Lemak 113
Gambar 9. 4 Struktur Kimia Gliserol 116
Gambar 9. 5 Biosintesis Gliserol 117
Gambar 9. 6 Trigliserida 118
Gambar 9. 7 Pembentukan Gliserol-3-fosfat 119
Gambar 9. 8 Tahap 1 dan 2 Biosintesis trigliserol 120
Gambar 9. 9 Tahap 3 dan 4 Pembentukan Triasilgliserol 120
Gambar 9. 10 Biosintesis Trigliserida 121
Gambar 10. 1 Hidrolisis Trigliserida oleh Lipase 128
Gambar 10. 2 Transpor Lemak Oleh Darah 130
Gambar 10. 3 Diagram Transpor Lemak 132
Gambar 10. 4 Transfer asil KoA 135
Gambar 10. 5 Reaksi Dehidrogenasi I β−Oksidasi Asam Lemak 137
Gambar 10. 6 Reaksi Hidrasi β−Oksidasi Asam Lemak 137
Gambar 10. 7 Reaksi Dehidrogenasi II β−Oksidasi Asam Lemak 138
Gambar 10. 8 Reaksi Pemecahan Tioester β−Oksidasi Asam Lemak 139
Gambar 10. 9 Reaksi Keseluruhan β-Oksidasi Asam Lemak 139
Gambar 10. 10 Reaksi Total β-Oksidasi Asam Palmitat 140
Gambar 10. 11 Konversi Asam Lemak Menjadi Energi 141
Gambar 10. 12 Gliserol pada Glukoneogenesis 145
Gambar 12. 1 Struktur Asam Amino 163
Gambar 12. 2 Rantai Polipeptida 163
Gambar 13. 1 Struktur Umum Asam Amino (Ahern *et al*, 2023) . 176
Gambar 13. 2 Isomer dari Asam Amino (Messenberg dan Simmon, 2017) 177
Gambar 13. 3 Asam Amino Non-Polar (Ahern *et al*., 2023) 181
Gambar 13. 4 Asam Amino Karboksil 181
Gambar 13. 5 Asam Amino Gugus Amina 182

Gambar 13. 6 Asam Amino Aromatik 183
Gambar 13. 7 Asam Amino Hidroksil 184
Gambar 13. 8 Asam Amino Lain 184
Gambar 13. 9 Bagan Asam Amino Glukogenik dan Ketogenik .. 188
Gambar 13. 10 Biosintesa Alanin 193
Gambar 13. 11 Biosintesa Glutamat Melalui Transaminasi 193
Gambar 13. 12 Transaminasi Aspartat 194
Gambar 13. 13 Biosintesis Serin 194
Gambar 13. 14 Biosintesis Glutamat dari Asilasi 195
Gambar 13. 15 Biosintesa Glutamin dari Glutamat 195
Gambar 13. 16 Biosintesa Sistein 196
Gambar 13. 17 Biosintesa Glisin 196
Gambar 13. 18 Biosintesa Tirosin 197
Gambar 13. 19 Biosintesa Asparagin (Ahmed, 2023) 198
Gambar 14. 1 Jalur Eksogen dan Endogen 209
Gambar 14. 2 *Reverse Cholesterol Transport* 210
Gambar 14. 3 Struktur Fosfolipid 211
Gambar 15. 1 Pencernaan lemak dalam saluran pencernaan (Fani 2022) 219
Gambar 15. 2 Struktur Dasar dan Perbandingan Komposisi lipoprotein (Gropper, 2013) 223
Gambar 15. 3 Jalur metabolisme endogen dan eksogen lipoprotein (Jim, 2013) 227
Gambar 15. 4 Trigliserida dalam kilomikron dan VLDL dipecah oleh lipoprotein lipase sehingga asam lemak dan gliserol dapat digunakan sebagai energi atau disimpan di dalam sel (Callahan, 2023) 229
Gambar 16. 1 Siklus Krebs 233
Gambar 16. 2 Katabolisme Asam Amino dalam Pembentukan Energi 234
Gambar 16. 3 Reaksi Pembentukan Oxaloacetate dari Asam Amino Asparagine dan Aspartate 236
Gambar 16. 4 Reaksi Pembentukan α-Ketoglutarate dari Asam Amino Glutamate dan Glutamine 237
Gambar 16. 5 Katabolisme Leucine Menjadi Acetyl co.A 240

Gambar 17. 1 Gambaran Umum tentang Pencernaan Protein (Modifikasi dari (Gropper, Smith and Groff, 2009)) 249
Gambar 17. 2 Metabolisme Protein Secara Umum (modifikasi dari (Yeum and Russell, 2002)) 254
Gambar 17. 3 Katabolisme Asam Amino (modifikasi dari (Yeum and Russell, 2002)) 258
Gambar 17. 4 Contoh Reaksi Transaminasi.....259
Gambar 17. 5 Contoh Reaksi Deaminasi Oksidatif 259
Gambar 17. 6 Sintesis Glutamin oleh Glutamin Sintetase pada Mamalia (dikutip dari (Wahjuni, 2013)) 263
Gambar 17. 7 Peruraian Glutamin Menjadi Glutamat Melepaskan Ammonia (dikutip dari (Wahjuni, 2013)) 263
Gambar 17. 8 Siklus Urea dan Reaksinya (dikutip dari (Baerends *et al.*, 2000)).....264
Gambar 18. 1 Anatomi Saluran Cerna dan Enzim yang Dihasilkan 271
Gambar 18. 2 Sintesis Polipeptida. Proses Transkripsi DNA menjadi mRNA Lalu Ditranslasi Menjadi Asam Amino.....274
Gambar 18. 3 Ikatan peptide C – N Menghubungkan Asam Amino 1 Dengan Asam Amino 2.....275
Gambar 18. 4 Post-translational Modifications.....275
Gambar 18. 5 Perbandingan Katabolisme Normal dengan HS ...276
Gambar 18. 6 Gangguan Regulasi Protein.....278

METABOLISME ENERGI DAN ZAT GIZI MAKRO

Afiska Prima Dewi, S.Gz., M.K.M
Ritma Dewanti, S.Gz., M.Gz
Mayesti Akhriani., S.Gz, M.Sc
dr.Rauza Sukma Rita, Ph.D
Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz
Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz
Dian Estiningtyas, S.Gz., M.K.M
Desti Ambar Wati, S.Gz., M.Gz
Kuntari Astriana, S.Gz., M. Gizi
Ayu Puspitasari, ST, M.Si
Riska Nur Suci Ayu, S.ST., M.Gz
Sri Zeineke Ibrahim, Skm, M.Kes
Dr. Dessy Arisanty, M.Sc
Arinda Eka Pratiwi, S.Gz
Wiwi Febriani, S.Gz., M.Si.
Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz
Dr. dr Liliriawati Ananta Kahar, SpAnTI SubSp TI
apt. Puspita Raras Anindita, M.Farm-Klin

BAB 1

KONSEP DASAR METABOLISME ENERGI DAN ZAT GIZI MAKRO

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

A. Pendahuluan

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

Metabolisme dapat dibedakan menjadi anabolisme dan katabolisme. Anabolisme merupakan suatu reaksi kimia dalam membentuk senyawa kompleks yang disintesis dari senyawa sederhana yang disertai dengan penggunaan energi. Sedangkan katabolisme merupakan fase degradasi atau suatu proses reaksi kimia untuk memecahkan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana yang disertai pelepasan energi. Proses katabolisme dan anabolisme berlangsung secara bersamaan dalam tubuh

G. Daftar Pustaka

Almatsier, Sunita (2010) *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama

Almatsier, Sunita *et al* (2013) *Gizi Seimbang Dalam Daur Kehidupan*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama

Ariati, Ni Tengah (2013) *Gizi dan Produktivitas Kerja*. Jurnal Skala Husada Volume 10 No.2 September 2013 : 214 – 218

Arsana, I Nyoman (2023) *Peran Hormon Tiroid dalam Proses Metabolisme*. Widya Biologi, Vol. 14 No.1 Juni 2023 : 47-55

Darwin (2019) *Perbandingan Laju Metabolisme Basal Menurut Status Berat Badan Atlet Karate Kota Makassar*. Thesis (Diploma), Fakultas Ilmu Olahraga, Universitas Negeri Makassar

Ernawati (2021). *Biologi Manusia untuk Mahasiswa Kesehatan*. Edited by Widyawaty, Eka Deviany. Malang: Wijaya Kusuma Press

Ezekia, Kevin & Nada, I Ketut W. (2017) *Metabolisme*. Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

Hulbert, Anthony J. & Else, Paul L. (2004) *Basal Metabolic Rate: History, Composition, Regulation, and Usefulness*. Physiological and Biochemical Zoology, November 2004, 77(6):869-76, DOI: 10.1086/422768

Husain, Zulfa. (2021) *Klasifikasi Gizi dan Status Gizi*. OSF Preprints. June 10. doi:10.31219/osf.io/vc2bn

Irawan, M. Anwari (2007) *Glukosa & Metabolisme Energi*. Sports Science Brief. Volume 1 (2007) No.6

Kusumawati, Wiwik *et al* (2019) Buku Ajar Ilmu Gizi Olahraga. Edited by Fungky. Ponorogo : Uwais Inspirasi Indonesia

Mappanyukki, Andi Atssam *et al* (2020) *Perbandingan Basal Metabolic Rate Menurut Status Berat Badan Mahasiswa Program Studi Ilmu Keolahragaan Angkatan 2017*. SPORTIVE: Journal of Physical Education, Sport and Recreation, Volume 3 Nomor 2 Maret 2020 : 123 – 130

Misran, Wiwin Haryono (2012) *Perbandingan Laju Metabolisme Basal Menurut Status Berat Badan Mahasiswa Program Studi Ilmu Olahraga Angkatan 2008 Tahun 2012.* Thesis (Diploma), Fakultas Ilmu Olahraga, Universitas Negeri Makassar

Mulyani, Erry Yudhya (2019) *Perubahan Fisiologi dan Metabolisme Kehamilan*. Diktat Metabolisme Gizi Ibu Hamil, Februari 2019, Universitas Esa Unggul

Rachmawati, Septi Nur *et al* (2023) *Pangan dan Gizi*. Edited by Oktavianis & Melisa, Ilda. Padang : PT Global Eksekutif Teknologi

Shahab, Alwi (2012) *Hipertiroidisme dalam Kehamilan*. Palembang : Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya

Syahnita, Rini & Indarto (2021) *Modul Biokimia Materi Metabolisme Lemak, Daur Asam Sitrat, Fosforilasi Oksidatif dan Jalur Pentosa Fosfat*. Pendidikan Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung

Tumanggor, Lisnawati *et al* (2023) *Metabolisme Zat Gizi*. Surabaya : Cipta Media Nusantara (CMN)

Wahjuni, Sri (2013) *Metabolisme Biokimia*. Denpasar : Udayana University Press

Wijayanti, Novita (2017) *Fisiologi Manusia dan Metabolisme Zat Gizi*. Malang : Universitas Brawijaya Press (UB Press)

Yuniritha, Eva & Sulistyowati, Yenny. (2021). *Metabolisme Zat Gizi*. https://www.researchgate.net/publication/356189471

BAB 2

KARBOHIDRAT: KARAKTERISTIK, KLASIFIKASI, DIGESTIF DAN ABSORPSI

Ritma Dewanti, S.Gz., M.Gz

A. Pendahuluan

Istilah karbohidrat berasal dari kata hidrat karbon (*hydrates of carbon*) atau yang populer dikenal dengan sebutan hidrat arang atau sakarida (dari bahasa Yunani *Sakcharon* yang berarti gula). Karbohidrat adalah zat gizi berupa senyawa organik yang terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen yang digunakan sebagai bahan pembentuk energi. Di dalam tumbuhan, ketiga zat tersebut terlibat dalam suatu proses yang populer dengan sebutan fotosintesis.

Tanaman yang berada di sekitar kita, menggunakan senyawa karbon dioksida (CO_3) dan air (H_2O) dengan bantuan energi (sinar matahari) dan pigmen hijau daun (klorofil) untuk memproduksi karbohidrat yang biasa kita makan. Proses kimia yang terjadi secara alamiah dan kompleks tersebut adalah proses fotosintesis. Melalui proses fotosintesis, senyawa yang berada di sekitar tanaman, yaitu air yang berasal dari tanah dan karbon dioksida yang berasal dari udara, dengan bantuan sinar matahari dan adanya butir hijau daun (klorofil) bereaksi dan memungkinkan daun membentuk glukosa sebagai bahan energi dan melepaskan oksigen. Energi yang terbentuk selama proses fotosintesis, tersimpan menyebar di bagian-bagian tanaman, yaitu daun, batang, akar, biji, serta buah.

