

Edisi Khusus

Buku Ajar

Edition
1st

BIOMEDIK

Biokimia Pencernaan & Metabolisme
Makromolekul

Baharuddin

Head of Medical Biochemistry Laboratory

Dita Sukmaya Prawitasari

Lecturer of Medical Biochemistry

Risma Ikawaty

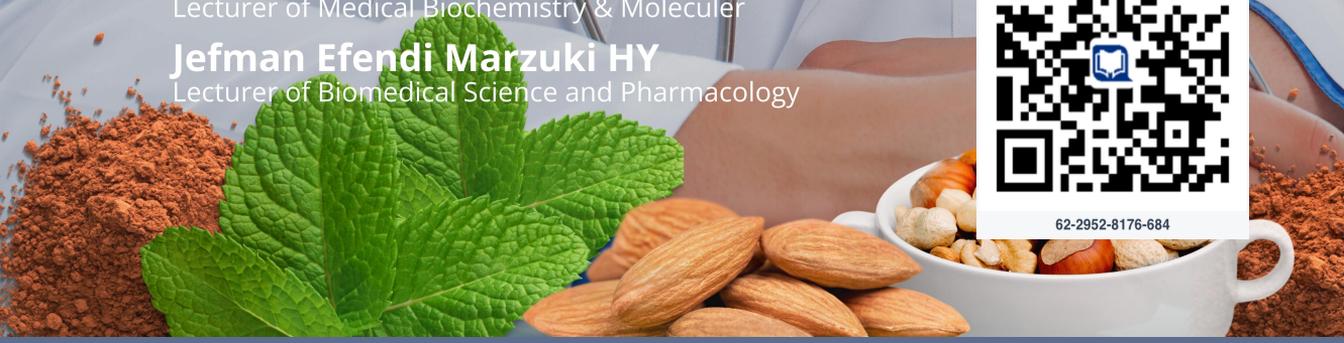
Lecturer of Medical Biochemistry & Moleculer

Jefman Efendi Marzuki HY

Lecturer of Biomedical Science and Pharmacology



62-2952-8176-684



Halaman Perancis

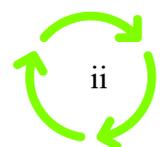
Buku Ajar Biomedik

Biokimia Pencernaan dan Metabolisme Makromolekul

QRCBN ID: 62-2952-8176-684
ISBN ID: 9798877825000



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Disclaimer

Buku ini dibuat dengan memanfaatkan data dan gambar dari berbagai database yang bersifat **open access** sebagai sumber utama. Kami berkomitmen untuk menyajikan informasi yang akurat dan bermanfaat, dengan mengutamakan transparansi dan aksesibilitas dalam penggunaan sumber. Penggunaan data open access ini bertujuan untuk mendukung prinsip-prinsip penyebaran ilmu pengetahuan yang luas dan terbuka, memastikan bahwa pengetahuan ini dapat diakses oleh semua kalangan tanpa batasan. Kami juga menyarankan pengguna untuk melakukan sitasi gambar dengan merujuk pada sumber utama untuk memastikan bahwa atribusi lisensinya adalah CC.BY.

Meskipun telah dilakukan upaya terbaik untuk memastikan keakuratan dan relevansi data serta gambar yang digunakan, kami menyadari bahwa masih mungkin terjadi ketidaksesuaian atau kekeliruan. Oleh karena itu, kami sangat terbuka dan menghargai setiap masukan, kritik, dan saran yang konstruktif dari pembaca sekalian. Kritik dan saran ini sangat berharga bagi kami dalam proses peningkatan kualitas dan keakuratan isi buku di masa mendatang.

Kami mengundang para pembaca untuk berpartisipasi aktif dalam proses penyempurnaan edisi mendatang dari buku ini. Setiap masukan, baik berupa koreksi, tambahan informasi, atau saran peningkatan lainnya, akan sangat diapresiasi dan sangat kami butuhkan. Tujuan kami adalah untuk terus meningkatkan kualitas buku ini agar dapat menjadi sumber informasi yang lebih andal dan berguna bagi masyarakat. Kesempurnaan adalah perjalanan, dan kami berkomitmen untuk terus berjalan dalam perjalanan tersebut bersama dengan para pembaca.



Kata Pengantar

Mengucap syukur Alhamdulillah!

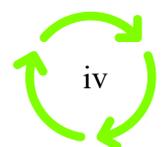
Kami persembahkan buku ajar "Biomedik Biokimia Pencernaan dan Metabolisme Makromolekul: Karbohidrat, Protein, Lemak" ini untuk mahasiswa kedokteran yang ingin belajar tentang biokimia. Buku ini membahas tentang karbohidrat, protein, dan lemak dengan cara yang mudah dipahami.

Tujuan kami adalah menjelaskan biokimia secara sederhana tapi tetap mendalam. Buku ini berisi tentang apa itu karbohidrat, protein, dan lemak, bagaimana molekul ini bekerja dalam tubuh, dan peran pentingnya bagi kedokteran.

Kami berharap buku ini bisa membantu Anda belajar biokimia dengan baik. Ada juga contoh-contoh nyata di dalamnya agar Anda bisa mengerti bagaimana biokimia digunakan dalam dunia kedokteran.

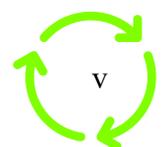
Terima kasih kepada semua yang sudah membantu membuat buku ini. Kami senang menerima saran dan kritik untuk membuat buku ini lebih baik lagi. Semoga buku ini berguna untuk kalian semua dan membantu kalian sukses di dunia kedokteran.

Selamat Membaca.

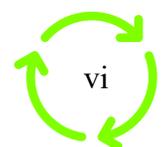


Daftar Isi

Sampul	i
Halaman Perancis	ii
Disclaimer.....	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel	ix
Pemetaan Kajian Makromolekul	1
Capaian Pembelajaran.....	1
Definisi.....	1
Klaster	2
Uji Pemahaman	5
Seri Soal Benar/Salah	5
Seri Soal Esai Singkat.....	6
Seri Soal Pilihan Ganda	7
Kunci Jawaban Uji Pemahaman	10
Kunci Jawaban Seri Soal Benar/Salah.....	10
Kunci Jawaban Seri Soal Esai Singkat.....	11
Kunci Jawaban Seri Soal Pilihan Ganda.....	14
Karbohidrat.....	15
Capaian Pembelajaran.....	15
Definisi.....	15
Struktur	16
Jenis dan Fungsi.....	17
Pencernaan dan Absorpsi.....	19
Metabolisme.....	21
Uji Pemahaman.....	24



Seri Soal Benar/Salah	24
Seri Soal Esai Singkat.....	25
Seri Soal Pilihan Ganda	26
Kunci Jawaban Seri Benar/Salah.....	29
Kunci Jawaban Seri Esai Singkat	30
Kunci Jawaban Seri Pilihan Ganda.....	33
Protein.....	34
Capaian Pembelajaran.....	34
Definisi.....	34
Struktur	35
Jenis dan Fungsi.....	37
Fungsi Protein dalam Aspek Fungsional	37
Peran Protein Struktural.....	37
Pengaruh Kehilangan Struktur pada Fungsi Protein.....	37
Pencernaan dan Absorpsi.....	38
Metabolisme.....	41
Uji Pemahaman.....	43
Seri Soal Benar/Salah	43
Seri Soal Esai Singkat.....	44
Seri Soal Pilihan Ganda	45
Kunci Jawaban	48
Kunci Jawaban Seri Benar/Salah.....	48
Kunci Jawaban Seri Esai Singkat	49
Kunci Jawaban Seri Pilihan Ganda.....	51
Lemak	52
Capaian Pembelajaran.....	52
Definisi.....	52
Struktur	53
Jenis dan Fungsi.....	53
Pencernaan dan Absorpsi.....	56



Metabolisme.....	58
Uji Pemahaman	61
Seri Soal Benar/Salah	61
Seri Soal Esai Singkat.....	62
Seri Soal Pilihan Ganda	63
Kunci Jawaban	66
Kunci Jawaban Seri Benar/Salah	66
Kunci Jawaban Seri Esai Singkat	68
Kunci Jawaban Seri Pilihan Ganda.....	70
Regulasi Metabolisme	71
Peran Hormon Pada Metabolisme Karbohidrat	71
Peran Hormon Pada Metabolisme Protein.....	72
Peran Hormon Pada Metabolisme Lemak	73
Uji Pemahaman	76
Seri Soal Benar/Salah	76
Seri Soal Esai Singkat.....	77
Seri Soal Pilihan Ganda	78
Kunci Jawaban	81
Kunci Jawaban Seri Soal Benar/Salah.....	81
Kunci Jawaban Seri Soal Esai Pilihan Ganda.....	82
Kunci Jawaban Seri Soal Pilihan Ganda.....	85
Daftar Pustaka	88
Biodata Penulis.....	92
BACK COVER	94

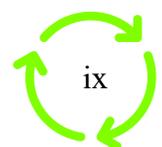


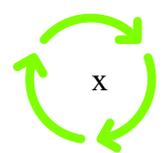
Daftar Gambar

Gambar 1 Pemetaan kajian makromolekul dan metabolisme pada manusia	2
Gambar 2 Posisi metabolisme dalam pemetaan.....	3
Gambar 3 Topik yang trend dalam kajian metabolisme makromolekul....	4
Gambar 4 Struktur monosakarida dengan konsep stereoisomer.....	16
Gambar 5 Mekanisme kerja GLUT2 dan SGLT.....	21
Gambar 6 Katabolisme karbohidrat-glikolisis	22
Gambar 7 Struktur dasar asam amino.....	35
Gambar 8 Variasi struktur pada protein.....	36
Gambar 9 Tahapan akktivasi enzim pemecah protein pada sistem pencernaan.	39
Gambar 10 Proses penyerapan molekul asam amino dan peptida.	40
Gambar 11 Metabolisme asam amino intrasel.....	42
Gambar 12 Proses pencernaan dan absorpsi lemak pada manusia.	56
Gambar 13 Enzim pada sistem pencernaan lemak pada tubuh manusia.	57
Gambar 14 Metabolisme lemak	58
Gambar 15 Metabolisme lemak dan peran transporter pada mitokondria.	60
Gambar 16 Intake lemak dan sintesis kolesterol.	60
Gambar 17 Peran hormon dalam regulasi metabolisme	74
Gambar 18 Peran estrogen dalam metabolisme lemak.	75

Daftar Tabel

Tabel 1 Jenis dan Fungsi Karbohidrat	17
Tabel 2 Enzim karbohidrat dan fungsi.....	19
Tabel 3 Tipe transporter dan fungsinya	20
Tabel 4 Jenis protein berdasarkan struktur dan fungsi.....	37
Tabel 5 Jenis lemak dan fungsinya	54
Tabel 6 Jenis lemak esensial dan nonesensial.....	55





Pemetaan Kajian Makromolekul

Capaian Pembelajaran

Setelah menyelesaikan materi dalam Bab ini, mahasiswa diharapkan agar mampu mendapatkan capaian pembelajaran. Berikut ini adalah capaian pembelajaran yang diharapkan.

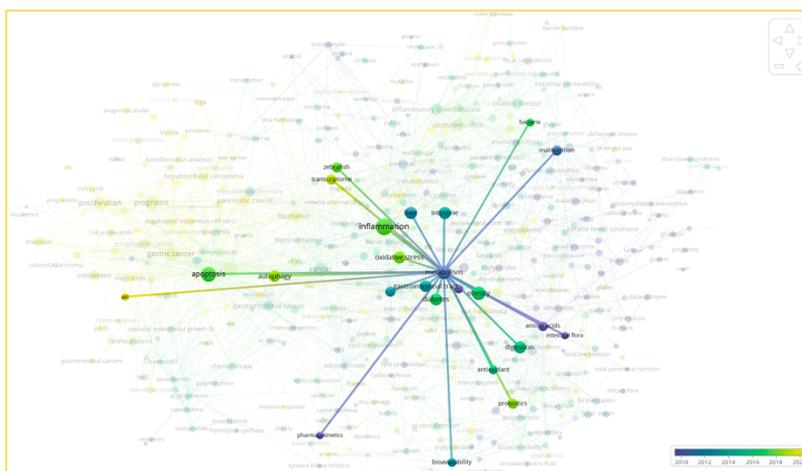
1. Memahami spektrum kajian makromolekul,
2. Memahami klaster antar kajian makromolekul,
3. Memahami relasi antar topik dalam kajian makromolekul.

Definisi

Pemetaan konsep merupakan bagian penting dalam perkembangan kajian makromolekul. Melalui pemetaan kita dapat melihat perkembangan pengetahuan melalui pelaporan aktivitas riset. Data dari berbagai penelitian dapat dengan mudah ditabulasi dan dipetakan dengan bantuan berbagai *tools*. Salah satu bidang ilmu yang mengungkap wawasan melalui pengumpulan data ini adalah bibliometrika [1]. Bibliometrika merupakan salah satu metode ilmiah untuk melihat evidence antar topik.

Bibliometrika muncul sebagai bidang ilmu yang mengkhususkan diri dalam mengumpulkan dan menganalisis data dari literatur ilmiah. Metode ini merupakan alat ilmiah yang kuat untuk menentukan seberapa sering suatu topik dibahas dalam literatur, siapa peneliti utama di bidang tersebut, dan bagaimana distribusi geografis penelitian. Bibliometrika tidak hanya memungkinkan kita untuk melihat hubungan antara topik-topik penelitian, tapi juga memberikan bukti atau 'evidence' tentang seberapa penting atau berkembangnya suatu area penelitian.

Pemetaan bibliometrik yang tersaji dalam diagram ini menandakan bahwa konsep metabolisme memegang peran sentral dalam kajian ilmiah yang diwakili oleh korpus literatur terkait. Keberadaannya di tengah peta menunjukkan bahwa metabolisme bukan hanya sebuah topik yang kerap dikaji, namun juga titik koneksi yang mengintegrasikan berbagai disiplin dan subtopik lainnya. Area cakupan yang besar dari konsep metabolisme dalam pemetaan ini menegaskan pentingnya dalam kajian biomedis, mengingat hubungan eratnya dengan kondisi kesehatan yang mendesak seperti obesitas dan diabetes, serta proses fisiologis fundamental seperti pencernaan. Lebih lanjut, interaksi metabolisme dengan obesitas dan diabetes menunjukkan adanya lintasan penelitian yang konsisten dan mendalam terhadap mekanisme biokimia yang mengatur penyimpanan energi dan penggunaannya dalam tubuh manusia. Hubungan ini juga mengungkap penekanan pada pencarian strategi intervensi dan terapeutik yang efektif dalam mengelola atau bahkan membalikkan efek dari gangguan metabolisme. Sementara itu, kaitannya dengan pencernaan mengarahkan fokus pada penelitian yang mengeksplorasi bagaimana nutrisi dan diet mempengaruhi proses metabolik dan berkontribusi pada status kesehatan secara keseluruhan.



Gambar 2 Posisi metabolisme dalam pemetaan

Sumber data: Scopus

Uji Pemahaman

Seri Soal Benar/Salah

1. Bibliometrika digunakan untuk menentukan frekuensi pembahasan suatu topik dalam literatur ilmiah.
2. Pemetaan konsep tidak berhubungan dengan perkembangan pengetahuan ilmiah.
3. VOSviewer adalah alat yang tidak relevan untuk pemetaan bibliometrik.
4. Kluster inflamasi dan kanker adalah kluster terkecil dalam pemetaan makromolekul.
5. Pemetaan bibliometrik tidak dapat memberikan informasi tentang peneliti utama dalam suatu bidang.
6. Pemetaan bibliometrik tidak membantu dalam mengidentifikasi celah penelitian.
7. Metabolisme memiliki peran penting dalam kajian ilmiah berdasarkan pemetaan kluster.
8. Bibliometrika hanya berguna untuk ilmuwan dalam bidang biomedis.
9. Pemetaan kluster dapat mengungkap hubungan antara obesitas dan metabolisme.
10. Trend penelitian tidak dapat diidentifikasi melalui pemetaan bibliometrik.

Seri Soal Esai Singkat

1. Jelaskan bagaimana bibliometrika dapat membantu mahasiswa dalam mengidentifikasi perkembangan terkini di bidang kajian makromolekul!
2. Apa manfaat pemetaan kluster dalam studi bibliometrik?
3. Bagaimana pemetaan bibliometrik dapat mengungkap hubungan antara metabolisme dan penyakit seperti obesitas dan diabetes?
4. Tuliskan tiga capaian pembelajaran dari bab tentang pemetaan kajian makromolekul!
5. Mengapa pemetaan bibliometrik lebih efisien daripada studi literatur secara manual?
6. Bagaimana mahasiswa dapat memanfaatkan informasi dari pemetaan bibliometrik untuk proyek riset mereka?
7. Apa keuntungan menggunakan VOSviewer dalam pemetaan kajian makromolekul?
8. Jelaskan pentingnya sensitivitas dalam membaca dan menafsirkan data dari pemetaan bibliometrik!
9. Bagaimana pemetaan kluster dapat menunjukkan area penelitian yang berkembang?
10. Mengapa penting untuk mengetahui distribusi geografis penelitian dalam bibliometrika?

Seri Soal Pilihan Ganda

1. Bibliometrika adalah metode ilmiah yang digunakan untuk:
 - A. Mengukur berat molekul.
 - B. Memvisualisasikan hubungan antar topik kajian.
 - C. Menentukan struktur molekul.
 - D. Mengidentifikasi reaksi kimia.
 - E. Mengukur kecepatan reaksi enzimatik.
2. Salah satu fungsi utama bibliometrika adalah:
 - A. Menentukan harga jual buku.
 - B. Memvisualisasikan trend mode.
 - C. Menganalisis data dari literatur ilmiah.
 - D. Menghitung jumlah buku yang terjual.
 - E. Mengklasifikasikan genre buku.
3. Dalam konteks pemetaan kajian makromolekul, kluster yang besar biasanya menunjukkan:
 - A. Topik yang kurang populer.
 - B. Topik dengan sedikit data penelitian.
 - C. Topik yang sering dibahas dan penting.
 - D. Kesalahan dalam pemetaan.
 - E. Data yang redundan.
4. Kaitan antara metabolisme dan pencernaan adalah:
 - A. Tidak signifikan dalam kajian makromolekul.
 - B. Hanya relevan dalam studi binatang.
 - C. Penting dalam memahami status kesehatan.
 - D. Hanya terkait dengan aspek biologi sel.
 - E. Merupakan topik yang jarang diteliti.

