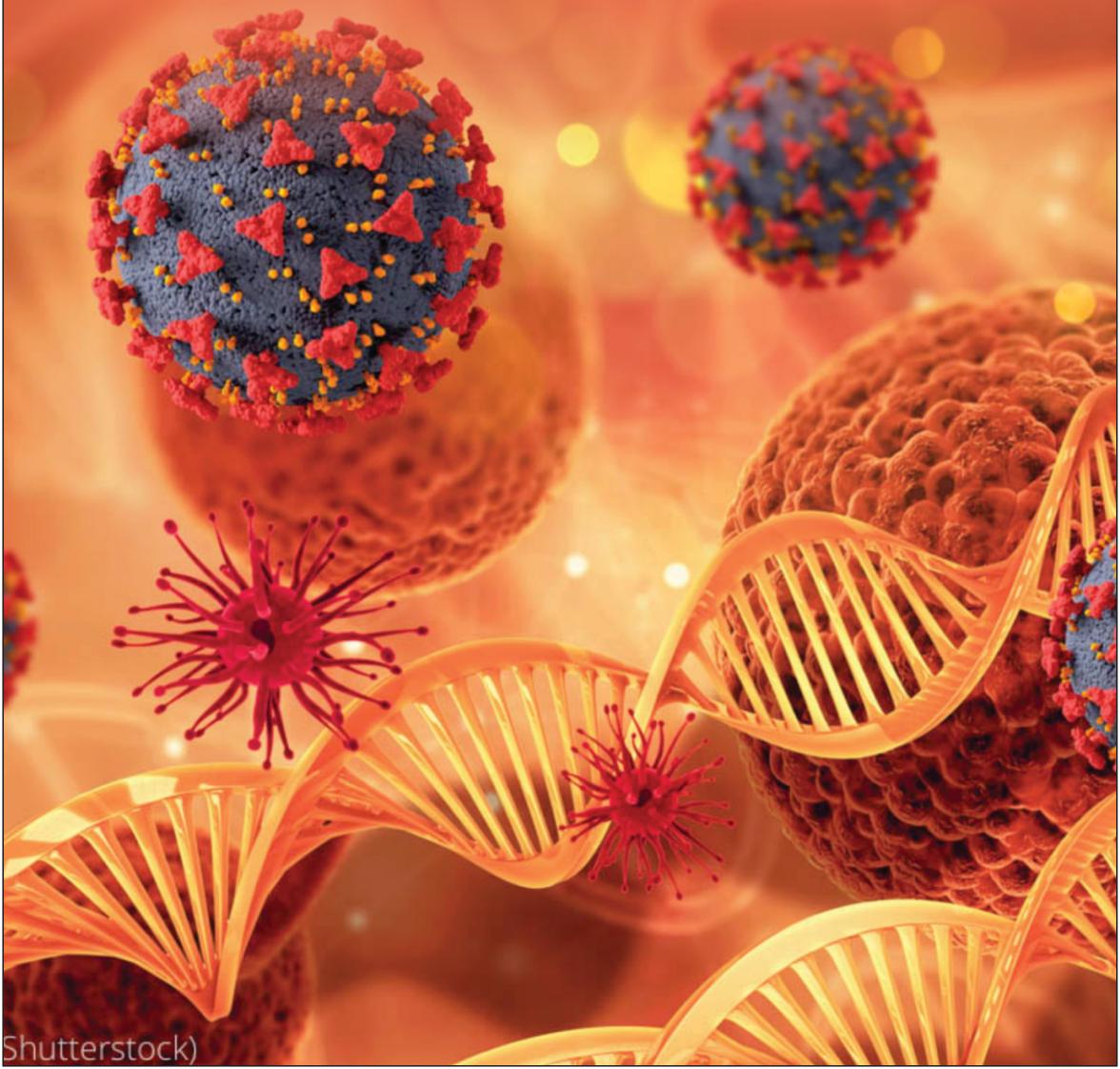


Dwi Wahyudiati, M.Pd.

BIOKIMIA





Buku adalah sebaik-baik teman duduk sepanjang masa (Al-Mutanabbi)

BIOKIMIA

KARYA
DWI WAHYUDIATI, M.PD.

LEPPIM
MATARAM

BIOKIMIA

Karya : **Dwi Wahyudiati, M.Pd.**

Editor : **Edi M. Jayadi**

Penerbit

LEPPIM MATARAM

Jalan Pendidikan 35 Mataram

Cetakan I, Oktober 2017

ISBN 978-602-60913-4-5

Ukuran 15.5 x 23 cm

Pengantar

Penulis mengucapkan syukur Alhamdulillah atas segala rahmat dan nikmat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku “Biokimia” dapat terselesaikan tepat waktu walaupun masih terdapat banyak kekurangan. Buku ini disusun untuk mahasiswa yang menempuh Mata Kuliah Biokimia. Isi buku ini disesuaikan dengan kurikulum yang berlaku pada Jurusan Pendidikan IPA Biologi Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan IAIN Mataram, di mana Mata Kuliah Kimia Dasar hanya terdiri dari dua (2) SKS sehingga susunan materinya disesuaikan agar nantinya dapat mendukung mata kuliah lanjutan pada semester selanjutnya.

Disadari sepenuhnya bahwa tanpa dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun secara tidak langsung, buku ini tidak mungkin dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan. Oleh karena itu, segala bentuk dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak tersebut. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya dan semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Mataram, Oktober 2017

Penulis

Daftar Isi

KATA PENGANTAR _ v

DAFTAR ISI _ vi

Bab 1 PENDAHULUAN

- A. Definisi Biokimia _ 1
- B. Sejarah Perkembangan Biokimia _ 2
- C. Tujuan dan Manfaat _ 5
- D. Komponen Kimiawi Sel _ 6
- E. Rangkuman _ 9

Bab 2 PROTEIN

- A. Definisi Protein _ 13
- B. Makromolekul Protein _ 15
- C. Pembentukan Ikatan Peptida dan Penggolongan Protein _ 16
- D. Keunikan Protein _ 29
- E. Sumber Protein _ 30
- F. Reaksi-reaksi Khas Protein _ 31
- G. Kekurangan Protein _ 32
- H. Rangkuman _ 33

Bab 3 ASAM AMINO PENYUSUN PROTEIN

- A. Definisi dan Struktur Asam Amino _ 37
- B. Sifat Asam Basa Asam Amino _ 85
- C. Hirarki Struktur Protein _ 89
- D. Denaturasi Protein _ 95
- E. Hidrolisis Protein _ 99
- F. Rangkuman _ 102

Bab 4 KARBOHIDRAT

- A. Definisi Karbohidrat _ 105
- B. Kimiawi Karbohidrat _ 108
- C. Klasifikasi Karbohidrat _ 112
- D. Fungsi Karbohidrat Dalam Tubuh _ 140
- E. Uji Karbohidrat _ 141
- F. Rangkuman _ 142

Bab 5 LIPID

- A. Definisi Lipid _ 147
- B. Penggolongan Lipid _ 151
- C. Fungsi Biologi Lipid _ 180
- D. Metabolisme Lipid _ 193
- E. Rangkuman _ 206

Bab 6 ENZIM

- A. Definisi dan Sifat Enzim _ 209
- B. Tata Nama dan Klasifikasi Enzim _ 211
- C. Aspek Umum Molekul Enzim _ 216
- D. Mekanisme Kerja Enzim _ 217
- E. Kinetika Michaelis Menten _ 221

- F. Katalisator _ 226
- G. Faktor yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim _ 231
- H. Rangkuman 183
- I. Latihan Soal-Soal _ 240

DAFTAR PUSTAKA _ 243

Bab 1

PENDAHULUAN

A. DEFINISI BIOKIMIA

Biokimia adalah ilmu yang menghubungkan, bahkan sebagai perekat antara disiplin ilmu biologi dan kimia yang memanfaatkan Hukum-hukum Fisika dan Kimia untuk menjelaskan proses kehidupan¹. Biokimia mempelajari proses kehidupan yang dimulai dari sel, karena sel adalah satuan terkecil dari kehidupan. Sel sebagai satuan terkecil kehidupan memiliki struktur dan organisasi yang unik. Keunikan sel itulah yang akan dijelaskan oleh biokimia berdasarkan kaidah-kaidah biologi dan kimia. Secara simultan, Biokimia mempelajari aspek biologi dan kimiawi senyawa-senyawa penyusun sel.