E. Daftar Pustaka

Hardinsyah and Supariasa. (2017). Ilmu Gizi Teori & Aplikasi. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran.

Kusmiyati, M. (2016). Praktikum Kimia Farmasi. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia

Wardani, T, and Hikmah, S. (2021) *Kimia Organik 2*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.

BAB 3

JALUR UTAMA PEMBENTUKAN ENERGI DARI KARBOHIDRAT

Mayesti Akhriani., S.Gz., M.Sc.,

A. Adenosin Trifosfat atau ATP

Di dalam sel, energi disintesis melalui proses oksidasi dari zat gizi sumber energi yaitu karbohidrat, lemak dan protein. Energi atau kalori yang dihasilkan dari proses metabolisme ini sangat dibutuhkan secara terus-menerus untuk proses biokimia dalam tubuh seperti sintesa makromolekul, kontraksi otot, transport ion, dan proses thermogenesis. Proses oksidasi menghasilkan molekul energi bebas yang dapat disimpan dalam phosphoahydrine atau ikatan energi dalam molekul seperti nucleoside difosfat atau ADP, dan adenosin 5' trifosfat atau ATP, phosphoenolpyrupate, carbamoyl fosfat, 2,3-bisphosphoglycerate dan phospagens lainnya. Dari semua grup fosfat tersebut, ATP merupakan hubungan pusat utama dan paling efektif untuk menghubungkan antara proses produksi energi dan proses membutuhkan energi yang melibatkan pembentukan, proses hidrolisis, transfer antar grup fosfat. Maka dari itu, pembentukan energi utama adalah berfokus pada pada pembentukan ATP.

Sumber utama energi untuk metabolisme sel adalah glukosa yang dikatabolisme dalam tiga proses dengan berurutan dari glikolisis, tricarboxyle acid cycle (TCA atau siklus Krebs) hingga fosforilasi oksidatif untuk produksi ATP. Pertama-tama, saat glukosa diubah menjadi piruvat, jumlah sediaan ATP sangat rendah. Selanjutnya, piruvat diubah menjadi asetil coenzime A

NADH dan FADH terdapat pada matriks mitokondria dan mengalami reaksi oksidasi oleh rantai transport elektron dan fosforilasi oksidatif yang menghasilkan ATP. Satu molekul NADH dapat menghasilkan 3 ATP dan satu molekul FADH menghasilkan 2 ATP. Maka dari itu jika digabungkan dari semua hasil akhir dari satu molekul glukosa terdapat 38 molekul ATP dalam kondisi aerob. Ringkasan jumlah ATP dari satu molekul glukosa yang dihasilkan dari jalur utama (glikolisis dan siklus Krebs) dapat dilihat di Tabel 1.1.

E. Daftar Pustaka

Alabduladhem TO, Bordoni B. Physiology, Krebs Cycle. [Updated 2022 Nov 23]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556032/

Berdanier, C.D., & Berdanier, L.A. (2021). Advanced Nutrition: Macronutrients, Micronutrients, and Metabolism (3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003093664

Bertram, R., Gram Pedersen, M., Luciani, D. S., & Sherman, A. (2006). A simplified model for mitochondrial ATP production. Journal of theoretical biology, 243(4), 575–586. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2006.07.019

Bonora, M., Patergnani, S., Rimessi, A., De Marchi, E., Suski, J. M., Bononi, A., Giorgi, C., Marchi, S., Missiroli, S., Poletti, F., Wieckowski, M. R., & Pinton, P. (2012). ATP synthesis and storage. Purinergic signaling, 8(3), 343–357. https://doi.org/10.1007/s11302-012-9305-8

Chandel N. S. (2021). Glycolysis. Cold Spring Harbor perspectives in biology, 13(5), a040535. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a040535

Dashty M. (2013). A quick look at biochemistry: carbohydrate metabolism. Clinical biochemistry, 46(15), 1339–1352. https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2013.04.027

Haddad A, Mohiuddin SS. Biochemistry, Citric Acid Cycle. [Updated 2023 May 1]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541072/

Martínez-Reyes, I., Chandel, N.S. Mitochondrial TCA cycle metabolites control physiology and disease. Nat Commun 11, 102 (2020). https://doi.org/10.1038/s41467-019-13668-3

Smith, J., Carr, T., & Gropper, S. (2016). Advanced nutrition and human metabolism (7th ed.). CENGAGE Learning Custom Publishing.

Sumarlin (2020) BIOKIMIA: Dasar-Dasar Biomolekul dan Konsep Metabolisme. Ukraina: Pt.rajagrafindo Persada.

BAB 4

GLIKOGENESIS, GLIKOGENOLISIS, DAN GLUKONEOGENESIS

dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D

A. Pendahuluan

Metabolisme karbohidrat melibatkan banyak jalur metabolisme, seperti glikogenesis, glikogenolisis, dan gluconeogenesis. Glikogenesis dan glikogenolisis berkaitan erat dengan sintesis dan pemecahan glikogen. Glikogen merupakan cadangan glukosa yang terbentuk ketika kadar glukosa tinggi. (Calì *et al.*, 2019) Glikogen dapat ditemukan di hati dan otot. Ketika tubuh kekurangan glukosa, maka cadangan glikogen akan dipecah untuk mendapatkan glukosa. Tujuannya yaitu untuk mempertahankan kadar glukosa dalam batas normal. (Han *et al.*, 2016)

Glukoneogenesis merupakan proses mendapatkan glukosa dari sumber non karbohidrat. Glukoneogenesis terjadi saat tubuh kekurangan glukosa dalam jangka waktu lama seperti kelaparan. Glukoneogenesis bertujuan untuk mempertahankan kadar glukosa darah dalam batas normal. (Zhang *et al.*, 2019)

Berikut ini akan dijelaskan lebih detail mengenai glikogenesis, glikogenolisis, dan glukoneogenesis di dalam tubuh serta pengaturannya.

Glukoneogenesis adalah proses mendapatkan glukosa dari sumber selain karbohidrat. Ada beberapa tahap dari glukoneogenesis yaitu pembentukan oksaloasetat, pembentukan *phosphoenolpyruvate*, pembentukan *fructose 1,6-bisphosphate*, pembentukan *fructose-6-phosphate*, pembentukan *glucose-6-phosphate*, dan pembentukan glukosa. Glukoneogenesis ini penting untuk mempertahankan kadar glukosa darah tetap normal.

F. Daftar Pustaka

Adeva-Andany, M.M., González-Lucán, M., Donapetry-García, C., Fernández-Fernández, C. and Ameneiros-Rodríguez, E. (2016), "Glycogen metabolism in humans", *BBA Clinical*, Elsevier B.V., 1 June, doi: 10.1016/j.bbacli.2016.02.001.

Adina-Zada, A., Zeczycki, T.N. and Attwood, P. V. (2012), "Regulation of the structure and activity of pyruvate carboxylase by acetyl CoA", Archives of Biochemistry and Biophysics, 15 March, doi: 10.1016/j.abb.2011.11.015.

Althaher, A.R. (2022), "An Overview of Hormone-Sensitive Lipase (HSL)", Scientific World Journal, Hindawi Limited, doi: 10.1155/2022/1964684.

Calì, C., Tauffenberger, A. and Magistretti, P. (2019), "The strategic location of glycogen and lactate: From body energy reserve to brain plasticity", Frontiers in Cellular Neuroscience, Frontiers Media S.A., Vol. 13, doi: 10.3389/fncel.2019.00082.

Chung, S.T., Chacko, S.K., Sunehag, A.L. and Haymond, M.W. (2015), "Measurements of gluconeogenesis and glycogenolysis: A methodological review", Diabetes, American Diabetes Association Inc., Vol. 64 No. 12, pp. 3996–4010, doi: 10.2337/db15-0640.

Han, H.S., Kang, G., Kim, J.S., Choi, B.H. and Koo, S.H. (2016), "Regulation of glucose metabolism from a liver-centric perspective", Experimental and Molecular Medicine,

Nature Publishing Group, 4 March, doi: 10.1038/emm.2015.122.

Harvey, R., Ferrier, D., Harvey, R.A. and Ferrier, D.R. (2011), Lippincott's Illustrated Reviews Biochemistry 5th Edition Lippincott's Illustrated Reviews, Vol. 5.

Kanungo, S., Wells, K., Tribett, T. and El-Gharbawy, A. (2018), "Glycogen metabolism and glycogen storage disorders", Annals of Translational Medicine, AME Publishing Company, Vol. 6 No. 24, pp. 474–474, doi: 10.21037/atm.2018.10.59.

Kolnes, A.J., Birk, J.B., Eilertsen, E., Stuenaes, J.T., Wojtaszewski, J.F.P. and Jensen, J. (2015), "Epinephrine-stimulated glycogen breakdown activates glycogen synthase and increases insulin-stimulated glucose uptake in epitrochlearis muscles", Am J Physiol Endocrinol Metab, Vol. 308, pp. 231–240, doi: 10.1152/ajpendo.00282.2014.-Epinephrine.

López-Soldado, I., Bertini, A., Adrover, A., Duran, J. and Guinovart, J.J. (2020), "Maintenance of liver glycogen during long-term fasting preserves energy state in mice", FEBS Letters, Wiley Blackwell, Vol. 594 No. 11, pp. 1698–1710, doi: 10.1002/1873-3468.13770.

Martínez-Reyes, I. and Chandel, N.S. (2020), "Mitochondrial TCA cycle metabolites control physiology and disease", Nature Communications, Nature Research, 1 December, doi: 10.1038/s41467-019-13668-3.

Miller, R.A. and Birnbaum, M.J. (2016), "Glucagon: acute actions on hepatic metabolism", Diabetologia, Springer Verlag, Vol. 59 No. 7, pp. 1367–1371, doi: 10.1007/s00125-016-3950-3.

Murray, R.K. (Robert K., Bender, D.A., Botham, K.M., Kennelly, P.J., Rodwell, V.W. and Weil, P.A. (2009), Harper's Illustrated Biochemistry, Vol. 28, McGraw-Hill Medical.

Petersen, M.C. and Shulman, G.I. (2018), "Mechanisms of Insulin Action and Insulin Resistance", Physiol Rev, Vol. 98, pp. 2133–2223, doi: 10.1152/physrev.

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.

Ross, F.A., MacKintosh, C. and Hardie, D.G. (2016), "AMP-activated protein kinase: a cellular energy sensor that comes in 12 flavours", *FEBS Journal*, Blackwell Publishing Ltd, pp. 2987–3001, doi: 10.1111/febs.13698.

Stark, R., Guebre-Egziabher, F., Zhao, X., Feriod, C., Dong, J., Alves, T.C., Ioja, S., *et al.* (2014), "A role for mitochondrial phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK-M) in the regulation of hepatic gluconeogenesis", *Journal of Biological Chemistry*, American Society for Biochemistry and Molecular Biology Inc., Vol. 289 No. 11, pp. 7257–7263, doi: 10.1074/jbc.C113.544759.

Wendt, A. and Eliasson, L. (2022), "Pancreatic alpha cells and glucagon secretion: Novel functions and targets in glucose homeostasis", *Current Opinion in Pharmacology*, Elsevier Ltd, 1 April, doi: 10.1016/j.coph.2022.102199.

Zhang, X., Yang, S., Chen, J. and Su, Z. (2019), "Unraveling the regulation of hepatic gluconeogenesis", *Frontiers in Endocrinology*, Frontiers Media S.A., doi: 10.3389/fendo.2018.00802.

BAB 5

METABOLISME GALAKTOSA DAN FRUKTOSA

Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz

A. Pendahuluan

Jenis dari karbohidrat sederhana terpenting dalam zat gizi yang termasuk dalam monosakarida seperti glukosa, fruktosa, dan galaktosa. Sedangkan tiga jenis karbohidrat sederhana yang termasuk dalam disakarida seperti maltosa (glukosa dan glukosa), sukrosa (glukosa dan fruktosa), laktosa (glukosa dan galaktosa).

Bentuk dari unit dasar pada karbohidrat yang paling sederhana yaitu monosakarida (berasal dari kata Yunani s´akkharon, yang berarti rasa manis). Dua monosakarida dapat dihubungkan secara kovalen melalui ikatan glikosidik untuk menghasilkan disakarida, sedangkan rantai beberapa unit monosakarida didefinisikan sebagai oligosakarida (2–12 unit) atau polisakarida (>12 unit).

