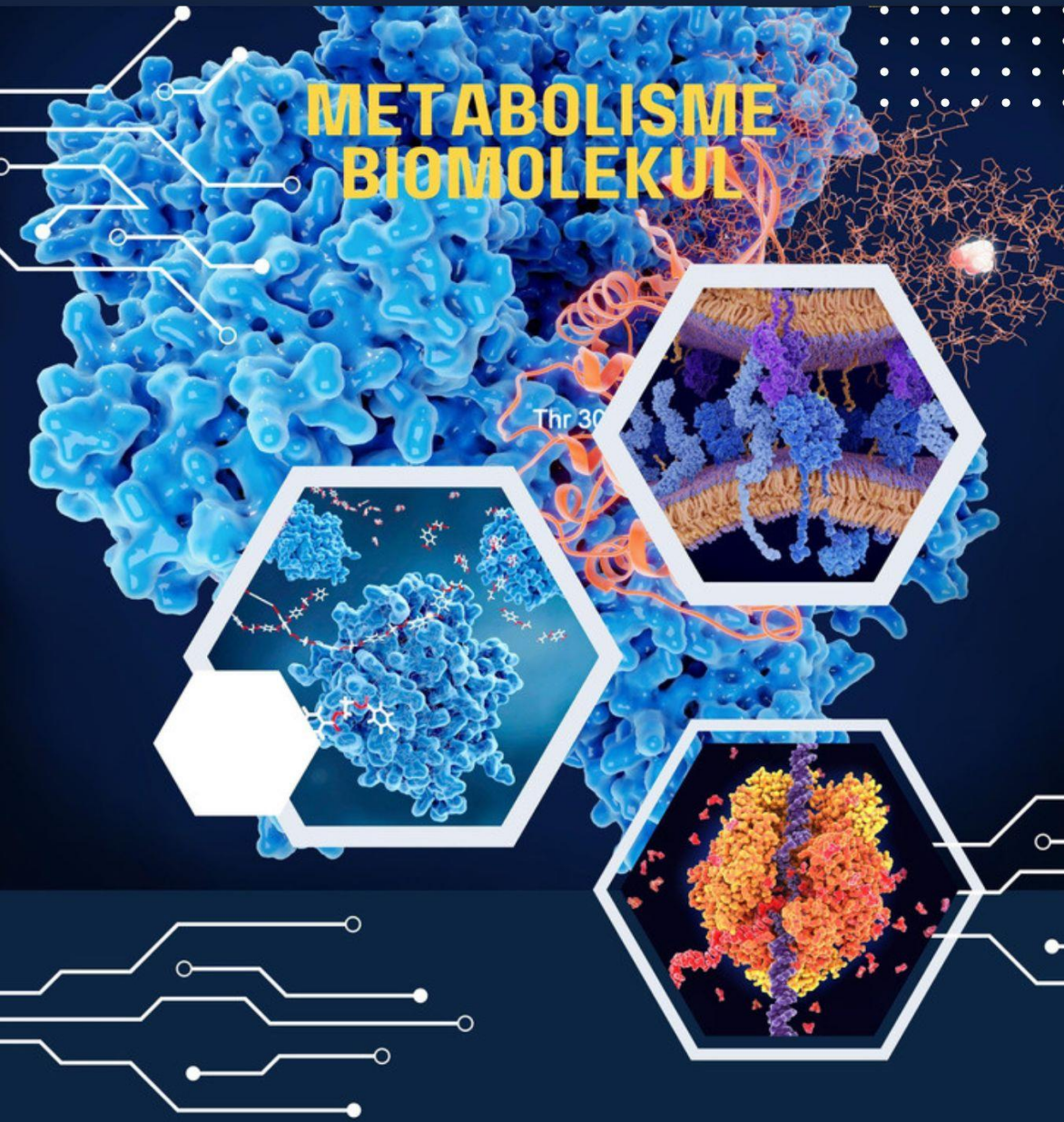
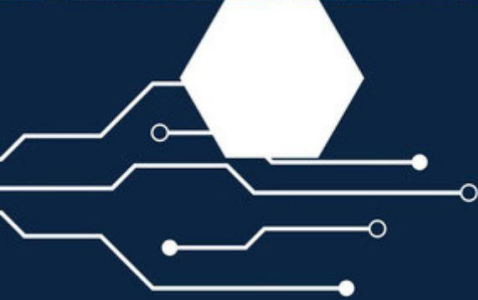
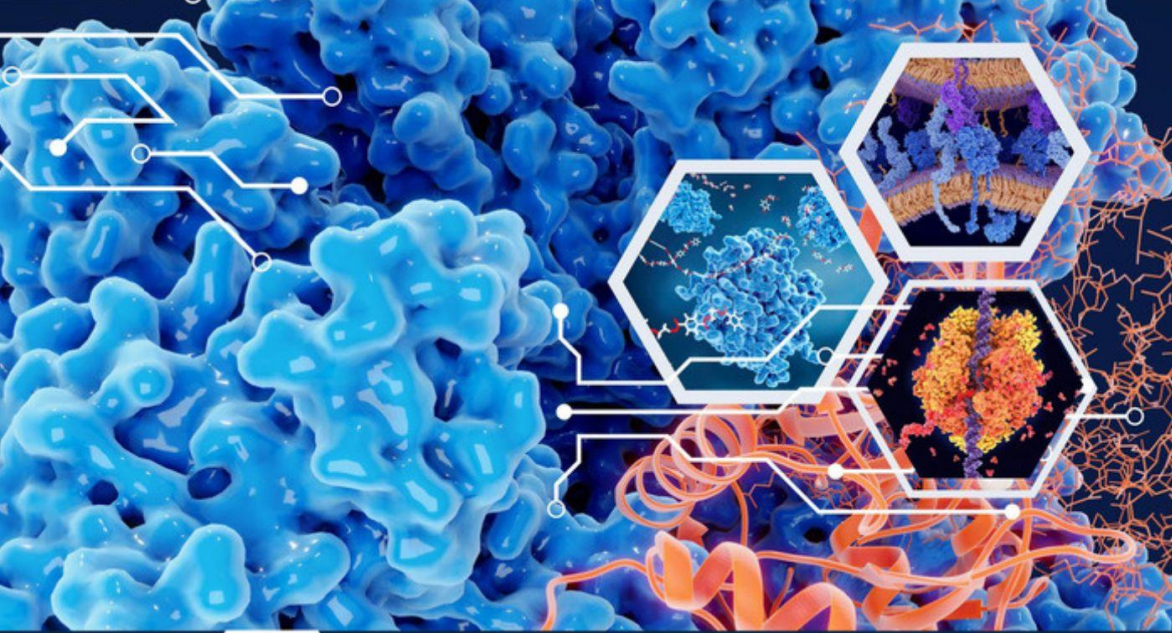




METABOLISME BIOMOLEKUL



Dr. Nurhayani H. Muhiddin, M.Si.



Bahan ajar ini terdiri dari 6 bagian yaitu enzim dan koenzim, metabolisme asam nukleat, metabolisme protein dan asam amino, metabolisme karbohidrat dan metabolisme lipid, serta vitamin dan pigmen. Semoga bahan ajar ini dapat membantu memahami materi Metabolisme Biomolekul.

PT ARRUS Intelektual Indonesia

Gedung Wirausaha Lantai 1 Unit 104,
Jalan HR Rasuna Said Kav. C-5,
Kelurahan Karet, Kecamatan Setiabudi,
Kota Administrasi Jakarta Selatan,
Provinsi DKI Jakarta
<http://www.arrus.id>
penerbit@arrus.id
WhatsApp: +628212412123012

ISBN 978-623-09-1886-5



METABOLISME BIOMOLEKUL

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

METABOLISME BIOMOLEKUL

Dr. Nurhayani H. Muhiddin, M.Si.



Metabolisme Biomolekul

Penulis : Dr. Nurhayani H. Muhiddin, M.Si.

Cetakan Pertama : Januari 2023

Editor : Abdul Rahman

Tata Letak : Sutte

Hak Cipta 2023, pada Penulis.

Diterbitkan pertama kali oleh:

PT ARRUS Intelektual Indonesia

Gedung Wirausaha Lantai 1 Unit 104

Jalan HR Rasuna Said Kav. C-5, Kel. Karet, Kec. Setia Budi,

Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta

Website : www.arrus.id

E-mail : penerbit@arrus.id

Copyright © 2023 by PT ARRUS Intelektual Indonesia

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak, menerjemahkan, memfotokopi/mencetak, atau menerbitkan sebagian atau seluruh isibuku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

- Cet. I – Jakarta: PT ARRUS Intelektual Indonesia, 2023

x + 102; 15.5x23 cm

ISBN : 978-623-09-1886-5

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil Aalamiin, segala puji bagi Allah atas taufiq, inayah dan ridha-Nya sehingga penulisan buku ajar *Metabolisme Biomolekul* ini dapat terselesaikan. Buku ajar ini disusun sebagai bahan acuan pada mata kuliah Biokimia dan Bioteknologi yang dirangkum dari berbagai sumber pustaka.

Biokimia mengkaji prinsip dan reaksi dalam metabolisme serta struktur dan fungsi enzim; karbohidrat; lipid dan asam lemak; protein dan asam amino; Asam nukleat (DNA dan RNA); Proses replikasi DNA, transkripsi dan translasi. Bioteknologi mengkaji peranan bioteknologi pada proses fermentasi, bidang makanan dan minuman, komponen rekayasa genetika, bidang pertanian, bidang kesehatan, dan pada bidang lingkungan

Buku ajar ini khusus mengkaji metabolisme biomolekul yang meliputi : enzim, karbohidrat; lipid dan asam lemak; protein dan asam amino; Asam nukleat (DNA dan RNA). Penguasaan prinsip dan reaksi biosintesis senyawa biomolekul tersebut adalah kajian utama dalam mata kuliah Biokimia dan merupakan dasar untuk penerapan berbagai proses pada mata kuliah Bioteknologi. Buku ini dilengkapi dengan latihan soal dan tugas akhir case method yang melatih dan mengasah keterampilan berpikir kritis untuk memecahkan masalah, kemampuan berkomunikasi, berkolaborasi dan kreativitas.

Penulisan buku ajar ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu sangat diharapkan adanya koreksi dan saran yang bersifat menyempurnakan. Semoga buku ajar ini dapat bermanfaat dalam pembelajaran mata kuliah Biokimia dan Bioteknologi serta bagi kalangan yang membutuhkan.

Makassar, 09 November 2022

Penulis



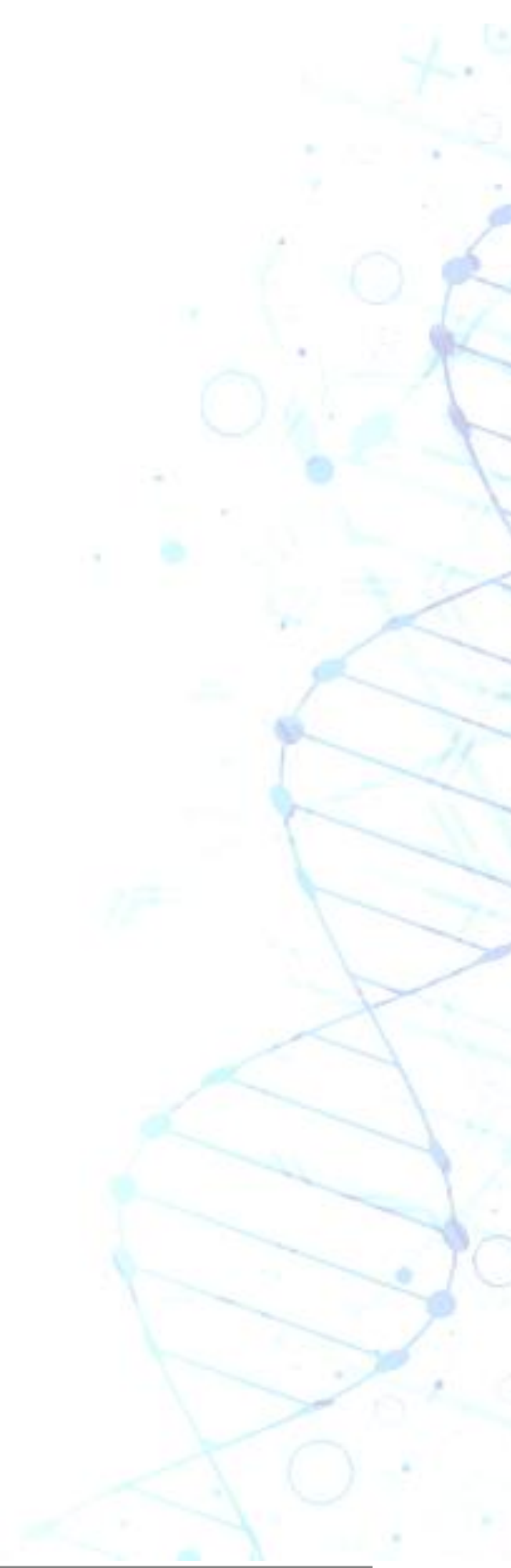
DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
PENDAHULUAN.....	1
BAB 1 ENZIM DAN KOENZIM.....	3
1.1. Definisi Enzim dan Koenzim	3
1.2. Daya Katalitik dan Spesifitas Enzim	4
1.3. Klasifikasi dan Cara Kerja Enzim	5
1.4. Struktur Enzim.....	6
1.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim.....	7
Latihan Soal	9
Rangkuman	9
BAB 2 METABOLISME ASAM NUKLEAT	11
2.1. Pengertian Asam Nukleat	12
2.2. Komponen Asam Nukleat	13
2.3. Nukleosida dan Nukleotida	14
2.4. Sifat-Sifat Asam Nukleat.....	15
2.5. Struktur dan Fungsi DNA	17
2.6. Fungsi dan Sifat DNA.....	21
2.7. Biosintesis DNA.....	23
2.8. Struktur dan Fungsi RNA	25
2.9. Tipe-tipe RNA.....	26
2.10. Biointesis RNA	29
Latihan Soal	31
Rangkuman	33

BAB 3 METABOLISME PROTEIN DAN ASAM AMINO	35
3.1. Fungsi dan Struktur Protein.....	36
3.2. Katabolisme Protein	40
3.3. Anabolisme Protein	43
3.4. Katabolisme Asam Amino.....	45
3.5. Anabolisme Asam Amino	48
Latihan Soal	54
Rangkuman	55
BAB 4 METABOLISME KARBOHIDRAT.....	57
4.1. Fungsi Metabolisme Karbohidrat.....	58
4.2. Katabolisme Karbohidrat.....	59
Latihan/Percobaan.....	65
Latihan Soal	69
Rangkuman	70
BAB 5 METABOLISME LIPID	71
5.1. Pengertian Lipid	71
5.2. Fungsi Lipid.....	72
5.3. Klasifikasi Lemak.....	72
5.4. Proses metabolisme Lipid.....	74
Latihan Soal	78
Rangkuman	79
BAB 6 VITAMIN DAN PIGMEN	81
6.1. Vitamin.....	81
6.2. Pigmen.....	87
6.3. Senyawa Lain	91
GLOSARIUM.....	97
DAFTAR PUSTAKA	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Model spesifitas enzim terhadap substrat	4
Gambar 1.2. Gambaran teori <i>Lock and Key</i>	6
Gambar 1.3. Penghambatan Kompetitif	8
Gambar 2.1. Struktur AMP, ADP dan ATP	15
Gambar 2.2. Perbedaan antara Deoxyribonucleotide dan Ribonucleotide	18
Gambar 2.3. Replikasi DNA dan Sintesis Protein	20
Gambar 2.4. Konfigurasi menyeluruh dari heliks rangkap DNA.	20
Gambar 2.5 Ilustrasi Replikasi Semikonservatif DNA	24
Gambar 2.6. Molekul RNA dapat berbentuk struktur bagian dari suatu untai tunggal atau untai ganda.	26
Gambar 2.7. Struktur RNA non genetik.....	28
Gambar 2.8. Sintesis RNA : transkripsi dan translasi	31
Gambar 3.1 Struktur Primer Protein	38
Gambar 3.2 Rantai polipeptida dengan konfigurasi α -heliks dan β -sheet.....	38
Gambar 3.3. Struktur Tersier	39
Gambar 3.4 Sebuah sketsa untuk menggambarkan lipatan dan belitan rantai peptida struktur kuarterner	39
Gambar 3.5. Tahapan katabolisme protein	41
Gambar 3.6. Biosintesis protein	45
Gambar 3.7. Tempat-tempat asam amino ke dalam siklus asam sitrat untuk produksi energi	47
Gambar 3.8. Tahapan-tahapan proses yang terjadi di dalam siklus urea	48
Gambar 3.9. Reaksi Biosintesis Glutamate.....	49
Gambar 3.10 Siklus glukosa alanine.....	50
Gambar 3.11 Biosintesis S-adenosilmetionin (SAM).....	51
Gambar 3.12 Peran metionin dalam sintesis sistein.....	52
Gambar 4.1 Persiapan glikolisis	61
Gambar 4.2 Tahapan Glikolisis.....	62
Gambar 4.3 Siklus Krebs	63
Gambar 5.1 Struktur miselus. Bagian polar berada di sisi luar, sedangkan bagian non polar berada di sisi dalam	74
Gambar 5.2 Simpanan trigliserida pada sitoplasma sel jaringan adiposa	75
Gambar 5.3 Ikhtisar Metabolisme Lipid	76
Gambar 5.4 Reaksi-reaksi kimia dalam metabolisme gliserol	77
Gambar 5.5 Aktivasi asam lemak menjadi asil KoA77	77
Gambar 6. 1 Struktur kloropilis a dan b.....	89
Gambar 6. 2 Naringin debiterisasi	92
Gambar 6. 3 Struktur Struktur betalain derivative	93



PENDAHULUAN

Metabolisme adalah segala proses reaksi kimia yang terjadi di dalam makhluk hidup, mulai dari makhluk bersel satu yang sangat sederhana seperti bakteri, protozoa, fungi, tumbuhan, hewan sampai manusia, makhluk yang susunan tubuhnya sangat kompleks. Melalui proses metabolisme makhluk hidup dapat mengubah dan memakai senyawa kimia dari sekitarnya untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.

Kebanyakan reaksi kimia di dalam tubuh terjadi dalam sel. Sel merupakan bagian terkecil dari makhluk hidup yang dapat melakukan aktivitas biologis. Sel menyusun berbagai jaringan seperti epitel, jaringan ikat, otot, jaringan saraf, dan lain-lain dengan fungsi yang berbeda-beda. Fungsi umum sel adalah mengambil bahan makanan, mengoksidasi bahan bakar, mengeluarkan bahan-bahan yang tidak dapat diolah lagi, dan sel tumbuh dan berkembang biak. Sel secara terus menerus membuat senyawa baru, melakukan transpor senyawa, dan menghasilkan panas.

Sel terdiri atas sel eukariotik (Greek, Eu = sebenarnya atau baik ; karyon = inti) dan sel prokariotik (Greek, pro = sebelum). Sel prokariotik memiliki struktur sel yang sederhana. Meskipun demikian sel-sel prokariotik secara biokimia cukup canggih dan beragam. Semua tahapan proses metabolisme utama dijumpai pada jenis sel ini. Umumnya sel ini memiliki perangkat biokimia untuk reproduksi sendiri, untuk mengambil dan memanfaatkan energi dan bahan-bahan disekelilingnya. Sementara sel eukariotik mempunyai ukuran yang lebih besar dan memiliki struktur yang rumit tetapi teratur dengan fungsi khusus.

Senyawa makromolekul yang ada pada makhluk hidup terdiri dari karbohidrat, protein, lipid, dan asam nukleat. Senyawa ini dijumpai dalam bentuk terstruktur seperti fosfolipid, protein, glikolipid dan lain lain, serta bentuk tidak berstruktur sebagai makanan cadangan, senyawa antara dalam metabolisme. Molekul-molekul ini terus menerus bercampur, bereaksi dan berinteraksi satu sama lainnya melalui reaksi-reaksi kimia. Dalam proses metabolisme keempat makromolekul tersebut akan menghasilkan energi dalam bentuk ATP serta CO₂. Buku *Metabolisme Biomolekul Sel* ini menguraikan dan menjelaskan semua proses kimia tersebut pada sel hidup dalam pengertian metabolisme.

BAB 1

ENZIM DAN KOENZIM

PENDAHULUAN

Deskripsi Singkat

Bab ini membahas tentang definisi enzim dan koenzim, daya katalitik dan spesifitas enzim, klasifikasi dan cara kerja enzim, struktur enzim dan faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim.

Relevansi

Pembahasan bab ini sangat berhubungan dengan bab selanjutnya. Mahasiswa akan mengetahui bagaimana suatu enzim dapat mempengaruhi kerja suatu mekanisme reaksi biomolekul dalam sel. Fungsi, peranan dan aktivitasnya dalam menghasilkan suatu produk, serta keterkaitannya dengan bidang biologi dan kimia organik

Tujuan

Setelah mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan dapat :

1. Menjelaskan definisi enzim dan koenzim
2. Memahami daya katalitik dan spesifitas enzim
3. Menjelaskan klasifikasi dan cara kerja enzim
4. Menjelaskan struktur enzim
5. Menerangkan faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim

PEMBAHASAN

1.1. Definisi Enzim dan Koenzim

Enzim adalah protein yang dihasilkan oleh sel hidup yang mempengaruhi reaksi kimia, Ditinjau dari fungsinya enzim merupakan katalis dalam sistem biologi. Katalis adalah molekul yang berfungsi mempercepat reaksi kimia. Hampir semua enzim merupakan protein. Dua sifat penting enzim adalah memiliki daya katalitik yang sangat besar dan sangat spesifik. Koenzim adalah kofaktor yang berupa molekul organik kecil yang merupakan bagian enzim yang tahan panas, mengandung ribose dan fosfat, larut dalam air dan bisa bersatu dengan apoenzim

membentuk holoenzim. Koenzim tidak terikat kuat pada bagian apoenzim sehingga mudah terurai dalam larutan. Koenzim memiliki fungsi aktif sebagai katalisator yang dapat meningkatkan kemampuan katalitik suatu enzim. Selain itu koenzim juga berfungsi untuk menentukan sifat dari suatu reaksi dan dapat bertindak sebagai transpor elektron dari satu enzim ke enzim yang lain. Contoh koenzim adalah NADH, NADP dan adenosin trifosfat. Koenzim merupakan bagian enzim yang bersifat reaktif.

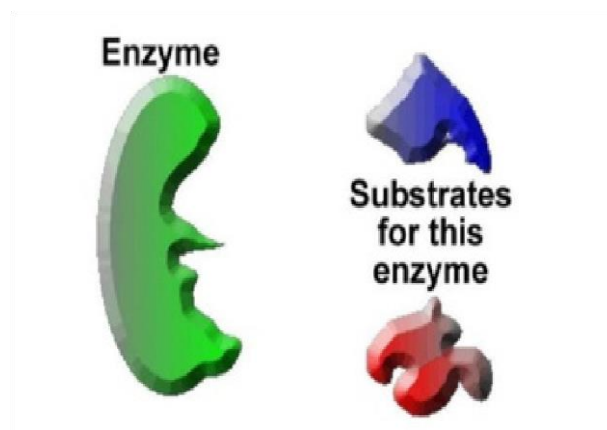
1.2. Daya Katalitik dan Spesifitas Enzim

Daya katalitik enzim sangat besar, yaitu mampu mempercepat reaksi kimia minimal sejuta kali. Tanpa enzim, kecepatan sebagian besar reaksi kimia di dalam sistem biologi sangatlah rendah sehingga tak dapat diukur. Bahkan reaksi yang sederhana sekalipun seperti hidrasi CO₂ harus dikatalisis oleh enzim karbonat anhidrase.



Karbonat anhidrase

Enzim sangat spesifik, baik terhadap terhadap jenis reaksi yang dikatalisisnya maupun terhadap substrat atau reaktan yang diolahnya. Gambaran spesifitas enzim tercantum pada Gambar 1. Satu enzim biasanya mengkatalisis satu jenis reaksi kimia saja, atau seperangkat reaksi yang sejenis. Dalam reaksi enzimatik sangat jarang terjadi reaksi sampingan yang menyebabkan terbentuknya hasil sampingan yang tak berguna.



Gambar 1.1. Model spesifitas enzim terhadap substrat

1.3. Klasifikasi dan Cara Kerja Enzim

Ada 6 kelas utama enzim dengan beberapa contohnya diberikan di bawah :

1) Oksidoreduktase.

Enzim-enzim yang mengkatalis oksidoreduksi antara 2 substrat s dan S'
 $S \text{ merah} + S' \text{ oks} = S \text{ oks} + S' \text{ red}$

2) Transferase

Enzim-enzim yang mengkatalisis pemindahan suatu gugus, G (lain dari hidrogen), antara sepasang substrat S dan S'.
 $S-G + S' \rightarrow S + G-S'$

3) Hidrolase

Enzim-enzim yang mengkatalisis hidrolisis ikatan-ikatan ester, peptida, glikosil, hidrida asam, C-C, C-halida, atau P-N.

4) Liase

Enzim-enzim yang mengkatalisis pembuangan gugus dari substrat dengan mekanisme yang lain daripada hidrolisis, dan meninggalkan ikatan rangkap.

5) Isomerase

Yang termasuk kelas ini adalah semua enzim yang mengkatalisis interkonversi isomer-isomer optik, geometrik, atau posisi.

6) Ligase

Ligase (= mengikat) enzim yang mengkatalisis penggabungan 2 senyawa diikuti oleh pemecahan ikatan pirofosfat pada ATP atau senyawa yang sejenis. Enzim yang termasuk golongan ini adalah enzim-enzim yang mengkatalisis reaksi pembentukan ikatan CO, C-S, C-N dan C-C.

Teori *lock and key* (Gambar 1.2.) adalah salah satu teori yang menjelaskan mekanisme kerja enzim. Sesuai teori ini, masing-masing enzim memiliki area spesifik (disebut situs aktif) yang dimaksudkan untuk substrat tertentu untuk mendapatkan terpasang. Situs aktif enzim ini melengkapi bagian tertentu dari substrat, sejauh bentuk yang bersangkutan. Substrat akan masuk ke dalam situs aktif dengan sempurna, dan reaksi antara mereka terjadi.



Gambar 1.2. Gambaran teori *Lock and Key*

Substrat yang tepat akan masuk ke dalam situs aktif enzim dan membentuk kompleks enzim-substrat. Ini adalah di situs ini aktif bahwa substrat ditransformasikan ke produk yang dapat digunakan. Setelah reaksi selesai, dan produk yang dirilis, situs aktif tetap sama dan siap untuk bereaksi dengan substrat baru. Teori ini didalilkan oleh Emil Fischer pada tahun 1894. Teori ini memberikan gambaran dasar tentang aksi enzim pada substrat.

1.4. Struktur Enzim

Struktur enzim terdiri dari komponen utama yaitu:

1) Apoenzim (tidak aktif)

Merupakan bagian protein dari enzim, sebagai tempat melekatnya substrat, bersifat thermolabil (peka terhadap suhu tinggi), dan berfungsi menentukan kekhususan dari enzim. Setiap jenis enzim memiliki apoenzim yang sama sekali berbeda struktur molekulnya dari enzim lainnya. Apoenzim menentukan reaksi kimia spesifik yang dikatalisa. Sifat spesifik dari apoenzim ini ditentukan oleh susunan asam aminonya.

2) Kofaktor

Merupakan bagian non protein dari enzim, bersifat stabil pada suhu tinggi, dan tidak berubah pada akhir reaksi. Kofaktor terdiri dari :

- a) Aktivator

Adalah ion-ion anorganik yang biasanya berikatan lemah dengan suatu enzim. Contoh beberapa logam berperan sebagai aktivator dalam sistem enzim adalah Cu, Mn, Zn, Ca, K, dan Co.

b) Gugus prostetik

Adalah kofaktor yang membentuk ikatan sangat erat baik secara kovalen maupun non kovalen dengan apoenzim dan sukar terurai dalam larutan. Gugus prostetik dapat berupa senyawa organik tertentu, vitamin, atau ion logam. Misal FAD yang mengandung riboflavin yang merupakan bagian FAD yang menerima atom hidrogen.

c) Koenzim

Koenzim adalah kofaktor yang berupa molekul organik kecil yang merupakan bagian enzim yang tahan panas, mengandung ribose dan fosfat, larut dalam air dan bisa bersatu dengan apoenzim membentuk holoenzim. Koenzim tidak terikat kuat pada bagian apoenzim sehingga mudah terurai dalam larutan. Koenzim memiliki fungsi aktif sebagai katalisator yang dapat meningkatkan kemampuan katalitik suatu enzim. Selain itu koenzim juga berfungsi untuk menentukan sifat dari suatu reaksi dan dapat bertindak sebagai transpor elektron dari satu enzim ke enzim yang lain. Contoh koenzim adalah NADH, NADP dan adenosin trifosfat. Koenzim merupakan bagian enzim yang bersifat reaktif.

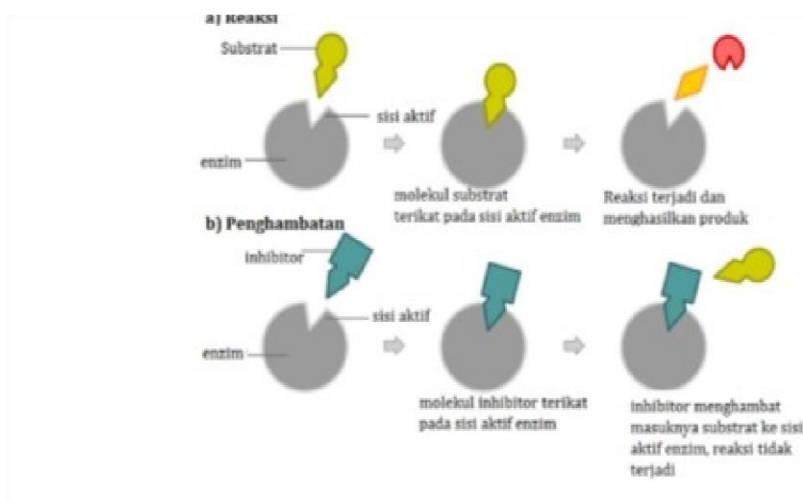
1.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim

1) Pengaruh Suhu dan pH terhadap Aktivitas Enzim

Apabila temperatur meningkat maka molekul-molekul akan memiliki energi kinetik yang semakin besar sehingga "pertemuan" antar molekul semakin tinggi, akibatnya kecepatan reaksi meningkat. Kecepatan reaksi akan mencapai maksimal pada suatu titik yang disebut "temperatur optimum". Diatas titik ini kecepatan reaksi akan menurun karena terjadinya proses denaturasi. (harus diingat enzim adalah protein yang mudah terdenaturasi oleh panas). Tiap enzim memiliki profil yang berbeda terhadap temperatur dan biasanya sangat ditentukan oleh organisme dimana enzim tersebut diisolasi dan diproduksi.

2) pH

Setiap enzim memiliki profil yang berbeda terkait dengan pH lingkungannya. Sebagian besar enzim aktif dalam kisaran pH antara 4.5 - 8, beberapa sangat aktif pada pH rendah (misalnya: pepsin). pH dimana suatu enzim menunjukkan aktivitas maksimum disebut pH optimum. Perubahan pH dapat menyebabkan pecahnya ikatan dan akan mengubah konformasi (bentuk) enzim, termasuk aktivitasnya.