Dibanding benda mati, setiap benda hidup (organisme) mempunyai tiga ciri sekaligus, yaitu:

1. Mempunyai Susunan yang Kompleks, tetapi terorganisir dengan sangat rapi.
2. Mampu mempertahankan 'keteraturan' dirinya di dalam lingkungan yang semakin tidak teratur (Hukum Termodinamika II)
3. Dapat mereplikasi diri (berkembang biak).

¹ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.1

Perbedaan antara sudut pandang ilmu kimia dengan sudut pandang biologi telah dihubungkan oleh suatu bidang ilmu Sains lainnya yang meninjau organism hidup serta proses yang terjadi di dalamnya secara kimia, yaitu biokimia². Jadi Biokimia merupakan disiplin ilmu yang menghubungkan antara disiplin ilmu kimia dengan disiplin ilmu biologi khususnya biologi sel dan molekuler, genetika, bioteknologi, dan beberapa bidang biologi lainnya. Secara khusus biokimia mempelajari terkait dengan sel penyusun makhluk hidup dan susunan kimiawi penyusun selnya, sifat senyawa penyusun sel (faktor genetika, pertumbuhan sel, aktivitas enzim sebagai biokatalis dalam proses metabolisme), reaksi-reaksi kimia atau proses metabolisme yang terjadi di dalam sel makhluk hidup, senyawa-senyawa kimia yang menunjang semua aktivitas suatu makhluk hidup serta energi yang diperlukan ataupun dihasilkan dalam setiap aktivitas sel penyusun makhluk hidup.

B. SEJARAH PERKEMBANGAN BIOKIMIA

Biokimia berasal dari kata Yunani *bios* “kehidupan” dan *chemis* “kimia” yang sering diartikan sebagai ilmu yang mempelajari dasar kimia kehidupan. Atau dapat juga diartikan sebagai salah satu ilmu yang mempelajari reaksi-reaksi kimia atau interaksi molekul dalam sel hidup³.

Istilah biokimia telah dikemukakan oleh Karl Neuberg (1903) ahli kimia Jerman dan sekitar pertengahan abad XVIII Karl Wilhelm Scheele ahli kimia swedia telah melakukan penelitian mengenai susunan kimia jaringan pada tumbuhan

² Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). Hal.1

³ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.1

dan hewan⁴. Selain itu ia juga telah dapat mengisolasi asam oksalat, asam laktat, asam sitrat serta beberapa ester dan kasein dari bahan alam. Pada awal Abad XIX, oleh Friedrich Wohler yaitu pada tahun 1828 Wohler menunjukkan bahwa urea, suatu senyawa yang terdapat dalam urine, ternyata dapat dibuat dalam laboratorium dengan jalan memanaskan alkali sianat dengan garam amonium⁵.

Perkembangan Biokimia dilanjutkan dengan penemuan dua bersaudara Eduard dan Hans Buchner yang berdasarkan hasil percobaannya membuktikan bahwa sel-sel ragi yang telah mati masih mampu untuk menyebabkan terjadinya proses fermentasi gula menjadi alkohol. Penemuan dua bersaudara ini menjadikan tonggak sejarah baru dalam perkembangan pengetahuan dan aplikasi Biokimia, yaitu adanya kemungkinan dilakukannya analisis reaksi dan proses Biokimia dengan alat laboratorium (*in vitro*), tanpa perlu menggunakan organisme hidup (*in vivo*). Penemuan ini dilanjutkan dengan penemuan dan penerapan biokatalis, yaitu katalisator alami yang mampu mempercepat suatu reaksi kimia yang terjadi.

Selanjutnya Pada tahun 1926 J.B. Sumner membuktikan bahwa urease, yakni enzim yang diperoleh dari biji kara pedang (*jack beans*) dapat dikristalkan seperti juga senyawa organik lainnya. Hal ini makin memperkuat kenyataan bahwa enzim dengan struktur kompleksnya, dapat diteliti meskipun dalam skala laboratorium sekalipun. Sejalan dengan perkembangan biokimia, para ahli biologi sel memberikan sumbangannya dalam bidang struktur sel. Diawali oleh Robert Hooke pada Abad XVII telah melakukan observasi terhadap sel-sel, maka perbaikan atas teknik observasi dengan menggunakan

⁴ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). Hal.2

⁵ Ibid, hal 3-4

mikroskop telah dapat meningkatkan pemahaman atas struktur yang kompleks⁶.

Pengembangan mikroskop elektron pada pertengahan Abad XX juga telah memberikan sumbangan yang sangat berarti terhadap perkembangan ilmu Biokimia baik pemahaman atas struktur senyawa-senyawa biokimia, reaksi-reaksi kimia yang terjadi di dalam sel, maupun identifikasi reaksi metabolisme dalam sel makhluk hidup. Selanjutnya dalam bidang genetika seorang ahli genetika yang bernama Gregor Mendel pada pertengahan Abad XIX dan kemudian menjelang Abad XX berdasarkan hasil penelitiannya membuktikan bahwa gen yang menjadi penyusun sel makhluk hidup. Pada tahun 1869 asam nukleat telah diisolasi Friedrich Miescher dan pada awal Abad XX Para ahli biokimia berpendapat bahwa hanya protein yang memiliki struktur yang paling kompleks yang membawa informasi genetika, sedangkan asam nukleat diasumsikan hanya sebagai senyawa yang sederhana sebagai penyusun sel makhluk hidup.

Menjelang pertengahan Abad XX ini terbukti bahwa asam deoksiribonukleat (DNA) adalah senyawa pembawa informasi genetika. James Watson dan Francis Crick (1953) berdasarkan hasil percobaannya dengan melakukan elusidasi struktur 3 dimensi DNA dan mekanisme replikasinya menjadi dasar pemahaman mengenai fungsi gen sebagai pembawa sifat suatu jasad⁷. Pada tahun 1970an Paul Berg melakukan eksperimen penyambungan DNA suatu virus sehingga diperoleh suatu DNA rekombinan dan menjadi titik awal baru perkembangan teknologi baru yang sangat mendukung

⁶ Ibid, hal.4

⁷ Yuwono, *Bioteknologi Pertanian*,(Yogyakarta; UGM Press, 2006), hal.6-7

berkembangnya aplikasi Biokimia dalam berbagai bidang kehidupan.

Secara umum pada Abad XX ini biokimia mengalami perkembangan yang pesat yang didukung oleh kemajuan atau perkembangan metode analisis kromatografi, penemuan hasil antara dalam metabolisme karbohidrat, lemak dan protein, penemuan struktur primer, sekunder, tersier dan kuarterner protein serta struktur DNA dan RNA mempunyai arti yang sangat penting dalam perkembangan biokimia⁸.

C. TUJUAN DAN MANFAAT BIOKIMIA

Tujuan mempelajari biokimia secara umum yaitu mendiskripsikan struktur, organisasi dan fungsi zat hidup pada tingkat molekul yang terkait dengan bagaimana suatu organisme membentuk struktur “supramolekul” yang dimulai dari tingkat sel, jaringan, organ, dan sistem organ. Selain itu, biokimia juga membahas bagaimana mekanisme reaksi-reaksi kimia di dalam sel berlangsung dan reaksi-reaksi kimia apa saja yang berkaitan dengan proses reproduksi, pertumbuhan dan kematian suatu sel atau organisme, dan bagaimana organisme menyimpan dan menyalurkan informasi genetik dengan sangat tepat dan akurat, proses metabolisme sel, termasuk reaksi-reaksi yang menggunakan enzim, yaitu biokatalis yang mempercepat berlangsungnya reaksi biokimia tersebut.