B. Galaktosa

Galaktosa secara alami terdiri sebagai gula tunggal yang terdapat pada beberapa makanan. Secara alami galaktosa ditemukan pada berbagai makanan seperti sereal, buah-buahan, sayuran dan madu, jumlah terbanyak terdapat di dalam susu. Pada susu galaktosa diolah kembali dalam bentuk laktosa suatu disakarida yang dibentuk oleh ikatan glikosidik β-1 → 4 antara satu molekul galaktosa dan salah satu glukosa. Ikatan glikosidik ini dapat dihidrolisis oleh enzim laktase, yaitu 150 kDa β-

F. Daftar Pustaka

A.I. Coelho, G.T. Berry, M.E. Rubio-Gozalbo, Galactose metabolism and health, Curr Opin Clin Nutr Metab Care 18 (4) (2015) 422–427.

K.J. Newens, J. Walton, A review of sugar consumption from nationally representative dietary surveys across the world, J. Hum. Nutr. Diet. 29 (2) (2016) 225–240

Rolfes, S.R; Pinna, K.; Whitney, E. 2009.Understanding Normal and Clinical Nutrition, Eight Edition. Wadsworth: Cengage Learning.

Monosaccharide diversity, in: P.H. Seeberger, A. Varki (Eds.), Essentials of Glycobiology, Cold Spring Harbor Laboratory Press Copyright 2015–2017 by the Consortium of Glycobiology La Jolla, California. All rights reserved.: Cold Spring Harbor (NY), 2017.

A.I. Coelho, *et al*., Sweet and sour: an update on classic galactosemia, J. Inherit. Metab. Dis. 40 (3) (2017) 325–342.

K. Gross, P. Acosta, Fruits and vegetables are a source of galactose: implications in planning the diets of patients with galactosaemia, J. Inherit. Metab. Dis. 14 (2) (1991) 253–258.

K.C. Gross, *et al*., Soluble galactose content of selected baby food cereals and juices, J. Food Compos. Anal. 8 (4) (1995) 319–323.

S. Stepnick, *et al*., Free galactose content of fresh fruits and strained fruit and vegetable baby foods: more foods to consider for the galactose-restricted diet, J. Acad. Nutr. Diet. 100 (5) (2000) 573.

S.C. Van Calcar, *et al*., Galactose content of legumes, caseinates, and some hard cheeses: implications for diet treatment of classic galactosemia, J. Agric. Food Chem. 62 (6) (2014) 1397–1402.

Mayes PA. 2003. Harper's Biochemistry, 25th edition. Edited: Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwell VW. New York: McFraw-Hill.

Mahan, L. Kathleen. 2017. Food and the nutrition care process. Fourteenth edition. Canada. *Senior Book Designer:* Amy Buxton.

BAB 6

METABOLISME KARBOHIDRAT NON ENERGI (JALUR PENTOSA FOSFAT DAN JALUR URONAT)

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

A. Jalur Pentosa Fosfat

Jalur pentosa fosfat atau *pentose phosphate pathway* adalah jalur metabolik yang berjalan secara paralel dengan glikolisis. Jika pada jalur glikolisis glukosa diolah melalui respirasi seluler untuk memproduksi energi, jalur pentosa fosfat ini merupakan jalur alternatif untuk oksidasi glukosa. Jalur pentosa fosfat ini unik karena tidak ada energi dalam bentuk ATP yang diproduksi dan digunakan dalam jalur ini. Produk utama jalur ini adalah NADPH, suatu pereduksi yang diperlukan dalam beberapa proses anabolisme (untuk biosintesis asam lemak, kolesterol, dan steroid lain) dan ribosa – 5 fosfat yang merupakan komponen struktural nukleotida dan asam nukleat (ribosa untuk biosintesis asam nukleat). Jalur pentosa fosfat ini disebut juga *Hexose Monophosphate Shunt* (HMP). Jalur pentosa fosfat aktif dalam hati, jaringan lemak, kelenjar korteks adrenal, kelenjar tiroid, eritrosit, dan kelenjar mammae (laktasi). Jaringan yang terlibat dalam biosintesis lipid seperti hati, jaringan adiposa, jaringan mammary, jaringan adrenal mengandung banyak enzim yang berperan dalam jalur pentosa fosfat. Inilah sebab 30% glukosa dalam hati dioksidasi melalui jalur pentosa fosfat. Jalur pentosa fosfat lebih kompleks dibandingkan reaksi glikolisis. Mekanisme biokimia Jalur Pentosa fosfat secara rinci dapat dilihat pada gambar 6.1.

Berdasarkan gambar diatas, reaksi lengkap jalur uronat yaitu :

1. Glukosa-6 fosfat diubah menjadi glukosa-1 fosfat.
2. Glukosa-1-fosfat bereaksi dengan Urindin Trifosfat (UTP) membentuk nukleotid aktif yaitu uridin difosfat glukosa (UDPG1c). Reaksi ini dikatalisis UDPGIc pirofosforilase.
3. UDPGIc dioksidasi menjadi UDP-glukoronat. UDP-glukuronat merupakan bentuk aktif dari glukoronat. Oksidasi ini dikatalisis UDPGIc dehidrogenase yang memerlukan NAD.
4. Pada reaksi yang memerlukan NADPH, glukoronat akan direduksi menjadi L-gulonat.
5. L-gulonat dioksidasi menjadi 3-Keto-L-Gulonat dan dekarboksidasi menjadi pentosa L-xylosa.
6. L-xylosa diubah membentuk isomer D oleh enzim yang memerlukan NADPH menjadi xylitol.
7. Xylitol diubah menjadi D-xylosa dengan koenzim NAF kemudian menjadi xylosa-5 fosfat.
8. Xylosa-5-fosfat dapat masuk dalam metabolisme jalur pentosa fosfat.

Jalur uronat berkaitan erat dengan jalur glikogenesis dan sintesis laktosa. Dari jalur uronat dihasilkan molekul UDP glukosa yang juga dipakai untuk sintesis glikogen. UDP glukosa juga dapat digunakan untuk sintesis laktosa.

D. Daftar Pustaka

Ayes, P. A., D, K. Granner, V. W, Rodwell dan D. W. Martin. JR. 1992. Biokimia Harper (Harper Review of Biochemistry). Alih Bahasa.; Dr. Iyan Darmawan. Cetakan VI. Edisi 20. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta

Gajera, H.P. et ol. 2008. Fundamentals of Biochemistry. Meerabail Marg: International Book Distributing CO.

Garrett, R.H & Grisham, C.M. 2013. Biochemistry United of States: Cengage Learning.

Glibert, F. Hiram. 2000. Basic Concept in Biochemistry a Students Survival Guide, New York: McGraw Hill.

Lieberman M, Marks A, Peet A., 2013. Gluconeogenesis and Maintenance of Blood Glucose Levels. Dalam Marks' Basic Medical Biochemistry: a clinical approach, 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, hal.559-579.

Lieberman M, Marks A, Peet A., 2013. Pathways of Sugar Metabolism: Pentose Phosphate Pathway, Fructose, and Galactose Metabolism. Dalam Marks' Basic Medical Biochemistry: a clinical approach, 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, hal.529-539.

Mayes P. A. dan Bender D. A., 2003. The Pentose Phosphate Pathway & Other Pathways of Hexose Metabolism. Dalam Murray R. K., Bender D. A., Botham K. M., Kennelly P. J.. Rodwell V. W., dan Weil P. A. Harper's Illustrated Biochemistry, 26th edition. China: The McGraw-Hill Companie, hal. 163-172.

Murray, K. Robert *et al*. 2003. Harper's Illustrated Biochemistry. United of States: Mc-Graw Hill Companies, Inc.

Strayer, L. 2000. Biokimia. Cetakan I. Edisis 4 Volume I. Alih Bahasa dr. Ani

Retno Prijanti, dkk. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta

Van Hold, E. K. *et al*. 2006. Principles of Physical Biochemistry. United of States: Pearson Education, Inc.

Voet, Donald & J.G.Voet. 2008. Principles of Biochemistry. New York: John Wiley & Sons, Inc.

BAB 7

PENGENDALIAN KADAR GLUKOSA DARAH DAN KELAINAN METABOLISME KARBOHIDRAT

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

A. Pendahuluan

Kadar glukosa darah dalam tubuh manusia harus berada dalam rentang yang normal untuk dapat menunjang aktivitas jaringan dan organ tubuh. Agar dapat mempertahankan kadar glukosa darah tetap berada direntang normal, tubuh manusia memiliki sistem homeostatis alami yang dapat mengantur dan mengendalikan kadar glukosa darah baik ketika sehabis makan maupun saat kondisi puasa. Sistem homestatis ini dikendalikan oleh hormon-hormon dalam tubuh, khususnya hormon insulin dan hormon glukogon. Setelah makan, tubuh akan mengalami kelonjakan glukosa dalam darah akibat masuknya karbohidrat dari makanan. Kondisi ini memicu hormon insulin keluar dari sel-sel beta pankreas untuk menurunkan glukosa darah dengan meningkatkan laju penggunaan oksidasi glukosa, glikogenesis, dan lipogenesis. Sebaliknya, ketika kadar glukosa darah mulai menurun, misalnya saat puasa, hormon glukagon akan keluar melalui sel-sel alfa pankreas untuk dapat meningkatkan kadar glukosa darah dengan cara peningkatan laju glukogenolisis dan glukoneogenesis (Puglianiello, 2006; Amendt, 2022).

Kondisi homestatis terjadi setiap hari pada tubuh untuk mengendalikan kadar glukosa darah tetap berada pada rentang normal dan tubuh tidak mengalami masalah kesehatan akibat kadar glukosa darah yang ekstrim dalam tubuh (terlalu tinggi atau terlalu rendah). Namun, kondisi kelainan tertentu dapat

rangka. Glikogen adalah bentuk tersimpan dari glukosa yang fungsi fisiologis utamanya adalah menyediakan glukosa melalui proses glikogenolisis untuk homeostasis glukosa. Penyimpanan glikogen di hati digunakan untuk mempertahankan homeostasis glukosa dalam serum, dan simpanan di otot menyediakan glukosa pada otot ketika periode aktivitas tinggi atau olahraga sebagai sumber energi. Pada saat fungsi fisiologis ini rusak, maka yang akan terjadi adalah kadar gula darah akan menurun hingga di bawah normal secara signifikan (hipoglikemia), pembesaran organ hati (*hepatomegaly*) yang disebabkan ketidakmampuan mobilisasi glukosa dari glikogen di hepar sehingga terjadi penumpukan, kram otot, intoleransi olahraga, dan tubuh yang melemah secara berkepanjangan. Beberapa gangguan juga memengaruhi miokard dan dapat menyebabkan kardiomiopati dan cacat konduksi jantung (Kanungo, 2018; Hantzidiamantis, 2022; Stone, 2023).