Gambar 1.3. Penghambatan Kompetitif

3) Inhibitor

Beberapa bahan kimia seperti ion logam dapat menghambat aktivitas enzim, sehingga disebut inhibitor. Ada beberapa jenis inhibitor, antara lain:

- Inhibitor kompetitif: bersaing dengan substrat "merebut" situs aktif.
- Inhibitor Non-kompetitif: Tidak berebut situs aktif, tapi terikat pada tempat lain pada enzim yang mengakibatkan perubahan bentuk situs aktif, sehingga aktivitas enzim terhambat.

4) Konsentrasi enzim dan substrat

Kecepatan reaksi enzimatik dipengaruhi oleh konsentrasi enzim dan substrat. Peningkatan konsentrasi enzim atau substrat akan meningkatkan kecepatan reaksi. Pada konsentrasi enzim tertentu, kecepatan reaksi enzimatik akan meningkat dengan meningkatnya substrat, namun pada suatu titik penambahan konsentrasi

substrat tidak akan meningkatkan kecepatan reaksi, karena enzim telah mengalami "kejenuhan".

Latihan Soal

Untuk memperdalam pemahaman anda tentang materi, kerjakan soal-soal berikut:

1. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi aktivitas reaksi enzim.
2. Bagaimana cara Michaelis dan Menten membuktikan hipotesis mereka bahwa dalam reaksi yang menggunakan enzim terjadi terlebih dahulu kompleks enzim substrat.
3. Jelaskan peranan enzim-enzim yang termasuk golongan hidrolase. Berikan contoh-contohnya.

Jawaban

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim yaitu : Suhu dan pH, Inhibitor, dan konsentrasi enzim dan substrat
2. Untuk dapat terjadi kompleks enzim substrat, diperlukan adanya kontak antara enzim dengan substrat. Kontak ini terjadi pada suatu tempat atau bagian enzim yang disebut *bagian aktif*
3. Peranan enzim hidrolase, yaitu berfungsi memecahkan ikatan ester, memecahkan glikosida dan yang memecahkan ikatan peptida. contoh ialah esterase, lipase, fosfatase, amilase, amino peptidase, karboksi peptidase, pepsin, tripsin, kimotripsin.

Rangkuman

- 1) Enzim adalah protein yang dihasilkan oleh sel hidup yang mempengaruhi reaksi kimia. Ditinjau dari fungsinya enzim merupakan katalis dalam sistem biologi.
- 2) Katalis adalah molekul yang berfungsi mempercepat reaksi kimia. Hampir semua enzim merupakan protein.

- 3) Koenzim adalah kofaktor yang berupa molekul organik kecil yang merupakan bagian enzim yang tahan panas, mengandung ribose dan fosfat, larut dalam air dan bisa bersatu dengan apoenzim membentuk holoenzim.
- 4) Ada 6 kelas utama enzim yaitu: *Oksidoreduktase*, *Transferase*, *Hidrolase*, *Liase*, *Isomerase*, dan *Ligase*.
- 5) Struktur enzim terdiri dari komponen utama yaitu: Apoenzim (Tidak Aktif), dan Kofaktor.
- 6) Kofaktor terdiri atas tiga yakni aktivator, gugus prostetik dan koenzim.
- 7) Faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas enzim yaitu : Suhu dan pH, Inhibitor, dan konsentrasi enzim dan substrat

BAB 2

METABOLISME ASAM NUKLEAT

PENDAHULUAN

Deskripsi Singkat

Bab ini membahas tentang pengertian asam nukleat, komponen asam nukleat, struktur nukleotida dan nukleosida, sifat-sifat asam nukleat, struktur dan metabolisme DNA serta struktur dan metabolisme RNA

Relevansi

Pembahasan bab ini sangat berhubungan dengan metabolisme protein dan enzim. Mahasiswa akan mengetahui bagaimana hubungan antara DNA, RNA dan protein. Pemahaman tentang asam nukleat sebagai senyawa inti sel pembawa informasi genetika dan pelaksana biosintesis protein akan mengungkapkan bagaimana senyawa ini sangat penting untuk dasar mempelajari rekayasa genetika dan biomolekuler

Tujuan

Setelah mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan dapat :

1. Menjelaskan pengertian asam nukleat
2. Menjelaskan komponen asam nukleat
3. Menjelaskan struktur nukleotida dan nukleosida
4. Menjelaskan sifat-sifat asam nukleat
5. Menerangkan struktur dan metabolisme DNA
6. Menerangkan struktur dan metabolisme RNA

PEMBAHASAN

2.1. Pengertian Asam Nukleat

Metabolisme adalah semua reaksi kimia yang terjadi di dalam organisme, termasuk yang terjadi di tingkat selular. Secara umum, metabolisme memiliki dua arah lintasan reaksi kimia organik. Sedangkan untuk katabolisme itu sendiri yaitu reaksi yang mengurai molekul senyawa organik untuk mendapatkan energi. Dan anabolisme merupakan reaksi yang merangkai senyawa organik dari molekul-molekul tertentu, untuk diserap oleh sel tubuh.

Asam nukleat adalah makromolekul biokimia yang kompleks, berbobot molekul tinggi, dan tersusun atas rantai nukleotida yang mengandung informasi genetik. Asam nukleat yang paling umum adalah asam deoksiribonukleat dan asam ribonukleat. Asam nukleat ditemukan pada semua sel hidup serta pada virus. Asam nukleat merupakan salah satu makromolekul yang memegang peranan sangat penting dalam kehidupan organisme karena di dalamnya tersimpan informasi genetik. Asam nukleat sering dinamakan juga polinukleotida karena tersusun dari sejumlah molekul nukleotida sebagai monomernya. Tiap nukleotida mempunyai struktur yang terdiri atas gugus fosfat, gula pentosa, dan basa nitrogen atau basa nukleotida (basa N). Ada dua macam asam nukleat, yaitu asam deoksiribonukleat atau deoxyribonucleic acid (DNA) dan asam ribonukleat atau ribonucleic acid (RNA) Dilihat dari strukturnya, perbedaan di antara kedua macam asam nukleat ini terutama terletak pada komponen gula pentosanya. Pada RNA gula pentosanya adalah ribosa, sedangkan pada DNA gula pentosanya mengalami kehilangan satu atom O pada posisi C nomor 2' sehingga dinamakan gula 2'-deoksiribosa.

Perbedaan struktur lainnya antara DNA dan RNA adalah pada basa N nya. Basa N, baik pada DNA maupun pada RNA, mempunyai struktur berupa cincin aromatik heterosiklik (mengandung C dan N) dan dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu purin dan pirimidin. Basa purin mempunyai dua buah cincin (bisiklik), sedangkan basa pirimidin hanya mempunyai satu cincin (monosiklik). Pada DNA, dan juga RNA, purin terdiri atas adenin (A) dan guanin (G). Akan tetapi, untuk pirimidin ada perbedaan antara DNA dan RNA. Kalau pada DNA basa pirimidin terdiri atas sitosin (C) dan timin (T), pada RNA tidak ada timin dan

sebagai gantinya terdapat urasil (U). Timin berbeda dengan urasil hanya karena adanya gugus metil pada posisi nomor 5 sehingga timin dapat juga dikatakan sebagai 5-metilurasil.

2.2. Komponen Asam Nukleat

Komponen asam nukleat terdiri dari : gugus fosfat, gula pentose dan basa nitrogen. Diantara ketiga komponen monomer asam nukleat tersebut, hanya basa N-lah yang memungkinkan terjadinya variasi. Pada kenyataannya memang urutan (sekuens) basa N pada suatu molekul asam nukleat merupakan penentu bagi spesifisitasnya. Dengan perkataan lain, identifikasi asam nukleat dilakukan berdasarkan atas urutan basa N-nya sehingga secara skema kita bisa menggambarkan suatu molekul asam nukleat hanya dengan menuliskan urutan basanya saja

Asam nukleat tersusun dari monomer monomer berupa nukleotida, yang masing-masing terdiri atas sebuah gugus fosfat, sebuah gula pentosa, dan sebuah basa N. Dengan demikian, setiap nukleotida pada asam nukleat dapat dilihat sebagai nukleosida monofosfat. Namun, pengertian nukleotida secara umum sebenarnya adalah nukleosida dengan sebuah atau lebih gugus fosfat. Sebagai contoh, molekul ATP (adenosin trifosfat) adalah nukleotida yang merupakan nukleosida dengan tiga gugus fosfat.

Jika gula pentosanya adalah ribosa seperti halnya pada RNA, maka nukleosidanya dapat berupa adenosin, guanosisin, sitidin, dan uridin. Begitu pula, nukleotidanya akan ada empat macam, yaitu adenosin monofosfat, guanosisin monofosfat, sitidin monofosfat, dan uridin monofosfat. Sementara itu, jika gula pentosanya adalah deoksiribosa seperti halnya pada DNA, maka deoksiribonukleosidanya terdiri atas deoksiadenosin, deoksiguanosisin, deoksisitidin, dan deoksitimidin.

Peran penting RNA terletak pada fungsinya sebagai perantara antara DNA dan protein dalam proses ekspresi genetik karena ini berlaku untuk semua organisme hidup. Dalam peran ini, RNA diproduksi sebagai salinan kode urutan basa nitrogen DNA dalam proses transkripsi. Kode urutan basa ini tersusun dalam bentuk 'triplet', tiga urutan basa N, yang dikenal dengan nama kodon. Setiap kodon

berelasi dengan satu asam amino (atau kode untuk berhenti), monomer yang menyusun protein. Lihat ekspresi genetic untuk keterangan lebih lanjut. Penelitian mutakhir atas fungsi RNA menunjukkan bukti yang mendukung atas teori 'dunia RNA, yang menyatakan bahwa pada awal proses evolusi, RNA merupakan bahan genetik universal sebelum organisme hidup memakai DNA.

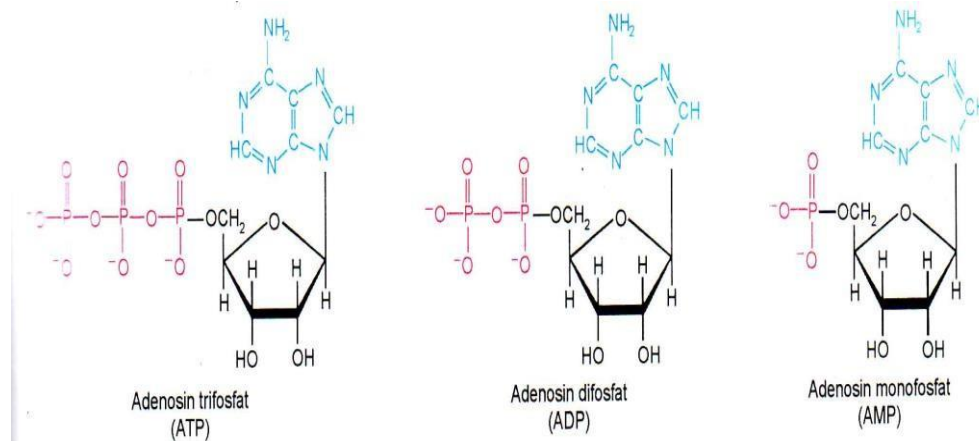
Nukleotida di dalam usus halus mengalami pemutusan ikatan fosfodiester oleh endonuklease (pankreas) menghasilkan oligonukleotida. Kemudian dipecah lebih lanjut melalui phosphodiesterase (enzim exonuclease non spesifik) menjadi monofosfat. Lalu dipecah lebih lanjut oleh enzim fosfomonoesterase. Tahapan ini dikenal sebagai nukleotidase, yang menghasilkan nukleosida dan orthophosphate. Nukleosida phosphorylase akan menghasilkan basa dan ribose-1-phosphate. Jika basa atau nukleosida tidak digunakan kembali untuk salvage pathways, maka basa didegradasi menjadi asam urat (purin), ureidopropionat (pyrimidine).

2.3. Nukleosida dan Nukleotida

Penomoran posisi atom C pada cincin gula dilakukan menggunakan tanda Aksent (1', 2', dan seterusnya), sekedar untuk membedakannya dengan penomoran posisi pada Cincin basa. Posisi 1' pada gula akan berikatan dengan posisi 9 (N-9) pada basa purin atau posisi 1 (N-1) pada basa pirimidin melalui ikatan glikosidik atau glikosilik. Kompleks gula-basa ini dinamakan Nukleosida. Di atas telah disinggung bahwa asam nukleat tersusun dari monomer-monomer berupa nukleotida, yang masing-masing terdiri atas sebuah Gugus fosfat, sebuah gula pentosa, dan sebuah basa N. Dengan demikian, setiap nukleotida pada asam nukleat dapat dilihat sebagai nukleosida monofosfat.

Beberapa nukleotida yang mempunyai fungsi penting dalam sel misalnya Adenosin 5' monofosfat (AMP), Adenosin 5' -difosfat (ADP) dan Adenosin 5'-trifosfat (ATP) yang berperan penting dalam transfer gugus fosfat untuk menerima

dan mengantar energi.



Gambar 2.1. Struktur AMP, ADP dan ATP

Pengertian nukleotida secara umum adalah nukleosida dengan sebuah atau lebih gugus fosfat. Sebagai contoh, molekul ATP (Adenosin trifosfat) adalah nukleotida yang merupakan nukleosida dengan tiga gugus fosfat. Jika gula pentosanya adalah ribosa Seperti halnya pada RNA, maka nukleosidanya dapat berupa Adenosin, guanisin,, dan uridin sitidin. Begitu pula, nukleotidanya akan ada empat macam, yaitu Adenosin monofosfat, guanisin monofosfat, sitidin monofosfat, dan uridin monofosfat. Sementara itu, jika gula pentosanya adalah deoksiribosa Seperti halnya pada DNA, maka (2' deoksiribonukleosidanya terdiri atas deoksiadenosin, deoksiguanosin, deoksisitidin, dan deoksitimidin.

2.4. Sifat-Sifat Asam Nukleat

Asam nukleat memiliki beberapa sifat fisika dan kimia. Sifat-sifat tersebut adalah stabilitas asam nukleat, pengaruh asam, pengaruh alkali, denaturasi kimia, viskositas, dan kerapatan apung.

1) Stabilitas asam nukleat

Ketika kita melihat struktur tangga berpilin molekul DNA atau pun struktur sekunder RNA, sepintas akan nampak bahwa struktur tersebut menjadi stabil akibat adanya ikatan hidrogen di antara basa-basa yang berpasangan. Padahal, sebenarnya tidaklah demikian. Ikatan hidrogen di antara pasangan pasangan basa hanya akan sama kuatnya dengan ikatan hidrogen antara basa dan molekul air apabila DNA berada dalam bentuk rantai tunggal. Jadi, ikatan hidrogen jelas tidak berpengaruh

terhadap stabilitas struktur asam nukleat, tetapi sekedar menentukan spesifitas perpasangan basa. Penentu stabilitas struktur asam nukleat terletak pada interaksi penempatan (stacking interactions) antara pasangan-pasangan basa. Permukaan basa yang bersifat hidrofobik menyebabkan molekul-molekul air dikeluarkan dari sela-sela perpasangan basa sehingga perpasangan tersebut menjadi kuat.

2) Pengaruh asam

Asam nukleat di dalam asam pekat dan suhu tinggi, misalnya HClO_4 dengan suhu lebih dari 100°C , akan mengalami hidrolisis sempurna menjadi komponen-komponennya. Namun, di dalam asam mineral yang lebih encer, hanya ikatan glikosidik antara gula dan basa purin saja yang putus sehingga asam nukleat dikatakan bersifat apurinik.

3) Pengaruh alkali

Pengaruh alkali terhadap asam nukleat mengakibatkan terjadinya perubahan status tautomerik basa. Sebagai contoh, peningkatan pH akan menyebabkan perubahan struktur guanin dari bentuk keto menjadi bentuk enolat karena molekul tersebut kehilangan sebuah proton. Selanjutnya, perubahan ini akan menyebabkan terputusnya sejumlah ikatan hidrogen sehingga pada akhirnya rantai ganda DNA mengalami denaturasi. Hal yang sama terjadi pula pada RNA. Bahkan pada pH netral sekalipun, RNA jauh lebih rentan terhadap hidrolisis bila dibandingkan dengan DNA karena adanya gugus OH pada atom C nomor 2 di dalam gula ribosanya.

4) Denaturasi Kimia

Sejumlah bahan kimia diketahui dapat menyebabkan denaturasi asam nukleat pada pH netral. Contoh yang paling dikenal adalah urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dan formamid (COHNH_2). Pada konsentrasi yang relatif tinggi, senyawa-senyawa tersebut dapat merusak ikatan hidrogen. Artinya, stabilitas struktur sekunder asam nukleat menjadi berkurang dan rantai ganda mengalami denaturasi.

5) Viskositas

DNA kromosom dikatakan mempunyai nisbah aksial yang sangat tinggi karena diameternya hanya sekitar 2 nm, tetapi panjangnya dapat mencapai beberapa sentimeter. Dengan demikian, DNA tersebut berbentuk tipis memanjang. Selain itu, DNA merupakan molekul yang relatif kaku sehingga larutan DNA akan mempunyai viskositas yang tinggi. Karena sifatnya itulah molekul DNA menjadi

sangat rentan terhadap fragmentasi fisik. Hal ini menimbulkan masalah tersendiri ketika kita hendak melakukan isolasi DNA yang utuh.

6) Kerapatan Apung

Analisis dan pemurnian DNA dapat dilakukan sesuai dengan kerapatan apung (bouyant density)-nya. Di dalam larutan yang mengandung garam pekat dengan berat molekul tinggi, misalnya sesium klorid (CCI) SM, DNA mempunyai kerapatan yang sama dengan larutan tersebut, yakni sekitar 1,7 g/cm³. Jika larutan ini disentrifugasi dengan kecepatan yang sangat tinggi, maka garam CsCl yang pekat akan bermigrasi ke dasar tabung dengan membentuk gradien kerapatan. Begitu juga, sampel DNA akan bermigrasi menuju posisi gradien yang sesuai dengan kerapatannya. Teknik ini dikenal sebagai sentrifugasi seimbang dalam tingkat kerapatan (equilibrium density gradient centrifugation) atau sentrifugasi isopiknik.

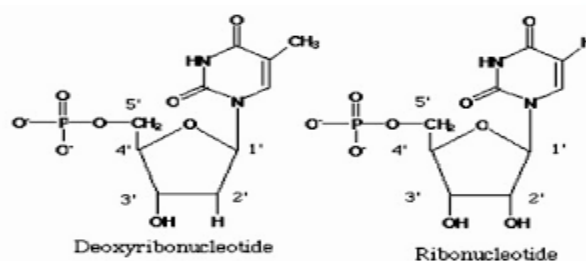
2.5. Struktur dan Fungsi DNA

Deoxyribonucleic acid (DNA) merupakan makromolekul berupa benang sangat panjang yang terbentuk dari sejumlah besar deoksiribonukleotida, yang masing-masing tersusun dari satu basa, satu gula dan satu gugus fosfat. Apabila kita ibaratkan suatu tubuh, maka DNA diibaratkan sebagai otak yang dapat mengatur segala proses di dalam tubuh. DNA juga mempunyai peran penting dalam pewarisan sifat. DNA merupakan suatu senyawa kimia yang penting pada makhluk hidup. Tugas utamanya membawa materi genetik dari suatu generasi ke generasi berikutnya. DNA juga merupakan senyawa polinukleotida yang membawa sifat-sifat keturunan yang khas pada kromosom.

DNA penting dalam hal hereditas. Paket semua informasi genetik dan dibagikan pada generasi berikutnya. Dasar untuk ini terletak pada kenyataan bahwa DNA membuat gen dan gen membuat kromosom. Manusia memiliki 23 pasang kromosom – total 46 kromosom. Dua puluh dua dari pasangan ini, yang disebut autosom, terlihat sama pada laki-laki dan perempuan. Ke 23 Pasangan disebut kromosom seks dan berbeda antara pria dan wanita. Wanita memiliki dua salin dari kromosom X atau XX, sedangkan pria memiliki satu X dan satu kromosom Y.

DNA pertama kali ditemukan oleh F. Miescher (1869) dari sel spermatozoa dan sel eritrosit burung, selanjutnya dinamakan sebagai nuklein. Penemuan lain dilakukan oleh Fischer (1880), yaitu tentang adanya zat pirimidin (yang berupa Sitosin dan Timin) dan dua purin (Adenin dan guanin). Setelah penemuan tersebut, dilengkapi pula dengan penemuan Levine (1910) tentang gula 5 karbon ribosa, gula deoksiribosa, dan asam fosfat dalam inti. Keberadaan DNA tersebut sebagian besar di dalam nukleus (inti sel). Tetapi ada juga yang terdapat pada mitokondria. Pada tahun 1953, Frances Crick dan James Watson menemukan model molekul DNA sebagai suatu struktur heliks beruntai ganda, atau yang lebih dikenal dengan heliks ganda Watson-Crick. DNA merupakan makromolekul polinukleotida yang tersusun atas polimer nukleotida yang berulang-ulang, tersusun rangkap, membentuk DNA heliks ganda dan berpilin ke kanan. Setiap nukleotida terdiri dari tiga gugus molekul, yaitu; (1) gula 5 karbon (2-deoksiribosa), (2) basa nitrogen yang terdiri golongan purin yaitu adenin (Adenin = A) dan guanin (guanini = G), serta golongan pirimidin, yaitu sitosin (cytosine = C) dan timin (thymine = T), dan (3) gugus fosfat.

Basa pada molekul DNA membawa informasi genetik, sedangkan gula dan gugus fosfat mempunyai peranan struktural. Gula dalam deoksiribonukleotida merupakan deoksiribosa. Awalan deoksi menunjukkan bahwa gula ini kekurangan satu atom oksigen yang ada pada ribosa, senyawa induknya. Basa nitrogen merupakan derivat purin dan pirimidin. Purin dalam DNA adalah adenin (A) dan Guanin (G), serta pirimidinnya adalah timin (T) dan sitosin (C).



Gambar 2.2. Perbedaan antara Deoxyribonucleotide dan Ribonucleotide

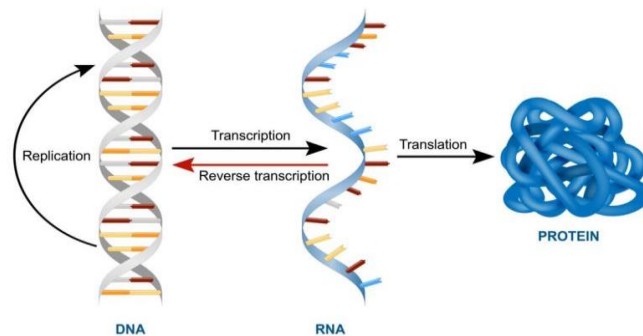
Aspek memutar DNA adalah hasil interaksi antara molekul yang membentuk DNA dan air. Basa nitrogen yang terdiri dari anak tangga bengkak disatukan

oleh ikatan hidrogen. Adenin terikat dengan timin (AT) dan pasangan guanin dengan sitosin (GC). Basa nitrogen ini bersifat hidrofobik, artinya tidak memiliki afinitas terhadap air. Karena sitoplasma seldan sitosol mengandung cairan berbasis air, basa nitrogen ingin menghindari kontak dengan cairan sel. Molekul gula dan fosfat yang membentuk tulang punggung gula-fosfat molekul bersifat hidrofilik, yang berarti mereka menyukai air dan memiliki afinitas terhadap air.

DNA diatur sedemikian rupa sehingga fosfat dan tulang punggung gula berada di bagian luar dan bersentuhan dengan cairan, sedangkan basa nitrogen berada di bagian dalam molekul. Untuk mencegah lebih lanjut basa nitrogen bersentuhan dengan cairan sel, molekul berputar untuk mengurangi ruang antara basa nitrogen dan untai fosfat dan gula. Fakta bahwa dua untai DNA yang membentuk heliks ganda adalah anti-paralel membantu untuk memutar molekul juga. Anti-paralel berarti bahwa untai DNA berjalan dalam arah yang berlawanan, memastikan bahwa untai tersebut saling menempel erat. Ini mengurangi potensi cairan untuk merembes di antara pangkalan.

Bentuk heliks ganda memungkinkan terjadinya replikasi DNA dan sintesis protein. Dalam proses ini, DNA yang dipelintir terbuka dan terbuka untuk memungkinkan salinan DNA dibuat. Dalam replikasi DNA, heliks ganda terlepas dan setiap untai yang terpisah digunakan untuk mensintesis untai baru. Saat untai baru terbentuk, basa dipasangkan bersama sampai dua molekul DNA heliks ganda terbentuk dari molekul DNA heliks ganda tunggal. Replikasi DNA diperlukan untuk terjadinya proses mitosis dan meiosis. Dalam sintesis protein, molekul DNA ditranskripsi untuk menghasilkan versi RNA dari kode DNA yang dikenal sebagai messenger RNA (mRNA). Molekul messenger RNA kemudian diterjemahkan untuk menghasilkan protein. Agar transkripsi DNA berlangsung, heliks ganda DNA harus terlepas dan memungkinkan enzim yang disebut RNA polimerase untuk menyalin DNA. RNA juga merupakan asam nukleat tetapi mengandung basa urasil bukan timin. Dalam transkripsi, pasangan guanin dengan sitosin dan adenin berpasangan dengan urasil untuk membentuk transkrip RNA. Setelah transkripsi, DNA menutup dan memutar kembali ke keadaan semula.

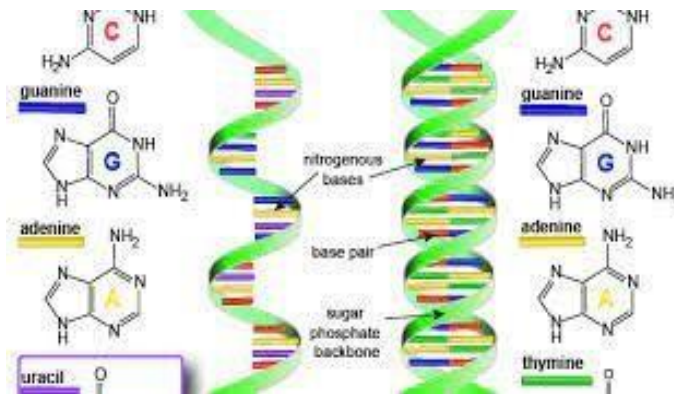
Transcription and Translation



Gambar 2.3. Replikasi DNA dan Sintesis Protein

Ciri-ciri penting model DNA adalah:

1. Dua rantai heliks polinukleotida melingkar mengelilingi satu sumbu. Kedua rantai memiliki arah yang berlawanan.



Gambar 2.4. Konfigurasi menyeluruh dari heliks rangkap DNA.

2. Basa purin dan pirimidin terdapat di bagian dalam heliks, sedangkan unit-unit fosfat dan deoksiribosa terdapat di bagian luar. Bidang-bidang basa tegak lurus terhadap sumbu heliks. Bidang-bidang gula hampir tegak lurus terhadap bidang basa
3. Diameter heliks adalah 20 Å. Jarak antara basa yang bersebelahan ialah 3,4 Å pada poros heliks dengan sudut rotasi sebesar 36° . Dengan demikian, putaran heliks berulang setelah 10 residu pada setiap rantai, yaitu pada interval 3,4 Å.
4. Kedua rantai saling berhubungan melalui ikatan hidrogen antara pasangan-

pasangan basa. Adenin selalu berpasangan dengan timin; guanin selalu berpasangan dengan sitosin.

5. Urutan basa sepanjang rantai polinukleotida tidak dibatasi dengan cara apapun.

Urutan yang tepat basa-basa itu mengandung informasi genetik

Aspek yang paling penting pada DNA heliks ganda adalah pasangan basa yang spesifik. Watson dan Crick menyimpulkan bahwa adenin harus berpasangan dengan timin, dan guanin dengan sitosin, karena faktor-faktor sterik ikatan hidrogen. Pembatasan sterik ini disebabkan oleh sifat heliks tulang punggung gula fosfat yang teratur pada setiap rantai polinukleotida. Ikatan-ikatan glikosidik antara gula dan basa yang berpasangan berjarak kira-kira 10,8 Å. Pasangan basa purin-pirimidin sesuai benar dalam ruangan itu. Sebaliknya disitu tidak terdapat cukup ruangan untuk dua purin. Terdapat ruangan lebih dari cukup untuk dua pirimidin, tetapi keduanya akan terlalu jauh terpisah untuk memberikan ikatan hidrogen. Karena itu satu anggota pasangan basa dalam suatu heliks DNA harus selalu berupa purin dan yang lain berupa pirimidin, karena faktor-faktor sterik. Pasangan basa ini lebih jauh dibatasi oleh kebutuhan pengikatan hidrogen. Atom-atom hidrogen dalam basa purin dan pirimidin mempunyai posisi yang sudah tertentu. Adenin tidak dapat berpasangan dengan sitosin karena akan terdapat dua hidrogen di dekat salah satu tempat pengikatan dan tidak ada hidrogen di tempat yang lainnya. Demikian pula guanin tidak berpasangan dengan timin. Sebaliknya adenin membentuk dua ikatan hidrogen dengan timin, sedangkan guanin membentuk tiga ikatan hidrogen dengan sitosin. Daya tarik antara kedua pasangan basa paling kuat pada orientasi dan jarak ikatan hidrogen ini.

2.6. Fungsi dan Sifat DNA

Seperti yang telah kita ketahui sebelumnya salah satu fungsi DNA yaitu sebagai wadah atau tempat penyimpanan informasi genetic dari makhluk hidup. Ternyata, selain fungsi tersebut, ada 3 fungsi lainnya yang terdapat pada DNA. Diantaranya yaitu:

1. Sebagai pembawa informasi genetik

DNA sebagai bentuk kimiawi gen merupakan pembawa informasi genetic makhluk hidup seperti ciri dan sifat makhluk hidup. Contohnya yaitu, kita membawa

sifat dan cirri khas dari orang tua kita. Ciri dan Sifat itu dapat berupa warna mata, warna kulit bentuk wajah dsb. Lalu bagaimana jika kita tidak memiliki ciri dan sifat dari orang tua kita? Lalu bagaimana kalau kedua orang tua teman-teman berkulit putih sedangkan teman teman berkulit coklat? Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, DNA tidak hanya membawa sifat dan cirri dari orang tua kita. DNA juga dapat menurunkan sifat dari generasi sebelum orang tua kita. Contohnya dari kakek, paman, bibi bahkan kakek buyut kita. Asalkan memiliki hubungan darah ada kemungkinan sifat itu diturunkan ke generasi selanjutnya.

2. Berperan dalam duplikasi diri dan pewarisan sifat

Duplikasi diri atau Replikasi DNA mempunyai peran penting bagi DNA untuk mewariskan sifat dari satu sel ke sel lainnya.

3. Ekspresi informasi genetic

Gen-gen membawa informasi untuk membentuk protein tertentu. Proses ini terjadi melalui mekanisme sintesis protein. Proses pembentukan protein ini terjadi melalui proses transkripsi DNA menjadi RNA dan translasi RNA membentuk rantai polipeptida.