5. Pemetaan bibliometrik dapat membantu mahasiswa:
 - A. Menemukan buku teks yang murah.
 - B. Mengidentifikasi topik penelitian yang sedang tren.
 - C. Membuat diagram sel.
 - D. Belajar tentang sejarah.
 - E. Memilih universitas untuk melanjutkan studi.

6. Salah satu manfaat dari bibliometrika adalah memberikan:
 - A. Harga pasar dari makromolekul.
 - B. Evidensi tentang perkembangan area penelitian.
 - C. Ilustrasi tentang struktur DNA.
 - D. Petunjuk tentang cara memasak.
 - E. Strategi pemasaran untuk jurnal ilmiah.

7. Kluster inflamasi dan kanker dalam pemetaan kajian makromolekul dan metabolisme menunjukkan:
 - A. Kurangnya penelitian dalam area tersebut.
 - B. Kesalahan dalam metodologi penelitian.
 - C. Banyaknya penelitian penting terkait dengan dua topik tersebut.
 - D. Hubungan yang lemah dengan topik lain.
 - E. Perspektif sejarah pada penyakit.

8. Alat apa yang sering digunakan dalam pembuatan pemetaan kajian makromolekul?
 - A. Peta konsep manual.
 - B. Komputer kuantum.
 - C. VOSviewer.
 - D. Mikroskop elektron.
 - E. Software pengolah data statistik.

9. Hubungan antara topik-topik penelitian dalam bibliometrika sering kali ditunjukkan dengan:
- A. Grafik batang.
 - B. Peta konseptual.
 - C. Tabel frekuensi.
 - D. Persamaan matematika.
 - E. Analisis regresi.
10. Sensitivitas terhadap data bibliometrik penting karena:
- A. Data tersebut sering kali tidak akurat.
 - B. Mahasiswa perlu belajar tentang statistik.
 - C. Penting untuk memahami dinamika ilmiah sebenarnya.
 - D. Ini adalah persyaratan untuk publikasi ilmiah.
 - E. Data tersebut dapat menyesatkan tanpa analisis yang tepat.

Kunci Jawaban Uji Pemahaman

Kunci Jawaban Seri Soal Benar/Salah

1. Benar
2. Salah
3. Salah
4. Salah
5. Salah
6. Salah
7. Benar
8. Salah
9. Benar
10. Salah

Kunci Jawaban Seri Soal Esai Singkat

1. **Bibliometrika membantu mahasiswa mengidentifikasi perkembangan terkini di bidang kajian makromolekul dengan cara:**
 - Menganalisis frekuensi publikasi topik terkait makromolekul.
 - Mengidentifikasi hubungan antara berbagai topik dan subtopik dalam literatur.
 - Memvisualisasikan data kompleks menjadi lebih mudah dipahami melalui pemetaan konseptual.
 - Mengungkap tren dalam penelitian yang mungkin tidak terlihat melalui studi literatur manual.
2. **Manfaat pemetaan kluster dalam studi bibliometrik:**
 - Memudahkan identifikasi area kajian yang saling terkait atau sering dibahas bersamaan.
 - Mengungkap hubungan interdisipliner antara berbagai bidang penelitian.
 - Membantu mengidentifikasi topik yang dominan dan subtopik dalam suatu bidang.
3. **Pemetaan bibliometrik mengungkap hubungan antara metabolisme dan penyakit:**
 - Dengan mengidentifikasi frekuensi istilah terkait dan korelasi antar publikasi.
 - Memperlihatkan bagaimana topik-topik seperti obesitas dan diabetes terhubung dengan metabolisme dalam literatur.
 - Memungkinkan analisis tren dan pola dalam penelitian yang berkaitan dengan gangguan metabolisme.
4. **Tiga capaian pembelajaran dari bab tentang pemetaan kajian makromolekul:**
 - Memahami spektrum kajian makromolekul.
 - Memahami kluster antar kajian makromolekul.
 - Memahami relasi antar topik dalam kajian makromolekul.
5. **Pemetaan bibliometrik lebih efisien dibandingkan studi literatur manual karena:**

- Memproses dan menganalisis jumlah data yang besar secara cepat.
 - Memberikan visualisasi yang membantu pemahaman tren dan hubungan kompleks.
 - Menghemat waktu dan meningkatkan akurasi dalam mengidentifikasi pola dan hubungan.
6. **Mahasiswa dapat memanfaatkan informasi dari pemetaan bibliometrik untuk proyek riset dengan cara:**
- Mengidentifikasi topik penelitian yang relevan dan tren terkini.
 - Menemukan celah dalam literatur yang ada untuk mengeksplorasi dalam riset mereka.
 - Memahami konteks dan relevansi topik riset mereka dalam kajian ilmiah yang lebih luas.
7. **Keuntungan menggunakan VOSviewer dalam pemetaan kajian makromolekul:**
- Memungkinkan visualisasi data yang kompleks menjadi lebih terstruktur dan mudah dipahami.
 - Memfasilitasi analisis kluster dan kecenderungan dalam literatur ilmiah.
 - Memberikan kemampuan untuk memanipulasi data visual untuk analisis lebih dalam.
8. **Pentingnya sensitivitas dalam membaca dan menafsirkan data dari pemetaan bibliometrik:**
- Untuk memahami konteks dan nuansa di balik angka dan visualisasi data.
 - Untuk menghindari kesimpulan yang salah yang mungkin dihasilkan dari interpretasi data yang terlalu harfiah.
 - Untuk memahami dinamika ilmiah yang sebenarnya, termasuk faktor-faktor seperti bias penerbitan.
9. **Pemetaan kluster menunjukkan area penelitian yang berkembang dengan cara:**
- Menunjukkan area dengan volume publikasi yang tinggi atau peningkatan publikasi baru-baru ini.

- Mengidentifikasi hubungan antara topik yang beragam yang membentuk suatu bidang studi baru atau yang sedang berkembang.
- Memvisualisasikan konsentrasi riset dan kolaborasi antar peneliti yang menandakan area yang berkembang.

10. Pentingnya mengetahui distribusi geografis penelitian dalam bibliometrika:

- Untuk memahami bagaimana penelitian dipengaruhi oleh faktor geografis dan budaya.
- Untuk mengidentifikasi pusat-pusat keunggulan dan kolaborasi internasional.
- Untuk menilai dampak dan jangkauan penelitian di berbagai bagian dunia.

Kunci Jawaban Seri Soal Pilihan Ganda

1. Jawaban: B
2. Jawaban: C
3. Jawaban: C
4. Jawaban: C
5. Jawaban: B
6. Jawaban: B
7. Jawaban: C
8. Jawaban: C
9. Jawaban: B
10. Jawaban: C

Karbohidrat

Capaian Pembelajaran

Setelah menyelesaikan materi dalam Bab ini, mahasiswa diharapkan agar mampu mendapatkan capaian pembelajaran. Berikut ini adalah capaian pembelajaran yang diharapkan.

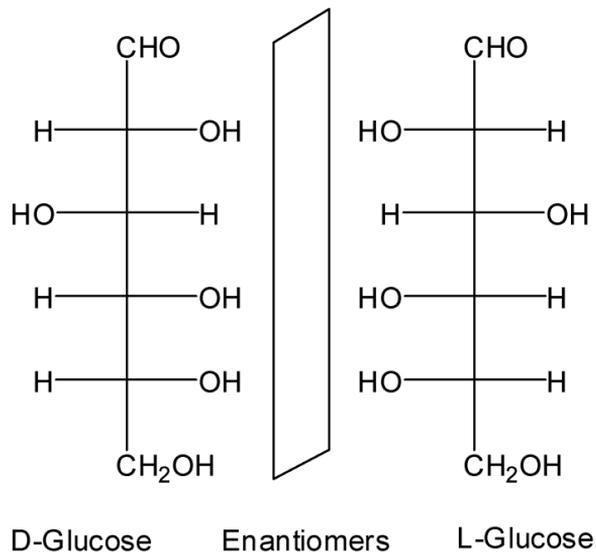
4. Memahami struktur dasar dan klasifikasi karbohidrat, termasuk perbedaan antara karbohidrat sederhana dan kompleks.
5. Mengetahui berbagai jenis karbohidrat (monosakarida, disakarida, polisakarida) dan fungsi spesifik mereka dalam tubuh.
6. Mengerti proses absorpsi karbohidrat di sistem pencernaan, mulai dari pemecahan di mulut hingga penyerapan di usus halus.
7. Memahami jalur metabolisme karbohidrat, termasuk glikolisis, siklus Krebs, dan jalur pentosa fosfat.
8. Mengenali peran karbohidrat dalam menyediakan energi dan interaksinya dengan metabolisme lemak dan protein.
9. Mampu mengaitkan pengetahuan tentang karbohidrat dengan aplikasi klinis dan kesehatan manusia.
10. Menyelesaikan dan memahami soal-soal yang berkaitan dengan struktur, fungsi, absorpsi, dan metabolisme karbohidrat untuk mengevaluasi dan memperdalam pemahaman tentang topik tersebut.

Definisi

Karbohidrat adalah salah satu makromolekul biologis utama yang tersusun dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen [2]. Bab ini akan menjelaskan struktur kimia karbohidrat, klasifikasinya, serta perannya sebagai sumber energi utama bagi tubuh. Pembahasan juga meliputi perbedaan antara karbohidrat sederhana dan kompleks. Dikatakan karbohidrat sederhana ketika berbentuk monomer “monosakarida” dan kompleks ketika dalam bentuk polimer “polisakarida.”

Struktur

Karbohidrat, sebagai salah satu makromolekul utama dalam biologi, memiliki struktur yang unik dan kompleks. Struktur dasar karbohidrat terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen, biasanya dengan rumus umum $C_n(H_2O)_n$. Karbohidrat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan ukuran molekulnya: monosakarida seperti glukosa dan fruktosa merupakan unit dasar karbohidrat dengan struktur ring sederhana; disakarida seperti sukrosa (gula pasir) terbentuk dari dua monosakarida yang terikat; dan polisakarida seperti pati dan selulosa, yang merupakan rantai panjang monosakarida dan berperan penting dalam penyimpanan energi dan struktur sel. Ikatan kimia yang menghubungkan unit-unit monosakarida ini, dikenal sebagai ikatan glikosidik, memainkan peran penting dalam stabilitas dan fungsi karbohidrat. Struktur ini mempengaruhi sifat-sifat fisik dan biologis karbohidrat, termasuk kelarutannya, manisnya, dan bagaimana tubuh manusia mencernanya dan menggunakannya sebagai sumber energi.



Gambar 4 Struktur monosakarida dengan konsep stereoisomer.

Sumber: [3]

Jenis dan Fungsi

Karbohidrat hadir dalam beragam bentuk, masing-masing dengan peran vital dalam tubuh. Monosakarida, seperti glukosa dan fruktosa, adalah bentuk paling sederhana yang berfungsi sebagai bahan bakar seluler utama. Disakarida, seperti laktosa dan maltosa, terbentuk dari dua monosakarida dan sering ditemukan dalam makanan sehari-hari. Polisakarida, seperti glikogen dan serat, adalah rantai panjang monosakarida yang bertindak sebagai penyimpanan energi jangka panjang dan membantu dalam fungsi pencernaan. Fungsi utama karbohidrat adalah menyediakan energi cepat dan efisien bagi tubuh, tetapi mereka juga memainkan peran penting dalam struktur sel dan proses biologis lainnya.

Tabel 1 Jenis dan Fungsi Karbohidrat

Jenis Karbohidrat	Golongan	Fungsi	Referensi
Glukosa	Monosakarida	Sumber energi utama	[4]
Fruktosa	Monosakarida	Sumber energi; penyimpanan energi dalam buah	[4]
Ribosa	Monosakarida	Komponen RNA	[5]
Deoksiribosa	Monosakarida	Komponen DNA	[5]
Galaktosa	Monosakarida	Komponen dalam glikoprotein dan glikolipid	[6]
Manosa	Monosakarida	Penting dalam metabolisme manusia	[4]
Laktosa	Disakarida	Sumber energi; utama pada susu	[7]
Maltosa	Disakarida	Sumber energi; terdapat dalam biji-bijian	[7]
Sukrosa	Disakarida	Sumber energi; gula meja	[5]
Pati	Polisakarida	Penyimpanan energi; terdapat dalam tumbuhan	[6]
Glikogen	Polisakarida	Penyimpanan energi; terdapat dalam otot dan hati	[6]
Selulosa	Polisakarida	Struktur sel; terdapat dalam dinding sel tumbuhan	[8]

Kitin	Polisakarida	Struktur sel; terdapat pada eksoskeleton serangga dan dinding sel jamur	[8]
-------	--------------	---	-----

Kajian karbohidrat memiliki spektrum yang sangat luas karena memang jenis dan sifatnya memiliki variasi tinggi. Contohnya pada kajian *food science* sebagian besar monosakarida yang membentuk polisakarida ini adalah heksosa, yang memiliki enam atom karbon. d-Glukosa merupakan contoh heksosa. Heksosa diproduksi secara skala industri untuk produksi makanan menggunakan polisakarida yang melimpah di alam dan tersedia dengan harga murah. Oleh karena itu, identifikasi heksosa yang memiliki nilai fungsional dapat membantu peningkatan kualitas diet manusia dan berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup. Dalam ulasan ini, berbagai heksosa dijelaskan (misalnya, N-asetil-d-glukosamin (GlcNAc), d-glukosamin, d-fruktosa (Fru), d-manosa, d-galaktosa, heksosa d lainnya, dan heksosa l) serta manfaat kesehatan dan metode produksi industri heksosa alami untuk digunakan dalam suplemen makanan, makanan olahan, dan minuman [9].

Karbohidrat juga dapat membentuk molekul kompleks dengan molekul non karbohidrat. Contohnya adalah glikoprotein,

Pencernaan dan Absorpsi

Proses pencernaan karbohidrat dimulai di mulut, di mana enzim amilase mulai memecah karbohidrat kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana [10]. Di usus kecil, karbohidrat ini dipecah lebih lanjut menjadi monosakarida oleh enzim tambahan. Monosakarida ini kemudian diserap melalui dinding usus ke dalam aliran darah, di mana mereka diangkut ke seluruh tubuh melalui sistem sirkulasi yang dinamis. Proses ini vital karena menyediakan glukosa, sumber energi utama untuk sel-sel tubuh. Karbohidrat yang tidak dicerna, seperti serat, melanjutkan perjalanan mereka ke usus besar, di mana mereka membantu menjaga kesehatan sistem pencernaan.

Tabel 2 Enzim karbohidrat dan fungsi

Jenis Enzim	Golongan Enzim	Substrat	Hasil	Lokasi	Referensi
Amilase Saliva	Hidrolase	Pati	Maltosa	Mulut	[11]
Amilase Pankreatik	Hidrolase	Pati	Maltosa dan oligosakarida	Usus kecil	[11]
Laktase	Hidrolase	Laktosa	Glukosa dan galaktosa	Usus kecil	[10]
Sakarase	Hidrolase	Sukrosa	Glukosa dan fruktosa	Usus kecil	[12]
Maltase	Hidrolase	Maltosa	Glukosa	Usus kecil	[10]
Isomaltase	Hidrolase	Isomaltosa	Glukosa	Usus kecil	[10]

Perjalanan karbohidrat kompleks menjadi monosakarida merupakan hasil kerja cerdas dari kinetika enzim. Tahapan canggih selanjutnya adalah mekanisme penyerapan monosakarida. Kesuksesan ini tidak terlepas oleh peran transporter GLUT dan SGLT. Protein transporter GLUT memfasilitasi masuknya glukosa ke dalam sel dengan proses difusi fasilitasi, yang tidak memerlukan energi ekstra. Sebaliknya, transporter SGLT mengandalkan energi yang diperoleh dari gradien natrium untuk menarik glukosa ke dalam sel, suatu proses yang dikenal sebagai transportasi aktif sekunder.

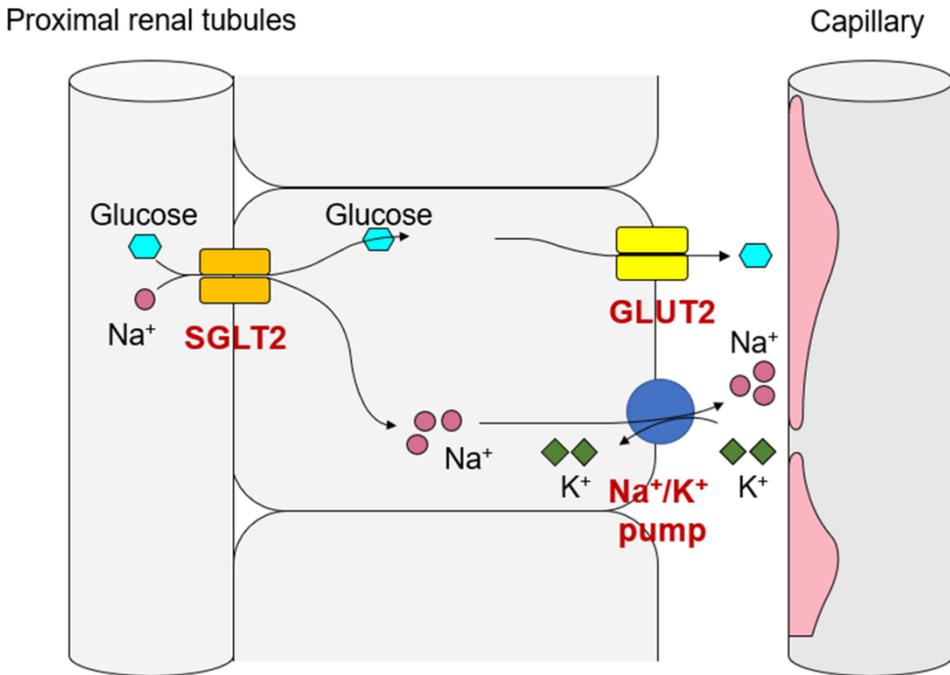
Kedua tipe transporter ini memastikan bahwa monosakarida dapat mencapai aliran darah dan kemudian diangkut ke seluruh tubuh untuk dimanfaatkan sebagai energi, disimpan sebagai glikogen, atau diubah menjadi lemak. Menariknya ada banyak jenis transporter yang berperan dalam mekanisme ini. Keragaman transporter ini, dengan spesifisitas unik mereka terhadap berbagai jenis jaringan dan respons terhadap berbagai kondisi fisiologis, menggarisbawahi kompleksitas dan efisiensi sistem biologis kita dalam mengelola nutrisi penting seperti karbohidrat.