Tujuan mempelajari biokimia sangat berkaitan erat dengan manfaat mempelajari biokimia yaitu hasil temuannya telah banyak dipakai secara luas baik di laboratorium maupun di luar laboratorium termasuk di bidang pertanian, kedokteran,

⁸ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). Hal.5

farmasi, nutrisi, dan sebagainya. Adapun manfaat tersebut antara lain:

1. khususnya pada pemeriksaan darah: kadar kolesterol, SGPT-SGOT, bilirubin dsb.
2. Obat-obatan:
3. Antibiotik: penisilin, streptomisin, erytromycin dlsb
4. Viagra
5. AZT (azido dideoksi timidin) → menggantikan Thimine, memblokir sintesis DNA oleh virus (HIV)
6. 6-Merkapto Purin → menghambat sintesis DNA pada pembiakan sel leukemia
7. Isoproterenol → menyerupai hormon ephineprin/ adrenalin sehingga menghambat rangsangan oleh hormon itu.
8. Herbisida dan pestisida → umumnya adalah inhibitor salah satu enzim pada tanaman atau serangga.

D. KOMPONEN KIMIAWI SEL

Sel penyusun organisme disusun oleh senyawa-senyawa organik dan disusun oleh empat molekul terbesar penyusun makhluk hidup yang dikenal dengan makromolekul. Keempat makromolekul tersebut juga disebut biomolekul karena molekul-molekul tersebut yang menjadi penyusun suatu makhluk hidup baik dari organisme paling sederhana maupun yang paling kompleks. Keempat makromolekul tersebut adalah protein, asam nukleat, karbohidrat, dan lipid yaitu sebagai materi dasar pembangun sel atau organism hidup⁹.

Setiap biomolekul tersebut memiliki keunikan dan ciri khas masing-masing yang bervariasi dalam ukuran struktur dan fungsionalnya, dan disusun oleh senyawa-senyawa

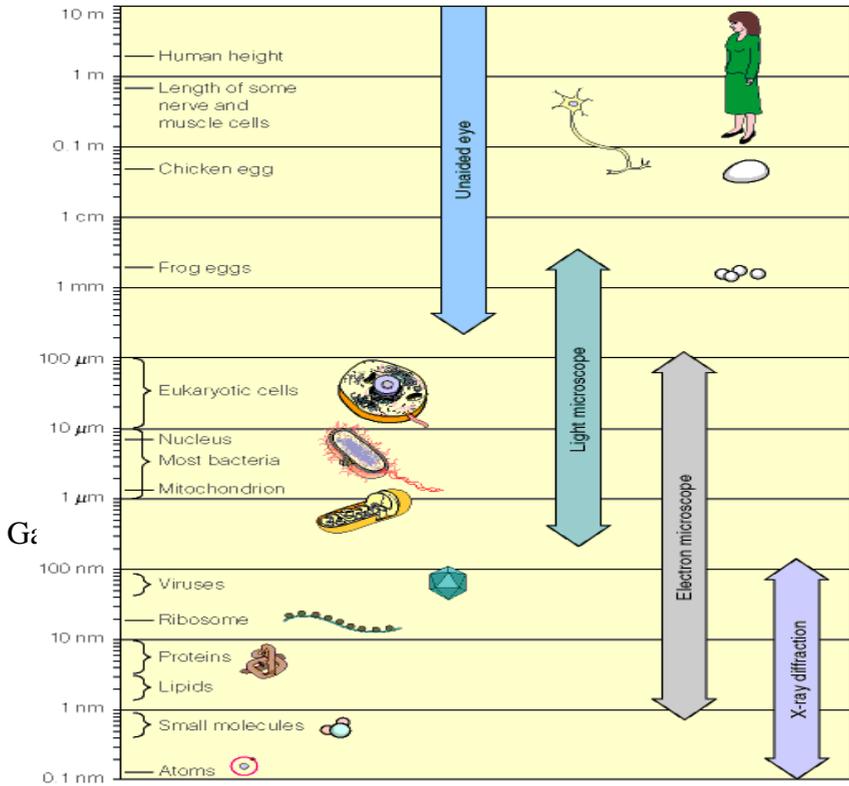
⁹ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.4

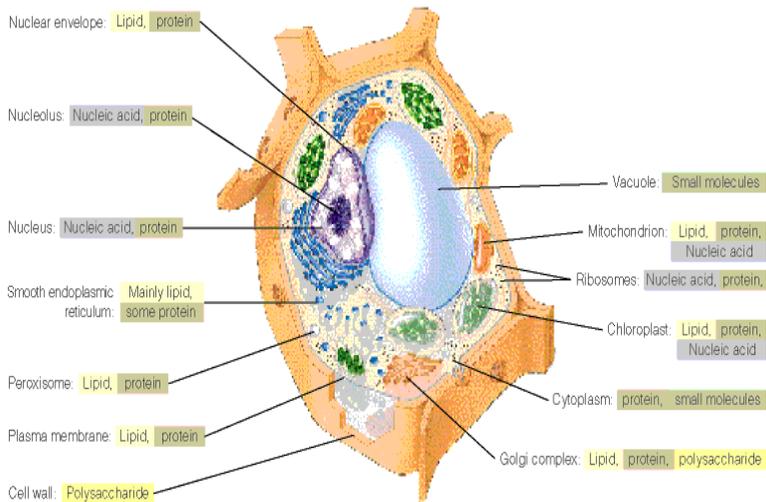
sederhana penyusunnya yang disebut mikromolekul. Makromolekul protein disusun oleh 20 asam amino, makromolekul karbohidrat disusun oleh tiga monosakarida utama, makromolekul lipid disusun oleh tujuh komponen utama, dan asam nukleat disusun oleh delapan komponen utama¹⁰. Tabel berikut menunjukkan komponen penyusun keempat biomolekul yang terdiri atas 35 senyawa kimia sederhana dan ukuran relatif biomolekul, dan gambar distribusi biomolekul di dalam sel.

Tabel 1.1. Komponen Utama Penyusun Biomolekul

No	Biomolekul	Fungsi Utama	Contoh
1	Karbohidrat	Sumber energi Cadangan Energi Pembentuk struktur	Glukosa Glikogen, tepung Selulosa
2.	Lipid	Penyusun membran sel Penahan Panas & benturan Cadangan Energi	Fosfolipid Lemak tubuh
3.	Protein	Pembentuk struktur, Biokatalis/ Enzim	Daging, bulu, kulit Semua enzim
4.	Asam Nukleat	Penyimpan dan pembawa informasi genetik Penyusun ribosom	DNA, mRNA, tRNA rRNA

¹⁰ Ibid, hal 4-5.





Gambar 1.2. Distribusi Biomolekul di Dalam Sel

E. RANGKUMAN

Biokimia adalah ilmu yang menghubungkan, bahkan sebagai perekat antara disiplin ilmu biologi dan kimia yang memanfaatkan Hukum-hukum Fisika dan Kimia untuk menjelaskan proses kehidupan. Biokimia mempelajari proses kehidupan yang dimulai dari sel, karena sel adalah satuan terkecil dari kehidupan. Sel sebagai satuan terkecil kehidupan memiliki struktur dan organisasi yang unik. Keunikan sel itulah yang akan dijelaskan oleh biokimia berdasarkan kaidah-kaidah biologi dan kimia. Secara simultan, Biokimia mempelajari aspek biologi dan kimiawi senyawa-senyawa penyusun sel.

Sejarah perkembangan Biokimia mulai dikemukakan oleh Karl Neuberg (1903) ahli kimia Jerman dan sekitar pertengahan abad XVIII Karl Wilhelm Scheele ahli kimia

swedia telah melakukan penelitian mengenai susunan kimia jaringan pada tumbuhan dan hewan. Pada awal Abad XIX, oleh Friedrich Wohler yaitu pada tahun 1828 Wohler menunjukkan bahwa urea, suatu senyawa yang terdapat dalam urine, ternyata dapat dibuat dalam laboratorium dengan jalan memanaskan alkali sianat dengan garam amonium.