Selain memiliki fungsi, DNA juga memiliki beberapa sifat diantaranya yaitu:

- Jumlah DNA konstan dalam setiap jenis sel dan spesies. Konstan dalam artian tetap dan tidak berubah jumlahnya. Contohnya Jumlah DNA pada kucing berbeda dengan jumlah DNA pada Anjing. Begitupun dengan jumlah DNA pada manusia dan primate berbeda jumlahnya.
- Kandungan DNA dalam sel bergantung pada sifat ploidi (genom) sel atau jumlah kromosom didalam sel.
- Bentuk DNA pada sel eukariotik adalah seperti benang dan tidak bercabang, sedangkan DNA pada sel Prokariotik, mitokondria dan plastida berbentuk sirkuler.

2.7. Biosintesis DNA

Proses terbentuknya DNA itu diawali dengan Replikasi DNA. Proses ini memerlukan bahan baku deoksiribonukleatida, enzim dan nukleotida. Proses replikasi DNA akan menghasilkan rantai DNA baru yang sama. Replikasi diawali

dengan terbukanya pilinan dan pemisahan rantai oleh enzim helikase sehingga terbentuk dua pita tunggal. Kedua pita tersebut berfungsi sebagai cetakan DNA baru dengan bantuan enzim polymerase. DNA polymerase dapat mensintesis DNA baru dengan arah 5→3. Oleh karena itu, dalam pembentukan DNA baru akan terdapat pembentukan pita yang kontinu dan diskontinu. Pita DNA kontinu terbentuk dari arah 5→3' tanpaterputus. Pita DNA diskontinu akan terbentuk dari arah 3→5 terputus-putus. Pembentukannya diawali pembentukan RNA primer oleh primase dan diteruskan oleh DNA polymerase membentuk fragmen DNA disebut fragmen Okazaki. RNA primer akan digantikan DNA bersamaan dengan penyambungan fragmen Okazaki oleh enzim ligase. Akibatnya terbentuk pita DNA baru yang utuh.

Proses pembentukan DNA (pengandaan) membutuhkan komponen-komponen sebagai berikut.

1. *DNA polimerase* (enzim yang mengkatalisis perpanjangan rantai nukleotida satu dengan yang lainnya)
2. *Deoksiribonukleosida trifosfat* (dATP, dTTP, dGTP, dCTP = monomer penyusun rantai polinukleotida).
3. *Protein pembentang* dan 20 protein enzim lainnya atau sistem replikasi DNA atau replisoma (fungsi kompleks).
4. *DNA ligase* (menyambung fragmen-fragmen hasil polimerisasi).
5. *DNA cetakan* (DNA induk untuk sintesis DNA baru)
6. *DNA primer* (DNA pengawal untuk sintesis DNA baru).

Sintesis ini terjadi secara semi konservatif karena hanya satu untaian induk DNA dipertahankan pada tiap DNA keturunan. Dengan demikian bila satu molekul DNA dengan dua rantai antiparalel bereplikasi, mula-mula akan menghasilkan dua rantai DNA baru. Kemudian 4 rantai DNA (yaitu 2 rantai DNA asli ditambah 2 rantai DNA yang terbentuk) yang ada bereplikasi lagi menjadi 8 rantai DNA, delapan ini bereplikasi menjadi 16 dan seterusnya. Reaksi polimerisasi (perpanjangan rantai nukleotida) mengikuti arah 5' ke arah 3'. Tahap-tahap reaksi sintesis DNA :

1. Tahap pembukaan DNA untai ganda superkoil
2. Sintesis oligonukleotida primer

3. Pemanjangan rantai DNA arah 5'--- 3', pelepasan primer dan
4. Penyambungan fragmen DNA dan membentuk ikatan fosfodiester.

Terdapat 3 hipotesis mengenai proses replikasi DNA, diantaranya yaitu:

1. Konservatif

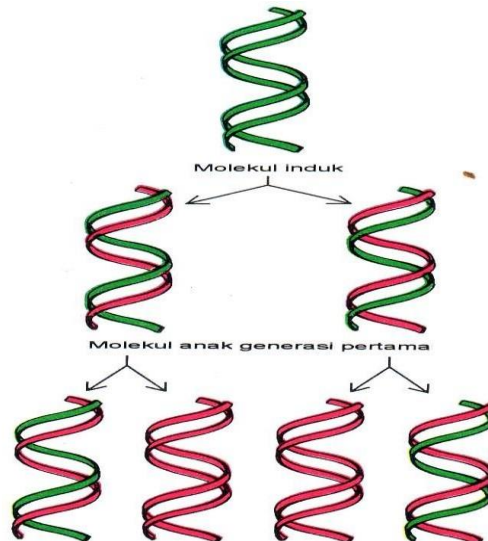
Menurut model replikasi konservatif, semua pita DNA double helix berfungsi sebagai cetakan. Proses tersebut menghasilkan sebuah pita DNA double helix baru.

2. Semikonservatif

Model ini menjelaskan, setelah pita terurai menjadi pita tunggal, setiap pita berfungsi sebagai cetakan. Setiap pita tunggal membentuk pita pasangannya sehingga terbentuk 2 pita double helix.

3. Pita spiral (double helix) terputus-putus

Kemudian potongan DNA tersebut membentuk dua pita baru. Potongan DNA lama akan bersambungan dengan DNA baru pada kedua pita double helix baru tersebut.



Gambar 2.5 Ilustrasi Replikasi Semikonservatif DNA

2.8. Struktur dan Fungsi RNA

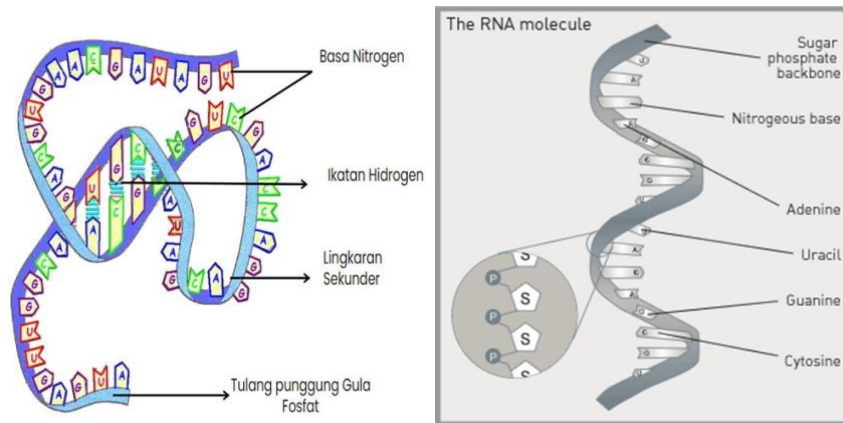
RNA singkatan dari Ribo Nucleic Acid yang dalam bahasa Indonesia disebut Asam Ribonukleat. RNA adalah rangkaian nukleotida yang saling terikat seperti rantai. RNA merupakan asam nukleat untai tunggal yang terdiri dari unit-

unit pembangun berupa mononukleotida. Setiap nukleotida terdiri atas satu gugus fosfat, satu gugus pentosa, dan satu gugus basa Nitrogen (N). Ada 4 jenis basa nitrogen yang menyusun RNA yaitu Adenin (A), Sitosin (C), Guanin (G), dan Urasil (U). Tidak seperti DNA yang biasanya dijumpai di dalam inti sel, RNA kebanyakan berada di dalam sitoplasma, khususnya di ribosom.

RNA (*ribonucleic acid*) atau asam ribonukleat merupakan makromolekul yang berfungsi sebagai penyimpan dan penyalur informasi genetik. RNA sebagai penyimpan informasi genetik misalnya pada materi genetik virus, terutama golongan retrovirus. RNA sebagai penyalur informasi genetik misalnya pada proses translasi untuk sintesis protein. RNA juga dapat berfungsi sebagai enzim (ribozim) yang dapat mengkatalisis formasi RNA-nya sendiri atau molekul RNA lain. RNA merupakan rantai tunggal polinukleotida.

Gen pada semua organisme prokariot dan eukariot terbuat dari DNA. Pada virus gen terbuat dari DNA atau RNA (asam ribonukleat). RNA, seperti halnya DNA, merupakan polimer panjang tidak bercabang yang terdiri dari nukleotid dan nukleotida yang bersambung dengan ikatan 3' 5' fosfodiester (Gambar 3.8). Struktur kovalen RNA berbeda dengan DNA dalam dua hal. Sebagaimana terbaca dari namanya, unit-unit gula dalam RNA berupa ribosa bukan deoksiribosa. Ribosa mengandung sebuah gugus 2'-hidroksil yang tidak terdapat deoksiribosa. Perbedaan yang lain ialah bahwa satu dari keempat basa utama dalam RNA adalah urasil (U) yang menggantikan timin (T). Urasil, seperti timin, dapat membentuk pasangan basa dengan adenin, tetapi tidak mengandung gugus metil yang terdapat dalam timin.

RNA tidak dapat membentuk heliks ganda tipe B-DNA karena interferensi sterik oleh gugus 2'-hidroksil pada unit-unit ribosanya. Akan tetapi, RNA dapat membentuk modifikasi heliks ganda dan pasangan-pasangan basanya menjauh membuat sudut sekitar 20° lebih besar dari garis tegak lurus dengan sumbu heliks, suatu struktur yang mirip dengan A-DNA. RNA menyusun 5-10% dari berat kering sel. Pada dasarnya, terdapat dua kelompok utama RNA yang menyusun makhluk hidup, yaitu RNA genetik dan RNA nongenetik.



Gambar 2.6. Molekul RNA dapat berbentuk struktur bagian dari suatu untai tunggal atau untai ganda.

2.9. Tipe-tipe RNA

1. RNA genetik

RNA genetik memiliki fungsi yang sama dengan DNA, yakni merupakan molekul genetik yang secara keseluruhan bertanggung jawab dalam membawa segala materi genetik, seperti yang dimiliki oleh DNA. Dengan kata lain, RNA ini berfungsi sebagai DNA. RNA genetik ini hanya dimiliki oleh makhluk hidup tertentu yang tidak memiliki DNA, seperti pada beberapa jenis virus.

2. RNA non Genetik

RNA non genetik merupakan molekul yang dimiliki oleh makhluk hidup yang materi genetiknya diatur oleh DNA. Makhluk hidup golongan ini didalam selnya memiliki DNA dan RNA. Dengan kata lain, perannya bukanlah seperti DNA. Berdasarkan letak dan fungsinya, RNA non genetik terbagi menjadi tiga macam, diantaranya:

a. Transfer RNA (tRNA)

RNA transfer (tRNA) merupakan RNA terpendek yang bertindak sebagai penerjemah kodon dari mRNA. Selain itu, tRNA berfungsi mengikat asam-asam amino yang akan disusun

menjadi protein dan mengangkutnya ke ribosom. Pada tRNA terdapat bagian yang berhubungan dengan kodon yang disebut antikodon dan bagian yang berfungsi sebagai pengikat asam amino. RNA yang dibentuk dari dalam nukleus,

tetapi menempatkan diri dalam sitoplasma. tRNA merupakan RNA yang terpendek dan bertindak sebagai penerjemah kodon dari mRNA. tRNA mempunyai proporsi nukleosida yang lebih relatif tinggi. Transfer RNA (transfer-Ribonucleic acid) atau asam ribonukleat transfer adalah molekul yang menginterpretasikan pesan genetik berupa serangkaian kodon yang di sepanjang molekul mRNA dengan cara mentransfer asam-asam amino ke ribosom dalam proses translasi.

Setiap tRNA mengandung suatu sekuen dengan tiga rangkaian basa pendek. Seluruh ujung 3' tRNA mengandung sekuen SSA yang berseberangan dengan sekuen antikodon. Suatu amino tertentu akan melekat pada ujung 3' tRNA. Pelekatan ini merupakan cara berfungsinya tRNA, yaitu dengan membawa asam amino spesifik yang nantinya berguna dalam sintesis protein, yaitu pengurutan asam amino sesuai dengan urutan kodon pada mRNA.

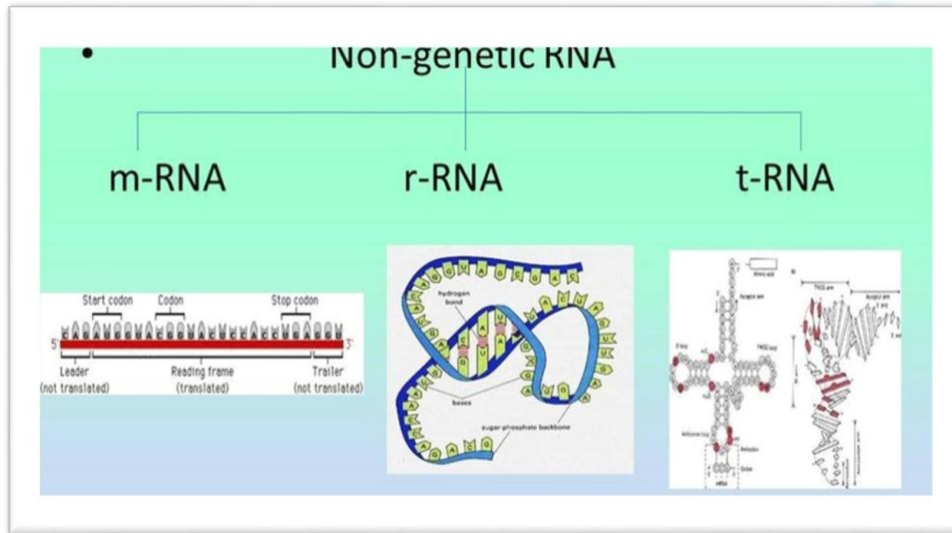
a. Ribosomal RNA (rRNA)

RNA ribosom (rRNA) merupakan RNA dengan jumlah terbanyak dan penyusun ribosom. RNA ini berupa pita tunggal, tidak bercabang, dan fleksibel. Lebih dari 80% RNA merupakan rRNA. Fungsi rRNA sampai sekarang masih belum banyak diketahui, tetapi diduga memiliki peranan penting dalam proses sintesis protein. rRNA merupakan ribosom yang mengandung protein dengan massa yang hampir mirip. Molekulnya berupa pita tunggal, tak bercabang dan fleksibel. rRNA terdiri dari 80 persen total RNA yang dalam sel dan pada sel-sel tidak memiliki inti sejati yang terdiri dari beberapa tipe rRNA yaitu 23S rRNA, 16S rRNA, dan 5S rRNA.

b. Mesenger RNA (mRNA) disebut juga RNA duta (RNA d)

RNA duta atau “messenger RNA” (mRNA) merupakan asam nukleat yang berbentuk pita tunggal dan merupakan RNA terbesar atau terpanjang yang bertindak sebagai pola cetakan pembentuk polipeptida. Fungsi utama mRNA adalah membawa kode-kode genetik dari DNA ke ribosom. mRNA juga berfungsi sebagai cetakan dalam sintesis protein. mRNA merupakan polinukleotida yang berbentuk pita tunggal linier dan disintesis oleh DNA di dalam nukleus. mRNA berupa rantai tunggal yang relatif panjang. Panjang pendeknya mRNA berhubungan dari panjang pendeknya rantai polipeptida yang disusun. Urutan pada rantai asam amino yang menyusun rantai polipeptida tersebut sesuai dengan urutan

kodon yang ada dalam molekul mRNA yang bersangkutan. mRNA bertindak sebagai pola cetakan dalam pembentukan polipeptida. Setiap molekul membawa salinan urutan DNA, yang ditranslasikan dalam sitoplasma menjadi satu rantai polipeptida atau lebih. Fungsi utama dari mRNA adalah membawa kode-kode genetik dari DNA di inti sel menuju ke ribosom di sitoplasma. mRNA dibentuk jika diperlukan dan jika tugasnya telah selesai lalu dihancurkan dalam plasma



Gambar 2.7. Struktur RNA non genetik

RNA (*Ribonukleat Acid*) yang merupakan salah satu materi genetik yang terdiri dari nukleotida. Dalam tubuh manusia RNA berperan sebagai pembawa informasi genetik dan menerjemahkannya dalam sintesis berbagai macam protein. RNA terbagi menjadi RNA genetik dan RNA nongenetik. RNA genetik memiliki fungsi yang sama dengan DNA, yakni merupakan molekul genetik yang secara keseluruhan bertanggung jawab dalam membawa segala materi genetik, seperti yang dimiliki oleh DNA. Dengan kata lain, RNA ini berfungsi sebagai DNA. RNA genetik ini hanya dimiliki oleh makhluk hidup tertentu yang tidak memiliki DNA, seperti pada beberapa jenis virus. Sedangkan RNA nongenetik tidak berperan sebagai DNA. RNA non-genetik dimiliki oleh makhluk hidup yang materi genetiknya diatur oleh DNA.

Berdasarkan letak serta fungsinya, RNA non- genetik dibedakan menjadi tiga macam, yakni RNA duta, RNA ribosom, dan RNA transfer.

1) RNA duta atau "messenger RNA" (mRNA) merupakan asam nukleat yang

berbentuk pita tunggal dan merupakan RNA terbesar atau terpanjang yang bertindak sebagai pola cetakan pembentuk polipeptida. Fungsi utama mRNA adalah membawa kode-kode genetik dari DNA ke ribosom dan berfungsi sebagai cetakan dalam sintesis protein.

2) RNA transfer (tRNA) merupakan RNA terpendek yang bertindak sebagai penerjemah kodon dari mRNA. Selain itu, tRNA berfungsi mengikat asam-asam amino yang akan disusun menjadi protein dan mengangkutnya ke ribosom. Pada tRNA terdapat bagian yang berhubungan dengan kodon yang disebut antikodon dan bagian yang berfungsi sebagai pengikat asam amino.

3) RNA ribosom (rRNA) merupakan RNA dengan jumlah terbanyak dan menyusun ribosom.

RNA ini berupa pita tunggal, tidak bercabang, dan fleksibel. Lebih dari 80% RNA merupakan rRNA. Fungsi rRNA sampai sekarang masih belum banyak diketahui, tetapi diduga memiliki peranan penting dalam proses sintesis protein.

2.10. Biointesis RNA

Proses pembentukan RNA berkaitan erat dengan fungsi DNA. Seperti pembahasan kita sebelumnya mengenai definisi RNA yang merupakan hasil transkripsi dari suatu fragmen DNA. Dengan kata lain, DNA berperan penting dalam tahapan pembentukan RNA dengan membawa informasi genetik berupa kode-kode sandi atau genetik pada untai ganda DNA untuk dicetak membentuk RNA. Adapun proses pembentukan RNA terdiri dari dua tahapan dengan bantuan enzim RNA polymerase (RNAP) yaitu tahap transkripsi dan tahap translasi. Enzim ini mempercepat proses pembentukan RNA. Tahapan pembentukan RNA meliputi:

1. Transkripsi

Dalam tahap transkripsi, dengan menggunakan DNA sebagai cetakan disintesis RNA messenger. Proses ini terdiri atas 3 tahap, yaitu:

a. Inisiasi

Pada tahap ini, enzim RNA polymerase menyalin gen, sehingga terjadi pengikatan RNAP dengan promoter (tempat pertemuan antara gen/DNA dengan RNAP) yang akan memberikan inisiasi transkripsi. Selanjutnya, RNAP akan

membuka double heliks DNA (untai ganda) yang berfungsi sebagai cetakan yakni rantai sense.

b. Elongasi

Disini, RNAP akan bergerak sepanjang untai ganda DNA, membuka double heliks dan merangkai ribonukleotida ke ujung 3' ribonukleotida yang sedang tumbuh, sehingga dihasilkan rantai RNA yang di dalamnya mengandung urutan basa nitrogen pertama sebagai hasil perekaman. Jika hasil perekaman sudah mencapai 30 buah, suatu senyawa kimia yang berperan sebagai penutup untuk memberikan sinyal inisiasi tahap translasi, dan mencegah terjadinya degradasi RNA akan berikatan dengan ujung 5' RNA.

c. Terminasi

Proses terminasi ialah terhentinya proses perekaman dan molekul DNA baru terpisah dari DNA template. Tahap ini ditandai dengan terdissosiasinya enzim RNAP dari DNA dan RNAdilepaskan sehingga dihasilkan produk transkripsi yang lengkap disebut messenger RNA (mRNA).

2. Translasi

Translasi merupakan tahapan penerjemahan beberapa triplet/ kodon dari mRNA menjadi asam amino yang akhirnya membentuk protein. Setiap triplet terdiri dari urutan basa nitrogen yang berbeda sehingga akan diterjemahkan menjadi asam amino yang berbeda pula. Asam amino tersebut akan menghasilkan rantai polipeptida spesifik hingga terbentuk protein spesifik pula. Proses translasi dapat berupa:

a. Inisiasi

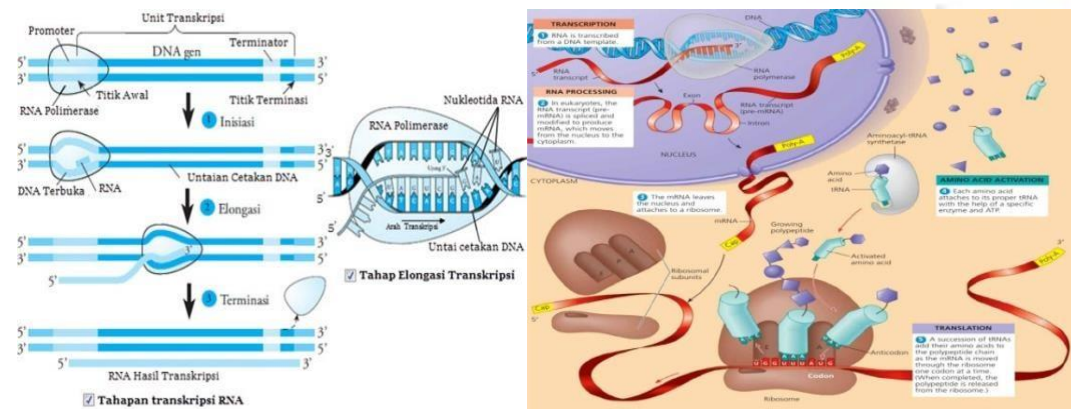
Tahap ini diawali dengan pengenalan kodon AUG yang terdapat pada bagian akhir mRNA yang disebut juga kodon Start. Kodon AUG akan mengkode pembentukan metionin. Selanjutnya, metionin dibawa oleh tRNA untuk bergabung melalui pembentukan ikatan pada subunit besar ribosom sehingga terbentuklah ribosom yang lengkap. Molekul tRNA pertama yang terikat pada ribosom akan menempati tempat khusus, yaitu sisi P (Polipeptida) yang akan terbentuk rantai yang dikenal dengan istilah polipeptida. Sedangkan tRNA berikutnya akan berikatan dengan kodon kedua dan akan menempati ribosom pada sisi A (asam amino)

b. Elongasi

Tahap ini ditandai dengan pengaktifan asam amino oleh tRNA pada tiap kodon ke kodon sehingga akan dihasilkan asam amino baru satu per satu. Proses engolasi ini membuat rantai polipeptida tumbuh semakin panjang akibat asam amino yang terus bertambah.

c. Terminasi

Proses ini ditandai dengan pertemuan antara antikodon yang dibawa oleh tRNA dengan UAA, UAG, atau UGA sehingga menyebabkan berhentinya proses translasi. Akibatnya, terlepaslah rantai polipeptida yang dibentuk dari ribosom dan diolah membentuk protein fungsional.



Gambar 2.8. Sintesis RNA : transkripsi dan translasi

LATIHAN SOAL

1. Apa yang dimaksud dengan metabolisme asam nukleat?
2. Bagaimana fungsi asam nukleat terhadap sel?
3. Struktur apa saja yang menyusun asam nukleat
4. Apakah semua makhluk hidup memiliki asam nukleat? Jelaskan
5. Apa jenis asam nukleat penyusun gen?
6. Senyawa-senyawa apa yang diperoleh apabila suatu asam nukleat dihidrolisis secara sempurna?
7. Jelaskan bagaimana fungsi mRNA dalam biosintesis protein.
8. Terangkan 5 tahapan proses biosintesis protein (translasi).

Jawaban Soal Latihan

1. Metabolisme asam nukleat adalah proses di mana asam nukleat disintesis dan didegradasi. Asam nukleat adalah polimer dari nukleotida. Sintesis nukleotida adalah mekanisme anabolik yang umumnya melibatkan reaksi kimia fosfat, gula pentosa, dan basa nitrogen.
2. Beberapa fungsi penting asam nukleat adalah menyimpan, mentransmisi, dan mentranslasi informasi genetik; metabolisme antara (intermediary metabolism) dan reaksi informasi energi; koenzim pembawa energi; koenzim pemindah asam asetat, zat gula, senyawa Amino dan biomolekul lainnya; koenzim reaksi oksidasi reduksi.
3. Asam nukleat dinamai demikian karena keberadaannya umumnya di dalam inti (nukleus) sel. Asam nukleat merupakan biopolimer, dan monomer penyusunnya adalah nukleotida. Setiap nukleotida terdiri dari tiga komponen, yaitu sebuah basa nitrogen heterosiklik (purin atau pirimidin), sebuah gula pentosa, dan sebuah gugus fosfat.
4. Asam nukleat adalah biomolekul yang paling penting. Molekul ini ditemukan berlimpah di semua makhluk hidup; mereka berfungsi untuk membuat, menyandikan, dan menyimpan informasi genetik di setiap sel hidup dari setiap bentuk kehidupan di bumi.
5. DNA atau Deoxyribonucleic Acid Adalah Suatu Asam Nukleat Yang Merupakan Penyusun Gen Di Dalam Inti Sel. DNA Menyimpan Segala Informasi Biologis Dari Setiap Makhluk Hidup Dan Beberapa Virus. DNA Terdiri Atas Dua Rantai Polinukleotida Yang Tersusun Dalam Heliks Ganda.
6. Basa (purin atau pirimidin); gula ribosa atau deoksiribosa; senyawa fosfat
7. Fungsi mRNA dalam biosintesis protein adalah pembentukan mRNA dalam inti sel menggunakan molekul DNA sehingga strukturnya hampir sama dengan DNA cetakan (timin diganti urasil), mRNA yang terbentuk kemudian keluar dari inti dan masuk ke dalam sitoplasma dan terikat dengan ribosom, kode genetika pada DNA disalin urutan basanya kerantai molekul mRNA dalam bentuk kodon. (mRNA menyalin urutan basayang di kodon oleh DNA)
8. Tahapan biosintesis protein adalah : 1) aktivasi asam amino; 2) inisiasi rantai polipeptida; 3) pemanjangan (elongasi) rantai polipeptida; 4) terminasi

(penghentian) dan pembebasan rantai polipeptida ; 5) pelipatan dan pengolahan (deformilmetionilasi).

Rangkuman

1. Asam nukleat dalam sel ada 2 macam yakni DNA dan RNA. Seperti halnya DNA, RNA adalah merupakan polimer nukleotida. Monomer nukleotida tersusun atas tiga gugus molekul yakni 1). Gula ribosa, 2) Posfat atau P, 3) basa-Nitrogen .
2. Sintesis molekul DNA (replikasi) terdiri atas beberapa reaksi yaitu: tahap pembukaan DNA untai ganda superkoil; tahap sintesis oligonukleotida primer; pemanjangan rantai DNA arah 5'—3'; pelepasan primer; penyambungan fragmen DNA baru dan pembentukan ikatan fosfodiester. Yang melibatkan peran berbagai enzim seperti ligase, DNA polimerase, DNAHelikase, Protein pengikat, DNA Girase.
3. Proses sintesis RNA menyerupai pembentukan Dna tetapi ada perbedaan prinsip dimana kalau sintesis DNA seluruh urutan nkleotida DNA digandakan seperti DNA induk, pada sintesis RNA tidak semua DNA ditranskripsi menjadi RNA, hanya gen atau kolompok gen yang ditarnskripsi. Produk yang terbentuk adalah RNA yang komplementer dengan salah satu rantai DNA dupleks yang jadi cetakan.
4. Sintesis RNA (transkripsi) terdiri 4 tahap reaksi : *pertama* enzim RNA polimerase mengikat urutan basa spesifik, *kedua* RNA polimerase mengkatalisis pemanjangan ikatan fosfodiester antara ribonukleotia trifosfat dan ujung 3'-fosfat melalui cara seperti DNA polimerase I, *ketiga*, komplemen DNA-RNA (hibrid DNA-RNA) yang dihasilkan membuka dengan melepaskan RNA yang terbentuk diikuti hibridisasi ulang rantai DNA membentuk untai DNA ganda. *Keempat*, terjadi pengubahan secara kimia RNA yang terbentuk.
5. Sintesis protein (translasi) yaitu molekul Rna yang terbentuk menerjemahkan informasi genetik ke dalam proses pembentukan protein. Pada tahap ini asam-asam amino secara berurutandiikat satu dengan yng lain, sesuai pesan yang

diberikan DNA. Berlangsung diribosom dan melalui 5 tahapan reaksi yakni aktivasi asam amino; inisiasi rantai polipeptida, pemanjangan (elongasi) rantai polipeptida; terminasi dan pembebasan rantai polipeptida serta tahap pelipatan dan pengolahan

BAB 3

METABOLISME

PROTEIN DAN ASAM AMINO

PENDAHULUAN

Deskripsi Singkat

Bab ini membahas tentang pengertian protein, fungsi dan struktur protein serta katabolisme dan anabolisme protein dan asam amino.

Relevansi

Pembahasan bab ini sangat berhubungan dengan metabolisme protein dan asam amino. Mahasiswa akan mengetahui bagaimana hubungan antara protein dan asam amino. Pemahaman tentang protein sebagai suatu unsur seluler utama akan mengungkapkan bagaimana senyawa ini sangat penting dalam sistem hidup

Tujuan

Setelah mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan dapat :

Menjelaskan pengertian

- a. Mengetahu definisi , struktur dan fungsi protein
- b. Mengetahui tahapan proses metabolisme protein
- c. Mendiskripsikan tahapan proses metabolisme asam amino

PEMBAHASAN

Istilah protein diperkenalkan dalam tahun 1830-an oleh kimiawan Belanda bernama Mulder. Protein berasal dari bahasa Yunani *proteios* yang berarti barisan pertama atau utama (Jons J. Berzelius 1938). Protein merupakan biomolekul polipeptida yang mengandung nitrogen dengan bobot molekul berkisar antara 5.000 hingga 1.000.000 lebh. Peptida tersusun dari beberapa asam amino dan merupakan rantai dimana gugus karboksil asam amino yang satu dihubungkan dengan gugus amino dari asam amino lainnya melalui suatu ikatan peptida. Sintesis ikatan peptida ini terjadi dalam sel melalui suatu tahapan reaksi yang sangat kompleks. Protein merupakan suatu unsur seluler utama, meliputi kira-kira

50% berat kering sel. Protein adalah sumber asam-asam amino yang mengandung unsur-unsur C, H, O, dan N yang tidak dimiliki oleh lemak atau karbohidrat. Molekul protein mengandung fosfor, belerang, dan ada jenis protein yang mengandung unsur logam seperti besi dan tembaga. Tahapan metabolisme protein dan asam amino perlu untuk dipelajari agar dapat membantu memahami proses yang terjadi selama metabolisme protein dan asam amino hingga menghasilkan energi dan CO₂.