Tabel 3 Tipe transporter dan fungsinya

Transporter	Fungsi	Lokasi	Referensi
GLUT1	Transportasi glukosa lintas membran sel, utamanya di otak dan sel darah merah	Otak, sel darah merah	[13]
GLUT2	Pengaturan penyerapan glukosa di usus halus, reabsorpsi ginjal, dan sekresi insulin	Usus halus, ginjal, hati, pankreas	[14]
GLUT3	Transportasi glukosa ke otak dan sel-sel saraf	Otak, sel saraf	[12], [15]18/12/23 10.31.00
GLUT4	Pengambilan glukosa yang diinduksi insulin, terutama di jaringan adiposa dan otot	Jaringan adiposa, otot rangka	[16], [13]
SGLT1	Penyerapan glukosa dan galaktosa di usus halus	Usus halus	[17]
SGLT2	Reabsorpsi glukosa di ginjal	Tubulus proksimal ginjal	[18]
GLUT5	Transportasi fruktosa di usus halus dan ginjal	Usus halus, ginjal	[19]

Dalam tabulasi terlihat peran GLUT2 yang memiliki spektrum yang luas. Bertugas pada berbagai lokasi penting dalam tubuh manusia. Banyak penelitian yang melihat ekspresi transporter ini melalui kuantifikasi

ekspresi DNA gen pengkode GLUT2 [20]. Kerjasama SGLT2, Na/K Pump dan GLUT2 merupakan jawaban bagaimana glukosa bisa diserap dari tubulus dan di transport ke kapiler. Dari skema gambar berikut ini terlihat efisiensi optimal pada tubuh manusia. Hampir seluruh zat yang masih berguna akan diserap kembali.



Gambar 5 Mekanisme kerja GLUT2 dan SGLT.

Sumber: [21]

Metabolisme

Setelah diserap, karbohidrat mengalami serangkaian reaksi metabolisme untuk menghasilkan energi. Glikolisis adalah proses di mana glukosa dipecah menjadi asam piruvat, menghasilkan ATP, sumber energi bagi sel [22]. Asam piruvat ini selanjutnya dapat masuk ke siklus asam sitrat atau Krebs, menghasilkan lebih banyak ATP dan molekul pembawa elektron untuk rantai transport elektron, yang berlangsung di mitokondria. Proses ini tidak hanya menghasilkan sebagian besar energi

Metabolisme karbohidrat juga terkait erat dengan metabolisme lemak dan protein, mencerminkan keterkaitan dan kompleksitas proses biokimia dalam tubuh. Hubungan ini dapat dilihat pada simpul metabolisme TCA cycle.

Uji Pemahaman

Seri Soal Benar/Salah

1. Karbohidrat adalah makromolekul yang hanya terdiri dari atom karbon dan hidrogen.
2. Monosakarida adalah unit dasar karbohidrat dan tidak bisa dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana.
3. Disakarida seperti sukrosa dibentuk dari tiga atau lebih monosakarida yang terikat.
4. Polisakarida seperti pati dan selulosa berperan sebagai penyimpanan energi jangka panjang dan membantu fungsi pencernaan.
5. Proses pencernaan karbohidrat hanya terjadi di usus kecil.
6. Amilase saliva yang berada di mulut memulai proses pemecahan pati menjadi maltosa.
7. Laktase adalah enzim yang memecah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa.
8. Glikogen, ditemukan di otot dan hati, adalah contoh dari monosakarida.
9. Glikolisis adalah tahap pertama dalam metabolisme karbohidrat di mana glukosa dipecah menjadi asam piruvat.
10. Metabolisme karbohidrat terjadi secara independen dan tidak berhubungan dengan metabolisme lemak dan protein.

Seri Soal Esai Singkat

1. Jelaskan perbedaan antara karbohidrat sederhana dan kompleks!
2. Apa fungsi utama karbohidrat dalam tubuh manusia?
3. Bagaimanakah proses absorpsi karbohidrat di sistem pencernaan manusia?
4. Sebutkan dan jelaskan dua jalur utama metabolisme karbohidrat dalam sel.
5. Bagaimana karbohidrat berinteraksi dengan metabolisme lemak dan protein?
6. Apa peran pentosa seperti ribosa dan deoksiribosa dalam tubuh?
7. Mengapa enzim amilase saliva penting dalam proses pencernaan karbohidrat?
8. Apa yang terjadi pada karbohidrat yang tidak dicerna seperti serat?
9. Jelaskan bagaimana d-glukosa diubah menjadi energi dalam sel.
10. Apa saja jenis enzim yang terlibat dalam pemecahan karbohidrat di usus kecil dan apa substrat spesifik mereka?

Seri Soal Pilihan Ganda

1. Manakah rumus umum untuk karbohidrat?
 - A. $C_n(H_2O)_n$
 - B. C_nH_{2n}
 - C. CH_4
 - D. CH_3
 - E. $C_6H_{12}O_6$

2. Monosakarida yang merupakan komponen utama RNA adalah:
 - A. Glukosa
 - B. Fruktosa
 - C. Ribosa
 - D. Maltosa
 - E. Galaktosa

3. Karbohidrat mana yang paling umum ditemukan dalam biji-bijian?
 - A. Laktosa
 - B. Maltosa
 - C. Sukrosa
 - D. Frutosa
 - E. Galaktosa

4. Enzim apa yang memecah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa?
 - A. Laktase
 - B. Sakarase
 - C. Maltase
 - D. Amilase
 - E. Glukosa

5. Proses apa yang mengubah glukosa menjadi energi dalam sel?
- A. Fotosintesis
 - B. Fermentasi
 - C. Glikolisis
 - D. Respirasi anaerob
 - E. Transfer elektron
6. Polisakarida yang berfungsi sebagai penyimpanan energi di hati dan otot adalah:
- A. Selulosa
 - B. Kitin
 - C. Glikogen
 - D. Starch
 - E. Laktosa
7. Karbohidrat yang tidak dapat dicerna oleh manusia dan berfungsi untuk menjaga kesehatan sistem pencernaan adalah:
- A. Maltosa
 - B. Glikogen
 - C. Selulosa
 - D. Glukosa
 - E. Laktosa
8. Tahap metabolisme karbohidrat yang menghasilkan molekul pembawa elektron untuk rantai transport elektron adalah:
- A. Glikolisis
 - B. Siklus Krebs
 - C. Fotosintesis
 - D. Fermentasi
 - E. Transfer elektron

9. Karbohidrat mana yang dikenal sebagai gula meja?

- A. Glukosa
- B. Laktosa
- C. Fruktosa
- D. Sukrosa
- E. Maltosa

10. Karbohidrat yang dikenal sebagai "gula buah" adalah:

- A. Glukosa
- B. Fruktosa
- C. Ribosa
- D. Galaktosa
- E. Laktosa

Kunci Jawaban Seri Benar/Salah

1. Salah
2. Benar
3. Salah
4. Benar
5. Salah
6. Benar
7. Salah
8. Salah
9. Benar
10. Salah

Kunci Jawaban Seri Esai Singkat

1. Jelaskan perbedaan antara karbohidrat sederhana dan kompleks!
Kunci Jawaban: Karbohidrat sederhana terdiri dari monosakarida dan disakarida dengan struktur kimia yang lebih sederhana dan mudah dicerna, memberikan energi cepat. Sementara itu, karbohidrat kompleks meliputi polisakarida seperti pati dan serat, memiliki struktur molekul yang lebih besar dan memerlukan waktu lebih lama untuk dicerna, sehingga energi yang dilepaskan lebih bertahap.
2. **Soal:** Apa fungsi utama karbohidrat dalam tubuh manusia?
Kunci Jawaban: Fungsi utama karbohidrat adalah menyediakan energi. Karbohidrat dipecah menjadi glukosa, yang digunakan oleh sel-sel sebagai bahan bakar untuk menghasilkan ATP melalui proses metabolisme seperti glikolisis dan siklus Krebs.
3. **Soal:** Bagaimanakah proses absorpsi karbohidrat di sistem pencernaan manusia?
Kunci Jawaban: Proses absorpsi karbohidrat dimulai dengan pemecahan karbohidrat oleh enzim amilase di mulut. Di usus kecil, enzim tambahan seperti maltase, laktase, dan sakarase memecah disakarida menjadi monosakarida, yang kemudian diserap melalui dinding usus halus ke dalam aliran darah.
4. **Soal:** Sebutkan dan jelaskan dua jalur utama metabolisme karbohidrat dalam sel.
Kunci Jawaban: Dua jalur utama metabolisme karbohidrat adalah glikolisis, yang memecah glukosa menjadi asam piruvat dan menghasilkan ATP dan NADH; dan siklus Krebs, yang mengoksidasi asam piruvat menjadi CO₂, menghasilkan ATP, NADH, dan FADH₂ untuk digunakan dalam rantai transport elektron.

5. **Soal:** Bagaimana karbohidrat berinteraksi dengan metabolisme lemak dan protein?

Kunci Jawaban: Karbohidrat yang tidak segera digunakan untuk energi dapat diubah menjadi lemak dan disimpan. Selain itu, ketika karbohidrat tidak tersedia, protein dapat diubah menjadi glukosa melalui proses glukoneogenesis. Jadi, metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein saling terkait dan mendukung satu sama lain tergantung pada kebutuhan energi dan ketersediaan nutrisi.

6. **Soal:** Apa peran pentosa seperti ribosa dan deoksiribosa dalam tubuh?

Kunci Jawaban: Pentosa seperti ribosa dan deoksiribosa merupakan komponen penting dari asam nukleat. Ribosa merupakan bagian dari struktur RNA, sedangkan deoksiribosa adalah komponen DNA. Keduanya penting untuk penyimpanan dan ekspresi informasi genetik.

7. **Soal:** Mengapa enzim amilase saliva penting dalam proses pencernaan karbohidrat?

Kunci Jawaban: Enzim amilase saliva penting karena memulai proses pemecahan karbohidrat kompleks menjadi oligosakarida dan disakarida yang lebih sederhana. Hal ini memfasilitasi proses pencernaan lebih lanjut di usus kecil dan memastikan penyerapan glukosa yang efisien.

8. **Soal:** Apa yang terjadi pada karbohidrat yang tidak dicerna seperti serat?

Kunci Jawaban: Karbohidrat yang tidak dicerna, seperti serat, tidak dipecah dalam sistem pencernaan dan melanjutkan perjalanan ke usus besar. Di sana, serat membantu menjaga kesehatan sistem pencernaan dengan menyerap air, membantu pergerakan usus, dan mendukung pertumbuhan bakteri usus yang sehat.

9. **Soal:** Jelaskan bagaimana d-glukosa diubah menjadi energi dalam sel.
Kunci Jawaban: d-Glukosa diubah menjadi energi melalui beberapa tahap. Pertama, melalui glikolisis, dipecah menjadi asam piruvat dan menghasilkan ATP. Asam piruvat kemudian masuk ke mitokondria dan mengalami siklus Krebs, menghasilkan ATP lebih lanjut dan pembawa elektron yang digunakan dalam rantai transport elektron untuk produksi energi besar-besaran.
10. **Soal:** Apa saja jenis enzim yang terlibat dalam pemecahan karbohidrat di usus kecil dan apa substrat spesifik mereka?
Kunci Jawaban: Enzim yang terlibat dalam pemecahan karbohidrat di usus kecil meliputi amilase pankreatik (pati), laktase (laktosa), sakarase (sukrosa), maltase (maltosa), dan isomaltase (isomaltosa). Masing-masing enzim ini mengkatalisasi hidrolisis substrat spesifik mereka menjadi monosakarida yang dapat diserap.

Kunci Jawaban Seri Pilihan Ganda

1. A. $C_n(H_2O)_n$
2. C. Ribosa
3. B. Maltosa
4. A. Laktase
5. C. Glikolisis
6. C. Glikogen
7. C. Selulosa
8. B. Siklus Krebs
9. D. Sukrosa
10. B. Fruktosa

Protein

Capaian Pembelajaran

Setelah menyelesaikan materi dalam Bab ini, mahasiswa diharapkan agar mampu mendapatkan capaian pembelajaran. Berikut ini adalah capaian pembelajaran yang diharapkan.

1. Memahami struktur dasar protein, termasuk perbedaan antara asam amino esensial dan non-esensial.
2. Mengetahui struktur dan fungsi berbagai jenis protein, termasuk enzim, hormon, dan protein struktural.
3. Mengerti proses pencernaan protein mulai dari hidrolisis di lambung hingga absorpsi asam amino di usus halus.
4. Memahami jalur metabolisme protein, termasuk proses deaminasi dan transaminasi dalam siklus urea.
5. Mengenali peran protein dalam pembentukan struktur sel, fungsi enzimatik, dan sebagai prekursor untuk berbagai biomolekul penting.
6. Mampu mengaitkan pengetahuan tentang protein dengan aplikasi klinis dan kesehatan manusia, termasuk pemahaman tentang penyakit yang berhubungan dengan defisiensi protein.
7. Menyelesaikan dan memahami soal-soal yang berkaitan dengan struktur, fungsi, pencernaan, dan metabolisme protein untuk mengevaluasi dan memperdalam pemahaman tentang topik tersebut.

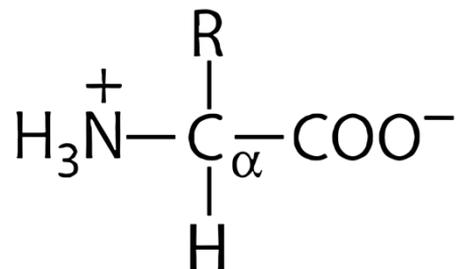
Definisi

Protein adalah molekul yang disusun dari asam amino. Sintesis ini kemudian membentuk ikatan peptida. Inilah mengapa protein dikenal pula dengan sebutan “polipeptida.” Pada bahasan lanjut kita akan melihat kompleksitas struktur dan fungsi dari suatu protein. Dalam pembahasan yang lebih mendalam, kita akan mengeksplorasi kompleksitas struktur protein yang meliputi tingkatan primer, sekunder, tersier, dan kuartener, dan bagaimana struktur ini mempengaruhi fungsi

protein, mulai dari katalisis reaksi kimia dalam sel sebagai enzim, hingga peran dalam mempertahankan struktur sel dan organisme. Pengetahuan ini membuka wawasan kita tentang pentingnya protein dalam kehidupan, serta implikasi berbagai kelainan struktur dan fungsi protein terhadap kesehatan manusia.

Struktur

Dalam pembahasan struktur pada bagian ini, kita akan mengulas dua objek utama, yaitu struktur asam amino dan struktur protein. Asam amino, sebagai unit dasar pembangun protein, memiliki struktur yang konsisten yang meliputi gugus amina dan gugus karboksil. Setiap asam amino memiliki gugus amino (-NH₂) yang bersifat basa, gugus karboksil (-COOH) yang bersifat asam, sebuah atom hidrogen, dan sebuah rantai samping atau grup R yang unik yang menentukan karakteristik dan sifat kimia dari tiap asam amino. Rantai samping ini dapat berupa struktur yang sederhana seperti hidrogen dalam asam amino glikin, atau dapat lebih kompleks dengan cincin aromatik seperti pada triptofan, atau bahkan mengandung atom sulfur seperti pada metionin.



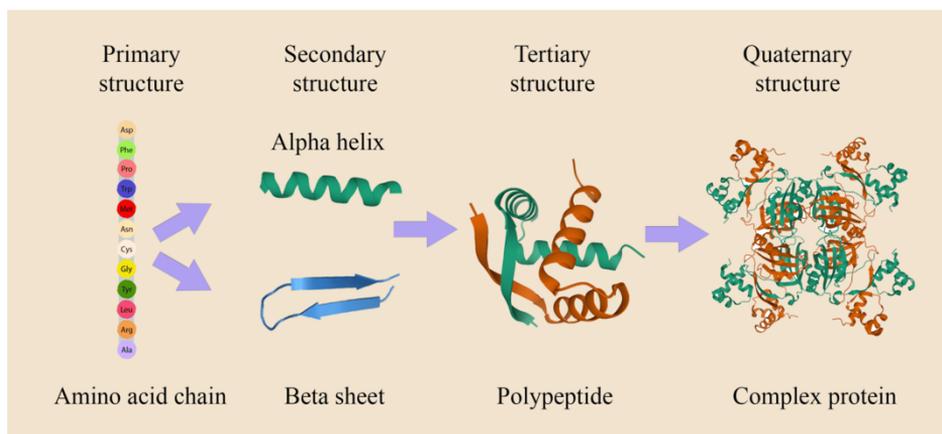
Gambar 7 Struktur dasar asam amino

Sumber:[24]

Dalam larutan berair, gugus amino dan karboksilat pada asam amino akan terdisosiasi tergantung pada pH larutan. Karena itu, asam amino memiliki setidaknya dua konstanta disosiasi (pK), yaitu untuk gugus karboksilat (pK₁) dan gugus amino (pK₂), serta untuk gugus rantai samping jika ada (pK₃). Kecuali glikin, semua asam amino memiliki minimal satu pusat kiral,

sehingga mereka aktif secara optik, artinya mereka dapat memutar cahaya terpolarisasi dan memiliki isomer optik, yaitu L dan D [24].

Maju ke tingkat berikutnya, struktur protein merupakan susunan tiga dimensi kompleks yang dibentuk dari rangkaian asam amino. Protein tidak hanya berhenti pada struktur primer yang ditentukan oleh urutan asam amino, tetapi juga melipat menjadi struktur sekunder seperti heliks alfa dan lembaran beta, yang stabil oleh ikatan hidrogen antar gugus belakang asam amino. Struktur tersier diperoleh ketika struktur sekunder melipat lebih lanjut menjadi bentuk globular atau serat, dan interaksi antara rantai samping asam amino, seperti ikatan hidrofobik, ikatan hidrogen, ikatan ionik, dan ikatan disulfida, menentukan bentuk akhir ini. Beberapa protein juga memiliki struktur kuartener yang terbentuk dari beberapa subunit polipeptida yang berinteraksi. Struktur kompleks ini mempengaruhi fungsi protein, dari katalisis reaksi biokimia, pembentukan struktur sel dan jaringan, hingga peran dalam respon imun dan transmisi sinyal dalam tubuh.



Gambar 8 Variasi struktur pada protein.