Perkembangan Biokimia dilanjutkan dengan penemuan dua bersaudara Eduard dan Hans Buchner yang berdasarkan hasil percobaannya membuktikan bahwa sel-sel ragi yang telah mati masih mampu untuk menyebabkan terjadinya proses fermentasi gula menjadi alkohol. Selanjutnya Pada tahun 1926 J.B. Sumner membuktikan bahwa urease, yakni enzim yang diperoleh dari biji kara pedang (*jack beans*) dapat dikristalkan seperti juga senyawa organik lainnya. Sejalan dengan perkembangan biokimia, para ahli biologi sel memberikan sumbangannya dalam bidang struktur sel. Diawali oleh Robert Hooke pada Abad XVII telah melakukan observasi terhadap sel-sel, maka perbaikan atas teknik observasi dengan menggunakan mikroskop telah dapat meningkatkan pemahaman atas struktur yang kompleks.

Selanjutnya dalam bidang genetika seorang ahli genetika yang bernama Gregor Mendel pada pertengahan Abad XIX dan kemudian menjelang Abad XX beradsarkan hasil penelitiannya membuktikan bahwa gen yang menjadi penyusun sel mahluk hidup. Pada tahun 1869 asam nukleat telah diisolasi Friedrich Miescher dan pada awal Abad XX Para ahli biokimia berpendapat bahwa hanya protein yang memiliki struktur yang paling kompleks yang membawa informasi genetika, sedangkan asam nukleat diasumsikan hanya sebagai senyawa yang sederhana sebagai penyusun sel mahluk hidup.

Menjelang pertengahan Abad XX ini terbukti bahwa asam deoksiribonukleat (DNA) adalah senyawa pembawa informasi genetika. James Watson dan Francis Crick (1953) berdasarkan hasil percobaannya dengan melakukan elusidasi struktur 3 dimensi DNA dan mekanisme replikasinya menjadi dasar pemahaman mengenai fungsi gen sebagai pembawa sifat suatu jasad¹¹. Pada tahun 1970an Paul Berg melakukan eksperimen penyambungan DNA suatu virus sehingga diperoleh suatu DNA rekombinan dan menjadi titik awal baru perkembangan teknologi baru yang sangat mendukung berkembangnya aplikasi Biokimia dalam berbagai bidang kehidupan.

Sel penyusun organisme disusun oleh senyawa-senyawa organik dan disusun oleh empat molekul terbesar penyusun makhluk hidup yang dikenal dengan makromolekul. Keempat makromolekul tersebut juga disebut biomolekul karena molekul-molekul tersebut yang menjadi penyusun suatu makhluk hidup baik dari organisme paling sederhana maupun yang paling kompleks. Keempat makromolekul tersebut adalah protein, asam nukleat, karbohidrat, dan lipid yaitu sebagai materi dasar pembangun sel atau organism hidup.

Setiap biomolekul tersebut memiliki keunikan dan ciri khas masing-masing yang bervariasi dalam ukuran struktur dan fungsionalnya, dan disusun oleh senyawa-senyawa sederhana penyusunnya yang disebut mikromolekul. Makromolekul protein disusun oleh 20 asam amino, makromolekul karbohidrat disusun oleh tiga monosakarida utama, makromolekul lipid disusun oleh tujuh komponen utama, dan asam nukleat disusun oleh delapan komponen utama.

¹¹ Yuwono, *Bioteknologi Pertanian*, (Yogyakarta; UGM Press, 2006), hal.6-7

Bab 2 PROTEIN

A. DEFINISI PROTEIN

Kata protein berasal dari protos atau proteos yang berarti pertama atau utama¹². Protein adalah polimer yang tersusun dari asam amino¹³ Protein merupakan komponen penting atau komponen utama sel hewan dan manusia. Oleh karena sel adalah penyusun tubuh kita, maka protein yang terdapat dalam makanan berfungsi sebagai zat utama dalam pembentukan dan pertumbuhan tubuh.

Protein adalah bagian dari semua sel hidup dan merupakan bagian terbesar tubuh sesudah air. Seperlima bagian tubuh protein, separuhnya ada di dalam otot, seperlima di dalam tulang dan tulang rawan, sepersepuluh didalam kulit, dan selebihnya didalam jaringan lain, dan cairan tubuh. Semua enzim, berbagai hormon, pengangkut zat-zat gizi dan darah, matriks intra seluler dan sebagainya adalah protein. Disamping itu asam amino yang membentuk protein bertindak sebagai prekursor sebagian besar koenzim, hormon, asam nukleat, dan molekul-molekul yang essential untuk kehidupan. Protein

¹² Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.81

¹³ Chang Raymond, *Kimia Dasar (Konsep-Konsep Inti)*, (Jakarta: Erlangga, 2005). Hal.295

mempunyai fungsi khas yang tidak dapat digantikan oleh zat gizi lain, yaitu membangun serta memelihara sel-sel dan jaringan tubuh.

Protein yang dibentuk dengan hanya menggunakan satu polipeptida dinamakan sebagai protein monomerik dan yang dibentuk oleh beberapa polipeptida contohnya hemoglobin pula dikenali sebagai protein multimerik. Kebanyakan protein merupakan enzim atau subunit enzim. Jenis protein lain berperan dalam fungsi struktural atau mekanis, seperti misalnya protein yang membentuk batang dan sendi sitoskeleton. Protein terlibat dalam sistem kekebalan (imun) sebagai antibodi, sistem kendali dalam bentuk hormon, sebagai komponen penyimpanan (dalam biji) dan juga dalam transportasi hara. Sebagai salah satu sumber gizi, protein berperan sebagai sumber asam amino bagi organisme yang tidak mampu membentuk asam amino tersebut (heterotrof).

Protein ditemukan oleh Jons Jakob Berzelius pada tahun 1838. Biosintesis protein alami sama dengan ekspresi genetik. Kode genetik yang dibawa DNA ditranskripsi menjadi RNA, yang berperan sebagai cetakan bagi translasi yang dilakukan ribosoma. Sampai tahap ini, protein masih “mentah”, hanya tersusun dari asam amino proteinogenik. Melalui mekanisme pascatranslasi, terbentuklah protein yang memiliki fungsi penuh secara biologi.

Pada kehidupan protein memegang peranan yang penting, proses kimia dalam tubuh dapat berlangsung dengan baik karena adanya enzim yang berfungsi sebagai biokatalis. Disamping itu hemoglobin dalam butir-butir darah merah atau eritrosit yang berfungsi sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru keseluruhan bagian tubuh, adalah salah satu jenis protein. Demikian pula zat-zat yang berperan untuk melawan bakteri penyakit atau disebut antigen, juga suatu protein.

B. MAKROMELEKUL PROTEIN

Protein sebagai salah satu dari biomolekul yaitu materi dasar atau makromolekul penyusun sel atau organisme hidup. Selain itu, Biomolekul protein merupakan komponen kimia terbanyak pada organisme hidup, hal ini berkaitan dengan fungsi biologi protein yang memiliki multi fungsi sebagai struktural pada sel, jaringan, maupun organ, sebagai enzim suatu biokatalis, dan sebagai zat pengatur¹⁴.

Protein dikatakan sebagai makromolekul karena protein memiliki karakteristik sebagai berikut¹⁵:

1. Protein memiliki bobot molekul yang berkisar antara 5.000 – lebih dari 1 juta karena itulah protein tergolong kedalam suatu makromolekul.
2. Senyawa kimia protein tersusun dari komponen senyawa protein yang terdiri dari peptida sebagai submakromolekul, asam amino sebagai unit molekul dan sebagai komponen unsur kimia protein terdiri dari beberapa unsur yaitu C, H, O, N, S, P, Fe, Cu, Zn, dan I.
3. Tubuh manusia diperkirakan mengandung 100.000 jenis protein yang masing-masing mempunyai fungsi fisiologi sendiri-sendiri.
4. Protein mempunyai massa molar yang tinggi, mulai dari sekitar 5000 g sampai 1×10^{-7} g¹⁶.
5. Protein disusun oleh 20 Asam Amino

Pada tabel di bawah ini menunjukkan bobot molekul dan jumlah rantai penyusun protein dari suatu sel ataupun organisme hidup.