3.1. Fungsi dan Struktur Protein

Protein adalah suatu zat makanan yang amat penting bagi tubuh, karena zat ini disamping berfungsi sebagai bahan bakar dalam tubuh juga berfungsi sebagai zat pembangun dan pengatur. Molekul protein mempunyai tingkat keanekaragaman yang sangat tinggi, sehingga protein dapat digolongkan berdasarkan sifat-sifatnya, salah satunya berdasarkan fungsi biologis yaitu :

- 1) Katalis enzimatik; hampir semua reaksi kimia dalam sel hidup dikatalisis oleh makromolekul spesifik yang disebut enzim
- 2) Transpor dan penyimpanan; berbagai molekul kecil dan ion ditransport oleh protein spesifik mis. Transpor oksigen dalam eritrosit oleh hemoglobin, besi dalam plasma darah terikat pada transferin dan disimpan di hati dalam bentuk kompleks feritin
- 3) Koordinasi gerak; kontraksi otot berlangsung akibat pergeseran dua jenis filamen protein dan pergerakan kromosom pada mitosis dan gerak sperma oleh flagela.
- 4) Penunjang mekanis; ketegangan kulit dan tulang disebabkan oleh adanya kolagen sejenis protein fibrosa.
- 5) Proteksi imun; antibodi merupakan protein yang dapat mengenal benda asing seperti virus, bakteri dll.
- 6) Membangkitkan dan menghantar impuls syaraf; respon sel syaraf terhadap rangsang spesifik diperantarai oleh protein reseptor.
- 7) Pengaturan pertumbuhan dan diferensiasi; pengaturan urutan ekspresi informasi genetik penting untuk pertumbuhan serta diferensiasi sel.

Beberapa faktor yang mempengaruhi struktur sebuah protein ialah:

- 1) Ikatan peptida yang terletak pada satu bidang datar.
- 2) Rotasi sumbu C- N dan rotasi C - C.
- 3) Gugus R yang berupa bagian dari asam amino polar, polar tanpa muatan dan yang bermuatan negatif atau positif.

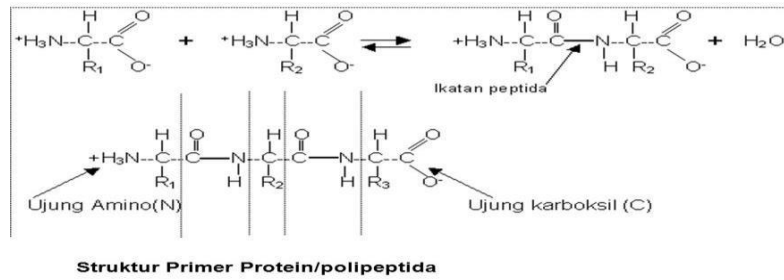
Residu asam amino yang tidak bermuatan merupakan tempat ikatan hidrogen sebuah molekul protein. Beberapa asam amino memegang peranan sangat istimewa dalam melokul protein diantaranya :

- 1) Sistein berfungsi sebagai penghubung di dalam suatu rantai peptida atau dengan rantai peptida lainnya melalui ikatan kovalen disulfida. Contohnya adalah insulin. Sedangkan dalam bentuk teeduksi residu sistein pada sejumlah molekul enzim merupakan tempat dimana substrat mengikat enzim tersebut.
- 2) Histidin dengan pasangan elektron pada cincin nitrogennya dapat berfungsi sebagai ligan yang potensial, misalnya pada protein yang mengandung Fe seperti hemoglobin dan sitokrom C.
- 3) Lisin, berfungsi sebagai pengikat antar fofat, piridoksal dengan biotin dan merupakan daerah yang aktif bagi beberapa enzim.
- 4) Prolin, secara relatif merupakan cincin yang kaku sehingga memaksa rantai polipeptidamembengkok. Karena itu merupakan pengganggu alfa-heliks.
- 5) Asam amino polar seperti glutamat, aspartat, arginin, lisin, dan histidin dapat berupa ion dalam daerah pH yang luas karena itu membentuk ikatan ionik dalam struktur protein.

Struktur protein paling sedikit dapat dikelompokkan menjadi 4 tingkatan struktur dasar.

1. Struktur primer (Struktur Utama)

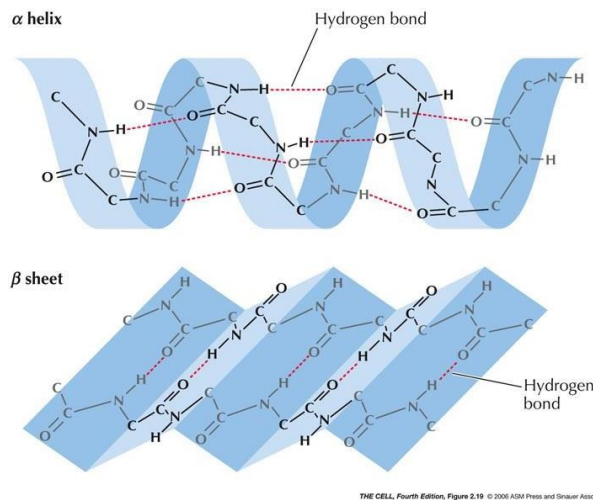
Pada struktur primer ini ikatan antar asam amino hanya ikatan peptida. Disini tidak terdapat ikatan atau kekuatan lain yang menghubungkan asam amino yang satu dengan lain. Dengan kata lain merujuk pada struktur linier dari residu-residu asam amino sepanjang rantaipolipeptida.



Gambar 3.1 Struktur Primer Protein

2. Struktur Sekunder

Istilah ini dipakai untuk struktur protein dimana rantai asam amino bukan hanya dihubungkan oleh ikatan peptida tetapi juga diperkuat oleh ikatan hidrogen. *Struktur sekunder* merujuk kestruktur dua dimensi dari molekul protein dimana terjadi ‘*folding*’ (melipat) dari yang beraturan seperti -heliks atau -sheet (lipatan beta).

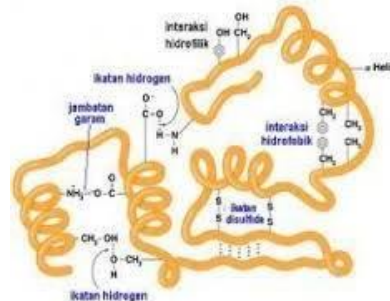


Gambar 3.2 Rantai polipeptida dengan konfigurasi α -heliks dan β -sheet

3. Struktur Tersier

Merupakan tiga dimensi yang sederhana dari rantai polipeptida. Polipeptida dengan struktur ini disamping telah melakukan folding membentuk struktur α -heliks maupun β -sheet. Dalam hal ini rantai polipeptida cenderung untuk membelit atau melipat membentuk struktur yang kompleks. Kestabilan struktur ini bergantung pada gugus R pada setiap asam amino yang membentuknya, dan distabilkan oleh ikatan hidrogen, ikatan sulfida, interaksi hidrofilik, interaksi

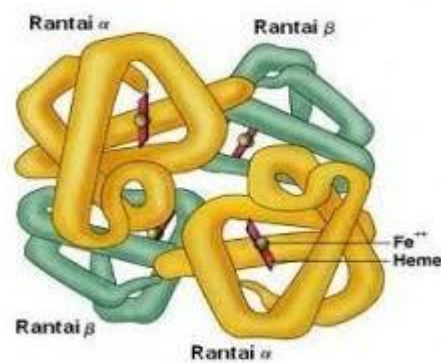
hidrofobik dan interaksi diol-dipol. Konformasi rantai polipeptida ini menentukan kekhasan suatu protein dan sangat berpengaruh pada aktivitas katalik enzim secara khusus. Bentuk ini disebut protomer.



Gambar 3.3. Struktur Tersier

4. Struktur Kuartener

Molekul protein ini terbentuk dari beberapa bentuk tersier dan bisa terdiri dari protomer yang sama (homogenus) atau protomer yang berlainan (heterogen) . Protein yang dibentuk oleh protomer ini disebut oligoprotomer. Contohnya hemoglobin yakni oligoprotomer yang heterogen sedangkan enzim fosforilase termasuk oligoprotomer yang homogen.

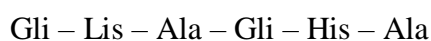


Gambar 3.4 Sebuah sketsa untuk menggambarkan lipatan dan belitan rantai peptida struktur kuartener

Masing-masing molekul protein bersama-sama berinteraksi secara non kovalen membentuk suatu kompleks yang simetrik. Kompleks semacam ini disebut oligomer.

Susunan asam amino yang menyusun suatu rantai protein menentukan

struktur primer protein tersebut. Untuk menentukan struktur ini diperlukan metode kimia, tetapi untuk menentukan susunan yang lebih lanjut lagi diperlukan teknik fisika, misalnya *X-ray crystallography*. Jika macam asam amino telah diketahui begitu juga jumlah dan susunannya, maka bentuk struktur protein dapat diketahui dengan tepat. Biasanya dapat dilukiskan sebagai berikut



Jika ada bagian yang belum diyakini betul susunannya dapat ditulis dengan memberi tandakurung pada bagian yang belum diyakini :



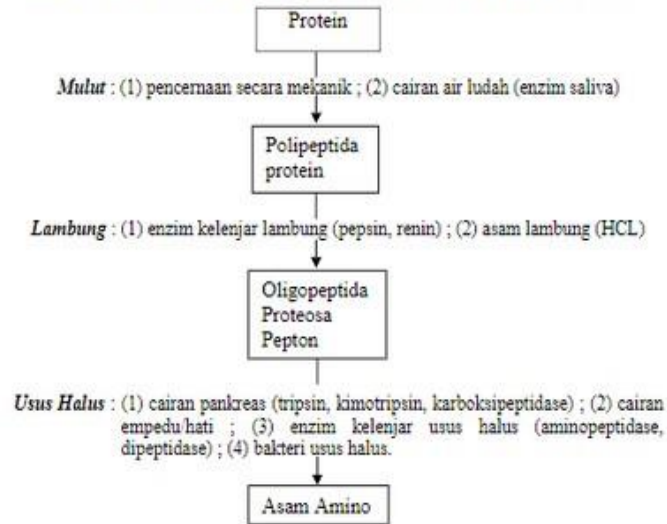
Jadi untuk mendapatkan susunan yang tepat asam amino yang membangun molekul suatu protein harus ditentukan dengan cara:

- Penentuan kualitatif dan kuantitatif berbagai asam aminonya
- Penentuan susunan asam amino

3.2. Katabolisme Protein

Proses Katalisis protein menjadi asam amino terjadi pada saluran pencernaan di dalam tubuh. Proses pencernaan ini terjadi di mulut, lambung, dan usus halus hingga asam amino di angkut ke dalam darah. Di dalam mulut terjadi pencernaan protein secara mekanik dan enzimatis oleh enzim, saliva, (cairan air ludah) menjadi polipeptida protein, selanjutnya polipeptida protein di dalam lambung dikatalisis oleh enzim kelenjar lambung (pepsin, renin) dan asam lambung (HCL) menjadi oligopeptida, proteosa, dan pepton yang selanjutnya dikatalisis oleh cairan pankreas (tripsin, kimotripsin, karboksipeptidase) cairan empedu/hati, enzim kelenjar usus halus (aminopeptidase, dipeptidase), dan bakteri usus halus hingga menjadi asam amino di dalam darah dan limfa.

Tahapan Katalisis Protein menjadi Asam Amino di dalam saluran Pencernaan

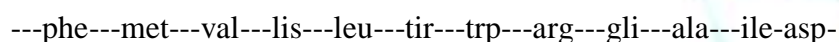


Gambar 3.5. Tahapan katabolisme protein

Setelah protein diubah menjadi asam-asam amino, maka dengan proses absorpsi melalui dinding usus, asam amino tersebut sampai ke dalam pembuluh darah. Proses absorpsi ini ialah proses transpor aktif yang memerlukan energi. Asam-asam amino dikarboksilat atau asam diamino diabsorpsi lebih lambat daripada asam amino netral. Degradasi protein (katabolisme) terjadi dalam dua tahap.

- Protein mengalami modifikasi oksidatif untuk menghilangkan aktivitas enzimatis.
- Penyerangan protease yaitu enzim yang berfungsi untuk mengkatalis degradasi protein

Protein yang terdapat di dalam sel dan makanan didegradasi menjadi monomer penyusunnya (asam amino) oleh enzim protease yang khas. Protease tersebut dapat berada di dalam lisosom maupun dalam lambung dan usus. Katabolisme protein makanan pertama kali berlangsung di dalam lambung. Di tempat ini protease khas (pepsin) mendegradasi protein dengan memutuskan ikatan peptida yang ada di sisi NH₂ bebas dari asam amino aromatik, hidrofobik, atau dikarboksilat.



Kemudian di dalam usus protein juga didegradasi oleh protease khas seperti tripsin, kimotripsin, karboksipeptidase dan elastase. Hasil pemecahan ini adalah bagian-bagian kecil polipeptida. Selanjutnya senyawa ini dipecah kembali oleh

aktivitas aminopeptidase menjadi asam-asam amino bebas. Produk ini kemudian melalui dinding usus halus masuk ke dalam aliran darah menuju ke berbagai organ termasuk ke dalam sel. Pepsin, kimotripsin, tripsin termasuk golongan enzim protease endopeptidase. Golongan enzim ini menyerang protein dari tengahmolekul dan sering juga disebut sebagai enzim proteinase karena menyerang polipeptida tinggi atau protein. Tripsin menyerang ikatan lisil dan ikatan arginil sehingga peptida yang dihasilkan mempunyai ujung lisin atau arginin pada terminal karboksil. Pepsin bersifat kurang khas namun lebih mengutamakan serangan pada titik asam amino aromatik atau asam amino asam. Hasil degradasi golongan enzim endopeptidase ini adalah oligopeptida atau fragmen kecil protein. Sedangkan enzim karboksilase clan aminopeptidase merupakan golongan enzim protease eksopeptidase yang menyerang ujung dan pangkal oligopeptida atau fragmen kecil protein. Golongan enzim ini hanya membebaskan asam-asam amino pada ujung oligopeptida. Karboksipeptidase membebaskan asam amino pada ujung COOH fragmen kecil protein sedangkan aminopeptidase membebaskan ujung amino pada oligopeptida. Degradasi golongan enzim ini menghasilkan berbagai asam amino penyusun protein.

Mekanisme degradasi pada jasad hidup tingkat rendah kebanyakan juga dilakukan dengan cara yang sama. Dan enzim-enzim yang digunakan juga serupa. Walaupun demikian masing-masing enzim mempunyai spesifitas yang berbeda. Golongan enzim ini hanya membebaskan asam-asam amino pada ujung oligopeptida. Karboksipeptidase membebaskan asam amino pada ujung COOH fragmen kecil protein sedangkan aminopeptidase membebaskan ujung amino pada oligopeptida. Degradasi golongan enzim ini menghasilkan berbagai asam amino penyusun protein.

Dalam proses katabolisme protein maka akan dihasilkan amonia sebagai hasil deaminasi oksidatif, zat ini merupakan bahan yang bersifat racun dan harus dikeluarkan dari tubuh. Pada makhluk hidup, sebagian besar dikeluarkan melalui dua jalan kecil dalam tubuhnya yaitu :

- 1) Amonia dengan asam glutamat dalam hati, untuk membentuk glutamin membutuhkan ATP, ditransfer ke ginjal dan kemudian dipisahkan kembali

menjadi glutamat dan amonia. Akhirnya dieksreskan ke urine sebagai garam amonium (NH_4^+ .)

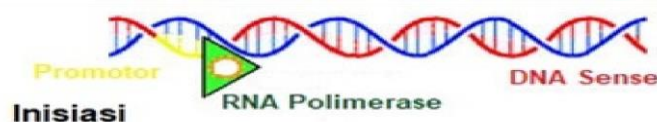
- 2) Amonia dengan karbondioksida untuk membentuk carbamil, yang kemudian difosforilasi menjadi karbamoil fosfat, sebuah reaksi yang membutuhkan dua ATP. Karbamoil fosfat kemudian masuk ke dalam siklus ornithin urea.

3.3. Anabolisme Protein

Sintesis protein melibatkan DNA sebagai pembuat rantai polipeptida. Meskipun begitu, DNA tidak dapat secara langsung menyusun rantai polipeptida karena harus melalui RNA. Seperti yang telah kita ketahui bahwa DNA merupakan bahan informasi genetik yang dapat diwariskan dari generasi ke generasi. Informasi yang dikode di dalam gen diterjemahkan menjadi urutan asam amino selama sintesis protein. Informasi ditransfer secara akurat dari DNA melalui RNA untuk menghasilkan polipeptida dari urutan asam amino yang spesifik. Suatu konsep dasar hereditas yang mampu menentukan ciri spesifik suatu jenis makhluk menunjukkan adanya aliran informasi bahan genetik dari DNA ke asam amino (protein). Konsep tersebut dikenal dengan dogma genetik. Tahap pertama dogma genetik dikenal sebagai proses transkripsi DNA menjadi mRNA. Tahap kedua dogma genetik adalah proses translasi atau penerjemahan kode genetik pada RNA menjadi urutan asam amino.

Translasi adalah proses penerjemahan kode genetik oleh tRNA ke dalam urutan asam amino. Translasi terdiri dari tiga tahap yaitu Inisiasi, elongasi, dan terminasi. Semua tahapan ini memerlukan faktor-faktor protein yang membantu mRNA, tRNA, dan ribosom selama proses translasi. Inisiasi dan elongasi rantai polipeptida juga membutuhkan sejumlah energi. Energi ini disediakan oleh GTP (guanosin triphosphat), suatu molekul yang mirip dengan ATP.

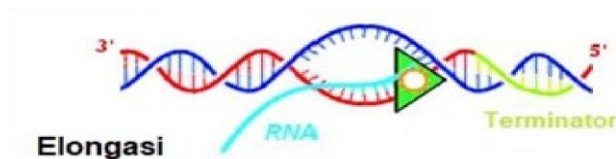
1. Inisiasi



Tahap inisiasi terjadi karena adanya tiga komponen yaitu mRNA, sebuah tRNA yang memuat asam amino pertama dari polipeptida, dan dua sub unit ribosom. mRNA yang keluar dari nukleus menuju sitoplasma didatangi oleh ribosom, kemudian mRNA masuk ke dalam “celah” ribosom. Ketika mRNA masuk ke ribosom, ribosom “membaca” kodon yang masuk.

Pembacaan dilakukan untuk setiap 3 urutan basa hingga selesai seluruhnya. Sebagai catatan ribosom yang datang untuk membaca kodon biasanya tidak hanya satu, melainkan beberapa ribosom yang dikenal sebagai polisom membentuk rangkaian mirip tusuk satu, di mana tusuknya adalah “mRNA” dan daging adalah “ribosomnya”. Dengan demikian, proses pembacaan kodon dapat berlangsung secara berurutan. Ketika kodon I terbaca ribosom (misal kodonnya AUG), tRNA yang membawa antikodon UAC dan asam amino metionin datang. tRNA masuk ke celah ribosom. Ribosom di sini berfungsi untuk memudahkan perlekatan yang spesifik antara antikodon tRNA dengan kodon mRNA selama sintesis protein. Subunit ribosom dibangun oleh protein-protein dan molekulmolekul RNA ribosomal.

2. Elongasi



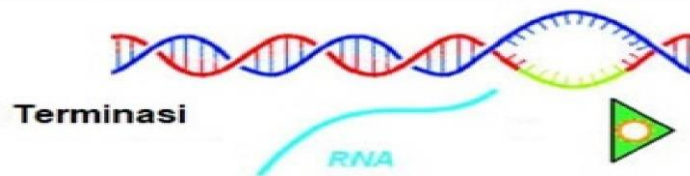
Pada tahap elongasi dari translasi, asam amino-asam amino ditambahkan satu per satu pada asam amino pertama (metionin). Ribosom terus bergeser agar mRNA lebih masuk, guna membaca kodon I.

Ribosom terus bergeser, membaca kodon III. Misalkan kodon III GAG, segera diterjemahkan oleh antikodon CUC sambil membawa asam amino glisin. tRNA tersebut masuk ke ribosom. Asam amino glisin dirangkaikan dengan dipeptida yang telah terbentuk sehingga membentuk tripeptida. Demikian seterusnya proses pembacaan kode genetika itu berlangsung di dalam ribosom, yang diterjemahkan ke dalam bentuk asam amino guna dirangkai menjadi polipeptida.

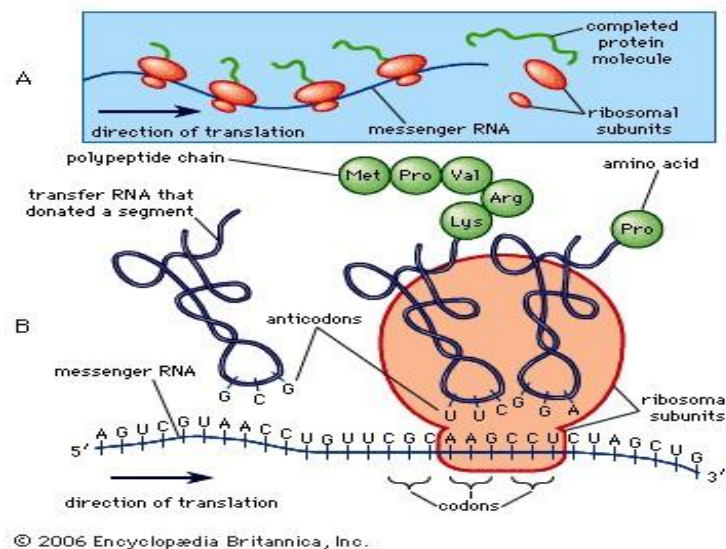
Kodon mRNA pada ribosom membentuk ikatan hidrogen dengan antikodon molekul tRNA yang baru masuk yang membawa asam amino yang tepat. Molekul

mRNA yang telah melepaskan asam amino akan kembali ke sitoplasma untuk mengulangi kembali pengangkutan asam amino. Molekul rRNA dari sub unit ribosom besar berfungsi sebagai enzim, yaitu mengkatalisis pembentukan ikatan peptida yang menggabungkan polipeptida yang memanjang ke asam amino yang baru tiba.

3. Terminasi



Tahap akhir translasi adalah terminasi. Elongasi berlanjut hingga kodon stop mencapai ribosom. Triplet basa kodon stop adalah UAA, UAG, dan UGA. Kodon stop tidak mengkode suatu asam amino melainkan bertindak sinyal untuk menghentikan translasi. Polipeptida yang dibentuk kemudian “diproses” menjadi protein. Berikut gambar dari proses biosintesis protein.



Gambar 3.6. Biosintesis protein

3.4. Katabolisme Asam Amino

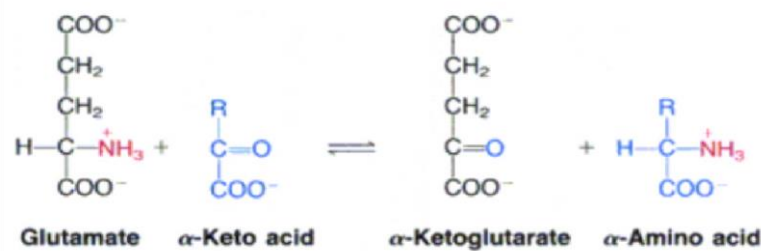
Asam-asam amino tidak dapat disimpan oleh tubuh. Jika jumlah asam amino berlebihan atau terjadi kekurangan sumber energi lain (karbohidrat dan protein), tubuh akan menggunakan asam amino sebagai sumber energi. Tidak

seperti karbohidrat dan lipid, asam amino memerlukan pelepasan gugus amin. Gugus amin ini kemudian dibuang karena bersifat toksik bagi tubuh.

Ada 2 tahap pelepasan gugus amin dari asam amino, yaitu:

1. Transaminasi

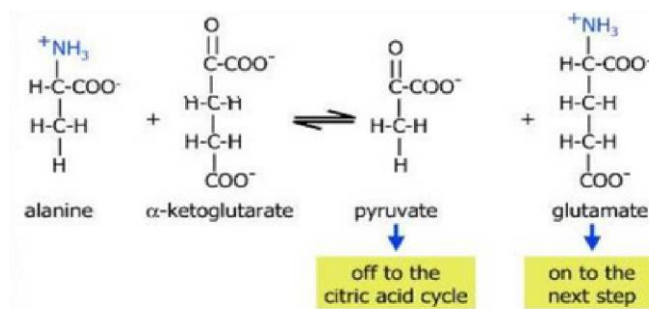
Proses Transaminasi adalah proses yang mana suatu gugus amino dipindahkan biasanya dari Glu menjadi suatu α -keto acid dan reaksi ini menghasilkan asam amino yang terkait plus α -ketoglutarat. Reaksi Transaminasi dikatalis oleh enzim transaminase (*aminotransferase*).



Enzim aminotransferase memindahkan amin kepada α -ketoglutarat menghasilkan glutamat atau kepada oksaloasetat menghasilkan aspartat.

2. Deaminasi oksidatif

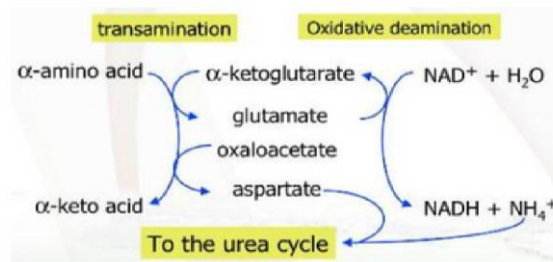
Pelepasan amin dari glutamat menghasilkan ion amonium



Contoh reaksi transaminasi. Perhatikan alanin mengalami transaminasi menjadi glutamat. Pada reaksi ini dibutuhkan enzim alanin aminotransferase.

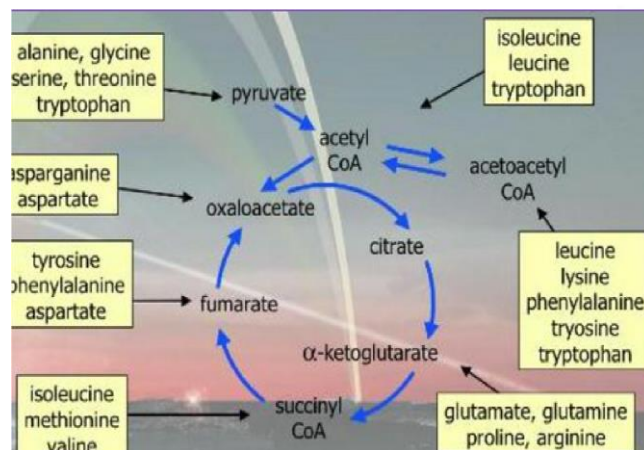
Glutamat juga dapat memindahkan amin ke rantai karbon lainnya, menghasilkan asam amino baru.

Contoh reaksi deaminasi oksidatif. Glutamat mengalami deaminasi menghasilkan amonium (NH_4^+). Selanjutnya ion amonium masuk ke dalam siklus urea.



Ringkasan skematik mengenai reaksi transaminasi dan deaminasi oksidatif

Setelah mengalami pelepasan gugus amin, asam-asam amino dapat memasuki siklus asam sitrat melalui jalur yang beraneka ragam.

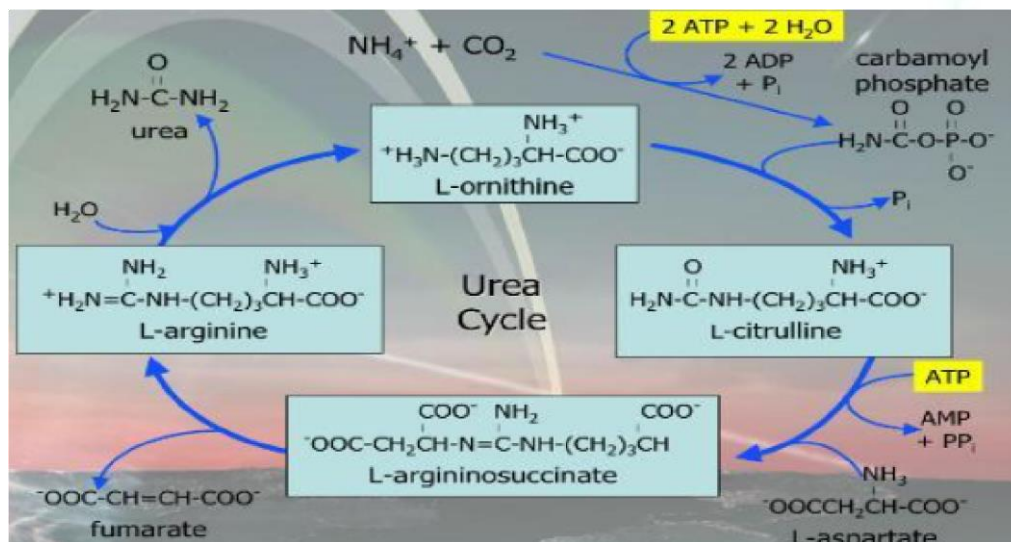


Gambar 3.7. Tempat-tempat asam amino ke dalam siklus asam sitrat untuk produksi energi

Gugus-gugus amin dilepaskan menjadi ion amonium (NH_4^+) yang selanjutnya masuk ke dalam siklus urea di hati. Dalam siklus ini dihasilkan urea yang selanjutnya dibuang melalui ginjal berupa urin. Proses yang terjadi di dalam siklus urea digambarkan terdiri atas beberapa tahap yaitu:

- Dengan peran enzim karbamoil fosfat sintase I, ion amonium bereaksi dengan CO_2 menghasilkan karbamoil fosfat. Dalam reaksi ini diperlukan energi dari ATP
- Dengan peran enzim ornitin transkarbamoilase, karbamoil fosfat bereaksi dengan L-ornitin menghasilkan L-sitrulin dan gugus fosfat dilepaskan
- Dengan peran enzim argininosuksinat sintase, L-sitrulin bereaksi dengan L-aspartat menghasilkan L-argininosuksinat. Reaksi ini membutuhkan energi dari ATP

- d. Dengan peran enzim argininosuksinat liase, L-argininosuksinat dipecah menjadi fumarat dan L-arginin
- e. Dengan peran enzim arginase, penambahan H₂O terhadap L-arginin akan menghasilkan L-ornitin dan urea.



Gambar 3.8. Tahapan-tahapan proses yang terjadi di dalam siklus urea

NH₃ merupakan racun bagi tubuh, tetapi tidak dapat dibuang oleh ginjal. NH₃ terlebih dahulu harus diubah menjadi urea di dalam hati sehingga ginjal dapat mengeluarkannya dalam bentuk urine.

3.5. Anabolisme Asam Amino

Semua jaringan memiliki kemampuan untuk mensintesis asam amino non esensial, melakukan remodeling asam amino, serta mengubah rangka karbon non asam amino menjadi asam amino dan turunan lain yang nitrogen. Tetapi, hati merupakan tempat utama metabolisme nitrogen. Dalam kondisi surplus diet, nitrogen toksik potensial dari asam amino dikeluarkan melalui transaminasi, deaminasi dan pembentukan urea. Rangka karbon umumnya diubah menjadi karbohidrat melalui jalur glukoneogenesis, atau menjadi asam lemak melalui jalur sintesis asam lemak. Berkaitan dengan hal ini, asam amino dikelompokkan menjadi 3 kategori yaitu asam amino glukogenik, ketogenik serta glukogenik dan ketogenik.