F. Daftar Pustaka

Almatsier, Sunita (2010) *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama

Amendt, Timm *et al* (2022) *Autoreactive Antibodies Control Blood Glucose by Regulating Insulin Homeostasis. PNAS,*2022, 119 (6)

Coelho, Ana I. *et al* (2015). *Galactose Metabolism and Health. Galactose metabolism and health*, 18 (4), 422-427

Dilliraj, Latha Nagamani *et al* (2022) *The Evolution of Ketosis: Potential Impact on Clinical Conditions. Nutrients* 2022, 14, 3613

Ezekia, Kevin & Nada, I Ketut W. (2017) *Metabolisme*. Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

Hantzidiamantis, Paris J. & Lappin, Sarah L. (2022). *Physiology, Glucose*. Diakses dari *National Library of Medicine*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545201/

Kanungo, Shibani *et al* (2018) *Glycogen Metabolism and Glycogen Storage Disorders. Ann Transl Med*, 2018, 6(24), 474

Lanham-New, Susan A. *et al* (2018) *Metabolisme Zat Gizi, Ed.2.* (Kristandyo, L.R., Terjemahan). Jakarta : EGC

Leonard, T. (2020) *The Physiology of Ketosis and the Ketogenic Diet. South afr J anaesth analg*. 26(6) *Supplement*

Malik, T.F. & Panuganti, K.K. (2018). *Lactose Intolerance*. Diakses di https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532285/?report=printable

Mogos, Tiberius & Evelin, Andra (2016). *A Review of Hereditary Fructose Intolerance.* Romanian Journal of Diabetes Nutrition & Metabolic Diseases, 23 (1), 81-85

Nakrani, Mihir N. *et al* (2023) *Physiology, Glucose Metabolism*. Diakses dari *National Library of Medicine*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560599/

NIDDK (*National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases*) (2014) *What I Need to Know About Lactose Intolerance.* Amerika Serikat : NIH Publication

NIH (*National Library of Medicine*) (2015) *Essential Pentosuria*. *Reprinted from* MedlinePlus Genetics. Diakses dari https://medlineplus.gov/download/genetics/condition/essential-pentosuria.pdf

Patino, Sara C. & Orrick, Josephine A. (2023). *Biochemistry, Glycogenesis*. Diakses dari *National Library of Medicine*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549820/

Puglianiello, Antonella & Cianfarani, Stefano (2006) *Central Control of Glucose Homeostasis.The Review of Diabetic Studies 3(2),54-60*

Stone, William L. *et al* (2023) *Glycogen Storage Disease*. Diakses dari https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459277/

Tumanggor, Lisnawati *et al* (2023) *Metabolisme Zat Gizi*. Surabaya : Cipta Media Nusantara (CMN)

WHO (*World Heal Organization*) (2019) *Clasification of Diabetes Mellitus*. WHO Publication

Wahjuni, Sri (2013) *Metabolisme Biokimia*. Denpasar : Udayana University Press

Wijayanti, Novita (2017) *Fisiologi Manusia dan Metabolisme Zat Gizi*. Malang : Universitas Brawijaya Press (UB Press)

BAB 8

LEMAK: KARAKTERISTIK, KLASIFIKASI, DIGESTIF, DAN ABSORPSI

Desti Ambar Wati, S.Gz., M.Gz

A. Pendahuluan

Lemak (lipid) termasuk zat gizi yang memiliki kandungan energi tinggi. 1 gram lemak mengandung 9 kkal. Jika ditinjau lebih luas, lemak tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi tetapi penyusun membran sel dan mediator transport elektron tertentu seperti koenzim (Gropper, 2021). Berdasarkan fungsi biologi tubuh, lemak terdiri atas:

1. **Lemak simpanan:** terdiri dari trigliserida yang disimpan dalam jaringan hewan dan tumbuhan yang dapat digunakan sebagai cadangan utama energi. Jumlah asam lemak trigliserida trigliserida simpanan lemak ini bergantung pada susunan makanan.
2. **Lemak struktural:** terdiri dari fosfolipid dan kolesterol. Jumlah lemak struktural terbanyak terdapat dalam otak.

Berdasarkan pedoman gizi seimbang yang tertuang dalam Permenkes No 30 (2013), anjuran konsumsi lemak per orang per hari adalah 20%-25% dari total energi (702 kkal) atau setara dengan 5 sendok makan per orang per hari (67 gram per orang per hari). Konsumsi lemak yang melebihi kebutuhan dapat berkaitan dengan peningkatan berat badan sehingga berisiko terhadap terjadinya Penyakit Tidak Menular (PTM) seperti diabetes mellitus, hipertensi, stroke dan jantung koroner.

F. Daftar Pustaka

ARS (Agriculture Research Service) (2019) In:*Food Data Central*. US Department of Agriculture. US Government:Washington DC USA. Diakses pada 4 Desember 2023. Available online: https://fdc.nal.usda.gov

Ginny, KW and Margarita, LM (2011) *Update on HDL receptors and cellular cholesterol transport.* Current Atherosclerosis Reports 13 : 233–241

Gropper, SS, Smith JL, Carr TP (2021) *Advance Nutrition and Human Metabolism 8th Edition*. Boston: Cengange Learning.

Heineckem, J (2011). *HDL and cardiovascular disease risk: time for a new approach?* New England Journal of Medicine 364 : 170–171.

Khera, AV *et al* (2011). *Cholesterol efflux capacity, high-density lipopro- tein function, and atherosclerosis*. New England Journal of Medicine 364: 127–135.

Kementerian Kesehatan (2013) *Peraturan Menteri Kesehatan No 30 tentang Pencantuman Informasi Kandungan Gula, Garam, dan Lemak serta Pesan Kesehatan untuk Pangan Olahan dan Pangan Siap Saji.* Jakarta.

Kennelly, PJ, *et al* (2023) *Harper's Illustrated Biochemistry 32nd Edition*. New York: McGraw Hill/Medical.

Koga, F, Kitagami S, Izumi A *et al* (2020). *Relationship between nutrition and reproduction*. Reprod Med Biol. 19(3):254-264

Ma, X, Wu L, Wang Y *et al* (2022). *Diet and Human Reproductive System: Insight of Omics Approaches*. Food Science and Nutrition. 10:1368-1348.

Mann, J and Truswell AS (2017) *Essentials of Human Nutrition 5th Edition*. London: Oxford University Press

Margit, KK, Wagner KH, Elmadfa I (2013) *Phytosterol content and fatty acid pattern of ten different nut types*. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 83(5):265-270.

Melmed, S, Auchus RJ, Goldfine AB *et al* (2019) Textbook of Endocrinology. 14th *Edition*. NewYork, USA: Elsevier.

Pascoal, GFL, Geraldi MV *et al* (2022) *Effect of Paternal Diet on Spermatogenesis and Offspring Health: Focus on Epigenetics and Interventions with Food Bioactive Compounds*. Nutrients 14(10) 2150.

Rajagopal, G, Suresh V, Alok S (2012). *High-density lipoprotein cholesterol: How High*. Indian Journal of Endocrinology and Metabolism. 16 (2):236-238.

Ravaut, G, Legiot A, Bergeron KF, Mounier C (2021) *Monounsaturated Fatty Acids in Obesity-Related Inflammation*. International journal of molecular sciences. 22(1):330.

Ros, E, Annapoorna S, James H (2021) *Nuts: Natural Pleiotropic Nutraceuticals*. Nutrients. 13(9):3269

Sizer, FS and Whitney, EN (2020) *Nutrition: Concept and Controversies 25th Edition*. Boston: Cengange Learning.

Utari DM. (2010) *Kandungan Asam Lemak, Zink dan Copper pada Tempe, Bagaimana Potensinya Untuk Mencegah Penyakit Degeneratif?*. Departemen Gizi Kesmas Fakultas Kesehatan Masyarakat, UI Gizi Indon. 33(2):108-115

Wati, DA *et al* (2020) *The Effect of Processed Tempeh Gembus to High Sensitivity C-Reactive Protein (hsCRP) and High Density Lipoprotein(HDL) Levels in Women with Obesity*. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Science. 14:8-26.

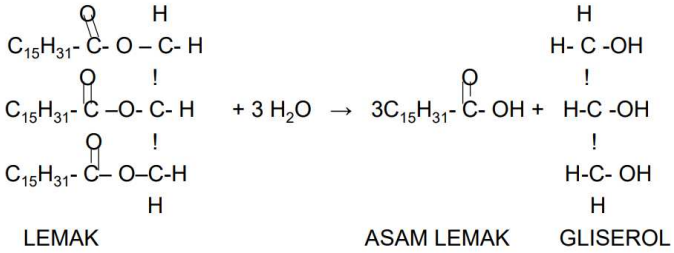
Zhou, H ,Urso CJ and Jadeja V (2020) *Saturated Fatty Acids in Obesity-Associated Inflammation*. Journal of Inflammation Research. 6(13):1-14.

BAB 9 BIOSINTESIS ASAM LEMAK, GLISEROL DAN TRIGLISERIDA

Kuntari Astriana, S.GZ., M.Gizi

A. Pendahuluan

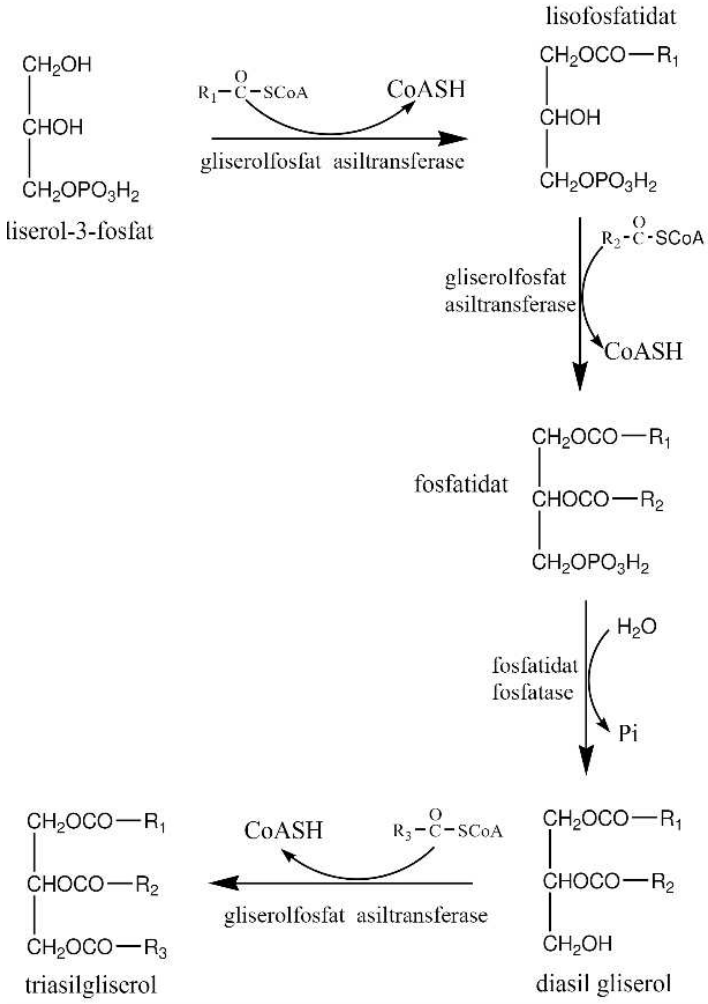
Sterol, fosfolipid, atau zat terkait, dan lemak netral (trigliserida) adalah bentuk lemak yang penting dalam kehidupan. Tiga asam lemak bergabung dengan gliserol untuk membentuk trigliserida. Bahkan dengan adanya glukosa, asam lemak memainkan peran penting dalam pembangunan membran biologis dan berfungsi sebagai sumber energi untuk jaringan otot.



Gambar 9. 1 Hidrolisa Lemak

Asam lemak dan gliserol adalah produk akhir dari pemecahan lipid makanan. Jika cukup sumber karbohidrat, asam lemak akan diesterifikasikan dan akan membentuk ester dengan gliserol dan menyimpan 195etabo sebagai cadangan jangka panjang. Jika sumber karbohidrat tidak lagi tersedia, asam lemak akan dioksidasi, baik melalui asam lemak dari diet maupun melalui pemecah cadangan trigliserida jaringan.

Sehingga tahap keseluruhan dalam biosintesis trigliserida ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 9. 10 Biosintesis Trigliserida

E. Daftar Pustaka

Ischak, Netty Ino. Yuszda K. Salimi. Deasy N. Botutihe (2017). Buku Ajar Biokimia Dasar. Gorontalo: UNG Press

Hanum, Galuh Ratmana (2017) Buku Ajar Biokimia Dasar. Sidoarjo: Umsida Press

Hanum, Galuh Ratmana (2019) Buku Ajar Kimia Amami (Analisis Makan Minuman). Sidoarjo: Umsida Press

Harper, *et al*. (1980). Biokimia (Review of Physiological Chemistry). Edisi 17. EGC: Jakarta

Murray, Robert et,al., (2001) Harper's Review Of Biochemistry., Edisi 25, EGC., Jakarta

Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. Pengantar Kimia Organik dan Hayati.(Bandung. :ITB, 1992).hal.419

Wahyudiati, Dwi (2017) Biokimia. Mataram : Leppim Mataram

BAB 10

PEMBENTUKAN ENERGI DARI LEMAK

Ayu Puspitasari, ST, M.Si

A. Pendahuluan

Pada era modern ini, pemahaman tentang sumber energi tubuh manusia telah menjadi semakin penting. Salah satu komponen utama dalam diet dan penyedia energi yang signifikan adalah lemak. Lemak, meskipun sering dianggap sebagai penyebab peningkatan berat badan, sebenarnya memainkan peran krusial dalam pembentukan energi yang dibutuhkan oleh tubuh. Lebih dari sekadar penyimpanan energi, lemak memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar tubuh. Pembentukan energi dari lemak melibatkan serangkaian reaksi kompleks dan terkoordinasi yang terjadi dalam mitokondria sel-sel kita. Untuk memahami bagaimana lemak berubah menjadi energi, penting untuk mengeksplorasi struktur dan fungsi lemak dalam tubuh manusia. Lemak, atau lipid, adalah molekul yang terdiri dari asam lemak dan gliserol. Molekul ini memiliki sifat hidrofobik, membuatnya ideal sebagai penyimpanan energi jangka panjang. Selain itu, lemak juga berperan sebagai pembangun membran sel dan sebagai kofaktor dalam banyak jalur biokimia.