¹⁴ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.29

¹⁵ Ibid, hal.29

¹⁶ Chang Raymond, *Kimia Dasar (Konsep-Konsep Inti)*, (Jakarta: Erlangga, 2005). hal.295

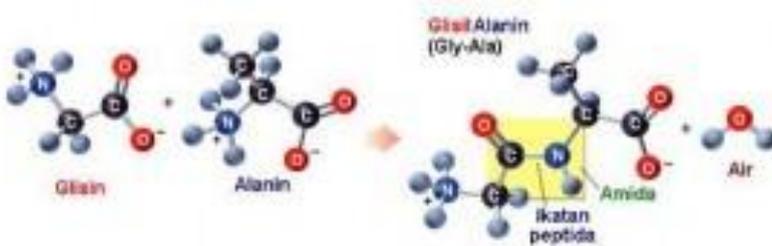
Tabel 2.1. Bobot Molekul dan Jumlah Rantai Penyusun Protein

Protein	Bobot molekul	Jumlah Rantai
Insulin (sapi)	5.700	2
Mioglobin(jantung kuda)	16.900	1
Insulin (sapi)	5.700	2
Hemoglobin(manusia)	64.500	4
Heksokinase (ragi)	102.000	2
Virus mozaik tembakau	40.000.000	2.130

C. PEMBENTUKAN IKATAN PEPTIDA DAN PENGGOLONGAN PROTEIN

Dua molekul asam amino dapat saling berikatan membentuk ikatan kovalen melalui suatu ikatan amida yang disebut dengan ikatan peptida¹⁷. Ikatan kovalen ini terjadi antara gugus karboksilat dari satu asam amino dengan gugus α amino dari molekul asam amino lainnya dengan melepas molekul air. Secara sederhana mekanisme reaksi pembentukan ikatan kovalen dapat dilihat pada gambar berikut:

¹⁷ Matta dan Wilbraham, *Pengantar Kimia Organik dan Hayati* (Bandung: ITB Bandung, 1992).hal.225

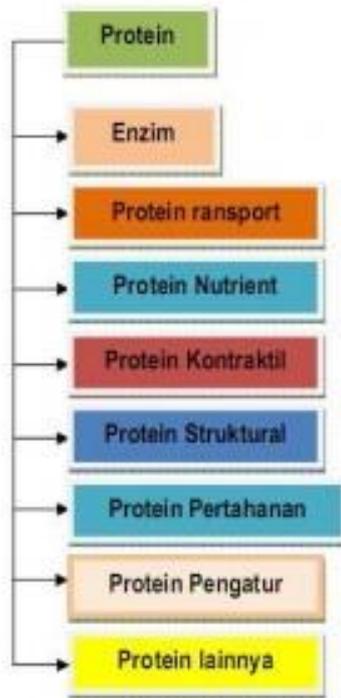


Gambar 2.1. Mekanisme Pembentukan Ikatan Peptida Sebagai Rantai Protein

Tiga molekul asam amino dapat bergabung membentuk dua ikatan peptida, begitu seterusnya sehingga dapat membentuk rantai polipeptida. Peptida memberikan reaksi kimia yang khas, dua tipe reaksi yang terpenting yaitu hidrolisis ikatan peptida dengan pemanasan polipeptida dalam suasana asam atau basa kuat (konsentrasi tinggi) sehingga dihasilkan asam amino dalam bentuk bebas. Hidrolisa ikatan peptida dengan cara ini merupakan langkah penting untuk menentukan komposisi asam amino dalam sebuah protein dan sekaligus dapat menetapkan urutan asam amino pembentuk protein tersebut. Dari hidrolisis itu, ternyata komponen senyawa kimia protein adalah peptida, asam amino, dan komponen unsur kimia¹⁸. Protein sebagai makromolekul (molekul besar) mampu menunjukkan berbagai fungsi biologi. Atas dasar peran ini maka rotein dapat diklasifikasikan sebagai berikut; enzim, protein transport, protein nutrient dan penyimpan, protein kontraktil atau motil, protein struktural, protein pertahanan dan

¹⁸ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.28

protein pengatur. Di bawah ini adalah skema penggolongan protein berdasarkan fungsinya.



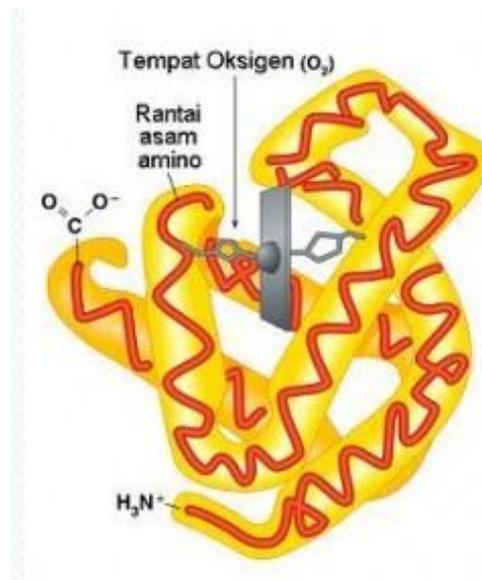
Gambar 2.2. Skema Penggolongan Protein Berdasarkan Fungsinya

- 1. Protein Sebagai Enzim**, merupakan protein yang dapat berfungsi sebagai katalisator¹⁹. Hampir seluruh reaksi kimia yang terjadi di tingkat sel dikatalisis oleh enzim. Beberapa contoh enzim yang banyak dimanfaatkan saat ini seperti, glukosa oksidase yang mengkatalisis glukosa menjadi asam glukonat, urikase yaitu enzim yang dapat membongkar

¹⁹ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.30

asam urat menjadi allantoin. Saat ini sudah ditemukan lebih dari 2000 jenis macam enzim yang mengkatalisis reaksi kimia yang spesifik dan ditemukan dalam berbagai bentuk kehidupan.

2. **Protein transport** adalah protein yang dapat mengikat dan membawa molekul atau ion yang khas dari satu organ ke organ lainnya. Contoh protein transport yang mudah adalah mioglobin yang menyimpan dan mendistribusikan oksigen ke dalam otot.



Gambar 2.3. Mioglobin yang Mendistribusikan Oksigen Ke Otot

Hemoglobin adalah protein yang membawa oksigen melalui aliran darah dari jantung ke jaringan yang memerlukannya untuk menghasilkan energi²⁰. Hemoglobin juga merupakan protein transport yang terdapat dalam sel darah merah. Hemoglobin dapat mengikat oksigen ketika darah melalui paru-paru. Oksigen dibawa dan dilepaskan pada jaringan periferi yang dapat dipergunakan untuk mengoksidasi nutrient (makanan) menjadi energi. Pada plasma darah terdapat lipoprotein yang berfungsi mengangkut lipida dari hati ke organ. Protein transport lain yang terdapat dalam membran sel berperan untuk membawa beberapa molekul seperti glukosa, asam amino dan nutrient lainnya melalui membran menuju sel.

- 3. Protein Nutrient** sering disebut juga protein penyimpanan, protein ini merupakan cadangan makanan yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan²¹. Beberapa contoh protein ini, sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari seperti ovalbumin merupakan protein utama putih telur, kasein sebagai protein utama dalam susu. Contoh lainnya adalah protein yang menyimpan zat besi yaitu ferritin yang terdapat di dalam jaringan hewan.
- 4. Protein Kontraktil** juga dikenal sebagai protein motil, di dalam sel organisme protein ini berperan untuk bergerak seperti aktin dan myosin. Kedua protein ini merupakan filament yang berfungsi untuk bergerak di dalam sistem kontraktil dan otot kerangka. Contoh lainnya adalah tubulin

²⁰ Matta dan Wilbraham, *Pengantar Kimia Organik dan Hayati* (Bandung: ITB Bandung, 1992).hal.224

²¹ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.30

pembentuk mikrotubul merupakan zat utama penyusun flagel dan silia yang menggerakkan sel.