Asam amino glukogenik adalah asam-asam amino yang dapat masuk ke jalur produksi piruvat atau intermediat siklus asam sitrat seperti α ketoglutarat atau oksaloasetat. Semua asam amino ini merupakan prekursor untuk glukosa melalui

jalur glukoneogenesis. Semua asam amino kecuali lisin dan leusin mengandung sifat glukogenik. Lisin dan leusin adalah asam amino yang semata-mata ketogenik, yang hanya dapat masuk ke Intermediat asetil KoA atau asetoasetil KoA.

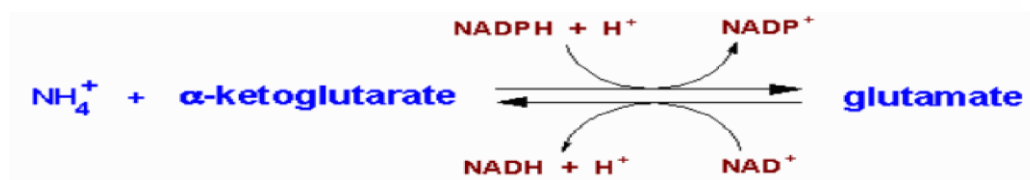
Sekelompok kecil asam amino yaitu isoleusin, fenilalanin, threonin, triptofan, dan tirosin bersifat glukogenik dan ketogenik. Akhirnya, seharusnya kita kenal bahwa ada 3 kemungkinan penggunaan asam amino. Selama keadaan kelaparan pengurangan rangka karbon digunakan untuk menghasilkan energi, dengan proses oksidasi menjadi CO₂ dan H₂O.

Dari 20 jenis asam amino, ada yang tidak dapat disintesis oleh tubuh kita sehingga harus ada di dalam makanan yang kita makan. Asam amino ini dinamakan asam amino esensial. Selebihnya adalah asam amino yang dapat disintesis dari asam amino lain. Asam amino ini dinamakan asam amino non-esensial.

Asam amino non-esensial	Alanine, Asparagine, Aspartate, Cysteine, Glutamate, Glutamine, Glycine, Proline, Serine, Tyrosine
Asam amino esensial	Arginine*, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Methionine*, Phenylalanine*, Threonine, Tyrtophan, Valine

a. Biosintesis Glutamat dan Aspartat

Glutamat dan aspartat disintesis dari asam α -keto dengan reaksi tranaminasi sederhana. Katalisator reaksi ini adalah enzim glutamat dehidrogenase dan selanjutnya oleh aspartat aminotransferase, AST.



Gambar 3.9. Reaksi Biosintesis Glutamate

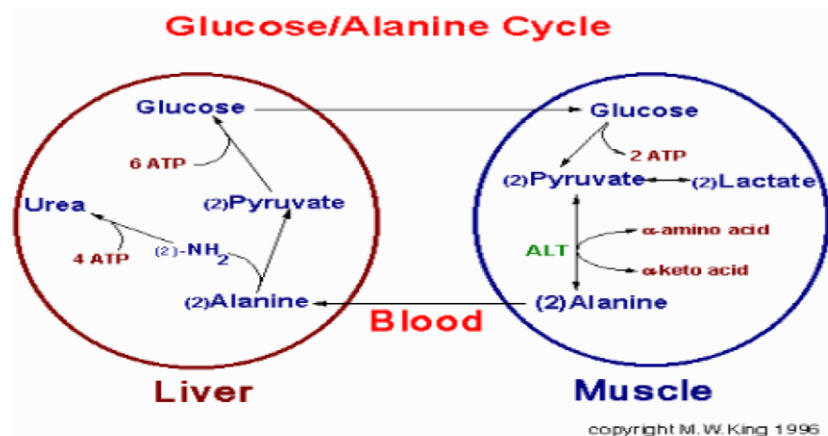
Aspartat juga diturunkan dari asparagin dengan bantuan asparaginase. Peran penting glutamat adalah sebagai donor amino intraseluler utama untuk reaksi transaminasi. Sedangkan aspartat adalah sebagai prekursor ornitin untuk siklus urea.

b. Biosintesis Alanin

Alanin dipindahkan ke sirkulasi oleh berbagai jaringan, tetapi umumnya oleh otot. Alanin dibentuk dari piruvat. Hati mengakumulasi alanin plasma, kebalikan transaminasi yang terjadi di otot dan secara proporsional meningkatkan produksi urea. Alanin dipindahkan dari otot ke hati bersamaan dengan transportasi glukosa dari hati kembali ke otot. Proses ini dinamakan siklus glukosa-alanin. Fitur kunci dari siklus ini adalah bahwa dalam 1 molekul, alanin, jaringan perifer mengeksport piruvat dan amonia ke hati, di mana rangka karbon didaur ulang dan mayoritas nitrogen dieliminir.

Ada 2 jalur utama untuk memproduksi alanin otot yaitu:

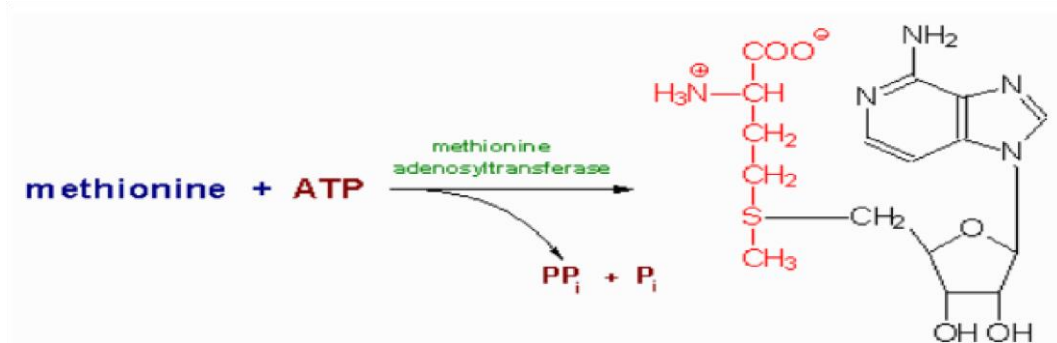
- (1) Secara langsung melalui degradasi protein
- (2) Melalui transaminasi piruvat dengan bantuan enzim alanin transaminase, ALT (juga dikenal sebagai serum glutamatpiruvat transaminase, SGPT).



Gambar 3.10 Siklus glukosa alanine

c. Biosintesis Sistein

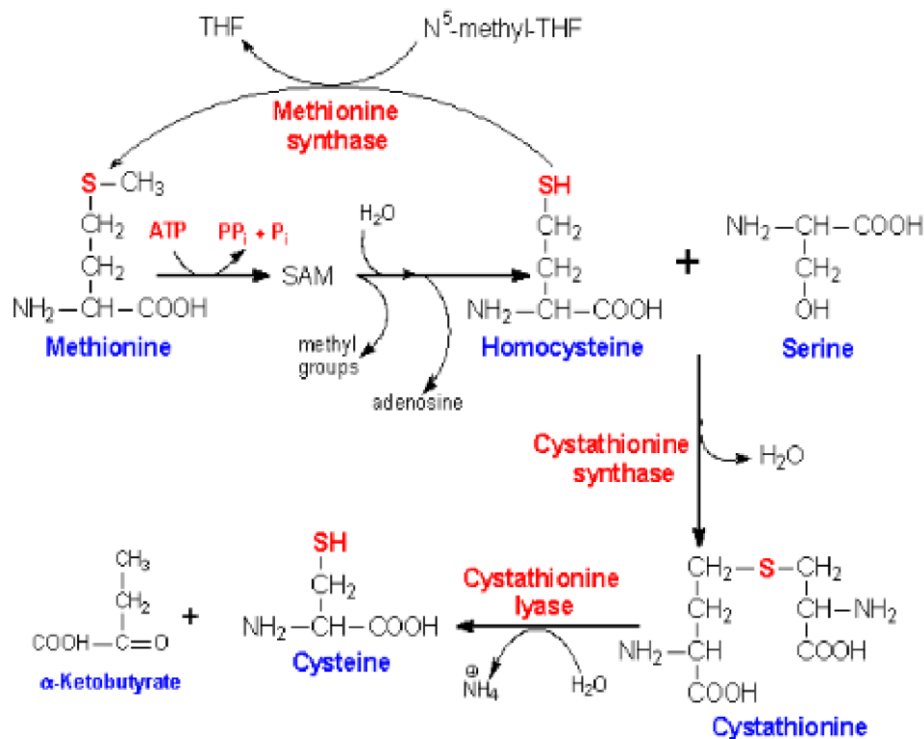
Sulfur untuk sintesis sistein berasal dari metionin. Kondensasi dari ATP dan metionin dikatalisis oleh enzim metionin adenosiltransfrease menghasilkan S-adenosilmetionin (SAM).



Gambar 3.11 Biosintesis S-adenosilmetionin (SAM)

SAM merupakan precursor untuk sejumlah reaksi transfer metil (misalnya konversi norepinefrin menjadi epinefrin). Akibat dari tranfer metil adalah perubahan SAM menjadi S-adenosilhomosistein. S-adenosilhomosistein selanjutnya berubah menjadi homosistein dan adenosin dengan bantuan enzim adenosil homosisteinase. Homosistein dapat diubah kembali menjadi metionin oleh metionin sintase. Reaksi transmetilasi melibatkan SAM sangatlah penting, tetapi dalam kasus ini peran S-adenosilmetionin dalam transmetilasi adalah sekunder untuk produksi homosistein (secara esensial oleh produk dari aktivitas transmetilase). Dalam produksi SAM, semua fosfat dari ATP hilang: 1 sebagai P_i dan 2 sebagai P_{pp}. Adenosin diubah menjadi metionin bukan AMP.

Dalam sintesis sistein, homosistein berkondensasi dengan serin menghasilkan sistationin dengan bantuan enzim sistationase. Selanjutnya dengan bantuan enzim sistationin liase sistationin diubah menjadi sistein dan α-ketobutirat. Gabungan dari 2 reaksi terakhir ini dikenal sebagai transsulfurasi.



Gambar 3.12 Peran metionin dalam sintesis sistein

d. Biosintesis Tirosin

Tirosin diproduksi di dalam sel dengan hidroksilasi fenilalanin. Setengah dari fenilalanin dibutuhkan untuk memproduksi tirosin. Jika diet kita kaya tirosin, hal ini akan mengurangi kebutuhan fenilalanin sampai dengan 50%.

Fenilalanin hidroksilase adalah campuran fungsi oksigenase: 1 atom oksigen digabungkan ke air dan lainnya ke gugus hidroksil dari tirosin. Reduktan yang dihasilkan adalah tetrahidrofolat kofaktor tetrahidrobiopterin, yang dipertahankan dalam status tereduksi oleh NADH dependent enzyme dihydropteridine reductase (DHPR).

e. Biosintesis Ornitin dan Prolin

Glutamat adalah prekursor ornitin dan prolin. Dengan glutamat semialdehid menjadi intermediat titik cabang menjadi satu dari 2 produk atau lainnya. Ornitin bukan salah satu dari 20 asam amino yang digunakan untuk sintesis protein.

Ornitin memainkan peran signifikan sebagai akseptor karbamoil fosfat dalam siklus urea. Ornitin memiliki peran penting tambahan sebagai prekursor untuk

sintesis poliamin. Produksi ornitin dari glutamat penting ketika diet arginin sebagai sumber lain untuk ornitin terbatas.

f. Biosintesis Serin

Jalur utama untuk serin dimulai dari intermediat glikolitik 3fosfoglisarat. NADH-linked dehidrogenase mengubah 3fosfoglisarat menjadi sebuah asam keto yaitu 3-fosfopiruvat, sesuai untuk transaminasi subsekuen. Aktivitas aminotransferase dengan glutamat sebagai donor menghasilkan 3-fosfoserin, yang diubah menjadi serin oleh fosfoserin fosfatase.

g. Biosintesis Glisin

Jalur utama untuk glisin adalah 1 tahap reaksi yang dikatalisis oleh serin hidroksimetiltransferase. Reaksi ini melibatkan transfer gugus hidroksimetil dari serin untuk kofaktor tetrahidrofolat (THF), menghasilkan glisin dan N⁵, N¹⁰-metilen-THF.

h. Biosintesis Aspartat, Asparagin, Glutamat dan Glutamin

Glutamat disintesis dengan aminasi reduktif α -ketoglutarat yang dikatalisis oleh glutamat dehidrogenase yang merupakan reaksi nitrogen-fixing. Glutamat juga dihasilkan oleh reaksi aminotransferase, yang dalam hal ini nitrogen amino diberikan oleh sejumlah asam amino lain. Sehingga, glutamat merupakan kolektor umum nitrogen amino.

Aspartat dibentuk dalam reaksi transaminasi yang dikatalisis oleh aspartat transaminase, AST. Reaksi ini menggunakan analog asam α keto aspartat, oksaloasetat, dan glutamat sebagai donor amino. Aspartat juga dapat dibentuk dengan deaminasi asparagin yang dikatalisis oleh asparaginase.

Asparagin sintetase dan glutamin sintetase mengkatalisis produksi asparagin dan glutamin dari asam α -amino yang sesuai. Glutamin dihasilkan dari glutamat dengan inkorporasi langsung amonia dan ini merupakan reaksi fixing nitrogen lain. Tetapi asparagin terbentuk oleh reaksi amidotransferase.

- Metabolisme terdiri dari proses katabolisme (penguraian) dan proses anabolisme (pembentukan)
- Proses katabolisme protein menjadi asam amino terjadi pada tahap pencernaan, meliputi mulut, lambung dan usus halus • Proses anabolisme

protein melibatkan rRNA, mRNA dan tRNA sehingga menghasilkan sebuah protein

- Terdapat 2 tahap pelepasan gugus amino dari asam amino, yaitu transaminasi dan deaminasi oksidatif
- NH₃ hasil katabolisme asam amino diubah menjadi urea di dalam hati sehingga ginjal dapat mengeluarkannya dalam bentuk urine
- Asam amino terdiri dari asam amino esensial dan asam amino non esensial
- Asam amino esensial terdiri dari : Arginine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Methionine, Phenylalanine, Threonine, Tyrtophan, dan Valin
- Asam amino Non-Esensial terdiri dari : Alanine, Asparagine, Aspartate, Cysteine, Glutamate, Glutamine, Glycine, Proline, Serine, dan Tyrosine; serta Asam amino yang dapat disintesis di dalam tubuh adalah asam amino non-esensial.

Latihan Soal

1. Apa yang dimaksud dengan asam amino esensial dan non esensial, berikan contohnya.
2. Glisin merupakan asam amino yang terlindungi selama evplusi protein, mengapa?
3. Protease merupakan enzim yang mengkatalisis hidrolisis ikatan peptida protein-protein sasaran. Bagaimana suatu protease mengikat protein sasaran sehingga rantai utama menjadi terbentang lurus pada daerah ikatan peptida yang mudah putus.
4. Jelaskan mengapa asam amino bisa bermuatan positif dan negative dengan dapat memutar bidang polarisasi cahaya.
5. Faktor-faktor apa yang menentukan keberhasilan kita dalam memisahkan asam-asam amino dengan kromatografi kertas.
- 6.

Jawaban

1. Jika dikaji dari segi pembentukan asam amino dibagi atas dua golongan yakni

asam amino esensial (asam amino yang tidak dapat dibuat atau disintesis dalam tubuh) sehingga harus diperoleh dari makanan sumber protein contohnya arginin, histidin, isoleusin, leusin, lisin, metionin, phenilalanin, treonin, triptofan dan valin. Sedangkan *asam amino non esensial* (asam amino yang dapat disintesis dalam tubuh) contohnya adalah alanin, prolin, glisin, serin, sistein, tirosin, asparagin, glutamin, asam aspartat, dan asam glutamat.

2. Glisin merupakan asam amino dengan rantai samping yang paling kecil. Rantai samping yang kecil ini sering penting untuk membuat belokan tajam pada rantai polipeptida atau untuk mendekati rantai polipeptida lainnya.
3. Suatu segmen rantai utama protease dapat berikatan hidrogen dengan utama substrat membentuk perpanjangan pasangan paralel atau antiparalel untai \square .
4. Karena asam amino memiliki atom C pusat kiral yang bisa membentuk enantiomer atau stereoisomer sehingga ditemukan dalam bentuk levo (-) kiri dan dekstro (+) kanan. Artinya bila larutan dari asam amino dapat memutar bidang sinar terpolarisasi kekiri, maka disebut isomer *levorotary* (L) (-), sedangkan bila sebaliknya (kekanan) disebut *dextrorotary* (D) (+).
5. Faktor keberhasilan diantaranya ditentukan oleh pemilihan adsorben (seperti alumina atau kalsium fosfat) yang tepat.

Rangkuman

Protein memegang peran kunci dalam semua proses biologis. Hampir semua katalis dalam system biologis adalah protein yang disebut enzim. Berarti protein menentukan pola transformasi kimia dalam sel. Protein memperantarai cakupan sangat luas fungsi-fungsi lain seperti transport dan penyimpanan, pengaturan koordinasi gerak, integrasi metabolisme, proteksi imun, rangsangan hormone, control pertumbuhan dan lain sebagainya.

Protein merupakan makromolekul yang unik yang mampu mengenali secara spesifik dan berinteraksi dengan banyak molekul. Susunan dari 20 macam rantai samping memungkinkan protein berlipat membentuk struktur yang khusus serta

membentuk permukaan dan celah komplementer seperti terlihat pada struktur primer, sekunder, tersier dan kuaterner protein. Struktur primer adalah urutan asam amino. Struktur sekunder berhubungan dengan pengaturan kedudukan ruang residu asam amino yang berdekatan dalam urutan linier.

Asam amino merupakan unit dasar struktur suatu protein. Semua protein pada semua species mulai dari bakteri samapi manusia dibentuk dari 20 macam asam amino yang sama. Sejumlah asam amino biasanya lebih dari seratus, saling berikatan melalui ikatan peptide, membentuk rantai polipeptida. Ikatan peptide menghubungkan gugus karboksil- α suatu asam amino dengan gugus amino - α asam amino lainnya. Dikenal tiga konformasi rantai polipeptida yang sering terdapat berulang yaitu: Heliks- α , lembar berlipat β dan heliks kolagen

Berdasarkan kebutuhan tubuh, asam amino dibagi menjadi dua golongan yakni asam amino esensial dan non esensial. Asam amino esensial adalah asam amino yang diperoleh melalui makanan karena tubuh tidak memproduksi asam amino tersebut.

BAB 4

METABOLISME KARBOHIDRAT

PENDAHULUAN

Deskripsi Singkat

Bab ini membahas tentang pengertian, fungsi dan sifat-sifat karbohidrat, metabolisme protein serta struktur dan metabolisme RNA

Relevansi

Pembahasan bab ini sangat berhubungan dengan dengan materi pada bab-babselanjutnya. Mahasiswa akan mengetahui batasan-batasan tentang struktur, tata nama, konfigurasi dan penggolongan karbohidrat. Pemahaman tentang bagaimana ikatan glikosidik terbentuk oleh dua monosakarida, serta senyawa-senyawa yang terbentuk sebagai derivat karbohidrat dan analisisnya serta keterkaitannya dengan bidang lain seperti kimia organik, kimia analitik dan senyawa biomolekul lainnya

Tujuan

Setelah mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan dapat :

1. Mengetahui proses metabolisme karbohidrat
2. Mengetahui dan memahami jenis-jenis karbohidrat
3. Mengetahui tahapan metabolisme karbohidrat
4. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi metabolisme karbohidrat
5. Mengetahui metabolisme karbohidrat pada ternak ruminansia

PEMBAHASAN

Metabolisme karbohidrat yaitu metabolisme mencakup sintesis (anabolisme) dan penguraian (katabolisme) molekul organik kompleks. Metabolisme biasanya terdiri atas tahapan-tahapan yang melibatkan enzim, yang dikenal pula sebagai jalur metabolisme. Metabolisme total merupakan semua proses biokimia didalam organisme. Metabolisme sel mencakup semua proses kimia di dalam sel. Tanpa metabolisme, makhluk hidup tidak dapat bertahan hidup.

Kata karbohidrat berasal dari kata karbon dan air. Secara sederhana karbohidrat didefinisikan sebagai polimer gula. Karbohidrat yang paling sederhana adalah aldehyd (disebut polihidroksialdehyd atau aldosa) atau berupa keton (disebut polihidroksiketon atau ketosa). Karbohidrat terdiri atas atom C, H, dan O. Adapun rumus umum dari karbohidrat adalah :



Karbohidrat adalah senyawa yang terbentuk dari molekul karbon, hidrogen, dan oksigen. Sebagai salah satu jenis zat gizi, fungsi utama karbohidrat adalah penghasil energi di dalam tubuh. Tiap 1 gram karbohidrat yang di konsumsi akan menghasilkan energi sebesar 4 kkal dan energi hasil proses oksidasi (pembakaran) karbohidrat ini kemudian akan digunakan oleh tubuh untuk menjalankan berbagai fungsi-fungsinya, seperti bernafas, kontraksi jantung dan otot, serta juga untuk menjalankan berbagai aktivitas fisik, seperti berolahraga atau bekerja.

Karbohidrat memiliki fungsi sebagai sumber energi, cadangan makanan, dan materi pembangunan pada semua makhluk hidup. Maka dari itu, karbohidrat sangat diperlukan oleh tubuh ternak agar dapat tumbuh sehat dan produktif dalam menghasilkan hasil ternak. Karbohidrat dalam bahan makanannya dapat ditemui dalam berbagai bentuk, yaitu monosakarida, disakarida, dan polisakarida, karbohidrat yang paling sering ditemui dalam bahan pokok pakan ternak adalah dalam bentuk monosakarida seperti glukosa dan polisakarida yaitu selulosa atau serat kasar.

4.1. Fungsi Metabolisme Karbohidrat

Metabolisme Karbohidrat merupakan reaksi dalam sel yang dikatalisis oleh enzim-enzim. Lebih jauh, metabolisme bukanlah suatu proses acak melainkan sangat terintegrasi dan terkoordinasi. Mempunyai tujuan dan mencakup berbagai kerjasama banyak sistem multi enzim. Metabolisme memiliki empat fungsi spesifik, yaitu:

- Untuk memperoleh energi kimia dari degradasi sari makanan yang kaya energi dari lingkungan atau dari energi solar.
- Untuk mengubah molekul nutrien menjadi prekursor unit pembangun bagi makro molekul nutrien menjadi prekursor unit pembangun makro molekul sel.

- Untuk menggabungkan unit-unit pembangun ini menjadi protein, asam nukleat, lipid, polisakarida, dan komponen sellainnya.
- Untuk membentuk dan mendegradasi biomolekul yang diperlukan di dalam fungsi khusus sel.

Karbohidrat merupakan suatu senyawa organik polihidroksi aldehyd atau polihidroksi keton.

Rumus umum dari karbohidrat adalah $C_n(H_2O)_n$ atau $C_nH_{2n}O_n$. Karbohidrat terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Karbohidrat berfungsi sebagai:

1. Sumber Energi Utama Tubuh

Setiap gram karbohidrat mengandung 4 kalori. Karbohidrat yang diubah menjadi glikogen dan lemak disimpan didalam jaringan otot berfungsi sebagai cadangan energi tubuh. Karbohidrat dapat juga diubah menjadi steroid dan secara terbatas diubah menjadi protein.

2. Memperlancar Pencernaan

Karbohidrat yang dapat dicerna berfungsi untuk memperlancar peristaltik usus dan memudahkan pembuangan feses. Contoh karbohidrat yang dapat dicerna adalah karbohidrat golongan monokasarida dan disakarida. Selain itu karbohidrat yang tidak dapat dicerna seperti serat bisa memberikan rasa kenyang.

3. Sebagai Pemanis Alami

Karbohidrat juga berfungsi sebagai pemberi rasa manis alami pada makanan khususnya karbohidrat golongan monokasarida dan disakarida (Hanum, 2017)

4.2. Katabolisme Karbohidrat

Metabolisme dalam makhluk hidup dapat dibedakan menjadi katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses penguraian atau pemecahan senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana. Dalam proses katabolisme, terjadi pelepasan energi sebagai hasil pemecahan senyawa-senyawa organik kompleks tersebut. Adapun anabolisme adalah proses pembentukan atau penyusunan senyawa organik sederhana menjadi senyawa kompleks. Kebalikan dari katabolisme, proses anabolisme ini memerlukan energi. Kali ini akan dibahas mengenai proses katabolisme Contoh dari proses katabolisme adalah respirasi

selular. Berbeda respirasi selular diartikan sebagai reaksi oksidasi molekul berenergi tinggi untuk melepaskan energinya. Respirasi selular terjadi pada semua sel anabolisme tubuh hewan maupun tumbuhan terutama di mitokondria. Pada respirasi selular, molekul glukosa (karbohidrat) dan bahan makanan lain diuraikan atau dipecah menjadi karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), dan energi dalam bentuk ATP Berdasarkan keterlibatan oksigen dalam prosesnya, respirasi selular terbagi menjadi respirasi aerob dan respirasi anaerob.

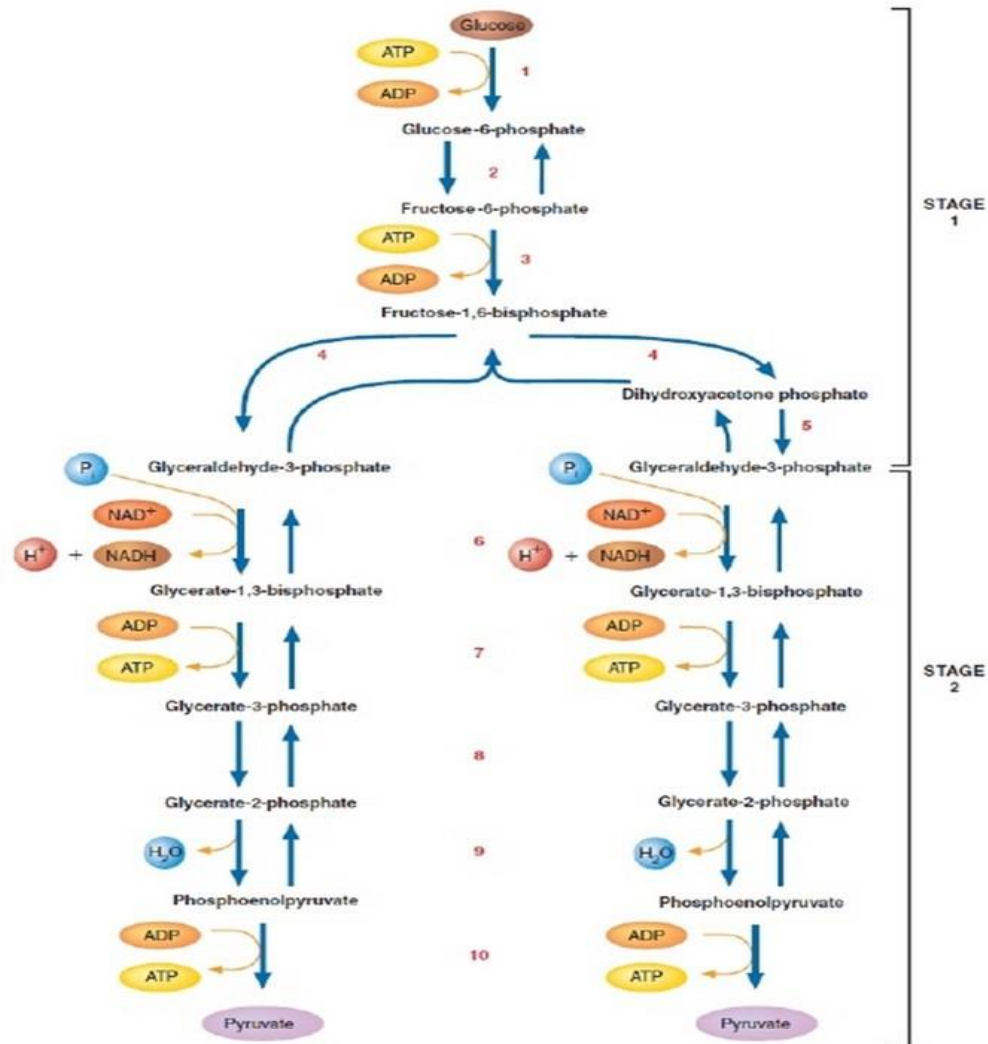
1. Respirasi Aerob

Respirasi bertujuan menghasilkan energi dari sumber nutrisi yang dimiliki. Semua makhluk hidup melakukan respirasi dan tidak hanya berupa pengambilan udara secara langsung. Respirasi dalam kaitannya dengan pembentukan energi dilakukan di dalam sel. Oleh karena itu, prosesnya dinamakan respirasi sel. Organel sel yang berfungsi dalam menjalankan tugas pembentukan energi ini adalah mitokondria. Respirasi aerob terjadi reaksi sederhana meliputi : glikolisis, siklus krebs dan rantai transfer elektron.

a. Glikolisis

Kata glikolisis berasal dari gliko, artinya gula dan lisis, artinya penguraian. Glikolisis merupakan proses penguraian gula enam karbon menjadi dua molekul asam piruvat berkarbon 3. Reaksi glikolisis terdiri atas sembilan tahap reaksi, dan dapat digolongkan menjadi dua fase, yaitu fase yang memerlukan ATP dan fase yang menghasilkan ATP. Proses reaksi glikolisis bersifat anaerob (tidak membutuhkan oksigen bebas) dan berada di sitoplasma.

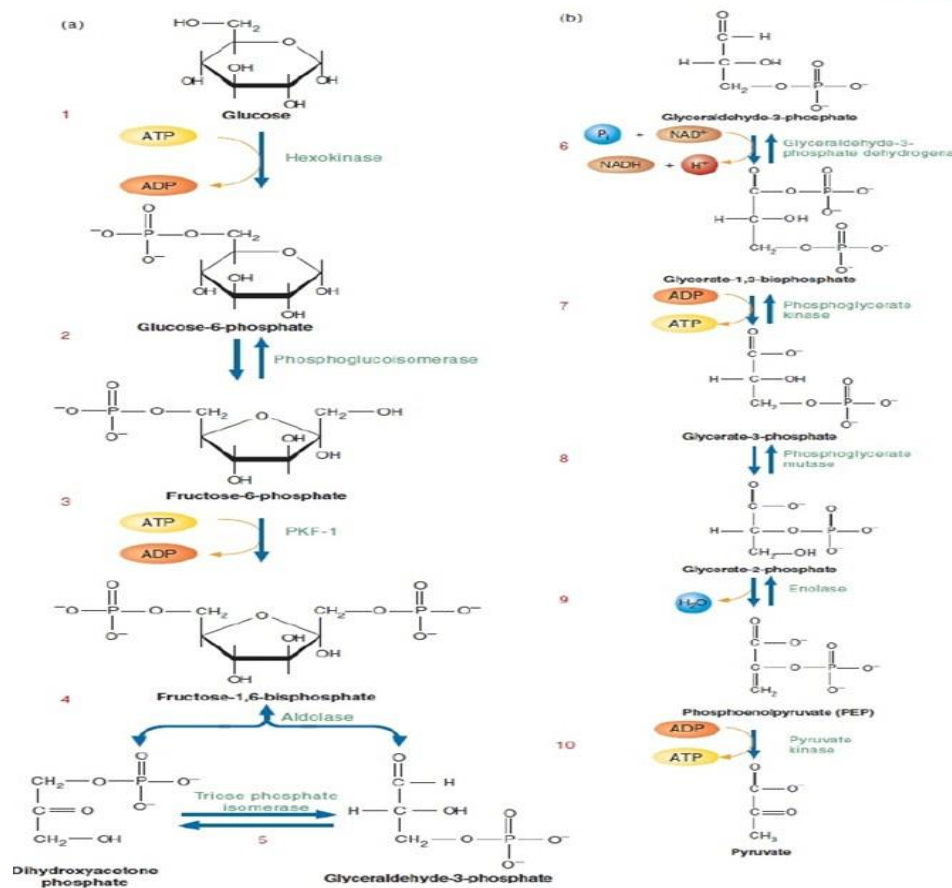
Tahap pertama glikolisis diawali dengan fosforilasi glukosa membentuk glukosa-6- fosfat (reaksi 1). Proses ini dapat dikatalis oleh dua macam enzim yang berbeda, yaitu glukokinase dan heksokinase. Glukosa-6-fosfat mengalami isomerisasi menjadi fruktosa-6-fosfat (reaksi 2), kemudian mengalami fosforilasi menjadi fruktosa 1,6-difosfat (reaksi 3). Enzim yang melakukan fosforilasi dalam reaksi ini disebut fosfofruktokinase.