Proses utama pembentukan energi dari lemak, yang dikenal sebagai **Beta (β)-oksidasi asam lemak**, terutama terjadi dalam mitokondria sel. Mitokondria yang sering disebut sebagai "pabrik tenaga" sel, merupakan organel yang bertanggung jawab atas produksi sebagian besar energi yang diperlukan oleh sel. β-

E. Daftar Pustaka

Ahern, K. & Rajagopal, I., 2023. Biochemistry Free & Easy. Oregon: Libretext.

Bauer, E., Jakob, S. & Mosenthin, R., 2005. Principles of Physiology of Lipid Digestion. Journal Animal Science, 18(2), pp. 282-295.

Biava, H. D., 2023. Biochemistry. Brevard: LibreTexts.

Grabner, G. F., Xie, H., Schweiger, M. & Zechner, R., 2021. Lipolysis: Cellular Mechanisms For Lipid Mobilization From Fat Stores. Nature Metabolism, Volume 3, pp. 1445-1465.

Houten, S. M. & Wanders, R. J., 2010. A general introduction to the biochemistry of mitochondrial fatty acid β-oxidation. Journal Inherit Metab Dis, Volume 33, pp. 469-477.

Kloska, A. *et al*., 2020. Lipophagy and Lipolysis Status in Lipid Storage and Lipid Metabolism Diseases. International Journal Of Molecular Sciences, 21(6113).

Malik, M. A., 2023. Introduction To Organic And Biochemistry. Hampton: LibreTexts.

Melkonian, E. A., Asuka, E. & Schury, M. P., 2023. Physiology, Gluconeogenesis. s.l.:Stat Pearls Publishing.

Murray, R. K., Granner, D. K. & Rodwell, V. W., 2012. Biokimia Harper. 27 ed. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.

Prakash, S., 2018. Beta (β)-Oxidation of Fatty Acid and its associated Disorders. Global Science Research Journals, 5(1), pp. 158-172.

Rani , S., Kumari, P., Poddar, R. & Chattopadhyay, S., 2021. Study of lipase producing gene in wheat – an in silico approach. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 19(73).

Talley, J. T. & Mohiuddin, S. S., 2023. Biochemistry, Fatty Acid Oxidation. s.l.:StatPearls Publishing.

Townsend, L. K., Knuth, C. M. & Wright, . D. C., 2017. Cycling our way to fit fat, s.l.: Physiological Reports.

Shah, A. M. & Wondisford, F. E., 2020. Tracking The Carbons Supplying Gluconeogenesis. Journal Biology Chemistry, 295(42), pp. 14419-14429.

Voet, D. J., Voet, J. G. & Pratt, C. W., 2008. Principles Of Biochemistry. 3 ed. s.l.:John Wiley & Sons.

Xiong, J., 2018. Fatty Acid Oxidation in Cell Fate Determination. Trends in Biochemical Sciences, 43(11), pp. 854-857.

BAB 11

PENGENDALIAN DAN KELAINAN METABOLISME LEMAK

Riska Nur Suci Ayu, S.ST., M.Gz

A. Pendahuluan

Lemak merupakan komponen organik yang tidak larut dalam air. Lemak tersusun atas asam lemak dan gliserol yang dihasilkan dari proses hidrolisis lemak, minyak dan lemak lainnya (Cheung and Mehta, 2015). Asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh (*saturated fatty acid/SFA)* yang berarti tidak memiliki ikatan rangkap dan asam lemak tidak jenuh *(unsaturated fatty acid)* atau yang memiliki ikatan rangkap. Asam lemak yang memiliki ikatan rangkap terbagi menjadi 2 yaitu *Mono unsaturated Fatty Acid (MUFA)* dengan memiliki 1 ikatan rangkap dan *Poly Unsaturated Fatty Acid (PUFA)* yang memiliki lebih dari 1 ikatan rangkap (Natesan and Kim, 2021).

Kelainan lemak yang disebabkan oleh peningkatan kadar lemak akan berdampak pada kesehatan tubuh. Kelainan lemak biasanya ditunjukkan dengan peningkatan trigliserida, LDL ataupun oleh keduanya. Tubuh membutuhkan asam lemak HDL yang dapat membantu mengangkut kolesterol jahat keluar dari tubuh. (Natesan and Kim, 2021).

Kelainan metabolisme lemak disebabkan akibat perubahan asam lemak yang terhidrogenasi menjadi lemak trans. Asam lemak trans disebabkan karena mengalami dehidrogenasi yang dapat terjadi akibat dari pengolahan bahan makanan menggunakan minyak nabati yang telah

H. Daftar Pustaka

Agung, L.R., 2021. Pengaruh Daun Salam (Syzygium polyanthum) Terhadap Kadar Trigliserida Dan Kolesterol Total Darah Pada Penderita Dislipidemia. full text PDF 10, 408–412. https://doi.org/10.35816/jiskh.v10i2.617

Bereda, G., n.d. Pathophysiology and Management of Dyslipidemia 43.

Cheung, P.C.K., Mehta, B.M. (Eds.), 2015. Handbook of Food Chemistry. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5

Du, X.-G., Ruan, X.-Z., 2019. Lipid Metabolism Disorder and Renal Fibrosis, in: Liu, B.-C., Lan, H.-Y., Lv, L.-L. (Eds.), Renal Fibrosis: Mechanisms and Therapies, Advances in Experimental Medicine and Biology. Springer Singapore, Singapore, pp. 525–541. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8871-2_26

Hsiao, Y.-C., Wu, C.-C., 2021. Dyslipidemia and Cardiometabolic Syndrome. Cardiometab Syndr J 1, 18. https://doi.org/10.51789/cmsj.2021.1.e2

Jim, E.L., 2014. METABOLISME LIPOPROTEIN. JBM 5. https://doi.org/10.35790/jbm.5.3.2013.4335

Km, J.U.S., 2022. Fakultas Kedokteran Universitas Muslim Indonesia.

Ko, S.-H., Jung, Y., 2021a. Energy Metabolism Changes and Dysregulated Lipid Metabolism in Postmenopausal Women. Nutrients 13, 4556. https://doi.org/10.3390/nu13124556

Ko, S.-H., Kim, H.-S., 2020. Menopause-Associated Lipid Metabolic Disorders and Foods Beneficial for Postmenopausal Women. Nutrients 12, 202. https://doi.org/10.3390/nu12010202

Lin, C.-F., Chang, Y.-H., Chien, S.-C., Lin, Y.-H., Yeh, H.-Y., 2018. Epidemiology of Dyslipidemia in the Asia Pacific Region.

International Journal of Gerontology 12, 2–6. https://doi.org/10.1016/j.ijge.2018.02.010

Liu, J., Yang, P., Zuo, G., He, S., Tan, W., Zhang, X., Su, C., Zhao, L., Wei, L., Chen, Yao, Ruan, X., Chen, Yaxi, 2018. Long-chain fatty acid activates hepatocytes through CD36 mediated oxidative stress. Lipids Health Dis 17, 153. https://doi.org/10.1186/s12944-018-0790-9

Mosca, S., Araújo, G., Costa, V., Correia, J., Bandeira, A., Martins, E., Mansilha, H., Tavares, M., Coelho, M.P., 2022. Dyslipidemia Diagnosis and Treatment: Risk Stratification in Children and Adolescents. Journal of Nutrition and Metabolism 2022, 1–10. https://doi.org/10.1155/2022/4782344

Natesan, V., Kim, S.-J., 2021. Lipid Metabolism, Disorders and Therapeutic Drugs - Review. Biomol Ther (Seoul) 29, 596–604. https://doi.org/10.4062/biomolther.2021.122

Purva, A., Gaur, K., Khan, M.S., n.d. A Review on Dyslipidemia: Types, Risk Factors and Management.

Sartika, R.A.D., 2008. Pengaruh Asam Lemak Jenuh, Tidak Jenuh dan Asam Lemak Trans terhadap Kesehatan. Kesmas: National Public Health Journal 2, 154. https://doi.org/10.21109/kesmas.v2i4.258

Siregar, S.R.M., Boy, E., 2022. Faktor Risiko pada Pasien Dislipidemia. JURNAL IMPLEMENTA HUSADA 3, 230. https://doi.org/10.30596/jih.v3i4.12241

Song, S.J., Lee, J.E., Paik, H.-Y., Park, M.S., Song, Y.J., 2012. Dietary patterns based on carbohydrate nutrition are associated with the risk for diabetes and dyslipidemia. Nutr Res Pract 6, 349. https://doi.org/10.4162/nrp.2012.6.4.349

Wengrofsky, P., Lee, J., N. Makaryus, A., 2019. Dyslipidemia and Its Role in the Pathogenesis of Atherosclerotic Cardiovascular Disease: Implications for Evaluation and Targets for Treatment of Dyslipidemia Based on Recent

Guidelines, in: I. McFarlane, S. (Ed.), Dyslipidemia. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.85772

Xiao, C., Rossignol, F., Vaz, F.M., Ferreira, C.R., 2021. Inherited disorders of complex lipid metabolism: A clinical review. J of Inher Metab Disea 44, 809–825. https://doi.org/10.1002/jimd.12369

Yi, J., Zhou, Q., Huang, J., Niu, S., Ji, G., Zheng, T., 2023. Lipid metabolism disorder promotes the development of intervertebral disc degeneration. Biomedicine & Pharmacotherapy 166, 115401. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115401

Yoon, H., Shaw, J.L., Haigis, M.C., Greka, A., 2021. Lipid metabolism in sickness and in health: Emerging regulators of lipotoxicity. Molecular Cell 81, 3708–3730. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2021.08.027

Yulianti, M.E.P., Pranatawai, I., 2016. Volume 2 Nomor 2 Desember 2016 2.

Yuliantini, E., Sari, A.P., Nur, E., 2016. HUBUNGAN ASUPAN ENERGI, LEMAK DAN SERAT DENGAN RASIO KADAR KOLESTEROL TOTAL-HDL. Penelitian Gizi dan Makanan (The Journal of Nutrition and Food Research) 38, 139–147. https://doi.org/10.22435/pgm.v38i2.5543.139-147

Zhang, S., Hong, F., Ma, C., Yang, S., 2022. Hepatic Lipid Metabolism Disorder and Atherosclerosis. EMIDDT 22, 590–600. https://doi.org/10.2174/1871530322666211220110810

BAB 12

PROTEIN: KARAKTERISTIK, KLASIFIKASI, DIGESTIF DAN ABSORPSI

Sri Zeineke Ibrahim, Skm, M.Kes

A. Karakteristik Protein

Protein adalah zat gizi yang memegang peranan penting dalam proses kehidupan. Oleh karena itu, protein termasuk dalam kelompok makronutrien karena dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah yang besar.

Istilah protein berasal dari Bahasa Yunani "protos" yang berarti "yang paling utama". Protein didalam sel mempunyai peranan penting sehingga diartikan sebagai "yang paling utama". Protein adalah makromolekul yang paling melimpah dan melakukan banyak pekerjaan dalam sel. Protein merupakan kelompok molekul makanan yang tidak hanya menyediakan unsur karbon dan hidrogen bagi organisme, tetapi juga nitrogen dan sulfur yang tidak terdapat pada karbohidrat dan lemak yang merupakan makronutrien lainnya. (Minda Azhar, 2016)

Protein terdapat dalam setiap sel hidup. Setengah dari berat kering dan 20% dari berat total seorang manusia dewasa adalah protein. Hampir setengahnya terdapat dalam otot, seperlimanya di dalam tulang dan kartilago, sepersepuluhnya dalam kulit dan sisanya pada jaringan-jaringan lain serta cairan tubuh. Semua enzim yang terdapat dalam tubuh merupakan protein bermacam-macam hormon merupakan protein dan turunannya. Asam nukleat di dalam sel yang bertanggung jawab terhadap transmisi informasi genetik dalam reproduksi sel

E. Daftar Pustaka

Adelina Simamora (2013) *Asam Amino, Peptida dan Protein*. Jakarta: Fakultas Kedokteran UKRIDA.

Deddy Muchtadi (2014) *Pengantar Ilmu Gizi*. Bandung: Alfabeta.