- 5. Protein struktural**, jenis protein ini berperan untuk menyangga atau membangun struktur biologi makhluk hidup²². Misalnya kolagen adalah protein utama dalam urat dan tulang rawan yang memiliki kekuatan dan liat. Persendian mengandung protein elastin yang dapat meregang dalam dua arah. Jenis lain adalah kuku, rambut dan bulu-buluan merupakan protein keratin yang liat dan tidak larut dalam air. Kolagen yang terdapat dalam tulang rawan, tendon, dan tulang²³.

Protein juga dapat digolongkan berdasarkan bentuk dan proses pembentukan serta sifat fisiknya. *Terdapat empat struktur protein yaitu struktur primer, sekunder, tersier dan kuartener*²⁴. Selain penggolongan juga sering dilakukan sebagai protein serabut atau protein globular²⁵.

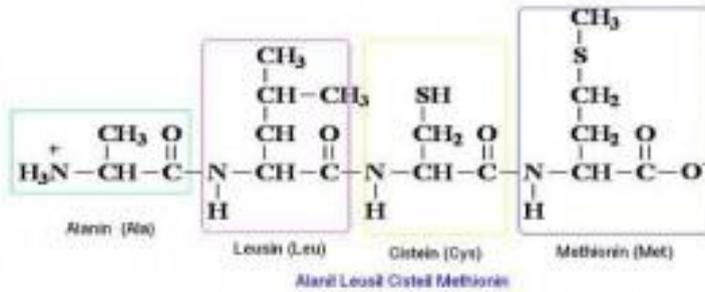
- 1. Struktur primer** adalah rantai polipeptida sebuah protein terdiri dari asam-asam amino yang dihubungkan satu sama lain secara kovalen melalui ikatan peptida yang membentuk rantai lurus dan panjang sebagai untaian polipeptida tunggal, seperti pada Bagan dibawah.

²² Matta dan Wilbraham, *Pengantar Kimia Organik dan Hayati* (Bandung: ITB Bandung, 1992).hal.224

²³ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.89

²⁴ Chang Raymond, *Kimia Dasar (Konsep-Konsep Inti)*, (Jakarta: Erlangga, 2005). hal.298

²⁵ Estien Yazid, dan Lisa Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia*. (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 200), hal. 67

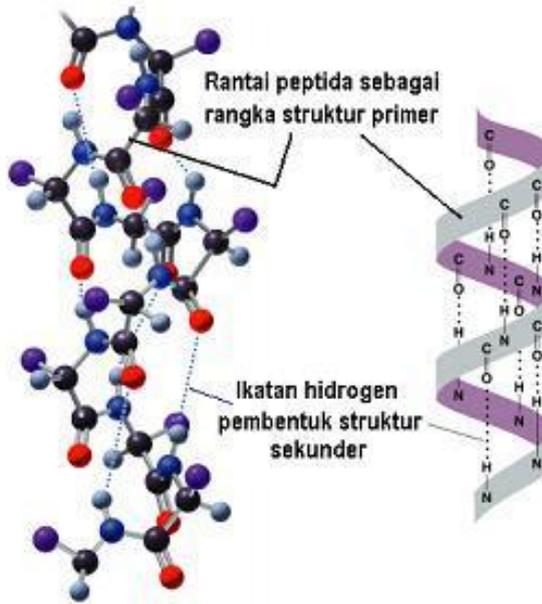


Gambar 2.4. Struktur Primer Sederhana yang Disusun Oleh 4 Jenis Asam Amino

2. **Struktur Sekunder.** Pada struktur sekunder, protein sudah mengalami interaksi **intermolekul**, melalui rantai samping asam amino. Ikatan pembentuk struktur ini didominasi oleh ikatan hidrogen antar rantai samping yang membentuk pola tertentu bergantung pada orientasi ikatan hidrogennya. Di dalam struktur sekunder dari rantai polipeptida suatu protein, ikatan hidrogen mempunyai peranan penting dalam pembentukan struktur tersebut yang terbentuk antara atom hidrogen yang terikat pada atom nitrogen pada asam amino dengan atom oksigen yang terdapat pada gugus karbonil dari asam amino yang lain²⁶. Ikatan hidrogen ini disebut sebagai ikatan hidrogen intra molekuler yaitu ikatan hidrogen yang terjadi dalam satu molekul yang sering dijumpai sebagai lembaran alfa dan lembaran beta²⁷. Ada dua jenis struktur sekunder, yaitu: D-heliks dan β -sheet (lembaran). Gambar 2.5 menunjukkan protein dengan struktur sekunder dengan bentuk α -heliks.

²⁶ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.93

²⁷ Ibid, hal. 93.

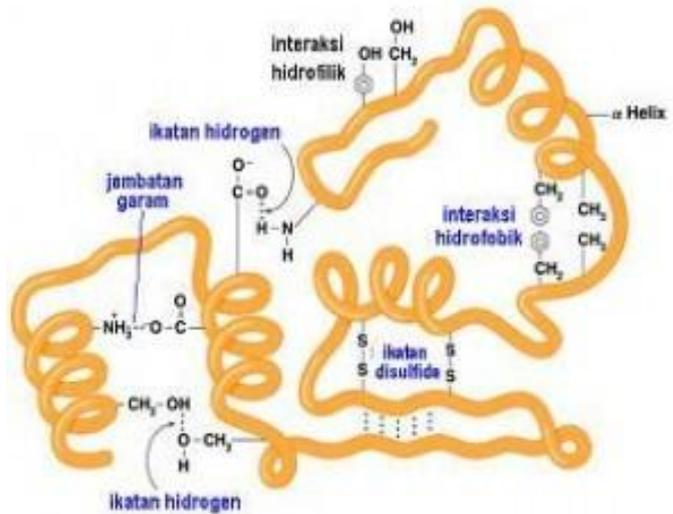


Gambar 2.5. Protein Dengan Struktur Sekunder

3. **Struktur tersier** merupakan struktur yang dibangun oleh struktur primer atau sekunder dan distabilkan oleh interaksi hidrofobik, hidrofilik, jembatan garam, ikatan hidrogen dan ikatan disulfida (antar atom S) sehingga strukturnya menjadi kompleks²⁸. Protein globular dan protein serabut/serat atau fiber merupakan contoh struktur tersier²⁹. Protein Globular, merupakan protein yang larut dalam pelarut air dan dapat berdifusi dengan cepat, dan bersifat dinamis, dimana seluruh interaksi antar struktur sekunder atau primer terviasualisasi dengan baik.

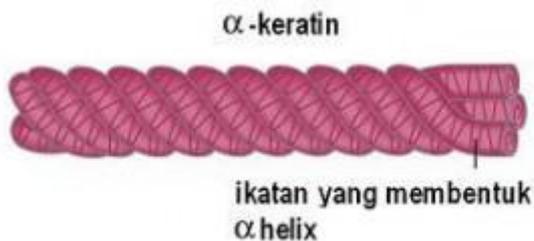
²⁸ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.112

²⁹ Ibid, hal.115



Gambar 2.6. Struktur tersier dari protein Globular

Protein serabut bersifat tidak larut dalam air merupakan molekul serabut panjang dengan rantai polipeptida yang memanjang pada satu sumbu dan tidak berlipat menjadi bentuk globular. Jenis protein ini memiliki peran sebagai penyangga dan sebagai pelindung. Untuk struktur fiber disajikan pada Gambar di bawah ini.

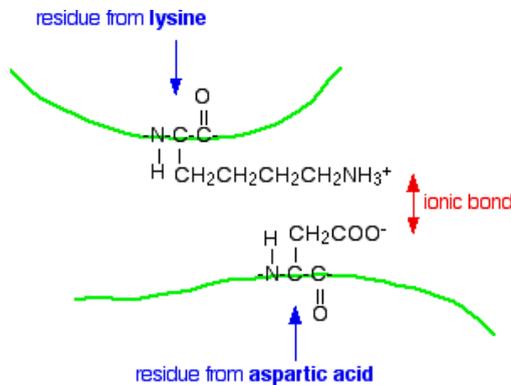


Gambar 2.7. Struktur Tersier Untuk Protein Fiber

Struktur tersier adalah menjelaskan bagaimana seluruh rantai polipeptida melipat sendiri sehingga membentuk struktur 3 dimensi. Pelipatan ini dipengaruhi oleh interaksi antar gugus samping (R) satu sama lain. Ada beberapa interaksi yang terlibat yaitu:

a. Interaksi ionik

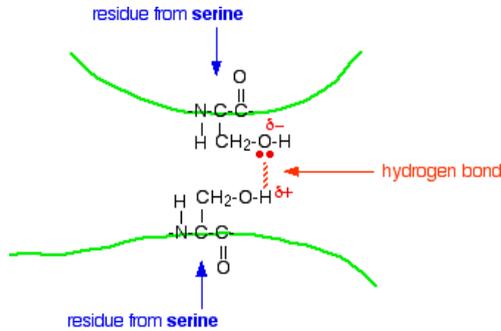
Terjadi antara gugus samping yang bermuatan positif (memiliki gugus $-NH_2$ tambahan) dan gugus negatif ($-COOH$ tambahan).