Gambar 4.1 Persiapan glikolisis

Fruktosa-1,6-difosfat dengan bantuan aldolase, dipecah menjadi dua senyawa, yaitu gliseraldehida-3-fosfat dan dehidroksiaseton fosfat. Dehidroksiaseton fosfat, pada akhirnya akan mengalami isomerisasi menjadi gliseraldehida-3-fosfat (reaksi 4). Reaksi 1 sampai dengan reaksi 4 ini merupakan fase yang memerlukan ATP, yaitu mengubah glukosa menjadi dua senyawa gliseraldehida-3-fosfat beratom tiga karbon. Pada fase 2 glikolisis, gliseraldehida-3-fosfat diubah menjadi asam piruvat, dan pelepasan energi bebas dari keseluruhan reaksi ini digunakan untuk mensintesis ATP. Reaksi pertama fase 2 ialah oksidasi terhadap gliseraldehida-3-fosfat menjadi 1,3 difosfoglisarat (reaksi 5). Pada reaksi ini menggunakan NAD sebagai koenzimnya, dan mereduksinya menjadi NADH+H. 1,3-difosfoglisarat merupakan senyawa berenergi tinggi sehingga dengan bantuan fosfoglisarat kinase dapat membentuk 3-fosfoglisarat dan ATP

(reaksi 6). 3-fosfoglisarat kemudian berisomerisasi menjadi 2-fosfoglisarat (reaksi 7) selanjutnya diubah menjadi fosfoenolpiruvat (reaksi 8). Akhirnya, fosfoenol piruvat memindahkan fosfat energi tinggi pada ADP membentuk ATP dan asam piruvat (reaksi 9). Fase 1 glikolisis membutuhkan 2 ATP, sedangkan fase 2 dihasilkan 4 ATP dan 2 NADH + H⁺ sehingga hasil bersih glikolisis ini ialah asam piruvat, 2 ATP, dan 2 NADH + H⁺. Seperti halnya glukosa, fruktosa dan galaktosa dalam respirasi aerob juga memasuki jalur reaksi glikolisis.

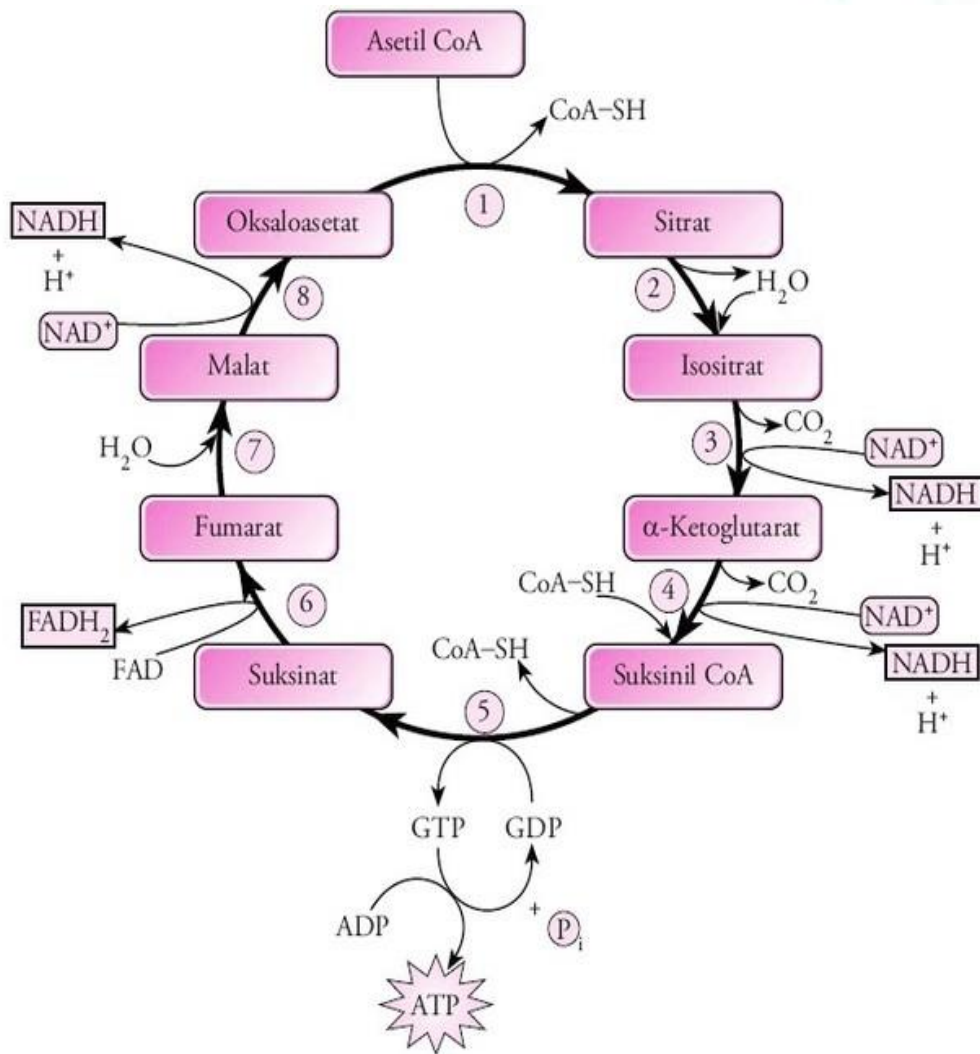


Gambar 4.2 Tahapan Glikolisis

b. Siklus Krebs

Siklus Krebs berlangsung di dalam matriks mitokondria dan terjadi secara anaerob (tidak memerlukan oksigen bebas). Asetil CoA sebagai bahan dalam siklus ini masuk dan bereaksi dengan asam oksaloasetat (C) menjadi asam sitrat (C). Selanjutnya, asam sitrat (C) secara bertahap akan melepaskan 2 atom C-nya sehingga menjadi asam oksaloasetat (C) lagi. Peristiwa pelapasan atom C diikuti

dengan pelepasan energi yang berupa ATP. Pada tiap tahap pelepasan ATP dapat langsung digunakan oleh sel. Selain ATP, hidrogen juga dilepaskan, bergabung dengan NAD dan FAD (Flavoadenine Dinukleotida) menjadi NADH, dan FADH, untuk dibawa menuju sistem transpor yang direaksikan dengan oksigen menghasilkan air.



Gambar 4.3 Siklus Krebs

c. Transpor Elektron

Transpor elektron terjadi di membran dalam mitokondria (krista mitokondria). Sistem transpo elektron merupakan suatu proses kompleks yang melibatkan rantai pembawa elektron yang terdiri atas NAD, FAD, koenzim Q, dan sitokrom. Pada sistem transpor elektron ini, senyawa NADH dan FADH, yang dihasilkan pada tiga tahapan sebelumnya difosforilasi menjadi ATP. Oleh karena itu,

proses ini disebut juga fosforilasi oksidatif. Jika diringkas, berikut ini jumlah energi yang dihasilkan dari setiap molekul glukosa pada respirasi aerob.

Proses	Hasil reaksi		
	ATP	NADH	FADH ₂
Glikolisis → 2 asam piruvat	2	2	-
Dekarboksilasi oksidatif 2 asam piruvat → 2 asetil KoA + 2CO ₂	-	2	-
Siklus Krebs 2 asetil KoA → 4CO ₂	2	6	2
Transpor elektron 10NADH + 5O ₂ → 10NAD ⁺ + 10H ₂ O 2FADH ₂ + O ₂ → 2FAD + 2H ₂ O	Total ATP pada transpor elektron adalah 34 ATP yang diperoleh dari: 2 + 2 + 6 = 10 molekul NADH × 3 ATP = 30 ATP 2 molekul FADH ₂ × 2 ATP = 4 ATP		
Total ATP = 38 ATP *			

Berbeda dengan organisme prokariot, pada organisme eukariot dihasilkan 36 ATP. Hal ini dikarenakan proses masuknya asam piruvat ke ruang antarmembran mitokondria (memasuki tahapan dekarboksilasi oksidatif membutuhkan energi sebesar 2 ATP sehingga hasil akhir yang diperoleh sebanyak 36 ATP (Tim Ganesha operation : 2017).

2. Respirasi Anaerob

Respirasi anaerob merupakan respirasi yang tidak menggunakan oksigen sebagai penerima elektron akhir pada saat pembentukan ATP. Respirasi anaerob juga menggunakan glukosa sebagai substrat. Respirasi anaerob merupakan proses fermentasi.

Beberapa organisme yang melakukan fermentasi di antaranya adalah bakteri dan protista yang hidup di rawa, lumpur, makanan yang diawetkan, atau tempat-tempat lain yang tidak mengandung oksigen. Beberapa organisme dapat menggunakan oksigen untuk respirasi, tetapi dapat juga melakukan fermentasi. Organisme seperti ini melakukan fermentasi jika lingkungannya miskin oksigen. Sel-sel otot juga dapat melakukan fermentasi jika sel-sel otot kekurangan oksigen.

Seperti pada respirasi aerob, glukosa merupakan substrat pada tahap awal fermentasi. Glukosa dipecah menjadi 2 molekul asam piruvat, 2 NADH, dan terbentuk 2 ATP. Akan tetapi, reaksi fermentasi tidak secara sempurna memecah glukosa menjadi karbon dioksida dan air, sehingga ATP yang dihasilkan lebih sedikit dari jumlah ATP yang dihasilkan oleh glikolisis. Contoh fermentasi adalah

fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat. Fermentasi alkohol dilakukan oleh jamur ragi (yeast) secara anaerob. Sebagai substrat fermentasi adalah asam piruvat. Molekul piruvat (hasil glikolisis) difermentasi menjadi asetaldehid. NADH memberikan elektron dan hidrogen kepada asetaldehid, sehingga terbentuk produk akhir alkohol, yaitu etanol. Pada fermentasi alkohol ini dihasilkan 2 ATP. Fermentasi asam laktat terjadi pada otot manusia saat melakukan kerja keras dan persediaan oksigen kurang mencukupi. Pada fermentasi asam laktat molekul asam piruvat hasil glikolisis menerima elektron dan hidrogen dari NADH. Transfer elektron dan hidrogen menghasilkan NAD⁺ kembali. Pada saat yang sama, asam piruvat diubah menjadi asam laktat menghasilkan 2 ATP. Kerja otot terus-menerus akan menimbulkan asam laktat dalam jumlah yang besar.

LATIHAN /PERCOBAAN

A. TEORI DASAR

Dalam kehidupan sehari-hari biasanya karbohidrat kita temukan atau jumpai yakni pada nasi, tepung jagung, tepung tapioka, sagu, dan ubi jalar. Karbohidrat adalah penyimpan energi dan penyedia struktur, karbohidrat dibagi menjadi tiga kelompok besar yakni monosakarida, disakarida, dan polisakarida. Monosakarida merupakan jenis karbohidrat yang tidak dapat dipecah lagi menjadi unit yang lebih kecil ($n=1$). Oligosakarida adalah kelipatan dari monosakarida ($n=2$ atau 4), sedangkan polisakarida lebih dari $n=4$.

Monosakarida dapat bergabung membentuk satu rantai panjang yang liner atau mungkin bercabang-cabang. Ada dua jenis polisakarida yang paling dikenal adalah selulosa glikogen, keduanya terdiri dari monomer glukosa yang berulang. Selulosa merupakan komponen struktural yang penting untuk membentuk dinding sel pada tumbuhan. Manusia tidak bisa membuat ataupun mencerna selulosa. Sementara itu glikogen (nama lainnya adalah gula otot) digunakan oleh manusia dan hewan sebagai penyimpan energi.

Uji Osazon : merupakan uji karbohidrat yang bertujuan untuk membedakan bermacam macam karbohidrat dari bentuk struktur kristalnya. Secara umum, semua

karbohidrat yang mempunyai gugus aldehida atau keton bebas akan membentuk hidrazon atau osazon bila dipanaskan dengan fenilhidrazin berlebih. Osazon yang terjadi mempunyai bentuk kristal dan titik lebur yang spesifik. Osazon dari disakarida akan larut dalam air mendidih dan akan terbentuk kembali bila didinginkan. Namun, sukrosa tidak membentuk osazon karena gugus aldehida atau keton yang terikat pada monomernya sudah tidak bebas. Sebaliknya, osazon dari monosakarida tidak larut dalam air mendidih.

Uji benedict : Uji ini akan menghasilkan nilai positif untuk senyawa yang mengandung gula pereduksi atau gula inversi seperti glukosa dan fruktosa. Caranya adalah dengan menambahkan gula reduksi dengan campuran CuSO_4 (tembaga sulfat), natrium sitrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) dan natrium karbonat (Na_2CO_3). Jika dipanaskan, maka akan terbentuk endapan kupro oksida (Cu_2O) yang berwarna merah coklat. Uji ini terjadi dalam suasana basa karena pada suasana ini gula dapat tereduksi. Natrium sitrat berfungsi sebagai senyawa kelat (pengikat) Cu dengan membentuk kompleks Cu-sitrat.

Uji sellivanoff : Uji ini bernilai positif terhadap monosakarida yang memiliki gugus ketosa, misal fruktosa. Akan tetapi, uji ini menghasilkan nilai negatif terhadap aldosa. Perekasinya dapat dibuat dengan mencampurkan resorsinol dengan HCl pekat kemudian diencerkan dengan akuades. Uji ini dilakukan dengan menambahkan larutan sampel ke dalam pereaksi lalu dipanaskan dalam air mendidih. Adanya warna merah menunjukkan bahan makanan itu mengandung gugus ketosa.

B. ALAT DAN BAHAN

Alat

1. Seperangkat alat gelas
2. pipet tetes 21
3. rak tabung
4. penjepit tabung
5. labu erlenmeyer
6. pembakar spiritus
7. mikroskop

8. waterbath (penangas air)
9. tabung reaksi
10. objek gelas
11. mortar

Bahan

1. Akuades
2. Asam asetat (CH_3COOH)
3. Fenil hidrasin
4. Benedict
5. Gluktosa
6. Fruktosa
7. Laktosa
8. Maltosa
9. Sukrosa
10. H_2SO_4

2.8 Uji iodin

Memasukkan 1 mL larutan uji ke dalam tabung reaksi lalu menambahkan 2 tetes larutan iodin. Setelahnya amati perubahan warna yang terjadi dari larutan itu lalu catat hasilnya.

2.9 Uji molisch

Memasukkan 2 mL larutan uji kedalam tabung reaksi dan tambahkan 2 tetes regen molisch lalu homogenkan. Miringkan 22 tabung reaksi dan tambahkan H_2SO_4 pekat dengan hati-hati melalui dinding tabung lalu amati hasilnya.

2.10 Uji Osazon

Masukkan 5 mL larutan uji ke dalam tabung reaksi. Tambahkan 10 tetes asam asetat dan 3 tetes fenil hidrasin. Panaskan selama 10 menit di dalam air mendidih. Pindahkan setengah dari tabung ke tabung reaksi yang lain. Panaskan dengan api langsung hingga terbentuk endapan kristal. Amati dan catat perubahan yang terjadi menggunakan mikroskopa.

2.11 Uji benedict

Sediakan 3 tabung reaksi dan isi dengan bermacam jenis pereaksi.

1. Tabung 1 : benedict (3 mL), glukosa 0,1 M (1 mL),
2. Tabung 2 : benedict (3 mL), fruktosa 0,1 M (1 mL)
3. Tabung 3 : benedict (3 mL), laktosa 0,1 M (1 mL)

Panaskan semua tabung dalam penangas air yang mendidih selama 5 menit perhatikan dan amati perubahannya.

2.12 Uji sellivanof

Sediakan 3 tabung reaksi dan isi dengan bermacam jenis pereaksi.

1. Tabung 1 : benedict (3 mL), glukosa 0,1 M (10 tetes)
2. Tabung 2 : benedict (3 mL), fruktosa 0,1 M (10 tetes)
3. Tabung 3 : benedict (3 mL), sukrosa 0,1 M (10 tetes) Tabung 4 : benedict (3 mL), maltosa 0,1 M (10 tetes),

PERTANYAAN

1. Sebutkan dan jelaskan apa saja hasil perubahan yang terjadi dalam percobaan tentang karbohidrat?
2. Sebutkan dan jelaskan apa saja manfaat karbohidrat bagi tubuh manusia?
3. Jelaskan apa kaitan uji benedict dengan karbohidrat?
4. Sebutkan praktikum apa saja yang di lakukan dalam percobaan tentang karbohidrat?

Latihan Soal

1. Mengapa monosakarida dan disakarida berasa manis sedangkan polisakarida tidak. Jelaskan
2. Glukosida terdapat banyak dalam. Senyawa ini tidak mempunyai sifat memutar bidang polarisasi. Mengapa demikian?
3. Glukosa dan aldosa lainnya dioksidasi oleh larutan kompleks perak amonia dalam air. Apakah produk reaksi tersebut?
4. Apakah kelebihan pereaksi Benedict dibandingkan dengan pereaksi Fehling dalam analisis kualitatif monosakarida.

Jawaban

1. Monosakarida dan disakarida rasanya manis, sedangkan polisakarida tidak berasa, hal ini disebabkan oleh banyaknya rantai karbon (monosakarida) yang panjang sehingga reseptor oleh indra pengecap rasa tidak mampu untuk mengenalinya.
2. Karena glukosida tidak mempunyai atom C asimetrik.
3. Aldosa diubah menjadi asam aldolat; gugus fungsi aldehida gula dioksidasi menjadi karboksilat.
4. Pereaksi ini berupa larutan yang mengandung kuprisulfat natrium karbonat dan natrium sitrat. Glukosa dapat mereduksi ion C^{++} kuprisulfat menjadi ion Cu^+ yang kemudian mengendap sebagai Cu_2O . Adanya natriumkarbonat dan natriumsitrat membuat pereaksi Benedict bersifat basa lemah. Endapan yang terbentuk dapat berwarna hijau, kuning atau merah bata. Warna endapan ini tergantung pada konsentrasi karbohidrat yang diperiksa. Pereaksi Benedict banyak digunakan untuk pemeriksaan glukosa dalam urine daripada - pereaksi Fehling karena beberapa alasan: Apabila dalam urine terdapat asam urat atau kreatinin, kedua senyawa ini dapat mereduksi pereaksi Fehling, tetapi tidak dapat mereduksi pereaksi Benedict. Di samping itu pereaksi Benedict lebih peka daripada pereaksi Fehling.

Rangkuman

Karbohidrat adalah aldehida atau keton dengan dua atau lebih gugus hidroksil. Aldosa adalah karbohidrat dengan gugus aldehida (seperti pada gliseraldehida dan glukosa), sedangkan ketosa mengandung gugus keto (seperti dihidroksiaseton dan fruktosa). Gula termasuk seri D jika konfigurasi absolut karbon asimetriknya yang paling jauh dari gugus aldehida atau gugus ketonya sama seperti yang dari D-gliseraldehida.

Gula berikatan dengan alkohol dan amina melalui ikatan glikosidik dari atom karbon anomer. Misalnya, ikatan O-glikosidik mengikat gula satu sama lainnya pada disakarida dan polisakarida. Ikatan N-glikosidik mengikat gula dengan purin dan pirimidin pada nukleotida RNA dan DNA. Ester gula-fosfat seperti glukosa 6-fosfat adalah zat antara metabolisme yang penting. Fosforilasi juga menghasilkan zat antara reaktif untuk sintesis ikatan O- dan N-glikosidik.

Sukrosa, laktosa, dan maltosa adalah disakarida yang umum. Sukrosa (gula pasir), yang didapatkan dari tebu atau bit, terdiri dari α -glukosa dan α -fruktosa yang berikatan melalui ikatan glikosidik antara karbon-karbon anomernya. Laktosa (gula susu) terdiri dari galaktosa yang berikatan dengan glukosa melalui ikatan β -1,4. Maltosa (dari pati) terdiri dari dua glukosa yang berikatan melalui ikatan α -1,4.

Pati adalah bentuk polimer glukosa pada tumbuh-tumbuhan, dan glikogen mempunyai peran yang sama pada binatang. Sebagian besar unit glukosa pada pati dan glikogen terdapat dalam ikatan α -1,4. Glikogen mempunyai percabangan yang dibentuk oleh ikatan-ikatan α -1,6 lebih banyak dari yang terdapat pada pati, yang membuat glikogen lebih mudah larut. Selulosa, polimer struktural utama dinding sel tumbuh-tumbuhan, terdiri dari unit-unit glukosa yang berikatan melalui ikatan β -1,4. Ikatan β ini menimbulkan rantai lurus panjang yang membentuk serat dengan daya rentang tinggi.

BAB 5 METABOLISME LIPID

PENDAHULUAN

Deskripsi Singkat

Bab ini membahas tentang pengertian, fungsi dan sifat-sifat lipid, metabolisme lipid serta struktur dan metabolisme lipid

Relevansi

Pembahasan bab ini sangat berhubungan dengan dengan materi pada bab-babselanjutnya. Mahasiswa akan mengetahui batasan-batasan tentang struktur, tata nama, konfigurasi dan penggolongan lipid.

Tujuan

Setelah mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan dapat

1. Mengetahui definisi dan fungsi lipid
2. Mengetahui pengklasifikasian lipid
3. Mengetahui proses metabolisme lipid
4. Memahami penyakit yang diakibatkan lipid

PEMBAHASAN

5.1. Pengertian Lipid

Lipid adalah segolongan senyawa yang berasal dari makhluk hidup relatif tidak larut dalam air, akan tetapi larut dalam zat-zat pelarut nonpolar. Berbeda dengan karbohidrat atau protein, yang masing-masing memiliki struktur dasar yang sama, lipid terdiri atas bermacam-macam senyawa heterogen dengan struktur yang berbeda satu dengan yang lain. Tiap-tiap jenis lipida dapat mempunyai fungsi sendiri dalam tubuh.

Lipid adalah unsur makanan yang penting tidak hanya karena nilai energinya yang tinggi tetapi juga karena vitamin yang larut dalam bentuk lemak esensial yang dikandung dalam lemak makanan alam. Dalam tubuh, lemak berfungsi sebagai sumber energi efisien secara langsung dan secara potensial, bila disimpan dalam jaringan adiposa. Lipid berfungsi sebagai penyekat panas dalam jaringan

subkutan dan sekeliling organ tertentu dan bekerja sebagai penyekat listrik (electrical insulator) yang memungkinkan perambatan cepat gelombang depolarisasi sepanjang syaraf bermielin. Kandungan lemak dalam jaringan syaraf tinggi. Kombinasi lemak dan protein (lipoprotein) merupakan unsur sel yang penting, terdapat pada kedua membrana sel dan mitokondria dalam sitoplasma yang berfungsi sebagai alat pengangkut lipid dalam darah

5.2. Fungsi Lipid

Lipid dikenal memiliki fungsi sebagai bahan sintesis membrane sel, bahan sintesis hormone steroid, bahan produksi empedu, molekul penyimpan energi, molekul pembawa pesan kimia, dsb. Lipid memiliki banyak fungsi biologis, yakni menyimpan energi dan berfungsi sebagai komponen membrane seluler dan lipoprotein. Hanya saja, kebanyakan bentuk lipid atau lemak merupakan molekul kompleks yang harus menjalani proses metabolisme sebelum digunakan. Metabolisme lipid memungkinkan organ tubuh untuk menggunakan energi atau menyimpan energi pada adiposa atau lemak tubuh. Organ-organ tubuh, seperti jantung, limpa, otak, dan lainnya, menggunakan energi-energi tersebut supaya tetap berfungsi dengan baik

5.3. Klasifikasi Lemak

Lemak dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimia, ikatan kimia, sumber lemak, dan wujud lemak

Berdasarkan komposisi kimianya, lemak terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Lemak sederhana atau Netra (Trigliserida)

Lemak sederhana tersusun atas trigliserida yang terdiri dari satu gliserol dan tiga asam lemak. Senyawa lemak sederhana adalah lilin (wax), malam atau plastisin (lemak sederhana padat yang terdapatl dalam suhu kamar), dan minyak (lemak sederhana cair dalam suhu kamar)

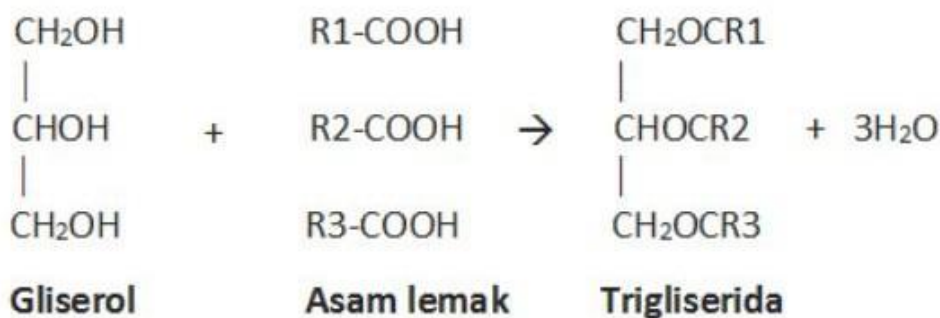
2. Lemak Campuran

Lemak campuran merupakan gabungan antara lemak dan senyawa bukan lemak, seperti: lipoprotein yang merupakan gabungan lipid dan protein; fosfolipid (gabungan lipid dengan fosfat); fosfatidilkolin (gabungan lipid, fosfat, dan kolin),

glikolipid (gabungan glukosa dan lipid), sulfolipid (gabungan sulfur dan lipid), dan amino-lipid (gabungan asam amino dan lipid).

3. Lemak Asli (Lemak Turunan).

Derivat lemak merupakan senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis lipid, misalnya kolesterol, dan asam lemak.



Berdasarkan ikatan kimianya, asam lemak dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Asam lemak jenuh

Asam lemak jenuh bersifat non- esensial karena dapat disintesis oleh tubuh, dan umumnya berwujud padat dalam suhu kamar. Asam lemak jenuh berasal dari lemak hewani, seperti mentega.

2. Asam lemak tak jenuh

Asam lemak tak jenuh bersifat esensial karena tidak dapat disintesis di dalam tubuh dan umumnya berbentuk cair dalam suhu kamar. Asam lemak tidak jenuh berasal dari lemak nabati, seperti minyak goreng.

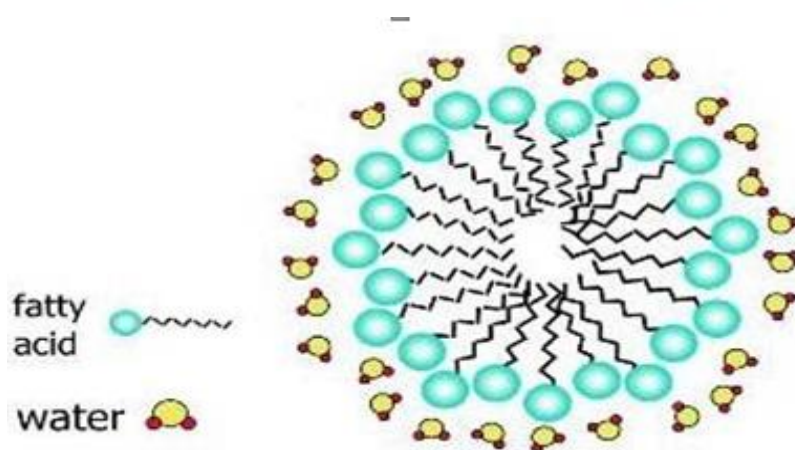
Asam Lemak	Nama Asam Lemak	Rumus Kimia
Jenuh	Asam Butirat	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH
	Asam Kaproat	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH
	Asam Laurat	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH
	Asam Miristat	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH
	Asam Palmitat	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH
	Asam Stearat	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH
	Asam Arakidat	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH
Tak Jenuh	Asam Palmitoleat	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH
	Asam Oleat	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH
	Asam Linoleat	CH ₃ (CH ₂) ₃ (CH ₂ CH=CH) ₂ (CH ₂) ₇ COOH
	Asam Linolenat	CH ₃ (CH ₂ CH=CH) ₃ (CH ₂) ₇ COOH
	Asam Arakidonat	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ (CH=CH) ₄ (CH ₂) ₃ COOH

Berdasarkan sumbernya, lemak dibedakan menjadi dua yaitu lemak hewani dan lemak nabati.

1. Lemak Nabati merupakan lemak yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti kacang-kacangan, tempe, tahu, santan kelapa, alpukat, dan sebagainya. Lemak nabati mengandung kolesterol baik (HDL) yang dalam jumlah yang banyak sehingga sangat baik untuk tubuh. Lemak nabati dapat berupa asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh.
2. Lemak Hewani merupakan lemak yang berasal dari hewan seperti susu, ikan, daging, mentega dan sebagainya. Lemak hewani berupa asam lemak jenuh dan mengandung kolesterol jahat (LDL) yang tidak baik jika dikonsumsi secara berlebihan.

5.4. Proses Metabolisme Lipid

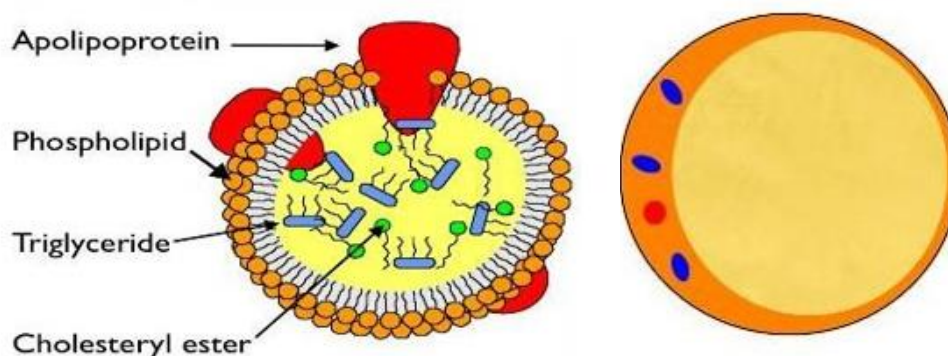
Lipid yang kita peroleh sebagai sumber energi utamanya adalah dari lipid netral, yaitu trigliserid (ester antara gliserol dengan 3 asam lemak). Secara ringkas, hasil dari pencernaan lipid adalah asam lemak dan gliserol, selain itu ada juga yang masih berupa monogliserid. Karena larut dalam air, gliserol masuk sirkulasi portal (vena porta) menuju hati. Asam-asam lemak rantai pendek juga dapat melalui jalur ini.