Jenis dan Fungsi

Fungsi Protein dalam Aspek Fungsional

Protein di dunia molekuler memiliki dua fungsi utama. Fungsi pertama adalah fungsional, di mana protein seperti enzim berperan aktif. Enzim, sebagai contoh dari protein fungsional, memiliki area khusus yang disebut situs aktif. Area ini sangat kritis dalam proses metabolisme, berfungsi sebagai titik katalitik [25]. Perubahan pada struktur fisika-kimia enzim bisa berdampak signifikan terhadap kemampuan katalitiknya, menunjukkan betapa pentingnya struktur untuk fungsi fungsional protein.

Peran Protein Struktural

Fungsi kedua protein adalah struktural, di mana mereka membentuk kerangka dasar sel dan struktur fisik lainnya. Protein struktural seperti kolagen dan keratin memberikan dukungan dan kekuatan, esensial untuk mempertahankan integritas struktural sel dan jaringan. Peran ini tidak hanya penting untuk kekuatan mekanis, tetapi juga untuk fungsi keseluruhan organisme.

Pengaruh Kehilangan Struktur pada Fungsi Protein

Ketika terjadi perubahan atau kerusakan pada struktur protein, baik itu fungsional atau struktural, bisa berakibat pada hilangnya fungsi. Misalnya, perubahan pada situs aktif enzim dapat menurunkan atau bahkan menghilangkan fungsi katalitiknya. Demikian juga, kerusakan pada protein struktural bisa mengakibatkan kelemahan atau kerusakan pada struktur fisik sel dan jaringan. Ini menggarisbawahi pentingnya menjaga integritas struktur protein untuk memastikan bahwa mereka dapat menjalankan fungsi mereka dengan efektif. Proses oksidasi juga dapat membuat protein kehilangan fungsinya [26].

Tabel 4 Jenis protein berdasarkan struktur dan fungsi

Nama Protein	Jenis	Fungsi	Keterangan
Enzim	Fungsional	Katalis dalam reaksi biokimia	Misalnya lipase yang memecah lemak, atau amilase yang memecah karbohidrat

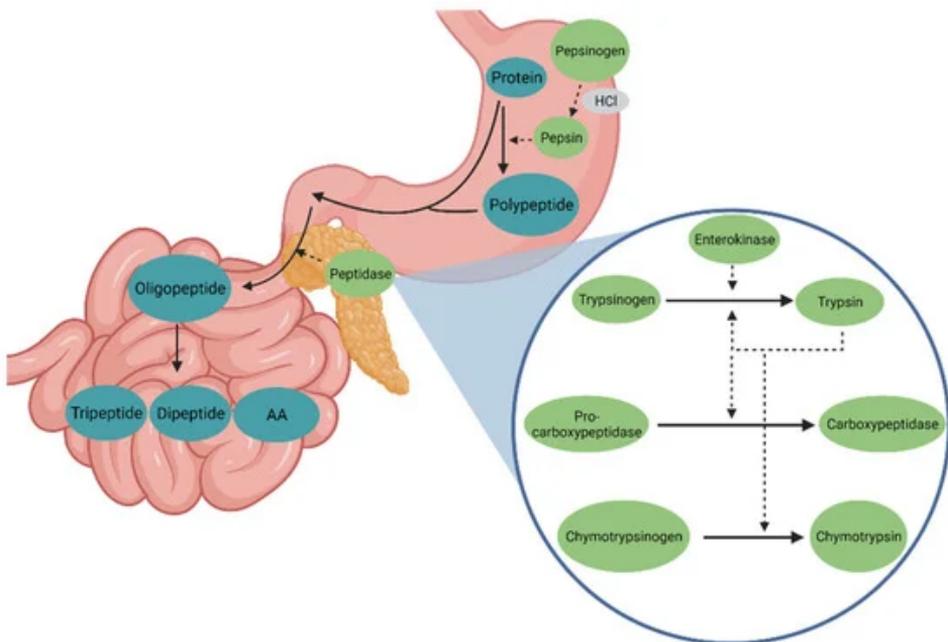
Hemoglobin	Fungsional	Mengangkut oksigen dalam darah	Terdapat dalam sel darah merah dan penting untuk respirasi seluler
Insulin	Fungsional	Mengatur metabolisme glukosa	Hormon peptida yang penting untuk pengaturan kadar gula darah
Antibodi	Fungsional	Mengidentifikasi dan menetralkan patogen	Komponen penting dari sistem kekebalan tubuh
Albumin	Fungsional	Pengangkut molekul dalam darah dan regulator tekanan osmotik	Protein terbanyak dalam plasma darah, membantu mengangkut zat seperti hormon dan vitamin
Kolagen	Struktural	Memberikan dukungan dan kekuatan pada jaringan dan organ	Ditemukan dalam jaringan ikat seperti kulit, tulang, dan tendon
Keratin	Struktural	Memberikan kekuatan dan perlindungan pada rambut, kulit, kuku	Protein fibrosa yang melindungi sel epidermal
Aktin	Struktural	Membentuk filamen dalam sel otot	Berperan dalam kontraksi otot dan pergerakan sel
Tubulin	Struktural	Struktur mikrotubulus dalam sel	Penting untuk pembentukan rangka sel, pembelahan sel, dan transportasi intraseluler
Elastin	Struktural	Memberikan elastisitas pada jaringan seperti kulit dan pembuluh darah	Penting untuk fungsi paru-paru, arteri, dan jaringan yang memerlukan fleksibilitas

Pencernaan dan Absorpsi

Protein yang kita konsumsi akan melalui serangkaian tahapan kompleks dalam sistem pencernaan untuk dipecah menjadi asam amino yang dapat diserap oleh tubuh. Proses ini dimulai di lambung, di mana enzim pepsin bekerja mengurai protein menjadi peptida yang lebih kecil. Kemudian, di usus kecil, enzim-enzim lain seperti trypsin, kimotripsin, dan karboksipeptidase yang disekresikan oleh pankreas, berperan lebih lanjut dalam memecah peptida menjadi asam

amino. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk menghasilkan asam amino bebas yang siap untuk diserap ke dalam aliran darah dan digunakan oleh sel-sel tubuh.

Di dalam usus kecil, terjadi tahapan penting lainnya yaitu pencernaan protein. Di sini, berbagai enzim proteolitik atau protease memegang peran kunci. Enzim-enzim ini, seperti yang telah disebutkan, bertugas mengurai ikatan peptida yang mengikat asam amino dalam protein. Selain itu, enzim-enzim seperti enterokinase juga penting dalam mengaktifkan enzim pencernaan lainnya untuk memaksimalkan efisiensi pemecahan protein. Proses ini sangat penting karena hanya asam amino bebas yang bisa diserap dengan efektif oleh dinding usus ke dalam sistem sirkulasi.

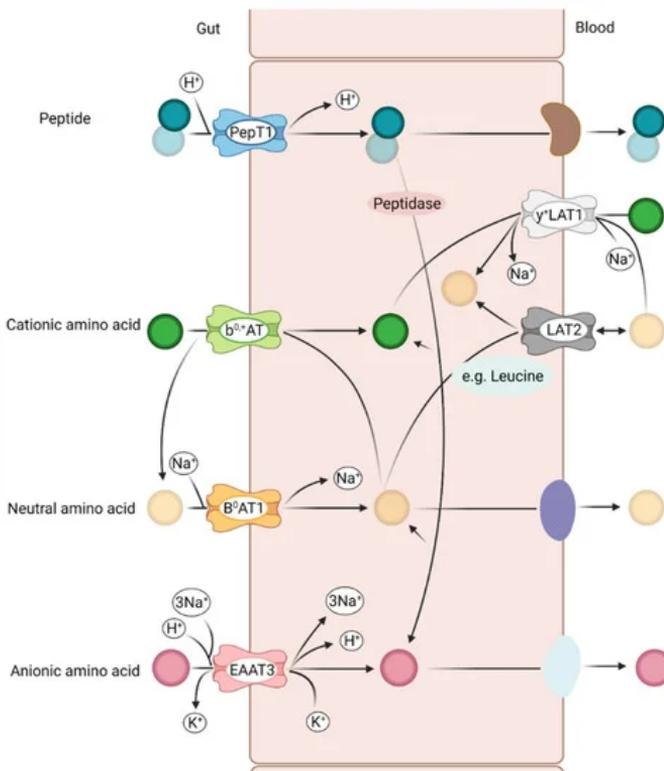


Gambar 9 Tahapan aktivasi enzim pemecah protein pada sistem pencernaan.

Sumber: [27]

Proses absorpsi asam amino ini tidak bisa terjadi tanpa bantuan transporter khusus. Transporter ini adalah protein yang terdapat pada membran sel usus yang memungkinkan asam amino memasuki sel-sel

usus dan kemudian masuk ke aliran darah. Ada berbagai jenis transporter yang spesifik untuk jenis asam amino tertentu. Mekanisme ini memastikan bahwa asam amino yang dihasilkan dari pencernaan protein dapat secara efektif disalurkan ke seluruh tubuh untuk berbagai fungsi, seperti sintesis protein baru, produksi energi, atau proses metabolik lainnya. Keseimbangan dan efisiensi dalam tahapan pencernaan dan absorpsi ini sangat penting untuk menjaga kesehatan dan fungsi tubuh yang optimal.



Gambar 10 Proses penyerapan molekul asam amino dan peptida.
Sumber: [27]

Metabolisme

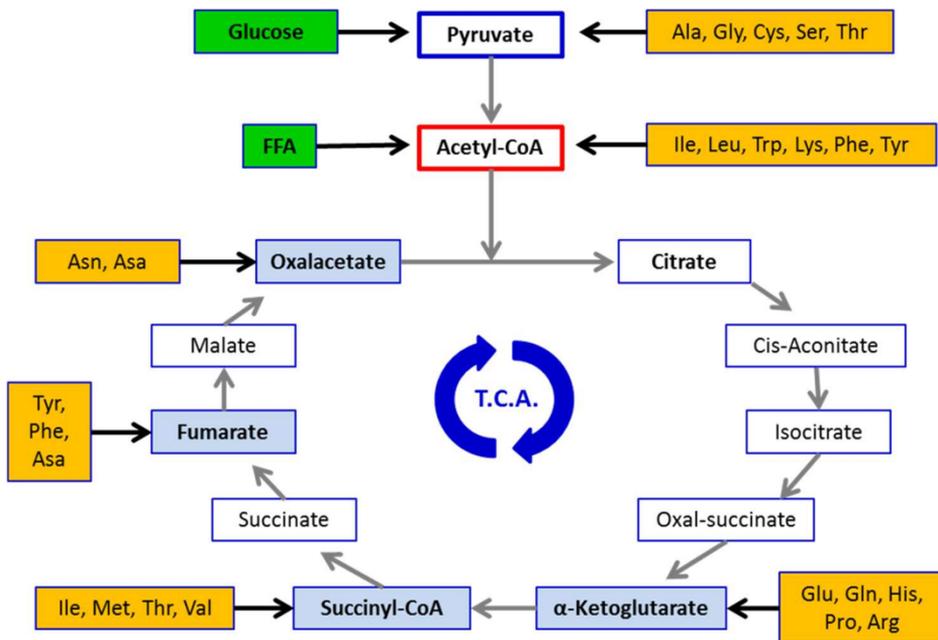
A asam amino digunakan untuk mensintesis protein tubuh dan berfungsi sebagai prekursor bagi banyak molekul, termasuk neurotransmitter, hormon, purin, pirimidin, dan beberapa vitamin. Saat berpuasa atau ketika asam amino dikonsumsi lebih dari kebutuhan, katabolisme mereka menjadi sumber energi. Ketika asam amino digunakan untuk produksi energi, mereka akan kehilangan gugus aminonya; kerangka karbon yang tersisa memiliki dua nasib utama: diubah menjadi glukosa melalui glukoneogenesis atau teroksidasi untuk mensintesis ATP. Oleh karena itu, harus ada keseimbangan antara sintesis dan degradasi protein yang berkelanjutan dalam tubuh untuk memastikan pemeliharaan protein yang berfungsi secara optimal. Dalam keadaan stabil, sintesis protein sebanding dengan degradasinya, dan tidak ada pengaruh pada transkripsi enzim pengurai asam amino maupun metabolit yang dihasilkan dari proses ini. Selain itu, ketika cadangan protein tubuh terganggu karena peningkatan degradasi protein, seperti yang terjadi pada kasus kakeksia, vertebrata secara aktif mengoksidasi asam amino endogen dari perputaran protein tubuh, serupa dengan ketika protein yang dikonsumsi melebihi kebutuhan protein.

Protein merupakan makronutrien penting untuk berbagai aktivitas seluler serta metabolisme tubuh. Sintesis protein terutama diatur oleh ketersediaan asam amino (AA) dalam jumlah stoikiometri yang proporsional dengan jumlah protein yang dibutuhkan untuk sintesis dan energi yang diperlukan untuk mendukung proses sintesis tersebut. AA memainkan peran penting dalam tubuh, sebagai satu-satunya sumber nitrogen bagi mamalia. Nitrogen yang berasal dari AA sangat krusial untuk mensintesis prekursor seperti purin dan/atau pirimidin dari molekul energi utama (seperti ATP, ADP, IMP) dan/atau asam nukleat (seperti DNA/RNA), serta memproduksi senyawa yang dapat mengatur jalur sinyal biokimia utama, seperti oksida nitrat (NO).

Selain itu, deaminasi AA yang dilepaskan dari otot rangka dan/atau protein viseral yang beredar menghasilkan kerangka karbon yang kaya akan oksigen dan hidrogen, cocok untuk transformasi biokimia



berikutnya. Kerangka karbon ini dapat digunakan oleh hati untuk menghasilkan glukosa melalui glukoneogenesis dan makromolekul lain seperti lipid. Kerangka karbon yang berasal dari AA juga penting dalam menghasilkan perantara yang mengisi siklus Krebs, yang kemudian diubah menjadi energi dan/atau perantara metabolik lainnya. Dengan demikian, AA dapat dianggap sebagai "molekul totipoten biokimia" yang mampu dikonversi menjadi energi, karbohidrat, lipid, dan perantara biokimia, tergantung pada kebutuhan metabolisme tubuh [28].



Gambar 11 Metabolisme asam amino intrasel.

Sumber: [28]

Uji Pemahaman

Seri Soal Benar/Salah

1. Semua asam amino yang diperlukan oleh tubuh dapat diproduksi secara internal.
2. Struktur primer protein ditentukan oleh urutan asam amino.
3. Enzim adalah jenis protein yang tidak berperan dalam katalisis reaksi biokimia.
4. Protein dapat berfungsi sebagai antibodi dalam sistem kekebalan tubuh.
5. Struktur kuaterner terbentuk ketika satu rantai polipeptida melipat diri.
6. Hemoglobin adalah contoh protein yang berperan dalam transportasi oksigen dalam darah.
7. Protein tidak dapat berfungsi sebagai hormon.
8. Semua protein adalah enzim.
9. Sintesis protein terjadi di ribosom dalam sel.
10. Protein struktural seperti kolagen memberikan dukungan mekanis untuk sel dan jaringan.

Seri Soal Esai Singkat

1. Apa fungsi utama protein dalam tubuh manusia?
2. Jelaskan perbedaan antara protein struktural dan protein fungsional.
3. Bagaimana struktur primer protein mempengaruhi fungsi protein tersebut?
4. Apa itu denaturasi protein dan apa yang menyebabkannya?
5. Bagaimana enzim bekerja dalam reaksi biokimia?
6. Apa perbedaan antara protein lengkap dan tidak lengkap?
7. Jelaskan proses translasi dalam sintesis protein.
8. Apa itu mutasi pada gen dan bagaimana hal ini mempengaruhi protein yang dihasilkan?
9. Bagaimana pH dan suhu mempengaruhi aktivitas enzim?
10. Apa peran protein dalam sistem kekebalan tubuh?

Seri Soal Pilihan Ganda

1. Protein terdiri dari monomer yang disebut:
 - a. Nukleotida
 - b. Asam amino
 - c. Glukosa
 - d. Asam lemak
 - e. Laktosa

2. Struktur sekunder protein terbentuk karena:
 - a. Ikatan hidrogen
 - b. Ikatan peptida
 - c. Ikatan disulfida
 - d. Interaksi hidrofobik
 - e. ikatan ionik

3. Enzim yang berperan dalam pencernaan protein di lambung adalah:
 - a. Amilase
 - b. Lipase
 - c. Pepsin
 - d. Laktase
 - e. Heksokinase

4. Struktur tertier protein ditentukan oleh:
 - a. Urutan asam amino
 - b. Lipid yang terikat
 - c. Interaksi antara residu asam amino
 - d. Sekuen nukleotida pada DNA
 - e. Gula fruktosa

5. Protein yang bertindak sebagai hormon dalam tubuh manusia adalah:
 - a. Insulin
 - b. Hemoglobin
 - c. Kolagen
 - d. Lisozim
 - e. Kolagen

6. Penyakit yang disebabkan oleh kelainan struktur protein adalah:
 - a. Diabetes
 - b. Skorbit
 - c. Anemia sel sabit
 - d. Hipertensi
 - e. Denaturasi

7. Proses pengubahan informasi genetik menjadi protein disebut:
 - a. Transkripsi
 - b. Replikasi
 - c. Translasi
 - d. Mutasi
 - e. Elinimasi

8. Asam amino esensial adalah asam amino yang:
 - a. Dapat diproduksi oleh tubuh
 - b. Tidak dapat diproduksi oleh tubuh
 - c. Hanya ditemukan pada tumbuhan
 - d. Tidak diperlukan oleh tubuh

9. Fungsi utama dari kolagen adalah:
- Membantu pencernaan
 - Mengatur metabolisme
 - Memberikan struktur dan kekuatan pada jaringan
 - Mempercepat reaksi kimia
 - Menghambat reaksi kimia
10. Bagian dari protein yang bertanggung jawab untuk spesifisitas substrat enzim adalah:
- Situs aktif
 - Gugus heme
 - Rantai samping asam amino
 - Subunit protein
 - Hemoglobin

Kunci Jawaban

Kunci Jawaban Seri Benar/Salah

1. Salah, ada asam amino esensial yang harus didapat dari makanan
2. Benar
3. Salah, enzim adalah katalis biologis.
4. Benar
5. Salah, struktur kuartener terbentuk dari beberapa rantai polipeptida yang berinteraksi.
6. Benar
7. Salah, beberapa hormon seperti insulin adalah protein.
8. Salah, tidak semua protein berfungsi sebagai enzim.
9. Benar
10. Benar

Kunci Jawaban Seri Esai Singkat

1. **Apa fungsi utama protein dalam tubuh manusia?**

Jawaban: Protein berfungsi sebagai bahan bangunan untuk tubuh, mendukung pertumbuhan dan perbaikan jaringan, serta berperan dalam proses biologis sebagai enzim, hormon, dan antibodi.