Dwi Wahyudiaty (2017) *Biokimia.* Mataram : Leppim.

Hartati Eko Wardani (2019) *Bahan Ajar Biomedik*. Malang: Wineka Media.

Michael Schunke, Erik Schulte, Udo Schumacher (2017) *Atlas Anatomi Manusia Prometheus : Organ Dalam*. Translated from German Language by Agus Budi Santoso dan Abraham Simatupang. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.

Minda Azhar (2016) *Biomolekul Sel*. Padang: UNP Press.

Yohanis Ngili (2013) *Protein dan Enzim*. Bandung: Rekayasa Sains.

BAB 13

BIOSINTESIS, KLASIFIKASI DAN PERAN ASAM AMINO

Dr. Dessy Arisanty, M.Sc

A. Pendahuluan

Semua protein di muka bumi terdiri dari 20 asam amino yang sama. Terhubung bersama dalam rantai panjang yang disebut polipeptida. Asam amino adalah bahan penyusun berbagai macam protein yang ditemukan di semua sel hidup. Elemen kunci dari asam amino (AA) adalah karbon, hidrogen, oksigen, dan nitrogen. Molekul sederhana ini memainkan peran penting dalam tubuh manusia. Mereka sangat penting dalam biokimia tubuh.

Asam amino (AA) memainkan peran eksklusif dalam sintesis sejumlah besar senyawa biologis penting, seperti protein, peptida, lipid, dan vitamin. Asam amino (AA) adalah unit dasar dari protein. Asam amino (AA) mengandung satu kelompok amino dan satu kelompok karboksil. Asam amino (AA) memainkan peran utama dalam mengatur banyak proses yang terkait dengan ekspresi gen, termasuk modulasi fungsi protein yang memediasi terjemahan asam ribonukleat pemberi pesan (mRNA). Studi baru menunjukkan peran asam amino (AA) dalam meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan, meningkatkan fungsi reproduksi, dan mempertahankan kesehatan optimal. Protein lengkap adalah makanan yang mengandung semua delapan asam amino esensial (EAA). Setiap orang biasanya dapat mendapatkan jumlah protein lengkap ini dari makanan yang mereka konsumsi (Zager *et al.*, 2019).

F. Daftar Pustaka

Adugna,S., Ahuja, L., Alemu, M., Kelemu, H., Tekola, H., Kibret, B., dan Genet, S. 2004. Medical Biochemistry. Book : Lecture note. Ethiopia Public Health Training Initiative, The Carter Center, the Ethiopia Ministry of Health, and the Ethiopia Ministry of Education with USAID Cooperative Agreement No. 663-A-00-00-0358-00.

Ahern, K., Rajagopal, I & Taralyn Tan. Biochemistri Free for All. LibreText. Oregon University. https://bio.libretexts.org/@go/page/25016 . This text was compiled on 11/01/2023

Ahmed, M. 2023. Biochemistry II. MUCLecture. Lecture 6.

David A Bender. 2013. Amino Acid Metabolism. Edisi 3. ISBN 978-0-470-66151-2 (cloth). Volume 5. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

Gajera, H.P., Patel, S.V dan Golakiya, B.A. 2008. Fundamental of Biochemistry. ISBN: 978-81-8189-165-5. International Book Distributing Co Press.

Lopez M.J dan Mohiuddin, M.S. 2023. Biochemistry, Essential Amino Acids. National Library of Medicine, NCBI. StatPearls Publishing; 2023 Januari. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557845/

McKee, T dan McKee, J.R. 2011. Biochemistry : The molecular Basis of Life : Chapter 5 Amino acids. Edisi ke 5. ISBN 0199829675, 9780199829675. Oxford University Press,

Meisenberg, G dan Simmons, W.H. 2017. Principle of Medical Biochemistry. Edisi 4. ISBN: 978-0-323-29616-8. Elsevier https://evolve.elsevier.com/Meisenberg/biochemistry/

Nan Ling,Z., Jiang, Y.F., Ru, J.N., Jia-Hua L, Ding,B., Wu, J. 2023. Amino acid metabolism in health and disease. *Signal Transduction and Targeted Therapy,* volume 8, Article number: 345

Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. Amino Acids. 2009 May;37(1):1-17

Zageer, D.S., Hantoosh, S.F dan Al-Rubai, H.K. 2019. Amino acid deficits in Brain.. Edisi 1. ISBN 978-93-89246-35-3 (eBook). DOI: 10.9734/bpi/mono/978-93-89246-36-0. Book Publisher International, India-UK. http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

BAB 14

BIOSINTESIS KOLESTEROL, LIPOPROTEIN, DAN FOSFOLIPID

Arinda Eka Pratiwi, S.Gz

A. Pendahuluan

Biosintesis kolesterol, lipoprotein, dan fosfolipid adalah salah satu bagian penting dalam metabolisme lemak. Makanan berlemak yang dikonsumsi manusia tidak hanya mengandung trigliserida, namun juga ada yang mengandung kolesterol dan fosfolipid. Kolesterol adalah salah satu jenis lemak atau lipid berbentuk sterol. Sedangan fosfolipid adalah turunan lipid atau lemak yang mengandung gugus fosfat. Karena berbahan utama lemak, kedua senyawa ini bersifat hidrofobik (tidak larut air). Karena itu, dibutuhkan protein yang bersifat amfipatik (dapat terikat dengan air dan lemak) untuk memudahkan kolesterol dan fosfolipid untuk diabsopsi tubuh. Pengabungan kolesterol, fosfolipid, trigliserida, dan protein ini membentuk lipoprotein. Lipoprotein yang berhasil terbentuk kemudian diabsorpsi dan dikirim ke hati untuk disintesis atau diedarkan ke jaringan tubuh yang membutuhkan kolesterol dan fosfolipid. Selain dari makanan, kolesterol dan fosfolipid juga dapat diperoleh dari hasil sintesis lemak di hati (Nurcholis, 2022; Unaida, 2019).

B. Kolesterol

Kolesterol adalah sterol yang umum dikenal masyarakat luas dan merupakan salah satu komponen pembentuk lemak. Dalam tubuh, kolesterol memiliki sisi ganda, yaitu kolesterol dibutuhkan untuk fungsi tubuh, namun kolesterol juga dapat

Pirofosfat. Reaksi tersebut dikatalisis *Citidin Difosfat Digliseride Sintase*. Penambahan sistein pada *Citidindifosfat Diasil Gliserol* akan menghasilkan *Fosfatidil Serin*. Reaksi ini dikatalisis *Fosfatidil Serin Sintase*. *Fosfatidil Serin Dekarboksilase* lalu melakukan dekarboksilasi pada *Fosfatidil Serin* dan menghasilkan *Fosfatidil Etanolamin*. Secara terpisah, *Citidin Difosfat Diasil Gliserol* bereaksi dengan *Gliserol Fosfat* menghasilkan *Fosfatidil Gliserol Fosfat*. Reaksi ini dikatalisis oleh *Fosfatidil Gliserolfosfat Sintase*. Hidrolisis *Fosfatidil Gliserol Fosfat* menghasilkan *Fosfatidilgliserol* dan melepaskan fosfat. Reaksi ini dikatalisis *Fosfatidil Gliserol Fosfatfosfatase*. Dua molekul *Fosfatidil Fosfat* kemudian berekasi menghasilkan kardiolipin (Tsubonea, 2019; Reis, 2012).

E. Daftar Pustaka

Almatsier, Sunita (2010) *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama

Charlton-Menys, V. & Durrington, P. N. (2007) *Human Cholesterol Metabolism and Therapeutic Molecules. Exp Physiol* 93 (1), 27–42

Eckardstein, Arnold von (2017) *Lipoprotein (a) : A Refractory Risk Factor for Atherosclerotic and Thrombotic Vascular Diseases. European Heart Journal* (2017) 38, 1530–1541

Ezekia, Kevin & Nada, I Ketut W. (2017) *Metabolisme*. Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

Gencer, Baris *et al* (2017) *Lipoprotein(a): the Revenant. European Heart Journal* (2017) 38, 1553–1560

Jim, Edmond Leonard (2013). *Metabolisme Lipoprotein*. Jurnal Biomedik (JBM), 5 (3), 149- 156

Kwiterovich, Peter O. (2000) *The Metabolic Pathways of High-Density Lipoprotein, Low-Density Lipoprotein,& Triglycerides: A Current Review. The American Journal of Cardiologyt,* 86 (12A), 5L-10L

Lanham-New, Susan A. *et al* (2018) *Metabolisme Zat Gizi, Ed.2.* (Kristandyo, L.R., Terjemahan). Jakarta : EGC

Neto, Antenor J.P & Cordeiro, R. M. (2016) *Molecular Simulations of the Effects of Phospholipid and Cholesterol Peroxidation on Lipid Membrane Properties. Biochimica et Biophysica Acta,* 1858 (2016) 2191–2198

Nurcholis, Waras (2022) *Metabolisme: Metabolisme lemak, Metabolisme Protein, dan Metabolisme Asam Nukleat*. Purwokerto : Amerta Media

Ramasamy, Indra (2014) *Recent Advances in Physiological Lipoprotein Metabolism. Clin Chem Lab Med,* 52(12), 1695–1727

Reis, A. & Spickett, C.M. (2012) *Chemistry of Phospholipid Oxidation. Biochimica et Biophysica Acta,* 1818 (2012), 2374–2387

Rye, Kerry-Anne & Barter, P. J. (2014) *Regulation of High-Density Lipoprotein Metabolism. Circulation Research*, 114 (1), 143-156

Tsubonea, Tayana Mazin *et al* (2019) *Contrasting Roles of Oxidized Lipids in Modulating Membrane Microdomains. Biomembranes,* 1861 (2019), 660–6

Tumanggor, Lisnawati *et al* (2023) *Metabolisme Zat Gizi*. Surabaya : Cipta Media Nusantara (CMN)

Unaida, Ratna *et al* (2019) *Metabolisme : Karbohidrat, Protein, dan Lemak*. Lhokseumawe : Sefa Bumi Persada

Wahjuni, Sri (2013) *Metabolisme Biokimia*. Denpasar : Udayana University Press

Wang, Yuqin *et al* (2021) *Cholesterol Metabolism Pathways – Are the Intermediatesmore Important Than the Products? The FEBS Journal,* 288 (2021), 3727–3745

Wijayanti, Novita (2017) *Fisiologi Manusia dan Metabolisme Zat Gizi*. Malang : Universitas Brawijaya Press (UB Press)

Zhang, Juan & Liu, Qiang (2015) *Cholesterol Metabolism and Homeostasis in the Brain. Protein Cell*, 6(4), 254–264

BAB 15

TRANSPORT DAN METABOLISME LEMAK

Wiwi Febriani, S.Gz., M.Si.

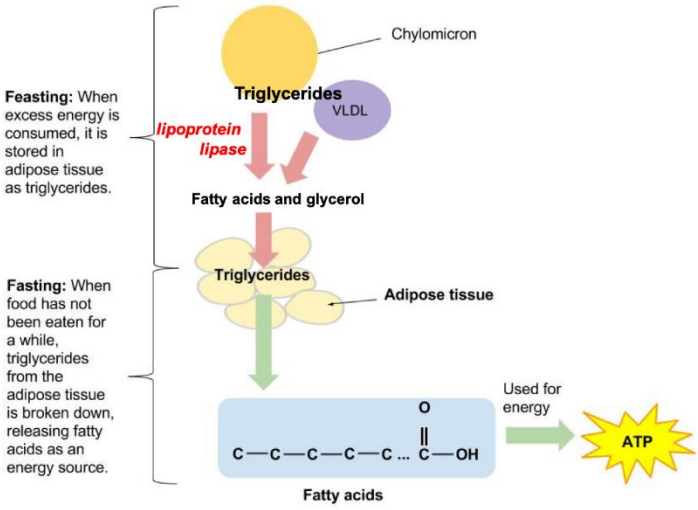
A. Pendahuluan

Lipid ditemukan di semua bentuk kehidupan, dari mikroorganisme hingga tumbuhan dan hewan. Lipid ada di semua sel dan memiliki peran penting dalam struktur seluler, menyimpan energi, serta berperan dalam proses biologis seperti transkripsi genetik, regulasi jalur metabolisme, hormon kortikosteroid, dan mediator dalam proses transportasi elektron, seperti koenzim Q (Gurr, 2016; Gropper, 2013).