Gambar 5. 1 Struktur miselus. Bagian polar berada di sisi luar, sedangkan bagian non polar berada di sisi dalam

Sebagian besar asam lemak dan monogliserida karena tidak larut dalam air,

maka diangkut oleh miselus (dalam bentuk besar disebut emulsi) dan dilepaskan ke dalam sel epitel usus (enterosit). Di dalam sel ini asam lemak dan monogliserida segera dibentuk menjadi trigliserida (lipid) dan berkumpul berbentuk gelembung yang disebut kilomikron. Selanjutnya kilomikron ditransportasikan melalui pembuluh limfe dan bermuara pada vena kava, sehingga bersatu dengan sirkulasi darah. Kilomikron ini kemudian ditransportasikan menuju hati dan jaringan adiposa.



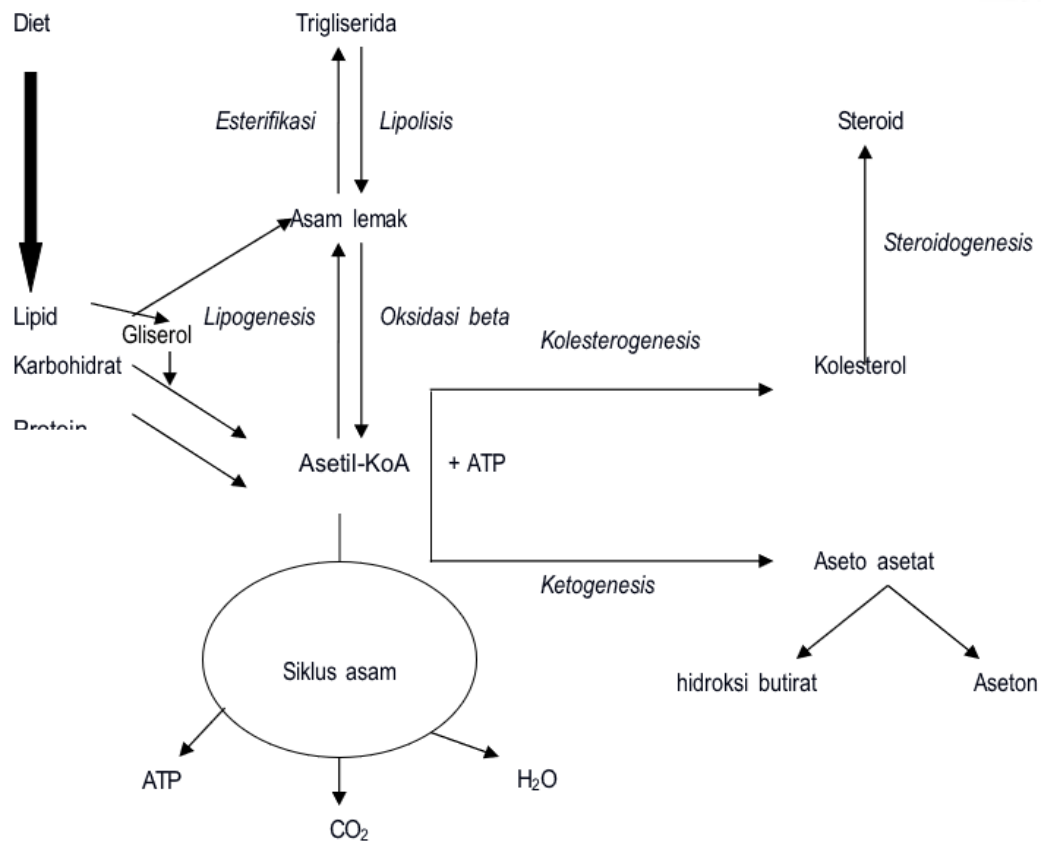
Gambar 5. 2 Simpanan trigliserida pada sitoplasma sel jaringan adiposa

Kilomikron di dalam sel-sel hati dan jaringan adiposa segera dipecah menjadi asam- asam lemak dan gliserol. Selanjutnya asam-asam lemak dan gliserol tersebut, dibentuk kembali menjadi simpanan trigliserida. Proses pembentukan trigliserida ini dinamakan esterifikasi. Sewaktu-waktu jika kita membutuhkan energi dari lipid, trigliserida dipecah menjadi asam lemak dan gliserol, untuk ditransportasikan menuju sel-sel untuk dioksidasi menjadi energi. Proses pemecahan lemak jaringan ini dinamakan lipolisis. Asam lemak tersebut ditransportasikan oleh albumin ke jaringan yang memerlukan dan disebut sebagai asam lemak bebas (free fatty acid/FFA).

Secara ringkas, hasil akhir dari pemecahan lipid dari makanan adalah asam lemak dan gliserol. Jika sumber energi dari karbohidrat telah mencukupi, maka asam lemak mengalami esterifikasi yaitu membentuk ester dengan gliserol menjadi trigliserida sebagai cadangan energi jangka panjang. Jika sewaktu-waktu tak tersedia sumber energi dari karbohidrat barulah asam lemak dioksidasi, baik asam lemak dari diet maupun jika harus memecah cadangan trigliserida jaringan. Proses pemecahan trigliserida ini dinamakan lipolisis.

Proses oksidasi asam lemak dinamakan oksidasi beta dan menghasilkan asetil KoA. Selanjutnya sebagaimana asetil KoA dari hasil metabolisme karbohidrat dan protein, asetil KoA dari jalur inipun akan masuk ke dalam siklus asam sitrat sehingga dihasilkan energi. Di sisi lain, jika kebutuhan energi sudah mencukupi, asetil KoA dapat mengalami lipogenesis menjadi asam lemak dan selanjutnya dapat disimpan sebagai trigliserida.

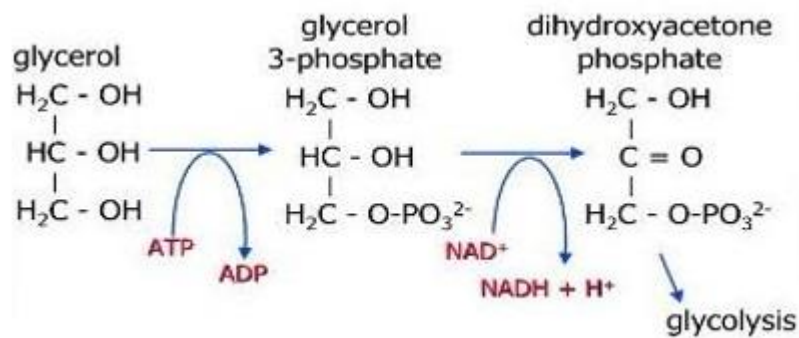
Beberapa lipid non gliserida disintesis dari asetil KoA. Asetil KoA mengalami kolesterogenesis menjadi kolesterol. Selanjutnya kolesterol mengalami steroidogenesis membentuk steroid. Asetil KoA sebagai hasil oksidasi asam lemak juga berpotensi menghasilkan badan-badan keton (aseto asetat, hidroksi butirrat dan aseton). Proses ini dinamakan ketogenesis. Badan-badan keton dapat menyebabkan gangguan keseimbangan asam-basa yang dinamakan asidosis metabolik. Keadaan ini dapat menyebabkan kematian.



Gambar 5.3 Ikhtisar Metabolisme Lipid

1. Metabolisme Gliserol

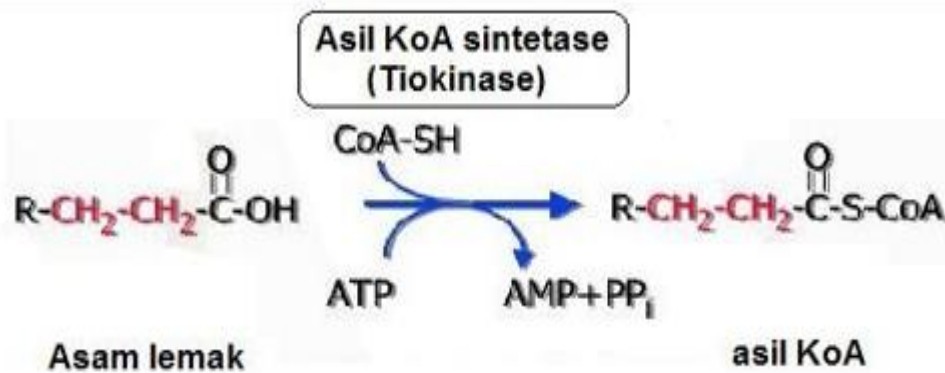
Gliserol sebagai hasil hidrolisis lipid (trigliserida) dapat menjadi sumber energi. Gliserol ini selanjutnya masuk ke dalam jalur metabolisme karbohidrat yaitu glikolisis. Pada tahap awal, gliserol mendapatkan 1 gugus fosfat dari ATP membentuk gliserol 3-fosfat. Selanjutnya senyawa ini masuk ke dalam rantai respirasi membentuk dihidroksi aseton fosfat, suatu produk antara dalam jalur glikolisis.



Gambar 5. 4 Reaksi-reaksi kimia dalam metabolisme gliserol

2. Oksidasi Asam lemak

Untuk memperoleh energi, asam lemak dapat dioksidasi dalam proses yang dinamakan oksidasi beta. Sebelum dikatabolisir dalam oksidasi beta, asam lemak harus diaktifkan terlebih dahulu menjadi asil-KoA. Dengan adanya ATP dan Koenzim A, asam lemak diaktifkan dengan dikatalisir oleh enzim asil-KoA sintetase (Tiokinase).



Gambar 5. 5 Aktivasi asam lemak menjadi asil KoA

Asam lemak bebas pada umumnya berupa asam-asam lemak rantai panjang. Asam lemak rantai panjang ini akan dapat masuk ke dalam mitokondria dengan bantuan senyawa karnitin, dengan rumus $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{COO}^-$.

Latihan Soal

1. Apa yang menyebabkan lemak atau minyak bila dibiarkan lama diudara akan menimbulkan rasa dan bau tidak enak?
2. Kolesterol adalah salah satu lipid yang terdapat dalam tubuh manusia. Pada konsentrasi tinggi kolesterol dapat berbahaya bagi kesehatan kita, jelaskan mengapa demikian.
3. Apabila rantai karbon itu pendek, maka jumlah mol asam lemak besar, sebaliknya apabila rantai karbon itu panjang jumlah mol asam lemak kecil. Terangkan apa yang dimaksud dengan hal ini.
4. Untuk menentukan derajat ketidak jenuhan asam lemak yang terkandung didalamnya diukur dengan bilangan iodium. Jelaskan apa maksudnya

Jawaban

1. Hal ini disebabkan oleh proses hidrolisis yang menghasilkan asam lemak bebas. Disamping itu proses oksidasi terhadap asam lemak tidak jenuh akan menghasilkan peroksida dan selanjutnya akan terbentuk aldehida dan inilah penyebab terjadinya bau dan rasa tidak enak (tengik).
2. Kolesterol dalam plasma darah tidak boleh melebihi dari standar normal yakni 150- 200mg/ml darah, karena kolesterol adalah salah satu parameter untuk menentukan resiko penyakit jantung koroner yang bermula dari aterosklerosis sebagai akibat dari kelainan metabolisme lemak (misalnya banyaknya kolesterol dalam plasma darah) dan menyebabkan kematian.

3. Jumlah miligram KOH yang diperlukan untuk menyabunkan 1 gram lemak disebut bilangan penyabunan. Jadi besar atau kecilnya bilangan penyabunan tergantung pada panjang atau pendeknya rantai karbon asam lemak. Atau dapat dikatakan juga bahwa besarnya bilangan penyabunan tergantung pada berat moleku lemak tersebut. Makin kecil berat molekul lemak, makin besar bilangan penyabunannya demikian pula sebaliknya.
4. Bilangan iodium adalah banyaknya gram iodium yang dapat bereaksi dengan 100 gram lemak. Iodium dapat bereaksi dengan ikatan rangkap dalam asam lemak. Tiap molekul iodium mengadakan reaksi adisi pada suatu iktan rangkap. Oleh karena itu makin banyak ikatan rangkap, makin banyak pula iodium yang dapat bereaksi. Artinya makin banyak ikatan rangkap makin besar pula bilangan iodium.

Rangkuman

Lipid adalah golongan senyawa yang berasal dari makhluk hidup relatif tidak larut dalam air, akan tetapi larut dalam zat-zat pelarut nonpolar. Berdasarkan sifatnya lipid dapat digolongkan menjadi 2 kelompok utama yaitu lipid yang dapat disaponifikasi dan lipid yang tidak dapat disaponifikasi. Golongan lipid pertama dapat dihidrolisis dengan alkali dan panas sehingga terbentuk garam asam-asam lemak dan komponen molekul lainnya.

Lemak berfungsi sebagai sumber energi efisien secara langsung dan secara potensial, bila disimpan dalam jaringan adiposa. Lipid berfungsi sebagai penyekat panas dalam jaringan subkutan dan sekeliling organ tertentu dan bekerja sebagai penyekat listrik (electrical insulator) yang memungkinkan perambatan cepat gelombang depolarisasi sepanjang syaraf bermielin.

Proses pemecahan lemak jaringan ini dinamakan lipolisis. Asam lemak tersebut ditransportasikan oleh albumin ke jaringan yang memerlukan dan disebut sebagai asam lemak bebas (*free fatty acid/FFA*).

Hasil akhir dari pemecahan lipid dari makanan adalah asam lemak dan gliserol. Jika sumber energi dari karbohidrat telah mencukupi, maka asam lemak mengalami esterifikasi yaitu membentuk ester dengan gliserol menjadi trigliserida sebagai cadangan energi jangka panjang.

BAB VI

VITAMIN DAN PIGMEN

PENDAHULUAN

Deskripsi Singkat

Bab ini membahas tentang pengertian, klasifikasi dan fungsi vitamin, klasifikasi dan struktur pigmen serta struktur senyawa pigmen yang lain

Relevansi

Pembahasan bab ini sangat berhubungan dengan dengan materi pada bab-bab sebelumnya. Mahasiswa akan mengetahui batasan-batasan tentang struktur, klasifikasi dan peranan vitamin dan pigmen.

Tujuan

Setelah mempelajari bab ini mahasiswa diharapkan dapat

1. Mengetahui definisi dan fungsi vitamin
2. Mengetahui pengklasifikasian vitamin
3. Mengetahui pengkategorian pigmen
4. Memahami peranan pigmen

PEMBAHASAN

6.1 VITAMIN

6.1.1 Definisi dan Fungsi Vitamin

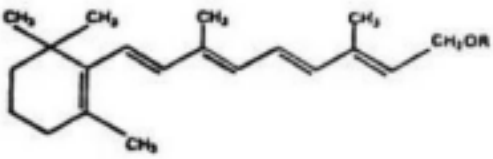
Vitamin adalah zat kimia yang tidak dapat disintesis oleh organisme. Vitamin diperlukan untuk pertumbuhan dan fungsi organisme dan oleh karena itu harus diperoleh secara teratur dan berkala melalui makanan. Vitamin termasuk dalam kelompok kimia yang sangat bervariasi.

Vitamin diklasifikasikan secara artifisial menurut kelarutannya dalam air (vitamin yang larut dalam air) atau dalam lipid (vitamin yang larut dalam lemak). Perbedaan ini bermanfaat, namun, karena itu berarti tidak terlalu membingungkan untuk menggambarkan makanan di mana vitamin dapat ditemukan dan bahwa semua aspek pengawetannya lebih dipahami. Vitamin yang larut dalam air larut ke

dalam air selama operasi seperti perendaman dan pemasakan yang memiliki konsekuensi praktis yang sangat penting. Produk, dan aktivitas vitamin, yang mungkin dimiliki oleh provitamin atau turunan aktif lain serta vitamin itu sendiri. Ada kebutuhan untuk membedakan antara vitamin, yang didefinisikan secara kimiawi.

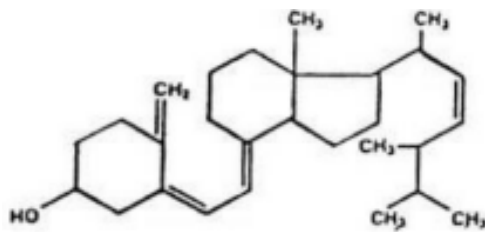
Paling sering, vitamin memiliki peran co-faktor dalam sistem enzim dan membran. Tidak adanya vitamin menghambat pertumbuhan dan menyebabkan penyakit defisiensi spesifik. Dalam praktiknya, pada manusia, defisiensi langsung luar biasa, terutama di negara maju. Vitamin paling sering dikaitkan dengan keadaan malnutrisi, dimana konsumsi beberapa obat dapat menyebabkan efek menetralkan vitamin dan menyebabkan gejala avitaminosis. Peran utama dalam gambaran klinis. Berikut ditunjukkan peran dan sumber utama vitamin.

Tabel 6.1 Peran biologis vitamin dalam kehidupan sehari-hari

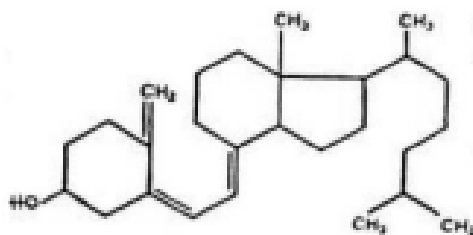
Vitamin	Nama Kimia	Kebutuhan sehari-hari	Peran Biologis	Sumber Utama
Vitamin yang larut dalam air				
Group A (Gambar 4.3)	Retinol atau axerophtol	0,75 – 1,2 mg	<ul style="list-style-type: none"> Berasal dari B-karoten (=provitamin A) Komponen fotosensitif rhodopsin Membantu pembentukan mucopolysaccharide sulfat Berpartisipasi dalam sintesis steroid seks Berperan dalam level seluler membran Vitamin pertumbuhan Kekurangan menyebabkan hilangnya 	<ul style="list-style-type: none"> Hati hewan (terutama ikan). Mentega, susu, keju, telur Dalam bentuk provitamin karotenoid dari banyak sayuran, selada, bayam, wortel.
				
Asetat : $R = \text{COCH}_3$ Palmitat: $R = \text{CO} (\text{CH}_2)_{14} \text{CH}_3$				

Group D D2 atau 2.5
(Gambar 4.3) ergokalkif
erol D3
atau
kolekalkifer
ol

Vitamin D2



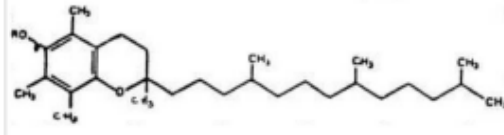
Vitamin D3



Vitamin E Tokoferol,
dll

penglihatan senja
atau untuk
hemeralopia,
hiperkeratinisasi
kulit.

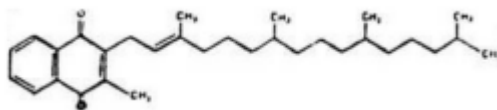
- Meningkatkan absorpsi kalsium di usus dan fosfor dan reabsorpsi tubular dari kalsium
- Memobilisasi kalsium dengan mengorbankan tulang yang sudah tua untuk membantu pengendapannya di tulang muda. Ini berperan sebagai hormon hiperkalsemia
- Status kekurangan (karena diet dan / kurangnya exposure ke matahari) menyebabkan rakhitis pada anak dan osteomalacia pada orang dewasa
- Pada dosis tinggi, hasil vitamin D serius tanda-tanda hipervitaminosis, hiperkalsemia, insufisiensi ginjal, hipertensi arteri.
- Antioksidan kuat yang melindungi
- Hati, ikan berlemak, susu dan mentega
- Minyak, biji sereal



asam lemak, vitamin A dan C. Dan membran selular.

- Status kecakapan tidak scen untuk ada dalam diri manusia dan efek terapeuntik dalam perawatan kemandulan masih menjadi perdebatan dan mungkin nihil.
- Tidak ada hipervitaminosis

Group K K1 atau phylloquinone K2 atau difarnesyl naphthoquinone K3 atau methyl naphthoquinone (vitamin dari sintesis)

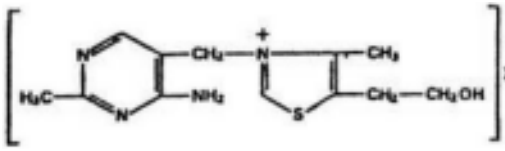
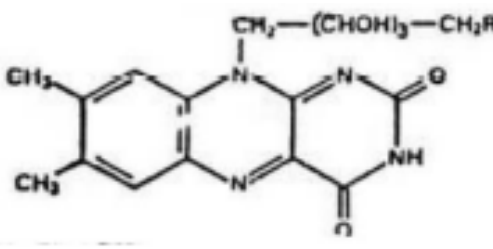
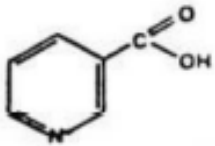
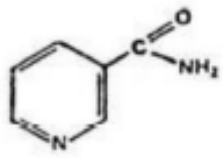


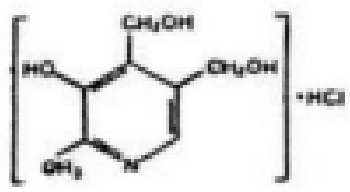
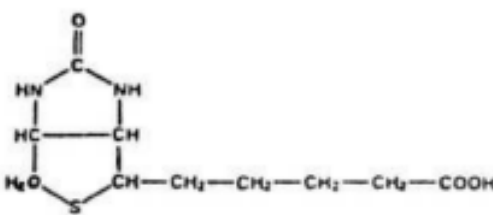
- Diperlukan untuk sintesis II, VII, IX dan X faktor dalam kompleks protrombin yang terlibat dalam pembekuan darah. Anti – perdarahan vitamin hagic.
- Hati, daging
- Bayam, kubis hijau dan stroberi.

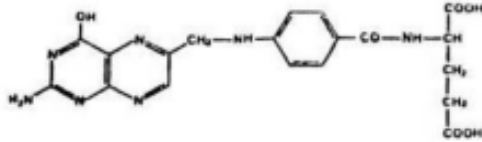
Vitamin larut dalam air

Group B Aneurin 1,5 mg atau

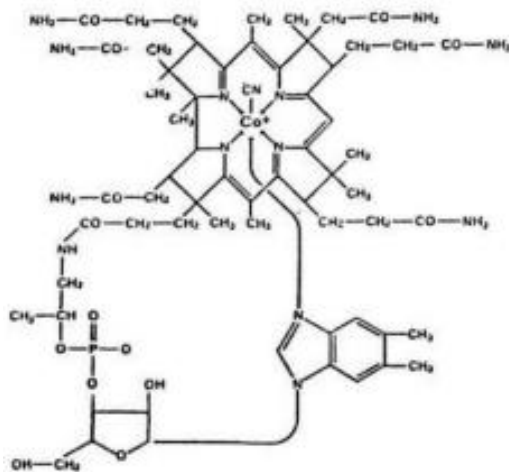
- Koenzim (tiamin pirofosfat) dari
- Ragi, biji-bijian sereal,

	tiamin hidroklori da		beberapa dekarboksilase		tanaman legumi, sayuran kering, buah kering dan tanaman berminyak, kacang, jeroan, kuning telur
Vitamin B1			• Berperan dalam asimilasi dan metabolisme karbohidrat		
			Kekurangan menyebabkan beri-beri, neuritis dan polineuritis.		
Vitamin B2	Riboflavin 1,5 mg atau laktoflavin		• Faktor pertumbuhan		• Ragi, sereal, hati, susu, telur dan daging
			• Masuk kedalam susunan koenzim dan pembawa hydrogen		
			• Berhubungan erat dengan metabolisme protein		
			• Kelembutan menyebabkan kekeringan pada mukosa membran, konjungtivis, salah satu gejala beri-beri		
Vitamin B3	Nikotinam 10-20 mg atau id atau vitamin PP niacin		• Terlibat dengan pembawa hidrogen (NADNADP)		• Ragi, gandum, kacang, ikan (terutama salmon) hati, dan daging
			• Mungkin dilengkapi oleh asosiasi: vitamin B2 + Vitamin B6 + Triptofan		
			• Defisiensi menyebabkan pellagra, terkait diare, demensia dan dermatitis.		
	Asam pantetonik				
Vitamin B5	Asam pantetonik 10 mg				• Ragi, hati, telur, daging,

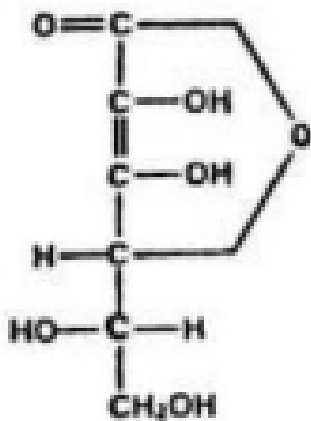
			$\text{CH}_2\text{OH}-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CHOH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	<ul style="list-style-type: none"> • Masuk kedalam susunan koenzim A • Sangat luas di alam • Tidak ada kekurangan yang diketahui 	<ul style="list-style-type: none"> • ikan dan sereal
Vitamin B6	Pyridoxin atau pyrodoxal	1.5 mg		<ul style="list-style-type: none"> • Kokus banyak dari transaminasi • Terlibat dalam penjabaran biogenik amine dari sistem saraf pusat • Aktif dalam saturasi dan desaturasi asam lemak • Masuk kedalam sintesis asam nikotinat • Defisiensi ini menyebabkan anemia, masalah saraf. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ragi, sereal • Daging, hati, jeroan • Kuning telur • Ikan • Susu
Vitamin B8	Biotin	150-300		<ul style="list-style-type: none"> • Koenzim dalam reaksi dekarboksilasi dan transkarboksilasi • Terlibat dalam sintesis asam lemak • Kekurangannya menyebabkan masalah trofik 	<ul style="list-style-type: none"> • Hati, ginjal, kuning telur, cokelat, tanaman polongan dan jamur
Vitamin B9	Asam folik	200-400	<ul style="list-style-type: none"> • Memungkinkan sintesis serin, 	<ul style="list-style-type: none"> • Sayuran hijau 	



Vitamin B12 Sinokobalamin 2



Vitamin C Asam askorbik L-10-75



asam nukleat dengan purin dan pirimidin

- Hati, ginjal
- Daging, telur
- Aktif dalam metabolisme tirosin, asam askorbit, asam folik dan B12
- Faktor ekstrinsik untuk faktor anaemia antipernicious
- Aktif dalam metabolisme karbohidrat oleh sistem saraf pusat
- Berperan sebagai koenzim dalam transformasi reaksi koenzim A
- Defisiensi (seperti halnya folat) memblok sintesis DNA
- Ragi
- Daging, hati, ginjal
- Ikan berlemak

- Pembawa ion H (Keseimbangan asam askorbat – dehidroaskorbik)
- Sangat diperlukan untuk sintesis kolagen
- Mengurangi zat besi menjadi bentuk besi dan memfasilitasi zat besi tersebut.
- Berpartisipasi dalam biosintesis glukokortikoid
- Kekurangan menyebabkan penyakit kubit dengan astenia, dan penyakit gusi
- Sayuran segar

dengan
pendarahan
(gingivitis)

6.1.2 Stabilitas Vitamin

Karena beberapa alasan industri makanan semakin mementingkan pengawetan vitamin:

- Ahli nutrisi tertarik pada kerugian yang disebabkan oleh pengolahan makanan, untuk memastikan kandungan vitamin yang sebenarnya makanan olahan;
- Ahli teknologi sedang mengevaluasi sejauh mana proses yang saat ini digunakan dalam industri makanan mempengaruhi pengawetan zat ini dan membuat perubahan jika memungkinkan untuk memperbaikinya
- Para ahli yang bertanggung jawab atas kendali mutu harus yakin bahwa kandungan vitamin dari produk seperti yang ditentukan. Selain itu, perubahan kandungan vitamin sering kali menunjukkan kualitas produk secara keseluruhan.

Vitamin termasuk dalam berbagai macam kelompok kimia; setiap senyawa dapat bereaksi berbeda sesuai dengan kondisi. Berikut adalah beberapa contohnya:

- Vitamin grup A paling sensitif terhadap oksigen dan cahaya, karena struktur polyenic dari
- Vitamin B₁, senyawa pirimidin dan tiazol, adalah penyebab sensitivitas termal thiamin.
- Niacin hampir tidak bisa dihancurkan melalui pemrosesan makanan. Beberapa mungkin hilang melalui pencucian:
- Sifat ene-diol dari asam askorbat bernilai secara teknologi, karena sifatnya yang mereduksi.

Dalam proses pembuatan, penyimpanan, dan persiapan produk makanan, vitamin terpapar serangkaian faktor fisikokimia: suhu, kelembapan, pH, oksigen, cahaya, dan aktivitas enzim. Faktor-faktor ini menimbulkan banyak kemungkinan kombinasi. karena setiap proses didasarkan pada banyak kondisi yang berbeda. Akan tetapi, harus diingat bahwa dalam banyak kasus, stabilitas yang sangat baik dapat diperoleh dalam struktur makanan kering.

6.2. Pigmen

Ada banyak zat lain, selain yang telah disebutkan di bab sebelumnya yang bertanggung jawab atas warna sejumlah makanan. Tiga kategori umum pigmen alami utama adalah:

- Pigmen porfirin, yang meliputi klorofil, pigmen darah (misalnya mioglobin dan haemoglobin)
- Karotenoid (di antaranya B-karoten, pendahulu vitamin A (Bab 8), dapat disebut secara khusus), likopen, xantofil;
- Flavonoid dan turunannya. Yang lainnya juga pantas disebutkan: tanin, betalains, quinones dan xanthones.

6.2.1. Klorofil

1. Struktur

Perbedaan struktural yang sangat kecil (Gambar 9.1) antara pigmen klorofil a dan klorofil b, yang terjadi di kloroplas tumbuhan tingkat tinggi. Kedua klorofil memiliki inti tetrapyrroie, mirip dengan inti hem (Gambar 14.2) tetapi dengan satu atom Mg di tengahnya. Motif ini larut dalam lemak karena rantai samping hidrokarbon phytyl yang panjang (pada C).

Klorofil a tampaknya menjadi pigmen utama yang bertanggung jawab untuk fotosintesis karena spektrum serapannya - yang menunjukkan dua paku, pada 430 dan 680 nm - bertepatan cukup baik dengan kurva efisiensi optimal cahaya dalam fotosintesis sebagai fungsi dari panjang gelombang.