2. **Jelaskan perbedaan antara protein struktural dan protein fungsional.**

Jawaban: Protein struktural, seperti kolagen, memberikan dukungan dan kekuatan pada jaringan dan organ, sedangkan protein fungsional, seperti enzim dan hormon, terlibat dalam proses biokimia dan regulasi fungsi tubuh.

3. **Bagaimana struktur primer protein mempengaruhi fungsi protein tersebut?**

Jawaban: Struktur primer, yang merupakan urutan asam amino, menentukan konformasi spesifik protein dan interaksi antara residu asam amino, yang pada akhirnya mempengaruhi fungsi protein.

4. **Apa itu denaturasi protein dan apa yang menyebabkannya?**

Jawaban: Denaturasi adalah proses di mana protein kehilangan strukturnya tanpa memecah ikatan peptida, disebabkan oleh faktor eksternal seperti panas, pH ekstrem, atau agen kimia.

5. **Bagaimana enzim bekerja dalam reaksi biokimia?**

Jawaban: Enzim bekerja sebagai katalis yang mempercepat reaksi kimia tanpa dikonsumsi oleh reaksi tersebut. Mereka menurunkan energi aktivasi yang dibutuhkan untuk reaksi.

6. **Apa perbedaan antara protein lengkap dan tidak lengkap?**

Jawaban: Protein lengkap mengandung semua asam amino esensial dalam proporsi yang dibutuhkan oleh tubuh, biasanya ditemukan pada sumber protein hewani, sedangkan protein tidak lengkap kekurangan satu atau lebih asam amino esensial.

7. **Jelaskan proses translasi dalam sintesis protein.**

Jawaban: Translasi adalah proses di mana ribosom membaca

informasi genetik pada mRNA untuk menyusun asam amino sesuai dengan urutan yang ditentukan oleh kode genetik, membentuk polipeptida.

8. **Apa itu mutasi pada gen dan bagaimana hal ini mempengaruhi protein yang dihasilkan?**

Jawaban: Mutasi adalah perubahan urutan DNA yang bisa menyebabkan perubahan pada urutan asam amino protein, berpotensi mengubah struktur dan fungsi protein tersebut.

9. **Bagaimana pH dan suhu mempengaruhi aktivitas enzim?**

Jawaban: Setiap enzim memiliki rentang pH dan suhu optimal di mana mereka berfungsi paling efektif. Di luar rentang ini, aktivitas enzim dapat menurun atau enzim bisa denaturasi.

10. **Apa peran protein dalam sistem kekebalan tubuh?**

Jawaban: Protein dalam sistem kekebalan, seperti antibodi, berperan dalam mengenali dan menetralkan patogen seperti bakteri, virus, dan benda asing lainnya.

Kunci Jawaban Seri Pilihan Ganda

1. b. Asam amino
2. a. Ikatan hidrogen
3. c. Pepsin
4. c. Interaksi antara residu asam amino
5. a. Insulin
6. c. Anemia sel sabit
7. c. Translasi
8. b. Tidak dapat diproduksi oleh tubuh
9. c. Memberikan struktur dan kekuatan pada jaringan
10. a. Situs aktif

Lemak

Capaian Pembelajaran

Setelah menyelesaikan materi dalam Bab ini, mahasiswa diharapkan agar mampu mendapatkan capaian pembelajaran. Berikut ini adalah capaian pembelajaran yang diharapkan.

1. Mengidentifikasi struktur kimia dasar lemak, termasuk perbedaan antara lemak jenuh dan tidak jenuh.
2. Memahami berbagai jenis lemak, seperti trigliserida, fosfolipid, dan sterol, serta fungsi mereka dalam tubuh.
3. Menjelaskan proses emulsifikasi dan pencernaan lemak di sistem pencernaan.
4. Menyelidiki jalur metabolisme lemak termasuk lipolisis, beta-oksidasi, dan sintesis asam lemak.
5. Mengenali peran lemak dalam menyediakan energi, menyimpan energi, dan sebagai komponen penting membran sel.
6. Menganalisis keterkaitan antara lemak dengan kesehatan manusia, termasuk pengaruhnya terhadap penyakit kardiovaskular dan obesitas.
7. Menyelesaikan dan memahami soal-soal yang berkaitan dengan struktur, fungsi, pencernaan, dan metabolisme lemak untuk meningkatkan pemahaman tentang peran vital lemak dalam biokimia dan nutrisi.

Definisi

Lemak merupakan kelompok besar biomolekul yang terdiri dari berbagai jenis senyawa lipida. Lemak memiliki karakteristik utama, yakni insolubilitas (tidak larut) dalam air, namun larut dalam pelarut organik seperti eter dan kloroform. Lemak memainkan peranan penting dalam biologi sebagai sumber energi yang padat dan sebagai komponen struktural membran sel. Selain itu, lemak juga berfungsi sebagai pengantar beberapa vitamin yang larut dalam lemak dan sebagai isolator untuk menjaga suhu tubuh.

Struktur

Dari segi struktural, lemak terutama terdiri dari trigliserida, yaitu molekul yang dibentuk dari satu unit gliserol dan tiga asam lemak. Ikatan kovalen antara asam lemak dan gliserol melalui reaksi esterifikasi menghasilkan struktur lemak. Asam lemak dalam lemak dapat bervariasi baik dalam panjang rantai karbon maupun dalam jumlah ikatan ganda yang mereka miliki. Perbedaan ini memberikan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda pada setiap jenis lemak, seperti titik lebur dan sifat kimia.

Jenis dan Fungsi

Jenis lemak dapat dibedakan berdasarkan struktur kimia dan sifat fungsionalnya. Asam lemak esensial adalah jenis lemak yang tidak bisa disintesis oleh tubuh dan harus didapatkan melalui diet. Contoh asam lemak esensial adalah omega-3 dan omega-6. Sementara itu, asam lemak non-esensial adalah yang dapat disintesis oleh tubuh. Lemak jenuh, yang memiliki ikatan tunggal antara atom karbon, sering ditemukan dalam lemak hewan dan cenderung meningkatkan kadar kolesterol LDL dalam darah. Sebaliknya, lemak tak jenuh yang memiliki satu atau lebih ikatan ganda antara atom karbon, biasanya terdapat pada lemak nabati dan lebih menguntungkan untuk kesehatan jantung.

Penting memahami berbagai jenis lemak dan fungsinya dalam tubuh. Lemak jenuh, meskipun sering dihindari karena keterkaitannya dengan penyakit jantung, memiliki peran penting dalam menyediakan energi dan membentuk selubung sel. Lemak tak jenuh, yang mencakup baik lemak tak jenuh tunggal maupun ganda, bermanfaat dalam mengatur kolesterol dan menurunkan risiko penyakit jantung. Lemak trans, biasanya ditemukan dalam makanan olahan, meningkatkan rasa dan tekstur makanan tetapi memiliki sedikit manfaat kesehatan. Sementara itu, lemak esensial seperti Omega-3 dan Omega-6, krusial untuk fungsi otak, kesehatan jantung, dan mendukung perkembangan yang sehat.

Tabel 5 Jenis lemak dan fungsinya

Jenis Lemak	Fungsi
Lemak Jenuh	Memberikan energi, membentuk selubung sel, mendukung fungsi imun.
Lemak Tak Jenuh	Menurunkan risiko penyakit jantung, mengatur kolesterol.
Lemak Trans	Meningkatkan rasa dan tekstur makanan (jarang memiliki manfaat kesehatan).
Omega-3 (jenis lemak tak jenuh)	Mendukung fungsi otak, menurunkan peradangan, baik untuk jantung.
Omega-6 (jenis lemak tak jenuh)	Penting untuk pertumbuhan dan perkembangan, membantu fungsi otak.

Jenis lemak pada tabel di atas memiliki peran yang berbeda-beda dalam tubuh, dan penting untuk keseimbangan diet. Lemak jenuh dan lemak trans biasanya dihindari dalam jumlah besar karena bisa meningkatkan risiko penyakit jantung. Lemak tak jenuh, khususnya omega-3 dan omega-6, sangat bermanfaat untuk kesehatan manusia.

Dalam bahasan jenis lemak dikenal juga lemak esensial dan non esensial. Lemak esensial adalah lemak yang tidak bisa diproduksi oleh tubuh dan harus diperoleh dari makanan. Omega-3 dan Omega-6 adalah contoh lemak esensial. Sementara itu, lemak non-esensial dapat diproduksi oleh tubuh dan tidak harus diperoleh dari diet, meskipun tetap memiliki peran penting dalam kesehatan. Lemak trans, yang umumnya dianggap tidak baik untuk kesehatan, juga termasuk dalam kategori non-esensial. Omega-3, yang ditemukan dalam ikan dan beberapa tanaman, sangat penting untuk fungsi otak dan kesehatan jantung, serta dalam mengurangi peradangan. Omega-6, yang ditemukan dalam beberapa minyak sayur, penting untuk pertumbuhan dan perkembangan. Di sisi lain, lemak non-esensial seperti lemak jenuh dan tak jenuh tunggal, meskipun dapat diproduksi oleh tubuh, tetap penting untuk kesehatan. Lemak jenuh

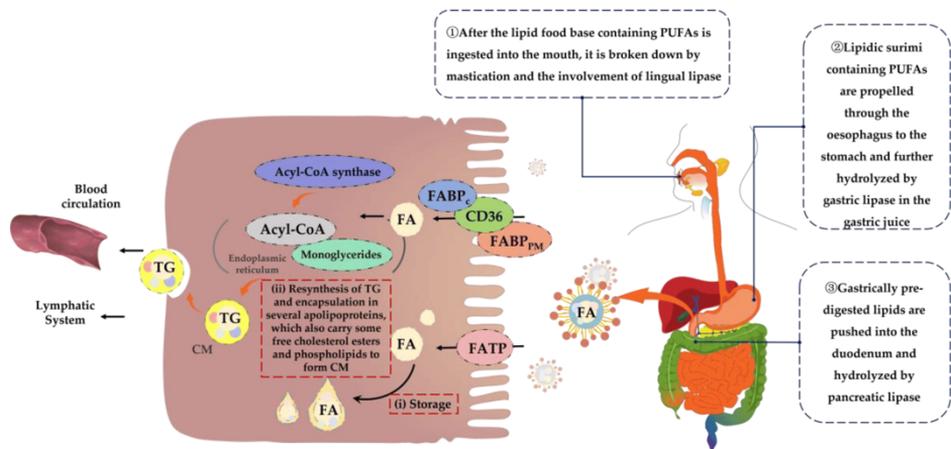
memberikan energi dan mendukung fungsi imun, sedangkan lemak tak jenuh tunggal membantu mengatur kolesterol. Lemak trans, yang juga termasuk dalam kategori non-esensial, umumnya dihindari karena dampak negatifnya terhadap kesehatan jantung.

Tabel 6 Jenis lemak esensial dan non-esensial.

Jenis Lemak	Esensial/Non-Esensial	Fungsi
Omega-3 (misal: EPA, DHA)	Esensial	Mendukung fungsi otak, kesehatan jantung, dan mengurangi peradangan.
Omega-6 (misal: Linoleic Acid)	Esensial	Penting untuk pertumbuhan dan perkembangan, membantu fungsi otak, dan mendukung kesehatan kulit.
Lemak Jenuh (misal: Asam Stearat)	Non-Esensial	Memberikan energi, membentuk selubung sel, dan mendukung fungsi imun.
Lemak Tak Jenuh Tunggal (misal: Oleic Acid)	Non-Esensial	Menurunkan risiko penyakit jantung, mengatur kolesterol.
Lemak Trans (misal: Margarine)	Non-Esensial	Terutama digunakan untuk meningkatkan rasa dan tekstur makanan (tidak direkomendasikan untuk kesehatan).

Pencernaan dan Absorpsi

Proses pencernaan lemak dimulai di mulut dengan bantuan enzim lipase yang diproduksi oleh kelenjar ludah. Namun, pencernaan utama terjadi di usus kecil dengan bantuan empedu yang diproduksi oleh hati. Empedu bertindak sebagai emulsifier yang memecah lemak menjadi partikel kecil, yang kemudian lebih mudah dihidrolisis oleh enzim lipase pankreas. Produk akhir dari pencernaan lemak adalah asam lemak dan monogliserida, yang kemudian diabsorpsi melalui dinding usus kecil ke dalam aliran darah dan sistem limfatik.



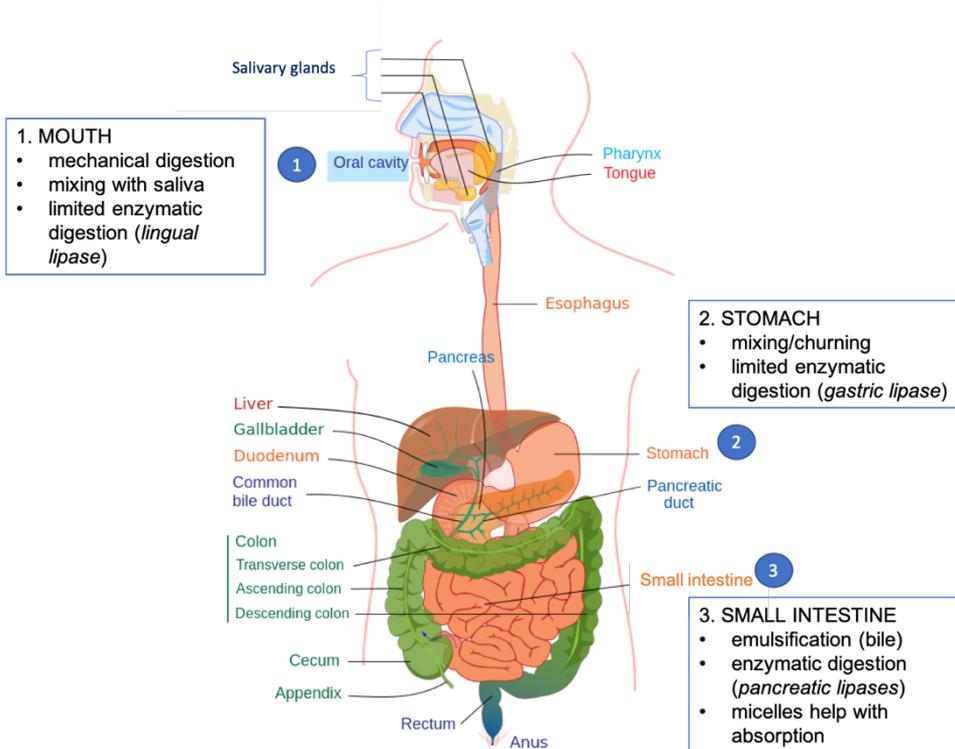
Gambar 12 Proses pencernaan dan absorpsi lemak pada manusia.

Sumber: [29]

Perlu diketahui juga bahwa lemak merupakan sumber energi penting pada balita. Mekanisme absorpsi yang baik akan menjamin kecukupan energinya. Makanan ASI “breast feeding” dikenal sebagai makanan ideal bagi bayi, termasuk mereka yang lahir prematur, karena merupakan sumber senyawa bioaktif dan nutrisi yang kaya. Komponen lemak dalam susu manusia tidak hanya menyediakan energi, tetapi juga vitamin yang larut dalam lemak yang krusial. Komposisi, jumlah, dan struktur lemak yang disediakan melalui strategi pemberian makan neonatal sering kali

berbeda secara signifikan, yang berpotensi berdampak penting pada kesehatan dan perkembangan bayi. Selain itu, perbedaan strategi diet ini tidak statis, karena kuantitas dan komposisi lemak dalam susu manusia, misalnya, berubah sepanjang masa laktasi, berbeda menurut diet harian ibu, dan bahkan berfluktuasi selama interval singkat pemberian makan individu [30].

Sistem enzim pencernaan yang berperan yang peran dalam pemecahan lemak dapat kita lihat pada gambar berikut. Keberadaan pankreas dan saluran empedu yang berada pada transisi lambung dan usus menciptakan kondisi optimal untuk katalisis enzim di usus halus. Apalagi empedu berperan penting dalam emulsifikasi lemak.

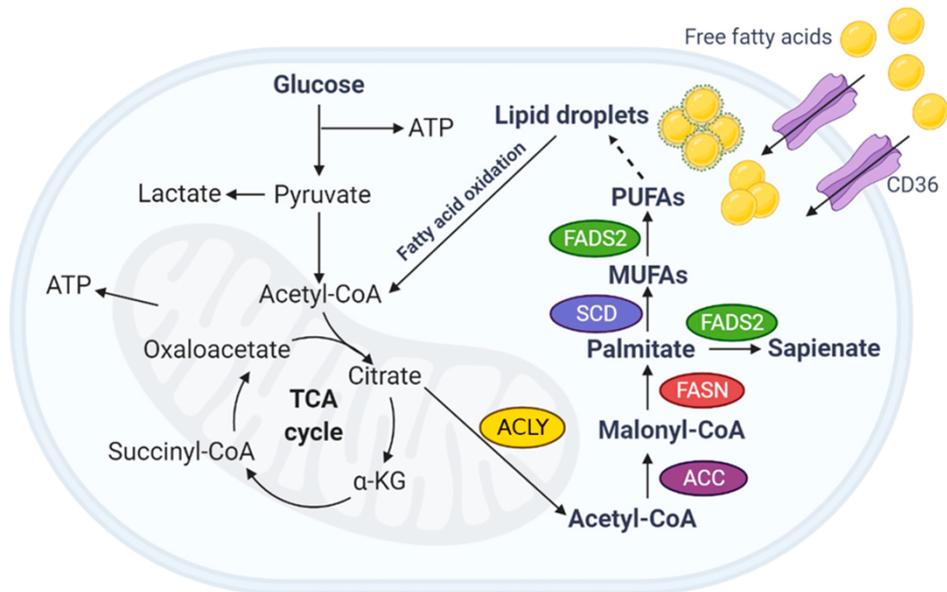


Gambar 13 Enzim pada sistem pencernaan lemak pada tubuh manusia.