Gambar 2.8. Ikatan Ionik

b. Ikatan hidrogen

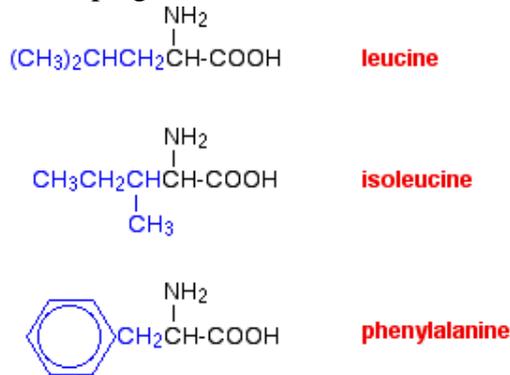
Jika pada struktur sekunder ikatan hidrogen terjadi pada ‘backbone’, maka ikatan hidrogen yang terjadi antar gugus samping akan membentuk struktur tersier. Karena pada gugus samping bisa banyak terdapat gugus seperti $-OH$, $-COOH$, $-CONH_2$ atau $-NH_2$ yang bisa membentuk ikatan hidrogen.



Gambar 2.9. Ikatan hidrogen

c. *Gaya Dispersi Van Der Waals*

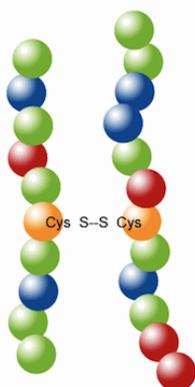
Beberapa asam amino memiliki gugus samping (R) dengan rantai karbon yang cukup panjang. Nilai dipol yang berfluktuatif dari satu gugus samping dapat membentuk ikatan dengan dipol berlawanan pada gugus samping lain³⁰.



Gambar 2.10. Ikatan Van Der Waals

³⁰ Sukardjo, *katan Kimia*, (Yogyakarta:Rineka Cipta,1990)

d. *Jembatan Sulfida*

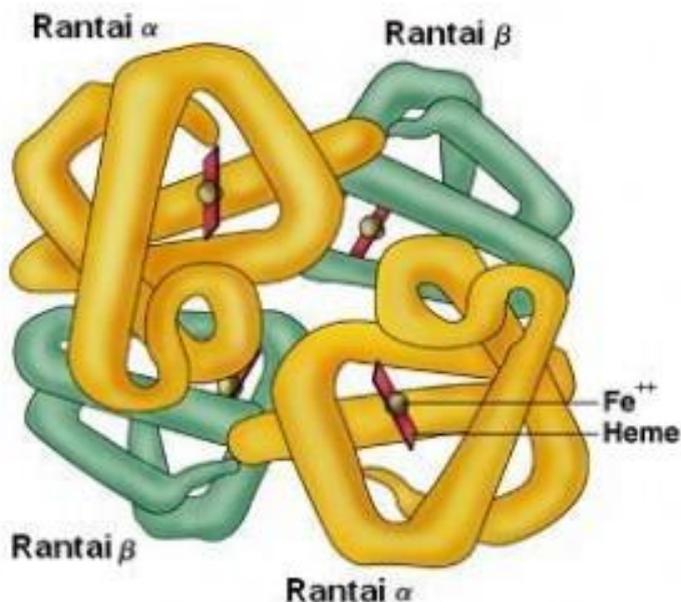


Gambar 2.11. Jembatan Disulfida

Cysteine memiliki gugus samping $-SH$ dimana dapat membentuk ikatan sulfida dengan $-SH$ pada cystein lainnya, ikatan ini berupa ikatan kovalen sehingga lebih kuat dibanding ikatan-ikatan lain yang sudah disebutkan di atas.

4. **Struktur Kuartener** merupakan hasil interaksi dari beberapa molekul protein tersier setiap unit molekul tersier disebut dikenal dengan subunit dan keseluruhan rantai polipeptida disebut dengan struktur kuartner³¹. Setiap subunit protein struktur tersier dapat berinteraksi dan saling mempengaruhi satu sama lain, interaksi tersebut dapat mengubah struktur maupun peran dan fungsinya. Molekul protein kuartener ditampilkan pada Gambar berikut. Pembentukan struktur kuartener protein menyebabkan bagian nonpolar protein tidak terpapar pada lingkungan yang berair.

³¹ Chang Raymond, *Kimia Dasar (Konsep-Konsep Inti)*, (Jakarta: Erlangga, 2005). hal.299



Gambar 2.12. Struktur Kuartener Yang Diwakili Oleh Molekul Hemoglobin

Sehingga protein yang memiliki bagian nonpolar yang panjang dapat larut dalam air. Hemoglobin merupakan contoh protein yang membentuk struktur kuartener dengan 4 subunit (2 sub unit α dan 2 subunit β)³². Beberapa protein menjadi aktif ketika membentuk struktur kuartener, namun ada juga protein yang aktif ketika struktur kuartenernya terdisosiasi menjadi subunitnya.

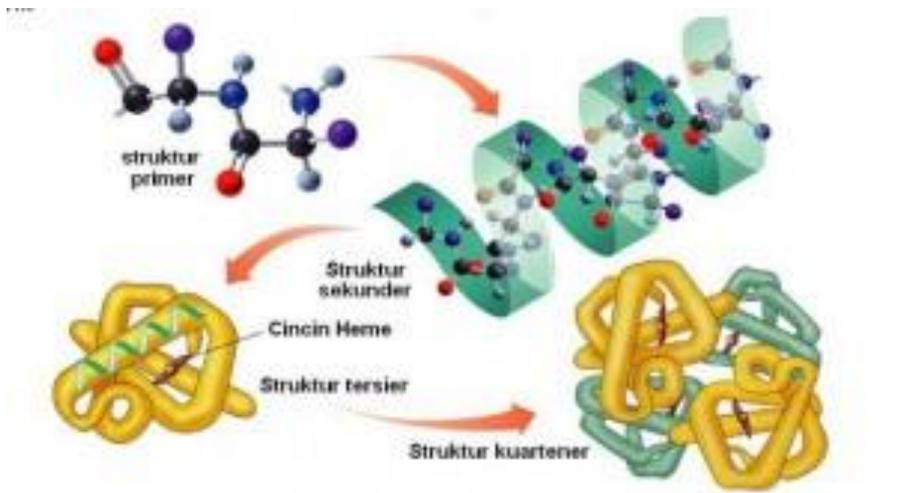
Selain itu, penggolongan protein ditinjau dari strukturnya juga dibagi dalam 2 golongan yaitu protein golongan sederhana dengan protein gabungan³³. Protein

³² Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.117

³³ Ibid, 114

seederhana adalah protein yang hanya terdiri dari molekul-molekul asam amino, sedangkan protein gabungan adalah protein yang terdiri dari protein dan gugus bukan protein. Gugus ini disebut gugus prostetik dan terdiri atas karbohidrat, lipid, atau asam nukleat. Protein sederhana dibagi dalam 2 bagian menurut bentuk molekulnya yaitu protein fiber dan protein globular.