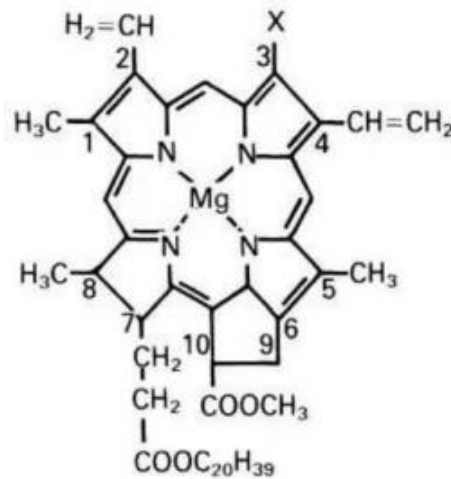
Klorofil berasosiasi dalam kloroplas dengan partikel yang lebih kecil, grana, terdiri dari lamellae dan stroma. Motekul klorofil tertanam di lamellae dan terkait erat dengan lipid, protein, dan lipoprotein.

2. Degradasi

Ada beberapa kemungkinan rute:

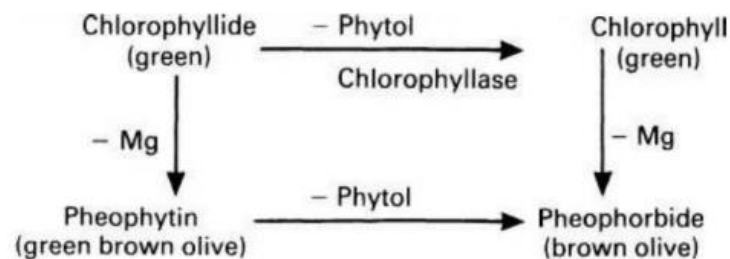
- Perlakuan panas atau penambahan ion H^+ akan mengkatalis pembuangan magnesium, seperti yang terlihat pada pemasakan dalam air atau uap. Dimungkinkan untuk mengurangi aksi panas melalui penggunaan perlakuan termal waktu singkat bersuhu tinggi atau dengan menaikkan pH medium.

- Klorofilase mengkatalisis pembelahan phytol. Enzim yang cukup tahan panas ini hanya terdapat pada tumbuhan tertentu dan hanya diaktifkan pada saat pematangan.
- Berbagai jenis oksidasi (enzimatis. Foto-oksidasi) dapat terjadi dan bentuk tanpa warna dapat dihasilkan dengan pembukaan melalui oksidasi inti tetrapireol. Senyawa volatil tertentu mempercepat (etilen) atau memperlambat (karbon dioksida) degradasi klorofil.



Gambar 6. 1 Struktur kloropilis a dan b

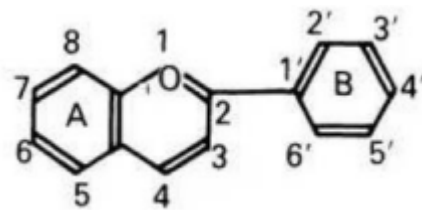
Penting untuk dicatat bahwa senyawa yang diperoleh setelah penghilangan magnesium (pheophytin) atau setelah penghilangan fitol (klorofilida) dapat teroksidasi untuk menghasilkan pheophorbide, dan kemudian klorin dan purpurin berwarna coklat. Reaksi degradasi ini dirangkum di bawah ini:



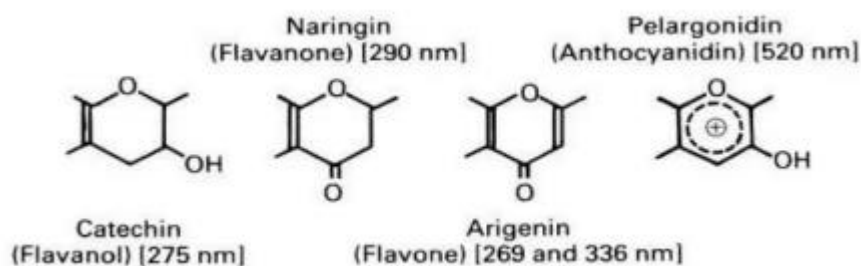
6.2.2. Flavonoid dan Derivatifnya

1. Struktur

Zat-zat ini memiliki struktur dasar sebagai berikut



Ini hanyalah tingkat delokalisasi elektron dari cincin heterosiklik pusat yang bertanggung jawab atas perbedaan warna merah atau ungu dari antosianin. flavon yang kuning, atau flavonoid tertentu yang tidak berwarna. Dari tingkat delokalisasi tertentu, kation flavylium mulai menyerap - seperti diilustrasikan di bawah - dalam spektrum tampak, menunjukkan pewarnaan kuning pertama, kemudian oranye, merah, dan ungu (tingkat penyerapan maksimum ditunjukkan dalam tanda kurung siku).



Di antara banyak pigmen yang diturunkan dari struktur ini, beberapa di antaranya patut diperhatikan.

- **Antosianin.** Dalam biokimia makanan, hanya enam dari pewarna ini yang penting. Selain adanya gugus --OH pada karbon 3, 5 dan 7, terdapat perbedaan substitusi gugus hidroksil atau metoksil pada karbon 3 '4 dan 5' cincin B "Senyawa ini, yaitu, menurut strukturnya, berwarna merah, biru atau ungu, biasanya berbentuk antosianin, artinya terkait dengan satu atau beberapa gula. Warna pigmen ini berubah baik sebagai fungsi pflor ketika gugus gula dihilangkan dengan hidrolisis. Bawonoid, seperti leucocyaomdin, tidak berwarna. Dalam proses oksidasi (pemanasan dalam medium asam) senyawa tak berwarna ini mengalami transformasi ipto anthocyanidins; warnanya berubah menjadi merah muda pr merah (inilah yang terjadi pada varietas apel, pir, kubis dan kacang- kacang tertentu.), Untuk alasan ini kami lebih suka menyebutnya proanthocyanidins. -Flavonoid, biasanya kuning, dicirikan oleh adanya gugus karbonil pada posisi 4 dan gugus hidroksil pada posisi 3. Berbeda

dengan antosianidin, gula kelompok biasanya terkait dengan posisi 7. Quercetin dan myricetin ditemukan di antara flavonoid yang paling umum.

- Flavonoid menunjukkan kemiripan yang kuat dalam struktur dengan carbonil tetapi tidak memiliki kelompok hidroksil di posisi 3. Beberapa flavonoid, yang bertanggung jawab atas rasa pahit dari buah REapetruit, lemon dan jeruk, ditempatkan dalam kategori ini: naringin (naringinol yang dioleskan ke glukosa dan rhamnose).

2. Pentingnya dalam Teknologi Pangan

Karakter elektrofilik dari struktur dasar pigmen ini menjelaskan reaktivitasnya yang besar. Reaksi yang dapat menimbulkan senyawa tak berwarna tidak diinginkan untuk industri buah dan sayuran. Dengan produk ini juga penting untuk mengontrol pH, suhu dan kondisi oksidasi yang disukai atau tidak disukai selama penyimpanan. Reaksi antosianin merah ceri dengan timah dalam kaleng pengawetan dan munculnya pewarnaan ungu muda, penghilangan belerang dari buah melalui pemanasan atau pengasaman, memungkinkan warna alami untuk beregenerasi adalah contohnya.

Glikosida flavonol sangat umum. Mereka dapat ditemukan di lebih dari setengah jumlah spesies tumbuhan tingkat tinggi. Mereka mewakili lebih dari 30% ekstrak kering dalam teh dan berkontribusi pada kualitas astringennya.

Namun, flavonol yang jarang ditemukan sangat menarik. Misalnya, pengobatan naringin dalam kulit dengan L-rhamnosidase menghasilkan prunine, yang kurang pahit. Naringenin, senyawa non-pahit, dapat diperoleh melalui aksi BD-glukosidase pada flavonoid ini (Gambar 6.2), αL-rhamnosidase juga dapat bereaksi dengan hesperidin untuk menghasilkan dehydrochalcone hesperidin glukosida, zat dengan rasa manis yang digunakan sebagai sweetener.

6.3. Senyawa lain

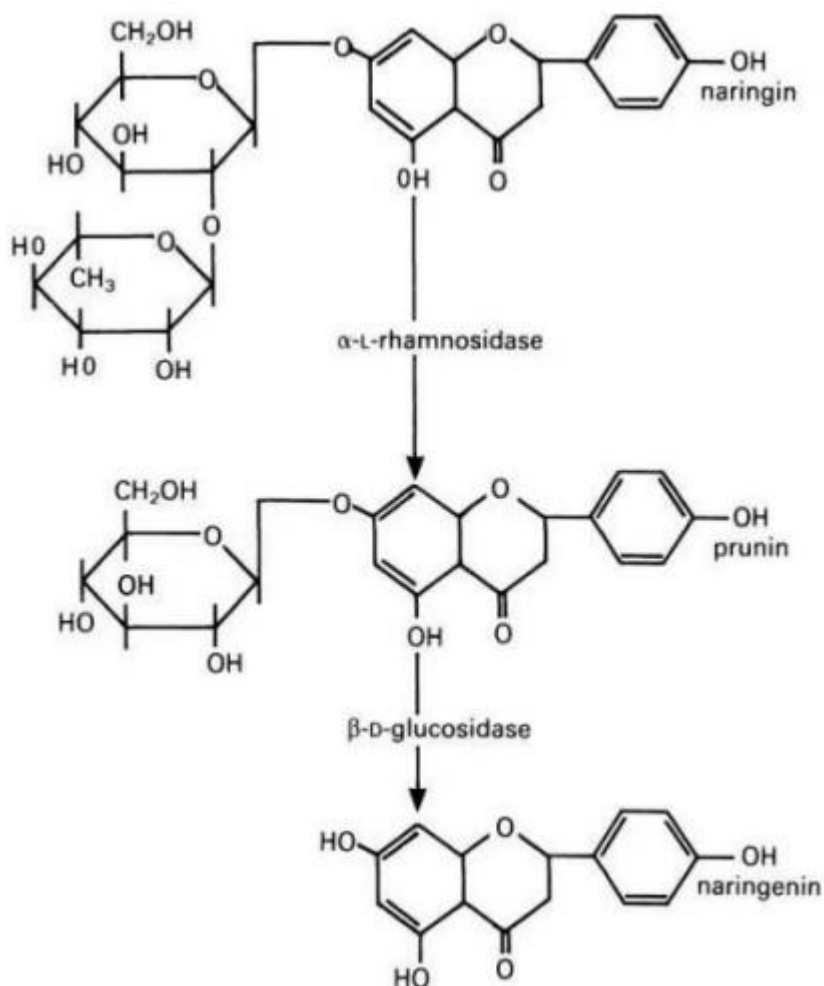
Seiring dengan dua kategori pigmen yang luas ini, makanan yang berasal dari tumbuhan mengandung banyak senyawa fenolik yang, melalui transformasi enzim, dapat menghasilkan polimer berwarna, biasanya coklat atau hitam.

1. Tanin

Tanin adalah contoh yang baik dari jenis senyawa ini, since di sini ada dua kelompok utama yang dapat dibedakan: tanin kental (juga dikenal di katekin), di mana struktur kimianya sangat mirip dengan antosianidin, dan tanin terhidrolisis, termasuk Gallotannin dan ellagitannins, yang berasal dari esterifikasi lima fungsi alkohol glukosa oleh berbagai asam polifenolat.

2. Betalain

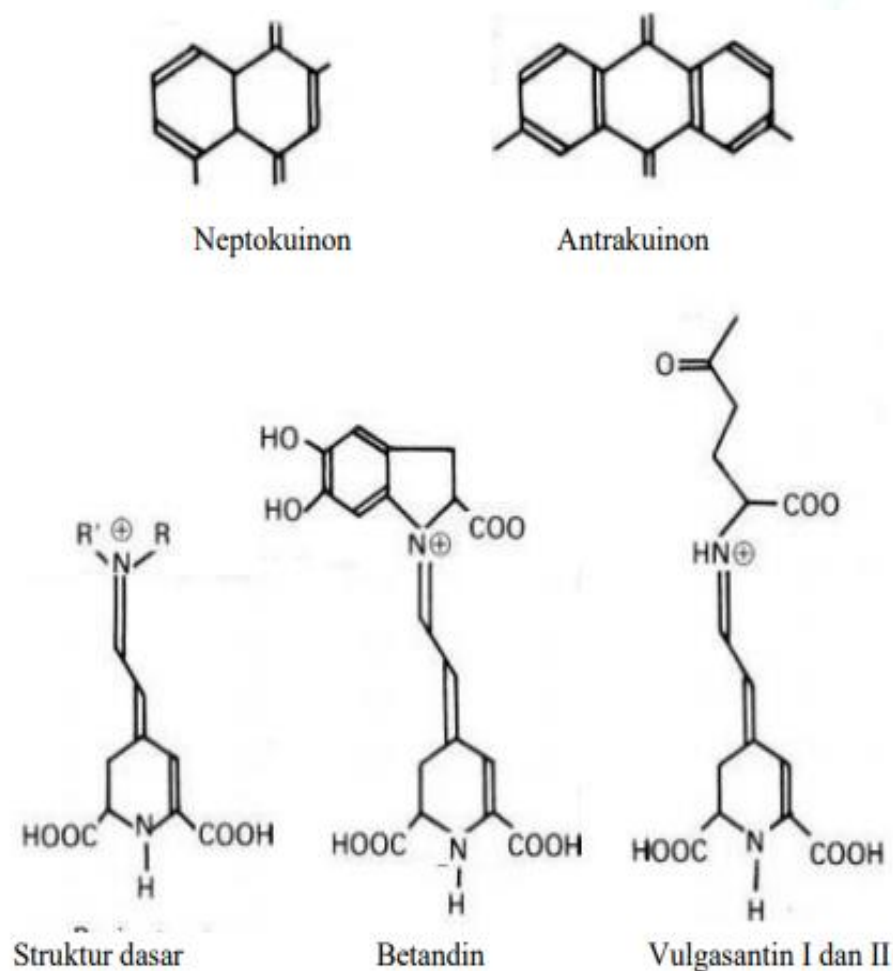
Betalain terlihat seperti antosianin, oleh karena itu penamaan salah mereka sebagai antosianin nitrogen. Mereka semua memiliki struktur dasar yang sama dan warnanya dihasilkan dari resonansi antara struktur mesomer yang berbeda. Betalain yang paling terkenal adalah yang berasal dari bit merah, yang darinya dua pigmen utama, betanidin dan vulgaxanthin, diilustrasikan pada Gambar 6.3.



Gambar 6. 2 Naringin debiterisasi

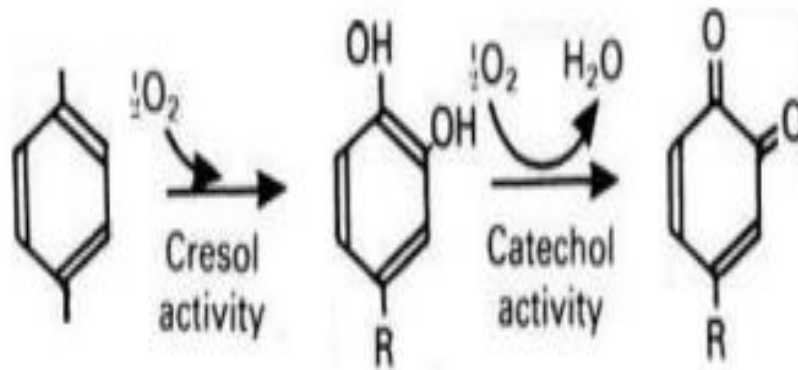
3. Kuinon dan xanton

Ini terdiri dari sekelompok pigmen yang biasa ditemukan pada bunga, jamur, alga dan bakteri. Di antara 200 senyawa yang teridentifikasi, naftoquinon paling menarik sebagai pewarna atau pencahar.



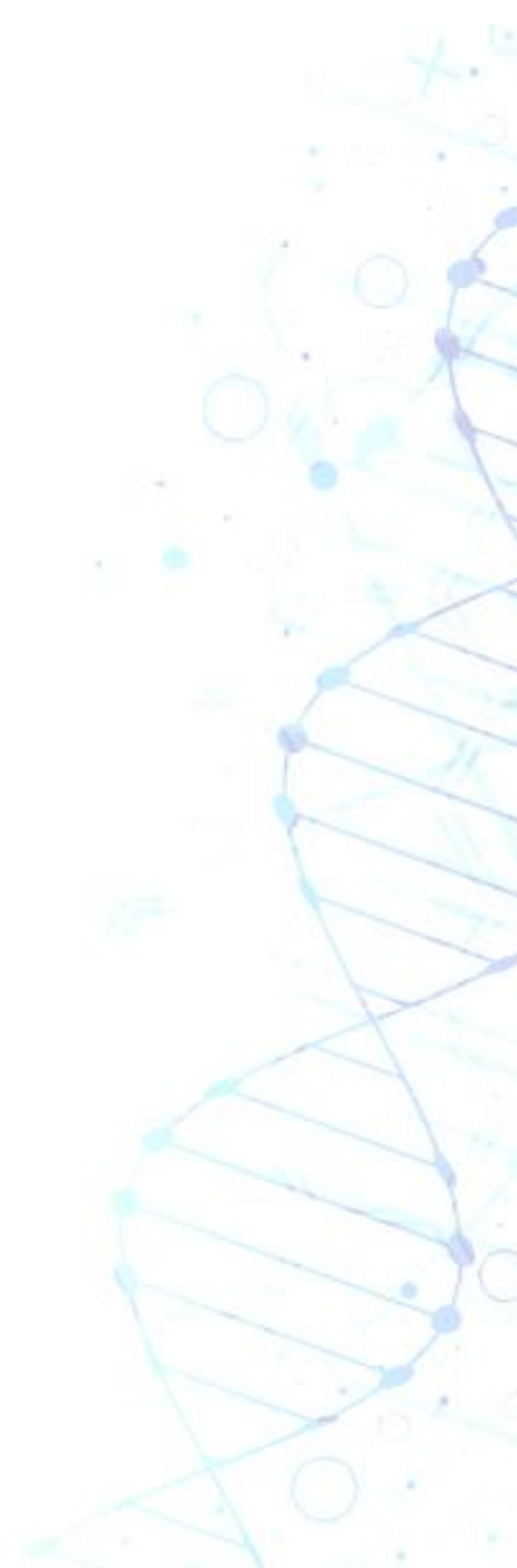
Gambar 6. 3 Struktur Struktur betalain derivative

Kuinon dapat dihasilkan dari oksidasi enzimatis polifenol menurut pola umum:



4. Melanin

Pigmen yang dibentuk oleh pencoklatan enzimik disebut dengan istilah umum melanin. Meskipun warnanya akhirnya coklat / hitam, warna perantara dapat diamati: merah muda, merah, biru / hitam. Pembentukan polimer dari kuinon ini terjadi tanpa intervensi enzim. Tuken secara keseluruhan, reaksi tersebut menimbulkan masalah warna pada beberapa buah dan sayur. Misalnya, warna yang buruk dapat berkembang ketika jaringan tanaman dihilangkan atau rusak karena trauma termal atau mekanis. Pada: warna kecoklatan tertentu mungkin sengaja dicari dalam proses pematangan atau pengerukan untuk beberapa produk plunt (kurma, biji kakao dan teh, dalam beberapa kasus).



GLOSARIUM

Aktivator Ion-ion anorganik yang biasanya berikatan lemah dengan suatu enzim

Apoenzim Bagian protein dari enzim.

Alkohol monohidrik Alkohol monohidrik adalah alkohol yang mengandung satu kumpulan hidroksil (-OH).

Allosteric inhibition Penghambatan oleh peristiwa pengikatan di situs yang berbeda dari situs Aktif, yang menginduksi perubahan konformasi dan mengurangi afinitas enzim untuk substratnya.

Amin turunan senyawa dari amonia atau NH_3 , di mana hidrogennya akan digantikan dengan alkil.

Anabolic (juga, anabolisme) jalur yang membutuhkan masukan energi untuk mensintesis molekul kompleks dari yang lebih sederhana

Atp Adenosina trifosfat (ATP) merupakan suatu nukleotida yang dalam biokimia dikenal sebagai "satuan molekular" pertukaran energi intraselular; artinya, ATP bisa dipakai untuk menyimpan dan mentranspor energi kimia dalam sel. ATP juga bertindak penting dalam sintesis asam nukleat. ATP Adenosin trifosfat, sumber energi langsung bagi semua kegiatan metabolisme di dalam sel.

Bioenergetics Studi tentang energi yang mengalir melalui sistem kehidupan

Catabolic(juga, katabolisme) jalur di mana molekul kompleks dipecah menjadi yang lebih sederhana

Coenzyme Molekul organik kecil, seperti vitamin atau turunannya, yang diperlukan untuk meningkatkan aktivitas enzim

Cofactor Ion anorganik, seperti ion besi dan magnesium, diperlukan untuk pengaturan aktivitas enzim yang optimal

Competitive inhibition Jenis penghambatan di mana inhibitor bersaing dengan molekul substrat dengan mengikat sisi Aktif enzim Deaminasi oksidatif proses pemecahan (hidrolisis) asam amino menjadi asam keto dan ammonia (NH_4^+)

Dehidrogenase Suatu enzim yang melangsungkan proses oksidasi di dalam sel-sel hidup dengan cara melepaskan hidrogen dari substrat.

Denature Proses yang mengubah sifat alami suatu zat Entropy (S) ukuran keacakan atau ketidakteraturan dalam suatu sistem

Enzim adalah senyawa kimia berupa protein yang berperan sebagai biokatalisator, di mana bio adalah makhluk hidup dan katalis adalah zat yang dapat mempercepat reaksi. Sederhananya, enzim adalah katalis yang membantu mempercepat reaksi biologis.

Feedback inhibition Efek suatu produk dari suatu urutan reaksi untuk menurunkan produksi selanjutnya dengan menghambat aktivitas enzim pertama pada jalur yang memproduksinya

Fosfolipid jenis lipid yang terbentuk dari gliserol yang terikat pada dua asam lemak dan gugus fosfat.

Glikolipid molekul lipid yang mengandung gugus gula.

Glikolisis Glikolisis adalah salah satu proses metabolisme yang paling universal yang kita kenal, dan terjadi di banyak jenis sel dalam hampir seluruh bentuk organisme.

Gliserol sebuah komponen utama dari semua lemak dan minyak, dalam bentuk ester yang disebut gliserida.

Hormon steroid Steroid yang bertindak sebagai hormon.

Karbohidrat Karbohidrat, hidrat arang, atau sakarida adalah biomolekul yang terdiri dari atom karbon, hidrogen, dan oksigen, biasanya dengan perbandingan atom hidrogen–oksigen 2:1 dan rumus empiris $C_mH_nO_p$.

Kardiolipin salah satu substansi penyusun membran sel dan trombosit.

Katalis Molekul yang berfungsi mempercepat reaksi kimia

Kodon deret nukleotida pada mRNA yang terdiri atas kombinasi tiga nukleotida berurutan yang menyandi suatu asam amino tertentu

Koenzim Kofaktor yang berupa molekul organik kecil yang merupakan bagian enzim yang tahan panas

Kolesterol senyawa lemak berlipid yang sebagian besar diproduksi pada organ hati dan sebagian lainnya didapatkan dari makanan.

Lipase enzim yang berfungsi untuk mencerna dan menggunakan lemak ASI sepenuhnya.

Lipid berasal dari kata lipos yang berarti lemak.

Lipoprotein struktur biokimia yang berisi protein dan lemak, yang terikat pada protein, yang memungkinkan lemak untuk bergerak melalui air pada bagian dalam dan di luar sel.

Makromolekul molekul raksasa dengan rantai sangat panjang yang tersusun dari molekul-molekul sederhana (monomer).

Metabolisme Metabolisme merupakan sejumlah reaksi kimia yang terjadi di dalam setiap sel organisme hidup. Metabolisme menyesuaikan energi untuk proses vital dan membentuk energi baru.

Metionin asam amino yang memiliki atom S.

NADH merupakan bentuk koenzim aktif dari vitamin B3. Metabolisme etanol akan menghasilkan NADH dan mempercepat laju konversi asam piruvat menjadi asam laktat.

Neutropenia kondisi yang terjadi ketika seseorang memiliki jumlah neutrofil dalam darah sangat rendah.

Oligopeptida suatu bentuk rantai asam amino pendek.

Ornitin asam amino non-esensial hasil reaksi hidrolisis arginina oleh enzim arginase pada lintasan katabolisme dalam siklus urea.

pH Derajat keasaman atau kebasahan suatu larutan

Phosphoanhydride bond ikatan yang menghubungkan fosfat dalam molekul atp

Prolin asam amino non-esensial.

Respirasi aerob Respirasi aerob adalah proses penguraian senyawa organik dengan bantuan oksigen

Respirasi anaerob Respirasi anaerob adalah proses katabolisme yang tidak memerlukan oksigen untuk menghasilkan energi.

Siklus krebs Siklus krebs adalah serangkaian reaksi kimia yang terjadi pada sel hidup untuk menghasilkan energi dari asetil ko-A, yaitu perubahan dari asam piruvat hasil glikolisis. Tahapan respirasi aerob sendiri dimulai dari glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs, dan transfer elektron.

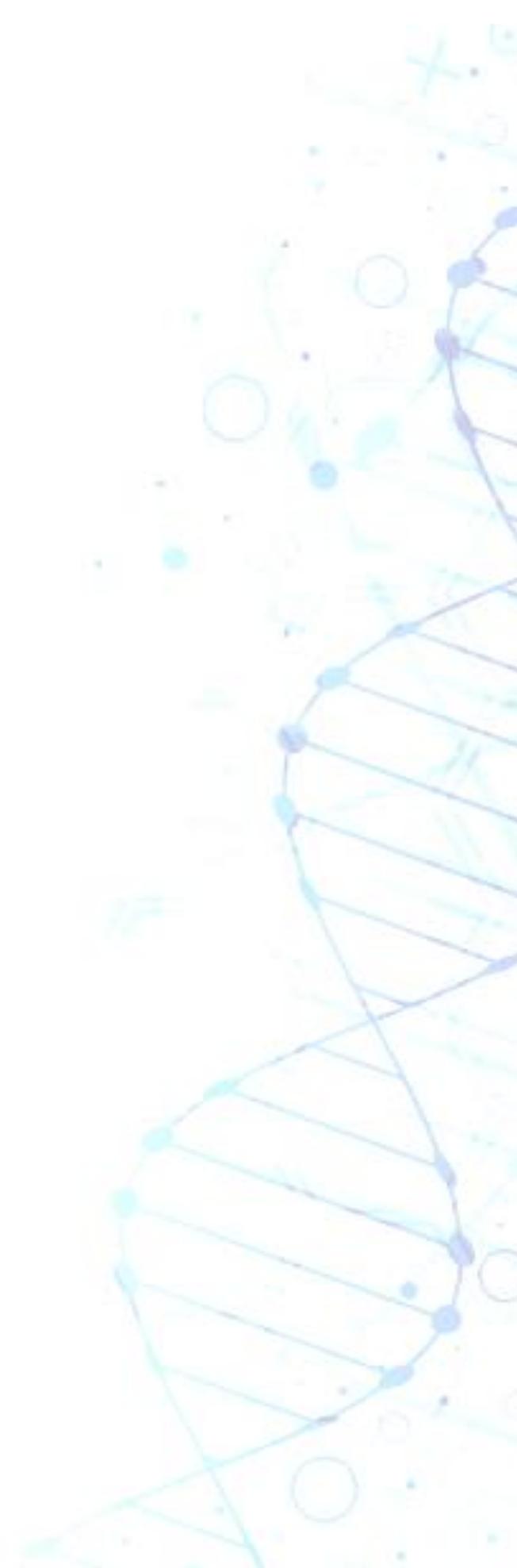
Steroid senyawa organik lemak sterol tidak terhidrolisis yang didapat dari hasil reaksi penurunan dari terpena atau skualena.

Sulfolipid kelas lipid yang memiliki gugus fungsi yang mengandung belerang. Trigliserida salah satu jenis lemak yang mengalir di dalam darah.

Transfor elektron Rantai transpor elektron merupakan serangkaian rantai dalam membran yang terdiri dari protein kompleks yang mentransfer elektron dari donor elektron menuju akseptor elektron melalui reaksi redoks.

Vitamin Organic nutrients that are needed in small amounts for various biochemical functions and which are not synthesized by the body and must be supplied from food.

Wax zat lilin.



DAFTAR PUSTAKA

- Alais, C. And G. Linden. (1987). Food Biochemistry. Ellis Horwood. New York
- Apriyanto, M. (2021). *Buku Ajar: Kimia Pangan*. Nuta Media.
- Aryulina, D., Choirul Muslim, S. M. (2004). *Biologi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Campbell, N.A dan J.B. Reece. (2010). *Biologi*. Edisi ke-8. Penerjemah Damarling Tyas Wulandari. Penerbit Erlangga
- Fardiaz, S. (1992). *Mikrobiologi Pangan I*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Gagne, A., Shu Qin Wei, W.D. Fraser and P. Julien. (2009) . Absorption, transport, and bioavailability of vitamin E and its role in pregnant women. *Journal of obstetetry and gynaecology canada* 31 , 210 –217 .
- Hanum, G. R. (2017). *Biokimia Dasar*. Sidoarjo: UMSIDA Press. Santoso, B. (2007). *Biologi*. Jakarta: Interplus.
- Ischak, N.I., Y.K. Salimi dan D.N. Botutihe. (2017). *Biokimia Dasar*. Penerbit UNG Press
- Lehninger, A.L., (1982). *Principles of Biochemistry*, Worth Publishers Inc. New York.
- Morion. (1980). *Kimia Dan Teknologi Protein*. PAU dan Gizi UGM, Yogyakarta.
- Muhiddin, N.H. Ramlawati, N.A. Yanti dan A. Mun'im. (2019). *Proses Pembuatan Tape dari Umbi Ubi Jalar Ungu (Ipomoea batatas L) dan Umbi Ubi Kayu (Manihot esculenta Crantz) dengan Starter Ragi Tape Lokal*. P00201806459. Lembaga Penelitian UNM Kampus Gunung Sari Baru Jln. A.P. Pettarani makassar 90222. <https://pdki-indonesia.dgip.go.id/detail/P00201806459?type=patent&keyword=Proses+Pembuatan+Tape+dari+Umbi+Ubi+Jalar+Ungu+%28Ipomoea+batatas+L.%29+dan+Umbi+Ubi+Kayu+%28Manihot+esculenta+Crantz%29+dengan+Starter+Ragi+Tape+Lokal>
- Muhiddin, N.H. Ramlawati, N.A. Yanti dan A. Mun'im. (2019). The Changes of Starch and Sugar on Fermented of Mixture of Cassava and Sweet Potatoes Using Local Ragi Tape. *Journal of Physics; Conference series*, Volume 1317, 2019 – IOP Publishing
- Page, D.S. (1985). *Prinsip-prinsip Biokimia*. Edisi Kedua. Penerjemah : R. Soendoro. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Stryer, L, (1995). *Biochemistry*, 4th Ed, Vol 1& 2 . W.H. Freeman and Company, New York
- Sumbono, A. (2018). *Enzim*. CV Budi Utama.
- Sutrisno, A. (2017). *Teknologi Enzim*. UB Press.
- Tim Ganesha Operation. (2017). *Pasti Bisa Biologi*. Bandung: Penerbit Duta.
- Wahjuni, S. (2013). *Metabolisme Biokimia*. Denpasar: Udayana University Press.
- Winarno, F. G. (2008). *Kimia Pangan Dan Gizi*. M-Brio Press, Bogor.