Sumber: [31]

Metabolisme

Metabolisme lemak terutama terjadi di hati dan diawali dengan proses beta-oksidasi, di mana asam lemak dipecah menjadi unit-unit asetil-KoA. Asetil-KoA ini selanjutnya memasuki siklus asam sitrat untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Selain menghasilkan energi, metabolisme lemak juga menghasilkan senyawa penting lain seperti keton, yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif, terutama saat kadar glukosa dalam darah rendah. Proses ini sangat penting dalam menjaga keseimbangan metabolisme tubuh, terutama selama puasa atau latihan fisik intens.

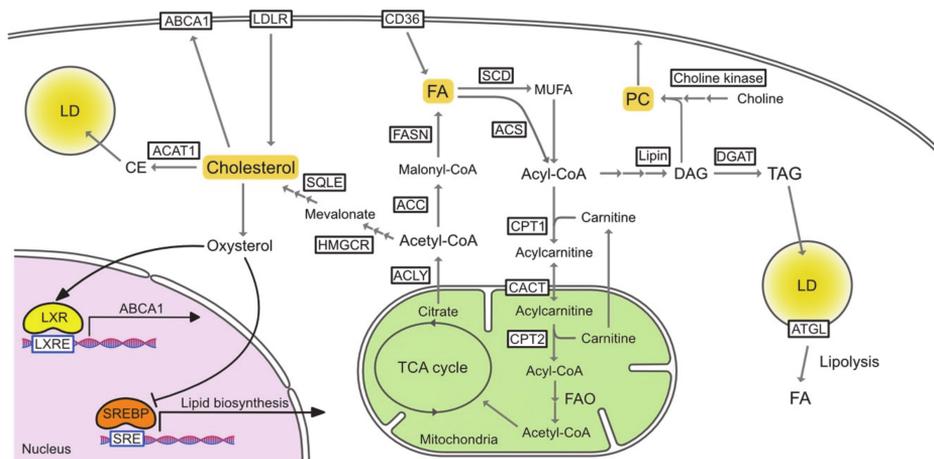


Gambar 14 Metabolisme lemak

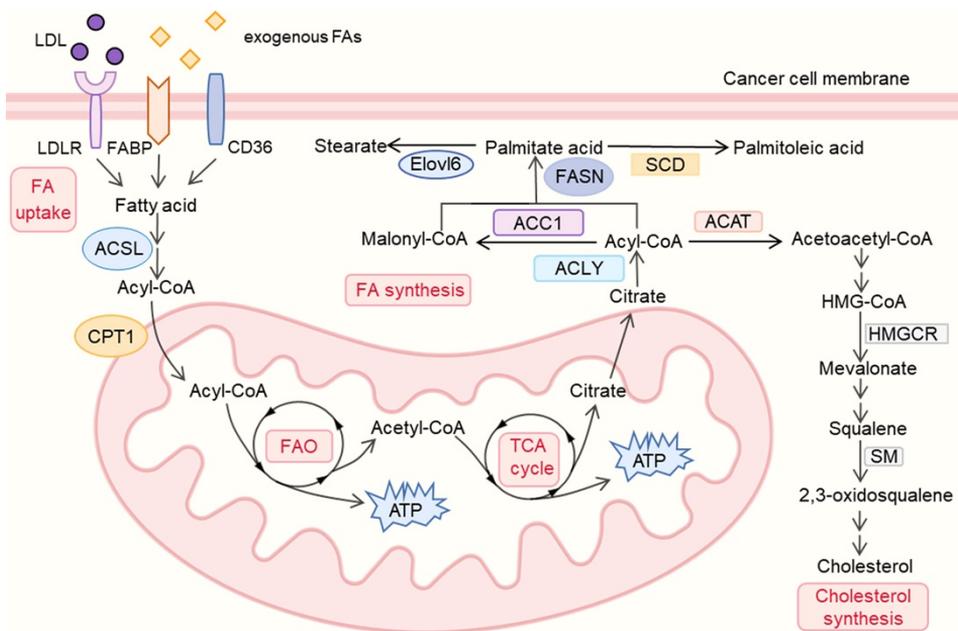
Sumber: [32]

Proses metabolisme lemak tidak terlepas dari protein transporter intrasel, seperti carnitin transporter, yang berperan memasukkan asam lemak ke dalam mitokondria. Asam lemak merupakan tulang punggung utama banyak lipid. Jalur sintesis asam lemak de novo mengubah sitrat menjadi asam palmitat melalui reaksi enzimatik berurutan yang dikatalisasi oleh

ATP citrate lyase (ACLY), acetyl-CoA carboxylase (ACC), dan fatty acid synthase (FASN). Asam palmitat dapat diperpanjang oleh elongase (ELOVLs). Asam lemak ini juga dapat dijenuhkan dan dikonversi menjadi asam lemak monounsaturated (MUFAs) oleh stearoyl-CoA desaturase (SCD). Selain sintesis de novo, sel juga memperoleh asam lemak melalui penyerapan dari sumber ekstraseluler. Penyerapan lipid dilakukan melalui protein transport yang terkait dengan membran, termasuk fatty acid transport protein-1 (FATP1), fatty acid translocase (CD36), dan liver fatty acid-binding protein (L-FABP). Ekspresi enzim ini yang terkait dengan metabolisme asam lemak diatur terutama oleh sterol regulatory element-binding protein 1 (SREBP-1), yang dikenal sebagai faktor transkripsi utama lipogenesis. Untuk digunakan dalam jalur metabolisme, asam lemak harus diaktifkan oleh acyl-CoA synthetase (ACSLs), yang mengonversi asam lemak bebas menjadi acyl-CoA. Dalam proses oksidasi asam lemak (FAO), langkah pembatas laju adalah translokasi acyl-CoA melintasi membran mitokondria. Melalui translokasi ini, acyl-CoA pertama kali diubah menjadi acylcarnitine melalui konjugasinya dengan carnitine oleh carnitine palmitoyltransferase 1 (CPT1). Acylcarnitine kemudian ditranslokasikan ke dalam mitokondria melalui carnitine acylcarnitine translocase (CACT) dan akhirnya dikembalikan menjadi acyl-CoA oleh CPT2. Acyl-CoA kemudian memasuki jalur FAO dan diikuti oleh siklus asam trikarboksilat (TCA).



Gambar 15 Metabolisme lemak dan peran transporter pada mitokondria.
 Sumber: [33]



Gambar 16 Intake lemak dan sintesis kolesterol.
 Sumber: [34]

Uji Pemahaman

Seri Soal Benar/Salah

1. Lemak adalah molekul yang larut dalam air. (Benar/Salah)
2. Asam lemak esensial dapat diproduksi oleh tubuh manusia. (Benar/Salah)
3. Lemak jenuh cenderung meningkatkan kadar kolesterol LDL. (Benar/Salah)
4. Proses pencernaan lemak dimulai di usus besar. (Benar/Salah)
5. Carnitin transporter berperan dalam memasukkan glukosa ke dalam mitokondria. (Benar/Salah)
6. Asam palmitat dihasilkan dari jalur sintesis asam lemak de novo. (Benar/Salah)
7. Siklus asam trikarboksilat (TCA) terlibat dalam proses oksidasi asam lemak. (Benar/Salah)
8. Protein FATP1 terlibat dalam sintesis asam lemak. (Benar/Salah)
9. Acyl-CoA synthetase mengaktivasi asam lemak menjadi acyl-CoA. (Benar/Salah)
10. Empedu diproduksi oleh pankreas. (Benar/Salah)

Seri Soal Esai Singkat

1. Apa perbedaan utama antara lemak jenuh dan lemak tak jenuh?
2. Bagaimana asam lemak esensial mempengaruhi kesehatan manusia?
3. Apa peran carnitin transporter dalam metabolisme lemak?
4. Mengapa empedu penting dalam proses pencernaan lemak?
5. Jelaskan bagaimana asam lemak diaktifkan menjadi acyl-CoA!
6. Bagaimana asam palmitat terbentuk dalam proses sintesis asam lemak de novo?
7. Apa fungsi dari elongase dalam metabolisme lemak?
8. Apa peran dari stearoyl-CoA desaturase dalam sintesis asam lemak?
9. Jelaskan proses pengambilan asam lemak dari sumber ekstraseluler.
10. Apa peran dari sterol regulatory element-binding protein 1 (SREBP-1) dalam metabolisme lemak?

Seri Soal Pilihan Ganda

1. Lemak tidak larut dalam:
 - a. Air
 - b. Eter
 - c. Kloroform
 - d. Alkohol
 - e. Metil

2. Apa yang dihasilkan dari proses pencernaan lemak?
 - a. Glukosa
 - b. Asam amino
 - c. Asam lemak dan monogliserida
 - d. d. Keton
 - e. Laktosa

3. Enzim apa yang bertanggung jawab untuk mengubah asam lemak menjadi acyl-CoA?
 - a. Lipase
 - b. Protease
 - c. Acyl-CoA synthetase
 - d. ATP citrate lyase
 - e. Liase

4. Asam lemak yang tidak bisa disintesis oleh tubuh dan harus didapatkan dari makanan disebut:
 - a. Asam lemak jenuh
 - b. Asam lemak tak jenuh
 - c. Asam lemak esensial
 - d. Asam lemak trans
 - e. Asam lemak bebas

5. Asam palmitat dapat diperpanjang oleh:
 - a. Elongase
 - b. Desaturase
 - c. Lipase
 - d. Acetyl-CoA carboxylase
 - e. e.Heksokinase

6. Di mana terjadi proses pencernaan lemak utama?
 - a. Lambung
 - b. Usus besar
 - c. Usus kecil
 - d. Pankreas
 - e. Empedu

7. Asam lemak monounsaturated (MUFAs) dihasilkan oleh enzim:
 - a. Fatty acid synthase
 - b. Stearoyl-CoA desaturase
 - c. Acetyl-CoA carboxylase
 - d. Elongase
 - e. Terminase

8. Fungsi utama dari carnitine palmitoyltransferase 1 (CPT1) adalah:
 - a. Mengaktifkan asam lemak
 - b. Mengkonversi asam lemak menjadi acylcarnitine
 - c. Memindahkan asam lemak ke dalam mitokondria
 - d. Memecah asam lemak
 - e. Memecah protein

9. Protein mana yang tidak terlibat dalam pengambilan lipid dari sumber ekstraseluler?
- a. FATP1
 - b. CD36
 - c. L-FABP
 - d. ACSLs
 - e. AAs
10. Sterol regulatory element-binding protein 1 (SREBP-1) berperan sebagai:
- a. Enzim yang memecah lemak
 - b. Faktor transkripsi utama lipogenesis
 - c. Transporter asam lemak
 - d. Enzim yang mengaktifkan asam lemak
 - e. Transport glukosa

Kunci Jawaban

Kunci Jawaban Seri Benar/Salah

1. **Lemak adalah molekul yang larut dalam air.** (Salah) Alasan: Lemak adalah molekul hidrofobik yang tidak larut dalam air. Ini karena struktur kimia lemak yang terutama terdiri dari rantai panjang asam lemak yang tidak bercampur dengan air.
2. **Asam lemak esensial dapat diproduksi oleh tubuh manusia.** (Salah) Alasan: Asam lemak esensial tidak dapat diproduksi oleh tubuh manusia dan harus diperoleh melalui makanan. Mereka disebut "esensial" karena kebutuhan tubuh untuk mendapatkannya dari sumber eksternal.
3. **Lemak jenuh cenderung meningkatkan kadar kolesterol LDL.** (Benar) Alasan: Lemak jenuh, yang biasa ditemukan dalam makanan berbasis hewani dan beberapa minyak nabati, telah terbukti meningkatkan kadar kolesterol LDL (kolesterol "buruk") dalam darah.
4. **Proses pencernaan lemak dimulai di usus besar.** (Salah) Alasan: Proses pencernaan lemak sebenarnya dimulai di usus kecil dengan bantuan empedu yang dihasilkan oleh hati dan enzim lipase yang dihasilkan oleh pankreas.
5. **Carnitin transporter berperan dalam memasukkan glukosa ke dalam mitokondria.** (Salah) Alasan: Carnitin transporter berperan dalam transport asam lemak ke dalam mitokondria untuk oksidasi beta, bukan untuk memasukkan glukosa.
6. **Asam palmitat dihasilkan dari jalur sintesis asam lemak de novo.** (Benar) Alasan: Asam palmitat adalah produk utama dari jalur sintesis asam lemak de novo dalam tubuh manusia.
7. **Siklus asam trikarboksilat (TCA) terlibat dalam proses oksidasi asam lemak.** (Benar) Alasan: Siklus TCA berperan dalam oksidasi asam lemak dengan mengonversi produk akhir dari oksidasi beta, yaitu asetil-CoA, menjadi ATP dan molekul lain yang digunakan dalam metabolisme energi.
8. **Protein FATP1 terlibat dalam sintesis asam lemak.** (Salah) Alasan: Protein FATP1 (Fatty Acid Transport Protein 1) terlibat dalam transport asam lemak, bukan dalam sintesis asam lemak.

9. **Acyl-CoA synthetase mengaktivasi asam lemak menjadi acyl-CoA.** (Benar) Alasan: Enzim Acyl-CoA synthetase memainkan peran penting dalam metabolisme lipid dengan mengaktivasi asam lemak menjadi bentuk acyl-CoA, yang kemudian bisa digunakan dalam berbagai proses metabolik termasuk oksidasi beta dan sintesis lipid.
10. **Empedu diproduksi oleh pankreas.** (Salah) Alasan: Empedu diproduksi oleh hati dan disimpan di kantong empedu. Pankreas menghasilkan enzim pencernaan, termasuk lipase, tetapi bukan empedu.

Kunci Jawaban Seri Esai Singkat

1. **Apa perbedaan utama antara lemak jenuh dan lemak tak jenuh?**

Jawaban: Lemak jenuh memiliki ikatan tunggal antara atom karbon, cenderung padat pada suhu kamar, dan banyak ditemukan dalam produk hewani. Sedangkan lemak tak jenuh memiliki satu atau lebih ikatan ganda antara atom karbon, cair pada suhu kamar, dan banyak ditemukan dalam produk nabati.

2. **Bagaimana asam lemak esensial mempengaruhi kesehatan manusia?**

Jawaban: Asam lemak esensial, seperti omega-3 dan omega-6, tidak dapat disintesis oleh tubuh dan harus didapatkan dari makanan. Mereka penting untuk pertumbuhan dan perkembangan, kesehatan jantung, dan fungsi otak.

3. **Apa peran carnitin transporter dalam metabolisme lemak?**

Jawaban: Carnitin transporter berperan dalam transportasi asam lemak ke dalam mitokondria untuk oksidasi. Tanpa transporter ini, asam lemak tidak dapat dipecah menjadi energi secara efisien.

4. **Mengapa empedu penting dalam proses pencernaan lemak?**

Jawaban: Empedu berfungsi sebagai emulsifier yang memecah lemak menjadi partikel-partikel kecil, memudahkan enzim lipase untuk menghidrolisis lemak menjadi asam lemak dan monogliserida.

5. **Jelaskan bagaimana asam lemak diaktifkan menjadi acyl-CoA.**

Jawaban: Asam lemak diaktifkan menjadi acyl-CoA oleh enzim acyl-CoA synthetase. Proses ini mengubah asam lemak bebas menjadi bentuk terikat, memungkinkan mereka untuk masuk ke dalam jalur metabolisme seperti oksidasi lemak.

6. **Bagaimana asam palmitat terbentuk dalam proses sintesis asam lemak de novo?**

Jawaban: Asam palmitat terbentuk dari konversi sitrat menjadi palmitat melalui reaksi enzimatik berurutan yang dikatalisasi oleh

enzim ATP citrate lyase (ACLY), acetyl-CoA carboxylase (ACC), dan fatty acid synthase (FASN).

7. **Apa fungsi dari elongase dalam metabolisme lemak?**

Jawaban: Elongase berfungsi untuk memperpanjang rantai karbon asam lemak, seperti mengubah asam palmitat menjadi asam lemak yang lebih panjang.

8. **Apa peran dari stearoyl-CoA desaturase dalam sintesis asam lemak?**

Jawaban: Stearoyl-CoA desaturase mengubah asam lemak jenuh menjadi asam lemak tak jenuh dengan menambahkan ikatan ganda.

9. **Jelaskan proses pengambilan asam lemak dari sumber ekstraseluler.**

Jawaban: Asam lemak dari sumber ekstraseluler diambil oleh sel melalui protein transport yang terkait dengan membran seperti fatty acid transport protein-1 (FATP1), fatty acid translocase (CD36), dan liver fatty acid-binding protein (L-FABP).

10. **Apa peran dari sterol regulatory element-binding protein 1 (SREBP-1) dalam metabolisme lemak?**

Jawaban: SREBP-1 berperan sebagai faktor transkripsi utama lipogenesis, mengatur ekspresi gen yang terlibat dalam sintesis dan pengambilan asam lemak.

Kunci Jawaban Seri Pilihan Ganda

1. a. Air
2. c. Asam lemak dan monogliserida
3. c. Acyl-CoA synthetase
4. c. Asam lemak esensial
5. a. Elongase
6. c. Usus kecil
7. b. Stearoyl-CoA desaturase
8. b. Mengkonversi asam lemak menjadi acylcarnitine
9. d. ACSLs
10. b. Faktor transkripsi utama lipogenesis

Regulasi Metabolisme

Peran Hormon Pada Metabolisme Karbohidrat

Metabolisme dalam tubuh bekerja secara dinamis dan teregulasi dengan baik. Saat dibutuhkan ekspresi hormon akan ditingkatkan namun sebaliknya saat tidak ada kebutuhan akan sebaliknya. Pengaturan kecepatan dan aktivasi terhadap metabolisme adalah merupakan efek kerja dari hormon yang pada prinsipnya dapat menekan ekspresi kerja suatu jalur.

Metabolisme karbohidrat dalam tubuh bersifat dinamis, tergantung pada kebutuhan energi dan diatur oleh ekspresi hormon. Karbohidrat, dibagi menjadi karbohidrat sederhana dan kompleks, merupakan sumber utama energi bagi sel-sel manusia. Karbohidrat menyumbang paling tidak 45-60% dari asupan energi total dalam diet, dengan jumlah gula yang disarankan kurang dari 10-15% untuk menghindari efek metabolik yang tidak diinginkan [35]. Ada banyak hormon yang terlibat beberapa diantaranya adalah terkait hormon pertumbuhan.