Istilah "lipid" secara didefinisikan sebagai salah satu kelompok senyawa organik yang ada tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut seperti kloroform, eter, aseton, alkohol. Berdasarkan wujudnya, lipid dibedakan menjadi dua yaitu lemak dan minyak. Lemak merujuk pada istilah lipid yang berpentuk padat pada suhu ruang dan minyak berbentuk cair pada suhu ruang. Baik lemak maupun minyak, sebagian besar terdiri dari ester gliserol dan asam lemak (Gurr, 2016; Gropper, 2013).

B. Klasifikasi Lipid

Terdapat banyak senyawa yang termasuk dalam kategori lipid, namun hanya sedikit yang memainkan peran penting sebagai sumber energi dalam makanan atau sebagai komponen fungsional atau struktural dalam sel. Berikut ini merupakan



Gambar 15. 4 Trigliserida dalam kilomikron dan VLDL dipecah oleh lipoprotein lipase sehingga asam lemak dan gliserol dapat digunakan sebagai energi atau disimpan di dalam sel (Callahan, 2023).

F. Daftar Pustaka

Gropper, Sareen S & Smith, Jack L (2013) *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. Wadsworth: Yolanda Cossio

Gurr, Michael I, Harword, John L, & Frayn, Keith N (2016) Lipids: Biochemistry, Biotechnology and Health, 6th Edition. Hoboken: Wiley-Blackwell

Fahy, Eoin *et al* (2011) Lipid classification, structures and tools. *Biochim Biophys Acta*. 1811(11): 637–647. doi:10.1016/j.bbalip.2011.06.009.

Liebisch, Gerhard *et al* (2020) Update on LIPID MAPS classification, nomenclature, and shorthand notation for MS-derived lipid structures J. Lipid Res. 61(12) 1539–1555. doi: 10.1194/jlr.S120001025

Feingold KR (2021) Introduction to Lipids and Lipoproteins. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305896/

Jim, Edmond L (2013) Metabolisme Lipoprotein. Jurnal Biomedik (JBM), 5(3):149-156.

Xu E, Chen C, Fu J, Zhu L, Shu J, Jin M, Wang Y, Zong X (2021) Dietary fatty acids in gut health: Absorption, metabolism and function. Animal Nutrition 7:1337-1344. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.09.010

Fani, Alejandra A & Harjinder Singh (2022) Biophysical insights into modulating lipid digestion in food emulsions. Progress in Lipid Research. 85. 101129. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101129

Callahan A, Leonard H, & Tamberly Powell (2023) Nutrition Science and Everyday Application. https://med.libretexts.org/Bookshelves/Nutrition/Book:_Nutrition_Science_and_Everyday_Application_(Callahan_Leonard_and_Powell)

BAB 16

ASAM AMINO GLUKOGENIK DAN ASAM AMINO KETOGENIK

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

A. Pendahuluan

Protein sebagai salah satu zat gizi makro, dapat dikonversi menjadi energi pada kondisi tertentu misalnya pada individu yang mengalami kelaparan kronis, malnutrisi, dan meningkatkan metabolisme tubuh akibat penyakit atau kondisi kritis. Proses pembentukan protein menjadi energi disebut dengan gluconeogenesis. Proses ini terjadi hampir di semua sel tubuh, terutama sel liver dan ginjal. Empat puluh persen proses gluconeogenesis terjadi di ginjal, terutama pada kondisi puasa dan kelaparan kronis (Bianco & Bianco, 2017).

Pada proses gluconeogenesis, protein akan diubah menjadi asam amino sebelum masuk ke Siklus Krebs untuk menghasilkan energi (Engelking, 2015). Berdasarkan senyawa perantara yang terbentuk selama proses tersebut, asam amino dapat dikategorikan menjadi glukogenik dan ketogenic. Asam amino yang tergolong glukogenik akan diubah menjadi asam piruvat atau senyawa spesifik dalam Siklus Krebs. Sementara itu, asam amino yang tergolong ketogenic akan diubah menjadi acetoacetyl coA atau acetyl coA sebelum masuk ke dalam Siklus Krebs. Namun, ada juga beberapa asam amino yang tergolong glukogenik dan ketogenic sekaligus (Rodwell *et al* 2015; Newsholme *et al* 2011). Pengelompokan asam amino berdasarkan sifat katabolisme dalam pembentukan energi dapat dilihat pada tabel berikut:

F. Daftar Pustaka

Bianco, A, Bianco, G, 2017, 'Integration and regulation of metabolism', Medical Biochemistry, pages. 425-445.

Engelking, L, R, 2015, 'Gluconeogenesis', Textbook of Veterinary Physiological Chemistry, 3rd ed. pages. 225-230.

Escott-Stump, S, 2015, Nutrition and diagnosis related care 8th ed, Philadelphia: Wolters Kluwer

Ferraro, K, 2016, Diet and Disease: Nutrition for Heart Disease, Diabetes, and Metabolic Stress, New York: Momentum Press

Gropper, S, S, Smith, J, L, 2013, Advanced Nutrition and Human Metabolism, 6th ed, Belmont: Cengage Learning

Kathleen, M, L & Raymond, J, L, 2017, Krause's food and the nutrition care process 14th ed, Missouri: Elsevier.

Kumari, A 2018, 'Citric Acid Cycle', Sweet Biochemistry, pages. 7-11.

Litwack, G, 2018, 'Glycolysis and Gluconeogenesis', Human Biochemistry, pages. 183-198.

Newsholme, P, Stenson, L, Sulvucci, M, Sumayo, R, Krause, M 2011, 'Amino Acid Metabolism', Comprehensive Biotechnology, vol. 1 pages. 3-14.

Rodwell, V, W, Bender, D, A, Botham, K, A, Kennelly, P, J, & Weil, P, A, 2015, Harper's Illustrated Biochemistry 30th ed, US: McGraw-Hill.

BAB 17

PEMBENTUKAN ENERGI DARI PROTEIN (ASAM AMINO)

Dr. dr. Liliriawati Ananta Kahar, Sp. An-TI, SubSp TI

A. Pendahuluan

Protein adalah polipeptida dengan satu atau lebih rantai panjang residu asam amino. Protein melakukan banyak hal untuk organisme, seperti replikasi DNA, mengangkut molekul, mengkatalisis reaksi metabolisme, dan memberikan dukungan struktural pada sel. Struktur primer, sekunder, dan tersier ada di setiap protein. Satu-satunya protein yang memiliki struktur kuartener adalah yang paling sedikit. Rantai linier asam amino membentuk struktur primer (Sanvictores and Farci, 2023).

Daerah rantai asam amino dalam struktur sekunder distabilkan oleh ikatan hidrogen di tulang punggung polipeptida, yang menghasilkan lembaran struktur sekunder alfa-heliks dan beta-lipid. Interaksi rantai samping antara dua atau lebih polipeptida membentuk struktur kuarterner, yang juga mempengaruhi bentuk tiga dimensi protein. Struktur primer, sekunder, dan tersier ada di setiap protein. Sebagian kecil protein juga memiliki struktur kuartener. (Sanvictores and Farci, 2023).

Asam amino adalah molekul yang dirangkai bersama untuk membentuk protein. Tubuh membutuhkan waktu lebih lama untuk memecah protein karena sifatnya yang kompleks. Akibatnya, protein dapat digunakan sebagai sumber energi lebih lama dan lebih lambat daripada karbohidrat. Ada dua puluh asam amino. Beberapa di antaranya dapat disintesis

F. Daftar Pustaka

Baerends, R. J. *et al.* (2000) 'A stretch of positively charged amino acids at the N terminus of Hansenula polymorpha Pex3p is involved in incorporation of the protein into the peroxisomal membrane.', The Journal of biological chemistry, 275(14), pp. 9986–9995. doi: 10.1074/jbc.275.14.9986.

Bensaïd, A. *et al*. (2003) 'A high-protein diet enhances satiety without conditioned taste aversion in the rat.', Physiology & behavior, 78(2), pp. 311–320. doi: 10.1016/s0031-9384(02)00977-0.

Bhypathijaru, S. N. (2022) 'Carbohydrates, Protein and Fats', MSD Manual, pp. 3–11.

Bourke, S. L. and Kohn, J. (2003) 'Polymers derived from the amino acid L-tyrosine: polycarbonates, polyarylates and copolymers with poly(ethylene glycol).', Advanced drug delivery reviews, 55(4), pp. 447–466. doi: 10.1016/s0169-409x(03)00038-3.

Campos-Nonato, I., Hernandez, L. and Barquera, S. (2017) 'Effect of a High-Protein Diet versus Standard-Protein Diet on Weight Loss and Biomarkers of Metabolic Syndrome: A Randomized Clinical Trial.', Obesity facts, 10(3), pp. 238–251. doi: 10.1159/000471485.

Fromentin, G. *et al*. (2012) 'Peripheral and central mechanisms involved in the control of food intake by dietary amino acids and proteins', Nutrition Research Reviews, 25(1), pp. 29–39. doi: 10.1017/S0954422411000175.

Fromentin, G., Feurte, S. and Nicolaidis, S. (1998) 'Spatial cues are relevant for learned preference/aversion shifts due to amino-acid deficiencies', Appetite, 30(2), pp. 223–234. doi: 10.1006/appe.1997.0132.

Gropper, S. S., Smith, J. L. and Groff, J. L. (2009) 'Advanced Nutrition and Human Motabolism.', Mineralogical Record, 14(6), pp. 363–368. doi: 10.1007/978-3-642-16483-5_3725.

Gurina, T. S. and Mohiuddin, S. S. (2023) 'Biochemistry, Protein Catabolism.', in. Treasure Island (FL).

Ischak, N. I., Salimi, Y. K. and Botutihe, D. N. (2017) Biokimia Dasar.

Murray, K. (2016) Illustrated Biochemistry, 27ed The Mac Graw Hill Companie; New York.

Pesta, D. H. and Samuel, V. T. (2014) 'A high-protein diet for reducing body fat: mechanisms and possible caveats.', Nutrition & metabolism, 11(1), p. 53. doi: 10.1186/1743-7075-11-53.

Sanvictores, T. and Farci, F. (2023) 'Biochemistry, Primary Protein Structure. [Updated 2022 Oct 31]', in StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing;, pp. 5–11.

Wahjuni, S. (2013) Metabolisme Biokimia, Journal of Chemical Information and Modeling.

Whitford, D. (2013) Proteins: Structure And Function. John Wiley & Sons.

Yeum, K.-J. and Russell, R. M. (2002) 'Carotenoid bioavailability and bioconversion.', Annual review of nutrition, 22, pp. 483–504. doi: 10.1146/annurev.nutr.22.010402.102834.

BAB 18

PENGENDALIAN DAN KELAINAN METABOLISME PROTEIN

apt. Puspita Raras Anindita, M.Farm-Klin.

Hampir seluruh tubuh kita tersusun dari protein yang mengatur metabolisme biokimia, aktivitas intraselular dan ekstraselular seperti ikatan reseptor, enzim, *ion pumps*, *ion channels*, transpor oksigen dan karbondioksida dengan bantuan haemoglobin, protein dalam tulang (kolagen), otot, tendon. Protein juga berguna untuk pertumbuhan dan perbaikan sel. Protein tidak disimpan sebagai cadangan tetapi langsung dikonversi menjadi glukosa dan trigliserida untuk digunakan sebagai sumber energi. Makanan merupakan sumber penting asam amino karena tidak semua asam amino dapat disintesis oleh tubuh menghasilkan protein. (Lindsay *et al*, 2019). Asam amino non-esensial dapat disintesis oleh tubuh sendiri sedangkan asam amino esensial diperoleh dari asupan makanan (Tome *et al*, 2021).

A. Proses Metabolisme Protein

Proses metabolisme protein dalam tubuh manusia terjadi dalam dua fase yaitu katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses pemecahan protein menjadi asam amino sedangkan anabolisme adalah proses perubahan asam amino menjadi protein. Metabolisme protein menghubungkan kedua proses ini sehingga tubuh dapat menghasilkan energi dan memperbaiki sel-sel yang rusak. Proses metabolisme protein terjadi saat makanan mulai masuk ke dalam saluran cerna. Protein tersusun atas 20 asam amino yang terangkai dalam

D. Daftar Pustaka

Atherton, P. J., Phillips, B. E., Wilkinson, D. J. (2015). Exercise and Regulation of Protein Metabolism. *Progress in Molecular* Biology *and Translational Science*, *135*, 75–98. https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.06.015

Gurina TS, Mohiuddin SS. Biochemistry, Protein Catabolism. [Updated 2022 Dec 11]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556047/

Maloy, S., Hughes, K., (2013) Amino Acids, Brenner's Encyclopedia of Genetics (Second Edition), Academic Press, Pages 108-110, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374984-0.00051-6.