Hormon pertumbuhan (GH) dan faktor pertumbuhan mirip insulin-I (IGF-I) berperan penting dalam regulasi metabolisme karbohidrat. GH beralih dari penggunaan glukosa dan protein ke lemak, sedangkan IGF-I meningkatkan penyerapan glukosa dan memperbaiki sensitivitas insulin. GH dan insulin berinteraksi pada tingkat pasca reseptor, menyoroti pentingnya sumbu ini dalam metabolisme karbohidrat [36].

Pengelolaan karbohidrat dalam tubuh juga diatur oleh mekanisme yang kompleks. GH dapat menyebabkan resistensi insulin, terutama melalui lipolisis yang menghambat penyerapan glukosa berbasis insulin. Ini menunjukkan bahwa GH memiliki efek antagonis dan mimetik terhadap insulin. Regulasi ini penting untuk memahami bagaimana tubuh menanggapi berbagai keadaan fisiologis dan patologis yang berkaitan dengan metabolisme karbohidrat.

Peran Hormon Pada Metabolisme Protein

Sintesis dan katabolisme protein dalam tubuh selalu bekerja secara seimbang pada kondisi normal. Kecepatan sintesis akan menjamin ketersediaan protein fungsional seperti “enzim” dan “transporter” serta ketersediaan protein struktural.

Protein, dibangun dari asam amino (AAs), memainkan peran penting dalam pembentukan neurotransmitter dan hormon. AAs dideaminasi dan diubah menjadi antara yang dapat membentuk glikogen atau lemak. Mereka digolongkan menjadi glucogenic atau ketogenic tergantung pada bagaimana mereka dimetabolisme. Sebagian besar AAs dianggap glucogenic, sementara beberapa seperti leucine termasuk dalam kelompok ketogenic. Ada berbagai hormon yang terlibat dalam jalur metabolisme protein diantaranya adalah growth hormon (GH).

Asupan protein dan metabolisme AAs erat kaitannya dengan sumbu GH/IGF-I, yang memiliki peran anabolik. Administrasi intravena dari AAs tertentu dapat merangsang sekresi GH [37]. Misalnya, arginine meningkatkan sekresi GH melalui penekanan sekresi somatostatin di tingkat hipotalamus. Ini menunjukkan pentingnya AAs dalam regulasi metabolisme protein dan fungsi anaboliknya dalam tubuh [36].

Protein, terutama dari otot, menjadi sumber energi terakhir dalam kondisi kelaparan. Kebutuhan asupan protein dipengaruhi oleh berbagai faktor intrinsik dan gaya hidup. Asupan protein yang disarankan umumnya berkisar sekitar 15% dari energi ketika dalam keseimbangan energi dan stabil berat badan, dengan maksimum sekitar 25% energi dalam kondisi tertentu. Pentingnya protein dalam diet dan metabolisme tubuh tidak dapat diabaikan, terutama dalam konteks pertumbuhan dan pemeliharaan tubuh [38].

Peran Hormon Pada Metabolisme Lemak

Pemecahan lemak membutuhkan ekspresi enzim. Agar katabolisme berjalan optimal maka tubuh akan mendesain sehingga terjadi kontrol terhadap laju metabolime ini. Seperti pada saat orang sedang puasa.

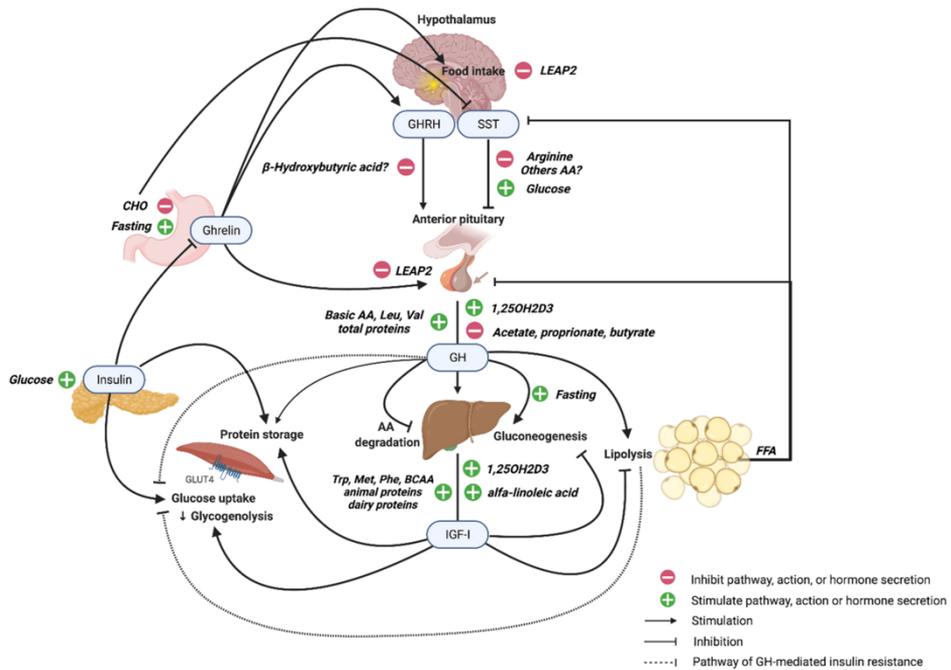
Lemak, termasuk trigliserida, asam lemak, fosfolipid, dan sterol, memberikan kontribusi pada rasa, konsistensi, dan konten energi makanan. Secara fisiologis, lemak merupakan sumber energi yang cepat tersedia dan komponen fundamental struktur sel. Struktur trigliserida terdiri dari inti gliserol dan tiga asam lemak, yang dapat bervariasi dalam panjang rantai karbon dan jumlah ikatan ganda.

Pencernaan lemak dimulai dengan konversi trigliserida menjadi monogliserida dan dua asam lemak, yang kemudian diserap dan diproses oleh tubuh. **Growth Hormone** (GH) memainkan peran penting dalam metabolisme lipid, mengatur metabolisme intermediat, komposisi tubuh, dan pengeluaran energi. GH memiliki aksi lipolitik, meningkatkan kadar asam lemak bebas dan tubuh keton, sebagai akibat dari stimulasi lipolisis dan ketogenesis [39].

Keterkaitan erat antara GH dan metabolisme lipid tercermin dalam aksi GH pada metabolisme lipid yang unik. Setelah puasa semalam, GH terutama merangsang lipolisis dan oksidasi lipid. Efek GH pada lipolisis nampaknya terkait dengan resistensi insulin, di mana GH mengganggu supresi produksi glukosa endogen oleh insulin. Ini menunjukkan bahwa siklus asam lemak glukosa mungkin merupakan mekanisme penting yang berkontribusi pada resistensi insulin yang diinduksi oleh GH. Ini menggarisbawahi pentingnya memahami interaksi antara GH dan metabolisme lipid dalam konteks kesehatan dan penyakit [38]. Selain hormon GH terdapat hormon lain seperti estrogen yang berperan dalam metabolisme lemak.

Estrogen adalah hormon yang memiliki pengaruh signifikan dalam mengatur metabolisme lemak dalam tubuh. Hal ini terjadi melalui dua cara: aksi langsung, di mana estrogen mempengaruhi enzim yang terlibat dalam pemecahan lemak di jaringan adiposa dan otot, dan aksi tidak

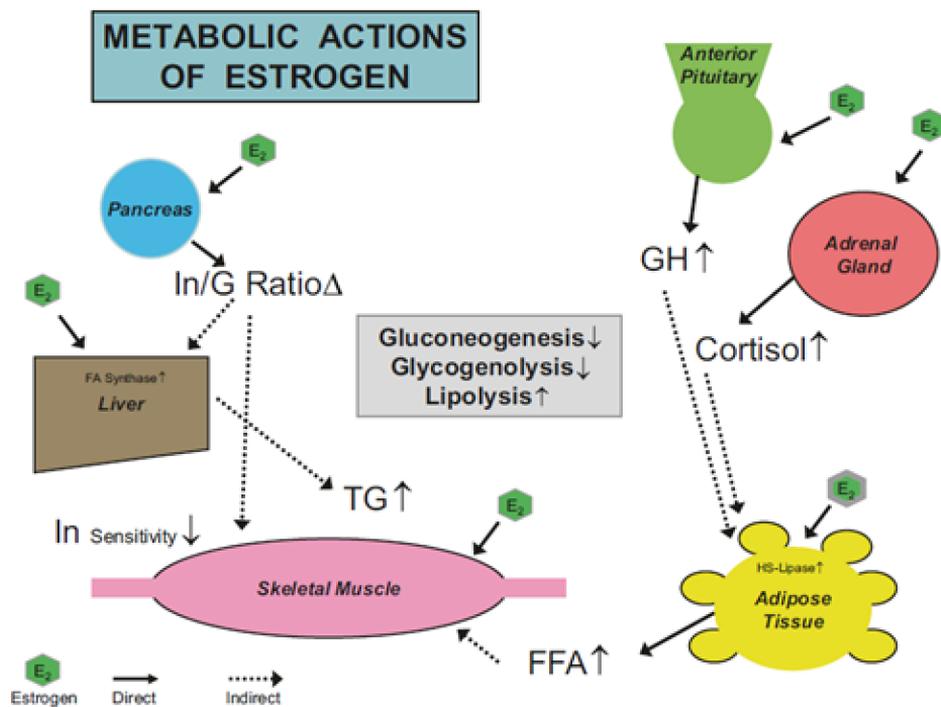
langsung, di mana estrogen membantu dalam aktivitas hormon lain yang terkait dengan lipolisis (pemecahan lemak) dan glikogenesis (pembentukan glikogen). Selama kehamilan, dampak dari estrogen ini menjadi lebih intensif, baik saat istirahat maupun saat berolahraga.



Gambar 17 Peran hormon dalam regulasi metabolisme
 Sumber: [38]

Mekanisme fisiologis estrogen dalam memengaruhi metabolisme substrat dikaitkan dengan aksi langsung dan tidak langsung hormon tersebut. Aksi langsung meliputi pengaruh pada enzim lipolitik yang terlibat dalam regulasi mobilisasi asam lemak di jaringan adiposa dan otot, yang mengarah pada penggunaan lemak yang lebih besar daripada karbohidrat. Sebagai contoh, pada manusia, estrogen meningkatkan aktivitas lipase lipoprotein dan lipase sensitif hormon, meningkatkan lipolisis yang diinduksi katekolamin, dan menurunkan regulasi gen-gen

terkait lipogenesis. Aksi tidak langsung adalah peran yang dimainkan estrogen dalam memfasilitasi hormon lain yang mempromosikan lipolisis serta glikogenesis (saat istirahat) dan mengurangi glikogenolisis selama olahraga. Menariknya, selama kehamilan, ketika terjadi peningkatan besar pada FSH, dampak pada faktor hormon tidak langsung ini menjadi lebih besar baik saat istirahat maupun sebagai respons terhadap olahraga. Sayangnya, topik ini belum banyak diteliti [40], [41].



Gambar 18 Peran estrogen dalam metabolisme lemak.
Sumber: [40]

Uji Pemahaman

Seri Soal Benar/Salah

1. Karbohidrat sederhana dan kompleks sama-sama menyumbang sebagian besar energi dalam diet manusia.
2. GH meningkatkan penggunaan glukosa dan protein sebagai sumber energi utama.
3. IGF-I mengurangi penyerapan glukosa dan memperburuk sensitivitas insulin.
4. GH dapat menyebabkan resistensi insulin melalui lipolisis.
5. Semua asam amino dianggap ketogenic.
6. Arginine tidak memiliki pengaruh terhadap sekresi GH.
7. Lemak tidak berperan dalam struktur sel.
8. GH tidak berperan dalam metabolisme lipid.
9. Setelah puasa, GH menekan lipolisis dan oksidasi lipid.
10. Siklus asam lemak glukosa tidak terkait dengan resistensi insulin yang diinduksi oleh GH.

Seri Soal Esai Singkat

1. Jelaskan bagaimana GH dan IGF-I berinteraksi dalam regulasi metabolisme karbohidrat.
2. Mengapa penting untuk mengontrol jumlah asupan gula dalam diet?
3. Bagaimana arginine mempengaruhi sekresi GH dan apa implikasinya bagi metabolisme protein?
4. Apa peran lemak dalam konteks fisiologis tubuh?
5. Jelaskan bagaimana GH mempengaruhi lipolisis dan oksidasi lipid.
6. Apa perbedaan utama antara glucogenic dan ketogenic AAs?
7. Bagaimana asupan protein yang disarankan dapat mempengaruhi kesehatan manusia?
8. Apa konsekuensi dari resistensi insulin yang diinduksi oleh GH terhadap metabolisme karbohidrat?
9. Bagaimana resistensi insulin yang diinduksi oleh GH dapat memengaruhi metabolisme lipid?
10. Apa implikasi kesehatan dari siklus asam lemak glukosa terkait dengan GH?

Seri Soal Pilihan Ganda

1. Hormon apa yang meningkatkan penyerapan glukosa dan memperbaiki sensitivitas insulin?
 - a) Insulin
 - b) Glukagon
 - c) IGF-I
 - d) Kortisol
 - e) Prolaktin
2. Apa peran utama GH dalam metabolisme?
 - a) Meningkatkan penggunaan protein sebagai energi
 - b) Menurunkan penggunaan lemak sebagai energi
 - c) Meningkatkan penggunaan karbohidrat sebagai energi
 - d) Mengalihkan penggunaan glukosa dan protein ke lemak
 - e) Meningkatkan oksidasi
3. Asam amino mana yang memiliki efek paling kuat dalam merangsang sekresi GH?
 - a) Leucine
 - b) Isoleucine
 - c) Arginine
 - d) Valine
 - e) Arginine
4. Apa fungsi utama lemak dalam tubuh manusia?
 - a) Sumber energi cepat tersedia
 - b) Sumber utama vitamin larut air
 - c) Pengatur metabolisme karbohidrat
 - d) Sumber utama protein
 - e) Sumber utama enzim

5. Apa dampak GH terhadap lipolisis?
- a) Meningkatkan lipolisis
 - b) Menurunkan lipolisis
 - c) Tidak berpengaruh
 - d) Menghambat lipolisis
 - e) Menghambat heksokinase
6. Asam amino yang dianggap glucogenic adalah...
- a) Leucine
 - b) Isoleucine
 - c) Arginine
 - d) Valine
 - e) Triptofan
7. Berapa persentase asupan protein yang disarankan dari total energi dalam diet?
- a) 5-10%
 - b) 15-25%
 - c) 30-35%
 - d) 40-45%
 - e) 15%
8. Apa efek GH terhadap resistensi insulin?
- a) Menurunkan resistensi insulin
 - b) Meningkatkan resistensi insulin
 - c) Tidak berpengaruh
 - d) Menyeimbangkan resistensi insulin
 - e) Menghambat lipolisis

9. Manakah pernyataan berikut ini yang benar mengenai GH dan metabolisme lipid?
- a) GH mengurangi kadar asam lemak bebas
 - b) GH menstimulasi lipolisis dan oksidasi lipid
 - c) GH mengurangi oksidasi lipid
 - d) GH meningkatkan simpanan lemak
 - e) GH meningkatkan heksokinase
10. Apa implikasi dari siklus asam lemak glukosa dalam resistensi insulin yang diinduksi oleh GH?
- a) Meningkatkan resistensi insulin
 - b) Menurunkan resistensi insulin
 - c) Tidak berpengaruh pada resistensi insulin
 - d) Menyeimbangkan resistensi insulin
 - e) Menghambat insulin

Kunci Jawaban

Kunci Jawaban Seri Soal Benar/Salah

1. Benar
2. Salah, GH beralih dari penggunaan glukosa dan protein ke lemak
3. Salah, IGF-I meningkatkan penyerapan glukosa dan memperbaiki sensitivitas insulin
4. Benar
5. Salah, hanya beberapa asam amino yang ketogenic
6. Salah, arginine meningkatkan sekresi GH
7. Salah, lemak merupakan komponen penting dari struktur sel
8. Salah, GH memainkan peran penting dalam metabolisme lipid
9. Salah, GH merangsang lipolisis dan oksidasi lipid
10. Salah, siklus ini berkontribusi pada resistensi insulin yang diinduksi oleh GH

Kunci Jawaban Seri Soal Esai Pilihan Ganda

1. **Jelaskan bagaimana GH dan IGF-I berinteraksi dalam regulasi metabolisme karbohidrat.** Jawaban: GH beralih dari penggunaan glukosa dan protein sebagai sumber energi utama ke lemak, sedangkan IGF-I meningkatkan penyerapan glukosa dan memperbaiki sensitivitas insulin. GH dan insulin berinteraksi pada tingkat pasca reseptor, menunjukkan pentingnya sumbu ini dalam regulasi metabolisme karbohidrat.
2. **Mengapa penting untuk mengontrol jumlah asupan gula dalam diet?** Jawaban: Pengontrolan asupan gula penting untuk menghindari efek metabolik yang tidak diinginkan. Konsumsi gula yang berlebihan dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti obesitas, diabetes tipe 2, dan penyakit kardiovaskular.
3. **Bagaimana arginine mempengaruhi sekresi GH dan apa implikasinya bagi metabolisme protein?** Jawaban: Arginine meningkatkan sekresi GH melalui penekanan sekresi somatostatin di tingkat hipotalamus. Hal ini menunjukkan peran penting arginine dalam regulasi metabolisme protein dan fungsi anabolik GH.
4. **Apa peran lemak dalam konteks fisiologis tubuh?** Jawaban: Lemak merupakan sumber energi yang cepat tersedia dan komponen penting struktur sel. Mereka juga berperan dalam pembentukan hormon steroid dan membantu penyerapan vitamin larut lemak.

5. **Jelaskan bagaimana GH mempengaruhi lipolisis dan oksidasi lipid.** Jawaban: GH merangsang lipolisis dan oksidasi lipid, meningkatkan kadar asam lemak bebas dan tubuh keton. Ini menunjukkan peran GH dalam mengatur penggunaan lemak sebagai sumber energi.
6. **Apa perbedaan utama antara glucogenic dan ketogenic AAs?** Jawaban: Glucogenic AAs diubah menjadi intermediat yang membentuk glikogen atau lemak. Ketogenic AAs, seperti leucine, diubah menjadi keton. Perbedaan ini penting dalam metabolisme energi.
7. **Bagaimana asupan protein yang disarankan dapat mempengaruhi kesehatan manusia?** Jawaban: Asupan protein yang disarankan sekitar 15-25% dari energi total membantu pertumbuhan, perbaikan jaringan, dan menjaga fungsi biologis. Kekurangan atau kelebihan protein dapat memengaruhi kesehatan dan fungsi tubuh.
8. **Apa konsekuensi dari resistensi insulin yang diinduksi oleh GH terhadap metabolisme karbohidrat?** Jawaban: Resistensi insulin yang diinduksi oleh GH dapat menyebabkan peningkatan gula darah, memengaruhi pengelolaan karbohidrat, dan meningkatkan risiko diabetes.
9. **Bagaimana resistensi insulin yang diinduksi oleh GH dapat memengaruhi metabolisme lipid?** Jawaban: Resistensi insulin yang diinduksi oleh GH dapat meningkatkan lipolisis dan penggunaan lemak sebagai sumber energi, mengganggu keseimbangan metabolisme lipid.
10. **Apa implikasi kesehatan dari siklus asam lemak glukosa terkait dengan GH?** Jawaban: Siklus asam lemak glukosa terkait dengan

GH dapat meningkatkan resistensi insulin, yang mungkin berkontribusi pada masalah metabolik seperti obesitas dan diabetes tipe 2.

Kunci Jawaban Seri Soal Pilihan Ganda

- 1. Hormon apa yang meningkatkan penyerapan glukosa dan memperbaiki sensitivitas insulin?**
 - Jawaban: c) IGF-I
 - Alasan: IGF-I memiliki peran penting dalam regulasi metabolisme karbohidrat dengan meningkatkan penyerapan glukosa dan memperbaiki sensitivitas insulin.
- 2. Apa peran utama GH dalam metabolisme?**
 - Jawaban: d) Mengalihkan penggunaan glukosa dan protein ke lemak
 - Alasan: Growth Hormone (GH) memiliki peran dalam mengalihkan penggunaan glukosa dan protein ke lemak, meningkatkan lipolisis, dan mengatur metabolisme lipid.
- 3. Asam amino mana yang memiliki efek paling kuat dalam merangsang sekresi GH?**
 - Jawaban: c) Arginine
 - Alasan: Arginine dianggap memiliki efek paling kuat dalam merangsang sekresi GH, yang dapat meningkatkan produksi hormon pertumbuhan.
- 4. Apa fungsi utama lemak dalam tubuh manusia?**
 - Jawaban: a) Sumber energi cepat tersedia
 - Alasan: Lemak berfungsi sebagai sumber energi yang cepat tersedia dalam tubuh manusia.
- 5. Apa dampak GH terhadap lipolisis?**
 - Jawaban: a) Meningkatkan lipolisis
 - Alasan: GH memiliki efek meningkatkan lipolisis, yaitu pemecahan lemak menjadi asam lemak dan gliserol.



6. **Asam amino yang dianggap glucogenic adalah...**
- o Jawaban: b) Isoleucine
 - o Alasan: Isoleucine dianggap sebagai asam amino glucogenic, yang dapat diubah menjadi glukosa.
7. **Berapa persentase asupan protein yang disarankan dari total energi dalam diet?**
- o Jawaban: b) 15-25%
 - o Alasan: Disarankan bahwa sekitar 15-25% dari total energi dalam diet berasal dari asupan protein.
8. **Apa efek GH terhadap resistensi insulin?**
- o Jawaban: b) Meningkatkan resistensi insulin
 - o Alasan: GH dapat meningkatkan resistensi insulin, yang mengganggu respons normal tubuh terhadap insulin.
9. **Manakah pernyataan berikut ini yang benar mengenai GH dan metabolisme lipid?**
- o Jawaban: b) GH menstimulasi lipolisis dan oksidasi lipid
 - o Alasan: GH memiliki efek stimulasi terhadap lipolisis dan oksidasi lipid dalam metabolisme lipid.
10. **Apa implikasi dari siklus asam lemak glukosa dalam resistensi insulin yang diinduksi oleh GH?**
- o Jawaban: a) Meningkatkan resistensi insulin
 - o Alasan: Siklus asam lemak glukosa dapat meningkatkan resistensi insulin dalam konteks resistensi insulin yang diinduksi oleh GH.

Daftar Pustaka

- [1] N. Donthu, S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey, dan W. M. Lim, "How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines," *J. Bus. Res.*, vol. 133, hlm. 285–296, Sep 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2021.04.070.
- [2] B. Baharuddin dan F. A. Rumpa, *Fundamental Biokimia Farmasi*, 1 ed. dalam 1. Bandung: ITB Press, 2019. Diakses: 10 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://isbn.perpusnas.go.id/Account/SearchBuku?searchCat=Pengarang&searchTxt=Baharuddin+B>
- [3] C. Lin, C.-Y. Kuo, K.-S. Liao, dan W.-B. Yang, "Monosaccharide-NAIM Derivatives for D-, L-Configurational Analysis," *Molecules*, vol. 16, no. 1, Art. no. 1, Jan 2011, doi: 10.3390/molecules16010652.
- [4] M. Cox dan D. Nelson, *Lehninger Principles of Biochemistry*, vol. 5. 2000. doi: 10.1007/978-3-662-08289-8.
- [5] L. Stryer, *Biochemistry*, 9th edition. New York: W.H. Freeman, 2019.
- [6] D. Voet dan J. G. Voet, *Biochemistry, 4th Edition*, 4th edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.
- [7] Urry, *Campbell Biology*, 12th edition. New York, NY: Pearson, 2020.
- [8] B. Alberts dkk., *Molecular Biology of the Cell*, Seventh edition. New York: W. W. Norton & Company, 2022.
- [9] T. Shintani, "Food Industrial Production of Monosaccharides Using Microbial, Enzymatic, and Chemical Methods," *Fermentation*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Jun 2019, doi: 10.3390/fermentation5020047.
- [10] M. Amiri dan H. Y. Naim, "Characterization of Mucosal Disaccharidases from Human Intestine," *Nutrients*, vol. 9, no. 10, Art. no. 10, Okt 2017, doi: 10.3390/nu9101106.
- [11] E. N. Marieb, *Human Anatomy & Physiology by Elaine N. Marieb*.
- [12] S. A. Lanham-New, T. R. Hill, A. M. Gallagher, dan H. H. Vorster, Ed., *Introduction to Human Nutrition*, 3rd edition. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2019.
- [13] G. I. Bell, T. Kayano, J. B. Buse, dan C. F. Burant, "Molecular Biology of Mammalian Glucose Transporters," *DIABETES CARE*, vol. 13, no. 3, 1990.
- [14] B. Thorens, "Glucose transporters in the regulation of intestinal,



- renal, and liver glucose fluxes,” *Am. J. Physiol.-Gastrointest. Liver Physiol.*, vol. 270, no. 4, hlm. G541–G553, Apr 1996, doi: 10.1152/ajpgi.1996.270.4.G541.
- [15] I. A. Simpson, D. Dwyer, D. Malide, K. H. Moley, A. Travis, dan S. J. Vannucci, “The facilitative glucose transporter GLUT3: 20 years of distinction,” *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, vol. 295, no. 2, hlm. E242-253, Agu 2008, doi: 10.1152/ajpendo.90388.2008.
- [16] “The GLUT4 Glucose Transporter: Cell Metabolism.” Diakses: 10 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: [https://www.cell.com/cell-metabolism/fulltext/S1550-4131\(07\)00067-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1550413107000678%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/cell-metabolism/fulltext/S1550-4131(07)00067-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1550413107000678%3Fshowall%3Dtrue)
- [17] H. M. Said, Ed., *Physiology of the Gastrointestinal Tract, Fifth Edition*, 5th edition. Amsterdam: Academic Press, 2012.
- [18] T.-H. Shen dan J. F. Farley, “Utilization and impact of SGLT2 inhibitors among diabetes patients in a nationally representative survey: Findings from NHANES 2013–2020,” *J. Diabetes Complications*, vol. 37, no. 11, hlm. 108625, Nov 2023, doi: 10.1016/j.jdiacomp.2023.108625.
- [19] C.-J. Wu *dkk.*, “Glut5 Knockdown in the Nucleus Tractus Solitarii Alleviates Fructose-Induced Hypertension in Rats,” *J. Nutr.*, vol. 152, no. 2, hlm. 448–457, Feb 2022, doi: 10.1093/jn/nxab374.
- [20] S. Sharari *dkk.*, “Understanding the Role of GLUT2 in Dysglycemia Associated with Fanconi–Bickel Syndrome,” *Biomedicines*, vol. 10, no. 9, Art. no. 9, Sep 2022, doi: 10.3390/biomedicines10092114.
- [21] M. Sano, “A Role of Sodium-Glucose Co-Transporter 2 in Cardiorenal Anemia Iron Deficiency Syndrome,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 24, no. 6, Art. no. 6, Jan 2023, doi: 10.3390/ijms24065983.
- [22] V. Rodwell, D. Bender, K. Botham, P. Kennelly, dan P. A. Weil, *Harper’s Illustrated Biochemistry Thirty-First Edition*, 31st edition. New York: McGraw Hill / Medical, 2018.
- [23] H. Zhao, L. N. Raines, dan S. C.-C. Huang, “Carbohydrate and Amino Acid Metabolism as Hallmarks for Innate Immune Cell Activation and Function,” *Cells*, vol. 9, no. 3, Art. no. 3, Mar 2020, doi: 10.3390/cells9030562.
- [24] I. Nugrahani dan M. A. Jessica, “Amino Acids as the Potential Co-Former for Co-Crystal Development: A Review,” *Molecules*, vol. 26, no. 11, Art. no. 11, Jan 2021, doi: 10.3390/molecules26113279.
- [25] C. Avery, J. Patterson, T. Grear, T. Frater, dan D. J. Jacobs,

- “Protein Function Analysis through Machine Learning,” *Biomolecules*, vol. 12, no. 9, Art. no. 9, Sep 2022, doi: 10.3390/biom12091246.
- [26] R. Domínguez *dkk.*, “Protein Oxidation in Muscle Foods: A Comprehensive Review,” *Antioxidants*, vol. 11, no. 1, Art. no. 1, Jan 2022, doi: 10.3390/antiox11010060.
- [27] A. Kurz dan J. Seifert, “Factors Influencing Proteolysis and Protein Utilization in the Intestine of Pigs: A Review,” *Animals*, vol. 11, no. 12, Art. no. 12, Des 2021, doi: 10.3390/ani11123551.
- [28] E. Pasini *dkk.*, “Protein-Amino Acid Metabolism Disarrangements: The Hidden Enemy of Chronic Age-Related Conditions,” *Nutrients*, vol. 10, no. 4, Art. no. 4, Apr 2018, doi: 10.3390/nu10040391.
- [29] H. Duan, W. Song, J. Zhao, dan W. Yan, “Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs): Sources, Digestion, Absorption, Application and Their Potential Adjunctive Effects on Visual Fatigue,” *Nutrients*, vol. 15, no. 11, Art. no. 11, Jan 2023, doi: 10.3390/nu15112633.
- [30] K. Burge, F. Vieira, J. Eckert, dan H. Chaaban, “Lipid Composition, Digestion, and Absorption Differences among Neonatal Feeding Strategies: Potential Implications for Intestinal Inflammation in Preterm Infants,” *Nutrients*, vol. 13, no. 2, Art. no. 2, Feb 2021, doi: 10.3390/nu13020550.
- [31] K. A. Young *dkk.*, *Anatomy and Physiology by OpenStax*, First Edition. XanEdu Publishing Inc, 2013. [Daring]. Tersedia pada: <https://openoregon.pressbooks.pub/nutritionscience/chapter/5d-digestion-absorption-lipids/>
- [32] H. Yoon dan S. Lee, “Fatty Acid Metabolism in Ovarian Cancer: Therapeutic Implications,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 23, no. 4, Art. no. 4, Jan 2022, doi: 10.3390/ijms23042170.
- [33] Y. Matsushita, H. Nakagawa, dan K. Koike, “Lipid Metabolism in Oncology: Why It Matters, How to Research, and How to Treat,” *Cancers*, vol. 13, no. 3, Art. no. 3, Jan 2021, doi: 10.3390/cancers13030474.
- [34] D. Wang, Q. Ye, H. Gu, dan Z. Chen, “The role of lipid metabolism in tumor immune microenvironment and potential therapeutic strategies,” *Front. Oncol.*, vol. 12, 2022, Diakses: 12 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fonc.2022.984560>
- [35] P. Trumbo, S. Schlicker, A. A. Yates, dan M. Poos, “Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids,

- Cholesterol, Protein and Amino Acids," *J. Am. Diet. Assoc.*, vol. 102, no. 11, hlm. 1621–1630, Nov 2002, doi: 10.1016/S0002-8223(02)90346-9.
- [36] N. Møller dan J. O. L. Jørgensen, "Effects of Growth Hormone on Glucose, Lipid, and Protein Metabolism in Human Subjects," *Endocr. Rev.*, vol. 30, no. 2, hlm. 152–177, Apr 2009, doi: 10.1210/er.2008-0027.
- [37] R. F. KNOPE, J. W. CONN, S. S. FAJANS, J. C. FLOYD, E. M. GUNTSCHE, dan J. A. RULL, "Plasma Growth Hormone Response to Intravenous Administration of Amino Acids," *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, vol. 25, no. 8, hlm. 1140–1144, Agu 1965, doi: 10.1210/jcem-25-8-1140.
- [38] M. Caputo *dkk.*, "Regulation of GH and GH Signaling by Nutrients," *Cells*, vol. 10, no. 6, hlm. 1376, Jun 2021, doi: 10.3390/cells10061376.
- [39] H.-J. Quabbe, H.-J. Bratzke, U. Siegers, dan K. Elban, "Studies on the relationship between plasma free fatty acids and growth hormone secretion in man," *J. Clin. Invest.*, vol. 51, no. 9, hlm. 2388–2398, Sep 1972, doi: 10.1172/JCI107051.
- [40] A. C. Hackney, "Menstrual Cycle Hormonal Changes and Energy Substrate Metabolism in Exercising Women: A Perspective," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 19, Art. no. 19, Jan 2021, doi: 10.3390/ijerph181910024.
- [41] T. Oosthuysen dan A. N. Bosch, "Oestrogen's regulation of fat metabolism during exercise and gender specific effects," *Curr. Opin. Pharmacol.*, vol. 12, no. 3, hlm. 363–371, Jun 2012, doi: 10.1016/j.coph.2012.02.008.

Biodata Penulis

Salam Kenal,

Pembaca Sekalian, sepanjang karir saya telah membantu pada berbagai institusi dan lembaga, profesional, akademika dan personal baik dalam kelas training, course tim maupun personal course. Untuk institusi saya telah memberikan edukasi baik pada NGO maupun Universitas. Semuanya bertujuan untuk peningkatan kapasitas akademik dan sensitifitas dalam analisis.

Saat ini saya bertugas di Universitas Surabaya dalam bidang kesehatan dan banyak membantu dalam implementasi metode, teknologi, software dan AI user experience. Seperti implementasi *Borderline Regression Method* (BRM) yang terbilang kompleks dalam evaluasi OSCE.

Saya mengembangkan diri pada berbagai hal terkait pendidikan dan teknologi serta implementasinya. Berikut ini adalah skill inti (*Core Skills*) yang saya miliki.

- **Bibliometric Educator**
- **Data Preparation**
- **Data Visualization**
- **Data Analysis**
- **National Books Author dan Market Prediction**
- **AI User Experience**
- **Software Implementation**
- **Managemen Reference Expert**
- **Item Respons Theory (IRT)**

Jika Anda memiliki kebutuhan yang terkait dapat menghubungi saya pada personal kontak

Baharuddin,

For Personal Contact: 085218057514

For Institution Request baharuddin@staff.ubaya.ac.id

**For Address: Jl. Raya Kalirungkut, Gedung Fakultas Kedokteran,
Univ. Surabaya, Indonesia**

BACK COVER

Menguasai dasar-dasar biokimia adalah langkah awal penting dalam pendidikan kedokteran. "Biomedik Biokimia Pencernaan dan Metabolisme Makromolekul: Karbohidrat Protein Lemak" memberikan panduan komprehensif untuk mahasiswa kedokteran yang ingin memperdalam pengetahuan mereka tentang biokimia. Buku ini dengan cermat menjelaskan peran dan fungsi karbohidrat, protein, dan lemak dalam tubuh manusia, menghubungkan teori biokimia dengan aplikasi praktis dalam dunia kedokteran.

Buku ini diharapkan menjadi sumber informasi yang berharga, tidak hanya untuk memahami teori, tetapi juga untuk mengaplikasikan pengetahuan biokimia dalam kasus-kasus medis. Dengan penjelasan yang jelas dan contoh-contoh relevan, buku ini menawarkan perspektif unik tentang bagaimana biokimia berperan dalam kehidupan sehari-hari dan dalam praktek medis.

Selamat Membaca

Edisi Khusus
Buku Ajar

BIOMEDIK

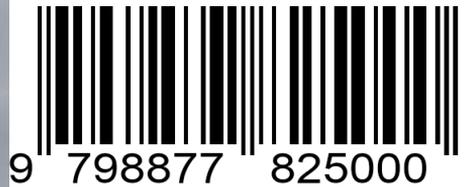
Biokimia Pencernaan & Metabolisme
Makromolekul

Menguasai dasar-dasar biokimia adalah langkah awal penting dalam pendidikan kedokteran. "Biomedik Biokimia Pencernaan dan Metabolisme Makromolekul: Karbohidrat Protein Lemak" memberikan panduan komprehensif untuk mahasiswa kedokteran yang ingin memperdalam pengetahuan mereka tentang biokimia. Khususnya pemahaman dalam bidang makromolekul. Buku ini dengan cermat menjelaskan peran dan fungsi karbohidrat, protein, dan lemak dalam tubuh manusia, menghubungkan teori biokimia dengan aplikasi praktis dalam dunia kedokteran.

Buku ini diharapkan menjadi sumber informasi yang berharga, tidak hanya untuk memahami teori, tetapi juga untuk mengaplikasikan pengetahuan biokimia dalam kasus-kasus medis. Dengan penjelasan yang jelas dan contoh-contoh relevan, buku ini menawarkan perspektif unik tentang bagaimana biokimia berperan dalam kehidupan sehari-hari dan dalam praktek medis.

Selamat Membaca!

ISBN: 979-8-87782-500-0



Baharuddin

Head of Medical Biochemistry Laboratory