(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123749840000516)

Lindsay M. Biga, Staci Bronson, Sierra Dawson, Amy Harwell, Robin Hopkins, Joel Kaufmann, Mike LeMaster, Philip Matern, Katie Morrison-Graham, Kristen Oja, Devon Quick, Jon Runyeon, (2019). Anatomy & Physiology. https://openstax.org/books/anatomy-and physiology/pages/1-introduction

Pasini E, Corsetti G, Aquilani R, Romano C, Picca A, Calvani R, Disarrangements: The Hidden Enemy of Chronic Age-Related Dioguardi FS. (2018). Protein-Amino Acid Metabolism Conditions. Nutrients. Mar 22;10(4):391. doi: 10.3390/nu10040391. PMID: 29565819; PMCID: PMC5946176.

Tome, D., Benoit, S., & Azzout-Marniche, D. (2021). Protein metabolism and related body function: Mechanistic approaches and health consequences. Proceeding of the Nutrition Society, 80(2), 243-251. doi: 10.1017/S0029665120007880

TENTANG PENULIS

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

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

Ritma Dewanti, S.Gz., M.Gz

Penulis lahir di desa Karya Bhakti, Kecamatan Meraksa Aji, Kab Tulang Bawang, Provinsi Lampung, pada 08 November 1995. Ia tercatat sebagai lulusan salah satu Universitas negeri di kota Solo. Wanita yang kerap disapa Ritma ini adalah anak dari pasangan Budiono (ayah) dan Paryani (ibu). Ritma Dewanti merupakan dosen Program Studi Gizi disalah satu Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan di Bandar Lampung.

Mayesti Akhriani, S.Gz., M.Sc.,

Penulis berprofesi sebagai ahli gizi sejak tahun 2012 dan sudah bekerja di rumah sakit, perusahan konsultasi gizi, asisten riset di IMERI FKUI dan Asian Games 2018 Jakarta Palembang sebagai nutritionist for international athletes. Selain itu penulis menjadi dosen gizi sejak 2018. Ia menempuh

pendidikan diploma III jurusan gizi di Poltekkes Kemenkes Bandung tahun 2009-2012, sarjana gizi jurusan ilmu gizi di Universitas Brawijaya 2013-2015, lalu pada tahun 2017 memperoleh gelar master of science in Clinical and Public Health Nutrition di University College London, Inggris. Selain menjadi dosen di Program S1 Gizi Universitas Aisyah Pringsewu, penulis juga aktif menjadi pembicara gizi di seminar dan menulis artikel dan buku mengenai gizi dan kesehatan. Email mayestiakhr@gmail.com.

dr.Rauza Sukma Rita, Ph.D,

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

Alifiyanti Muharramah, S.Gz., M.Gz

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

Penulis memiliki kepakaran pada bidang gizi masyarakat yang terfokus pada anak sekolah dan remaja. Penulis ikut terlibat dalam penelitian sesuai dengan bidang kepakaran dengan publikasi jurnal penelitian pada jurnal nasional dan internasional selain itu penelitian yang telah dilakukan ada yang didanai oleh internal perguruan tinggi, untuk menunjang karir sebagai dosen profesional, selain melakukan penelitian penulis ikut aktif terlibat dalam penyusunan buku seperti bahan

ajar dan pada buku panduan. Pada penyusunan buku ini diharapkan dapat menjadi kontribusi positif bagi masyarakat untuk dapat memahami lebih dalam serta menambah pengetahuan terkait metabolisme karbohidrat pada galaktosa dan fruktosa. Email : alifiyanthi@yahoo.com

Dera Elva Junita, S.Gz., M.Gz
Penulis lahir di Sawah Lunto pada 15 Juni 1994. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Diponegoro. Wanita yang kerap disapa dede ini adalah anak dari pasangan Masrul (ayah) dan Hendra Juita (ibu). **Dera Elva Junita**, saat ini bekerja sebagai Dosen Gizi Fakultas Kesehatan di Universitas Aisyah Pringsewu, Lampung. Email penulis: deraelva@aisyahuniversity.ac.id dan nomor WA penulis 085364259202.

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

Desti Ambar Wati, S.Gz., M.Gz

Penulis lahir di Lampung, pada 28 Desember 1994. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana Ilmu Gizi pada tahun 2016 di Universitas Muhammadiyah Semarang dan Magister Ilmu Gizi pada tahun 2019 di Universitas Diponegoro dengan kepakaran Gizi Klinik. Sejak tahun 2019 hingga saat ini penulis aktif sebagai Dosen Program Studi Gizi Universitas Aisyah Pringsewu. Penulis juga merupakan dosen pengampu mata kuliah metabolisme zat gizi makro dan mikro, komunikasi interpersonal dan konseling gizi, ilmu gizi dasar, pengawasan mutu makanan, teknologi pangan, dan ilmu bahan makanan. Penulis juga merupakan peneliti yang sudah mengembangkan karyanya berupa jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, memperoleh sertifikat Hak Kekayaan Intelektual (HaKI) untuk media edukasi gizi *Nutrish (Nutrition English) Cards* dan *Nutrish (Nutrition English) Snake and Ladders*. Selain itu ia juga aktif dalam menulis buku gizi, yang terbaru yaitu Penilaian Status Gizi (2023).

Kuntari Astriana, S.Gz., M.Gizi

Penulis lahir di Bantul Yogyakarta, pada 9 Juni 1987. Ibu dari satu orang anak ini kerap disapa Ana, setelah tamat dari Sekolah Menengah Farmasi (SMF) ia melanjutkan pendidikan S1 Ilmu Gizi di Universitas Respati Yogyakarta dan S2 Ilmu Gizi di Universitas Sebelas Maret Surakarta. Saat ini ia tercatat sebagai dosen tetap di Program Studi Gizi Program Sarjana Universitas Respati Yogyakarta.

Ayu Puspitasari, ST, M.Si

Penulis lahir di Madiun, pada 25 Maret 1980. Gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Kimia ITS diperolehnya pada Tahun 2002. Kemudian ia mendapatkan gelar M.Si dari Jurusan Kimia (Bidang Ilmu Biokimia) ITB pada Tahun 2012. Ibu dari Fatih Nararya dan Dru Naruna ini dalam kesehariannya mempunyai hobi membaca buku, menulis, dan berolahraga. Wanita yang kerap disapa Ayu ini bekerja sebagai dosen sejak Tahun 2005 di Jurusan Teknologi Laboratorium Medis Poltekkes Kemenkes Surabaya dan selalu aktif dalam kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Mata kuliah yang diampunya adalah Biokimia, Biologi Molekuler, Kimia Pangan, Toksikologi Klinik, dan Herbal.

Riska Nur Suci Ayu, S.ST., M.Gz

Penulis lahir di Bondowoso, pada 13 Maret 1993. Penulis memiliki panggilan keseharian yaitu Ayu. Penulis menyelesaikan pendidikan Diploma IV di Politeknik Negeri Jember dengan Program Studi Gizi Klinik (2016) dan pendidikan magister di Universitas Sebelas Maret Jurusan Ilmu Gizi dengan peminatan *Clinical Nutrition* (2019). Penulis merupakan anak dari pasangan Muhed, SP., MM (ayah) dan Endang Haeni (ibu). Penulis sejak tahun 2019 sampai saat ini aktif sebagai dosen dan saat ini bekerja di Jurusan Gizi Poltekkes Kemenkes Tanjungkarang.

Sri Zeineke Ibrahim, SKM, M.Kes

Penulis lahir di Manado, pada tanggal 11 Januari 1990. Penulis adalah anak pertama dari Bapak Dr. Ismail Ibrahim, SE, MM dan Ibu Salma Yusuf. Penulis berhasil menamatkan pendidikan Sarjana di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Gorontalo Peminatan Epidemiologi pada tahun 2010 dan pendidikan Magister di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar Jurusan Gizi pada tahun 2015.

Pada tahun 2010-2011 penulis pernah menjadi Tenaga Fasilitator Kesehatan pada Program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS). Saat ini penulis menjadi Dosen di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Gorontalo.

Dr. Dessy Arisanty, M.Sc

Penulis lahir di Padang, pada 12 Januari 1979. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Andalas (S1 dan S3) dan Master (S2) Universiti Putra Malaysia. Wanita yang kerap disapa Dessy ini adalah anak dari pasangan Anwar Manan (ayah) dan Dasmiaty (ibu). **Dessy Arisanty** bukanlah orang baru di dunia Pendidikan. Berbagai kegiatan ilmiah dan banyak artikel yang sudah dipublikasikan. Penghargaan yang pernah diraih adalah sebagai lulusan terbaik Fakultas MIPA dan Medali Perak pada ITEX exhibition Malaysia.

Arinda Eka Pratiwi, S.Gz
Lahir di Gedung Tataan pada 15 Agustus 2000. Ia menempuh pendidikan Sarjana di Universitas Aisyah Pringsewu pada Program Studi Gizi dan lulus pada tahun 2022. Setelah lulus, ia kemudian berprofesi sebagai Ahli Gizi di Klinik Pratama Rawat Inap Mitra Anda pada tahun 2023 – sekarang. Ia juga pernah mengikuti Survei Kesehatan Indonesia (SKI) yang diselenggarakan oleh Kementerian Kesehatan RI pada tahun 2023.

Wiwi Febriani, S.Gz., M.Si lahir di Fakfak pada 21 Februari 1990. Penulis menempuh pendidikan Sarjana (S-1) Gizi di Institut Pertanian Bogor lulus tahun 2013. Penulis kembali melanjutkan pendidikan magister Ilmu Gizi di Institut Pertanian Bogor dan lulus tahun 2017. Saat ini penulis berkarir sebagai seorang dosen di Program Studi Pendidikan Dokter Universitas Lampung. Di luar profesinya sebagai dosen, penulis juga merupakan asesor Badan Akreditasi Sekolah dan Madrasah (BAN S/M) Provinsi Lampung dan juga menjadi anggota pengurus DPD Persagi Provinsi Lampung (2022-2026).

Retno Ayu Widyastuti, S.Gz., M.Gz
Ayu adalah seorang nutrisionis dan dosen Jurusan Gizi Poltekkes Kemenkes Jakarta II. Ia menyelesaikan pendidikan sarjananya di Jurusan Gizi Universitas Indonesia dan melanjutkan ke jenjang magister di Universitas Diponegoro dengan peminatan gizi klinik. Ayu juga memegang sertifikasi ahli gizi olahraga dari Kemenpora dan Koni serta sertifikasi ilmu fisiologi olahraga dari Perfori. Penelitiannya tentang gizi

olahraga pada remaja telah dipresentasikan pada konferensi internasional. Di sela kesibukannya, Ayu aktif dalam kegiatan pendidikan masyarakat lewat wawancara media, webinar, pembuatan konten di media sosial, dan penulisan buku. Ayu berharap ilmu gizi dapat membuat masyarakat Indonesia memiliki hidup yang lebih sehat, karena kesehatan adalah investasi terpenting untuk masyarakat dan masa depannya.

Dr. dr. Hj Liliriawati Ananta Kahar, SpAnTI SubspTI,

Penulis lahir di Watansoppeng (Sulawesi Selatan), 29 November 1963. Beliau tercatat sebagai lulusan dokter Umum di FK UNIBRAW. Lulusan Dokter Spesialis Anestesi di FK UGM dan lulusan Konsultan Intensive Care FK UNPAD. Beliau juga lulusan Doktor Biomedis FK UNAND.

apt. Puspita Raras Anindita, S.Farm., M.Farm-Klin.

Penulis lahir di Surabaya, pada tanggal 12 Desember 1983. Ia tercatat sebagai lulusan S1 Farmasi Universitas Surabaya (2001), Program studi Apoteker Universitas Surabaya (2005), S2 Magister Farmasi Klinis (2008) Wanita yang kerap disapa Dita ini adalah anak dari pasangan Alm. Amin Sisworo, SH, MM. (ayah) dan Hertuty Djamal, SH (ibu). Dita memulai kariernya di Puskesmas Simomulyo Surabaya sebagai apoteker (2008-2009), sebagai pemilik sekaligus Apoteker Penanggung Jawab Apotek di Apotek Rozaq Surabaya (2011-sekarang), dan sebagai Dosen Farmasi bidang Farmasi Klinis di Universitas Anwar Medika (2019-sekarang).