Pembentukan keempat struktur protein dapat disarikan ke dalam bagan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.13. Mekanisme pembentukan struktur tertier dari tahapan yang sederhana

D. KEUNIKAN PROTEIN

Protein adalah polimer dari asam amino. Protein dinyatakan bersifat unik karena beberapa faktor antara lain:

1. Protein dapat dianalogikan sebagai suatu kalimat, dan asam amino merupakan alfabet yang menyusun kalimat tersebut. Perhatikan contoh 2 kalimat berikut:
 - a. Rangga suka makan di luar rumah

- b. Rangka suka main di luar rumah
Jumlah dan urutan alfabet kedua kalimat tersebut berbeda sehingga arti yang dimilikinya berbeda.
- 2. Masing-masing protein memiliki jumlah dan urutan asam amino yang khas, yang menentukan struktur tiga-dimensi dan fungsi biologisnya.
- 3. Protein berperan sebagai enzim.
- 4. Protein disusun oleh 20 jenis asam amino.

E. SUMBER PROTEIN

Protein dari makanan yang kita konsumsi sehari-hari dapat berasal dari hewani maupun nabati. Protein yang berasal dari hewani seperti daging, ikan, ayam, telur, susu, dan lain-lain disebut protein hewani, sedangkan protein yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti kacang-kacangan, tempe, dan tahu disebut protein nabati. Dahulu, protein hewani dianggap berkualitas lebih tinggi daripada menu seimbang protein nabati, karena mengandung asam-asam amino yang lebih komplet. Tetapi hasil penelitian akhir-akhir ini membuktikan bahwa kualitas protein nabati dapat setinggi kualitas protein hewani, asalkan makanan sehari-hari beraneka ragam. Protein dibutuhkan untuk pertumbuhan, perkembangan, pembentukan otot, pembentukan sel-sel darah merah, pertahanan tubuh terhadap penyakit, enzim dan hormon, dan sintesa jaringan-jaringan badan lainnya. Protein dicerna menjadi asam-asam amino, yang kemudian dibentuk protein tubuh di dalam otot dan jaringan lain. Protein dapat berfungsi sebagai sumber energi apabila karbohidrat yang dikonsumsi tidak mencukupi seperti pada waktu berdiet ketat atau pada waktu latihan fisik intensif. Sebaiknya, kurang lebih 15% dari total kalori yang dikonsumsi berasal dari protein.

Tabel 2.2 Kandungan Asam Amino Dalam Beberapa Makanan.

Bahan Makanan	Lisin (%)	Methionin (%)
Tepung ikan	4,51	1,63
Bungkil kedele	2,69	0,62
Jagung	0,26	0,18
Dedak padi	0,59	0,26

Sumber NRC (1994)

Tabel 2.3 Koefesien Kecernaan Murni Asam Amino (%)

Bahan makanan	Lisin	Metionin	Cystine	Arginin	Threonin
Jagung	81	91	85	89	84
Bungkil kedele	91	92	82	92	88
Dedak padi	75	78	68	87	70
Barley	78	79	81	85	77
Tepung ikan (60-63%)	88	92	73	92	89
Tepung daging (50-54%)	79	85	58	85	79
Tepung bulu	66	76	59	83	73
Tepung darah	86	91	76	87	87

Sumber NRC (1994) diukur dengan caeectomised

F. REAKSI-REAKSI KHAS PROTEIN

1. Reaksi Millon

Perekasi millon adalah larutan merkuro dan merkuri nitrat dalam asam nitrat. Apabila perekasi ini ditambahkan pada larutan protein akan menghasilkan endapan putih yang dapat berubah menjadi merah oleh pemanasan. Pada dasarnya rekasi ini positif untuk enol-fenol karena

terbentuknya senyawa merkuri dengan gugus hidrosifenil yang berwarna. Protein yang mengandung tirosin akan memberikan hasil yang positif.

2. Reaksi Xantoprotein

Larutan asam nitrat pekat ditambahkan dengan hati-hati ke dalam larutan protein. Setelah dicampur terjadi endapan putih yang dapat berubah menjadi kuning apabila dipanaskan. Reaksi yang terjadi adalah nitrasi pada inti benzena yang terdapat pada molekul protein. Jadi reaksi ini positif untuk protein yang mengandung tirosin, fenilalanin, dan triptofan³⁴. Kulit kita bila terkena asam nitrat akan berwarna kuning disebabkan oleh reaksi xantoprotein ini.

3. Reaksi Sakaguchi

Perekasi yang digunakan adalah naftol dan natriumhipobromit. Pada dasarnya reaksi ini member hasil positif apabila ada gugus guanidin. Jadi arginin atau protein yang mengandung arginin dapat menghasilkan warna merah.

G. KEKURANGAN PROTEIN

Protein sendiri mempunyai banyak sekali fungsi di tubuh kita. Pada dasarnya protein menunjang keberadaan setiap sel tubuh, proses kekebalan tubuh. Setiap orang dewasa harus sedikitnya mengonsumsi 1 g protein per kg berat tubuhnya. Kebutuhan akan protein bertambah pada perempuan yang mengandung dan atlet-atlet. Kekurangan Protein bisa berakibat fatal seperti; kerontokan rambut (Rambut terdiri dari 97-100% dari Protein), yang paling buruk ada yang disebut dengan kwaskiorkor (busung lapar) biasanya pada anak-anak kecil yang

³⁴ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.121

menderitanya, dapat dilihat dari yang busung lapar yang disebabkan oleh filtrasi air di dalam pembuluh darah serta gangguan kekurangan protein yang terus menerus menyebabkan kematian.

H. RANGKUMAN

Kata protein berasal dari protos atau proteos yang berarti pertama atau utama. Protein adalah polimer yang tersusun dari asam amino. Protein merupakan komponen penting atau komponen utama sel hewan dan manusia. Oleh karena sel adalah penyusun tubuh kita, maka protein yang terdapat dalam makanan berfungsi sebagai zat utama dalam pembentukan dan pertumbuhan tubuh.

Protein adalah bagian dari semua sel hidup dan merupakan bagian terbesar tubuh sesudah air. Seperlima bagian tubuh protein, separuhnya ada di dalam otot, seperlima di dalam tulang dan tulang rawan, sepersepuluh didalam kulit, dan selebihnya didalam jaringan lain, dan cairan tubuh. Semua enzim, berbagai hormon, pengangkut zat-zat gizi dan darah, matriks intra seluler dan sebagainya adalah protein. Disamping itu asam amino yang membentuk protein bertindak sebagai prekursor sebagian besar koenzim, hormon, asam nukleat, dan molekul-molekul yang essential untuk kehidupan. Protein mempunyai fungsi khas yang tidak dapat digantikan oleh zat gizi lain, yaitu membangun serta memelihara sel-sel dan jaringan tubuh.

Protein sebagai salah satu dari biomolekul yaitu materi dasar atau makromolekul penyusun sel atau organisme hidup. Selain itu, Biomolekul protein merupakan komponen kimia terbanyak pada organisme hidup, hal ini berkaitan dengan fungsi biologi protein yang memiliki multi fungsi sebagai

struktural pada sel, jaringan, maupun organ, sebagai enzim suatu biokatalis, dan sebagai zat pengatur.

Dua molekul asam amino dapat saling berikatan membentuk ikatan kovalen melalui suatu ikatan amida yang disebut dengan ikatan peptida. Ikatan kovalen ini terjadi antara gugus karboksilat dari satu asam amino dengan gugus α amino dari molekul asam amino lainnya dengan melepas molekul air.

Penggolongan protein berdasarkan fungsinya yaitu; **Protein Sebagai Enzim**, merupakan protein yang dapat berfungsi sebagai katalisator. Hampir seluruh reaksi kimia yang terjadi di tingkat sel dikatalisis oleh enzim. Saat ini sudah ditemukan lebih dari 2000 jenis macam enzim yang mengkatalisis reaksi kimia yang spesifik dan ditemukan dalam berbagai bentuk kehidupan. **Protein transport** adalah protein yang dapat mengikat dan membawa molekul atau ion yang khas dari satu organ ke organ lainnya. Contoh protein transport yang mudah adalah mioglobin yang menyimpan dan mendistribusikan oksigen ke dalam otot. Hemoglobin adalah protein yang membawa oksigen melalui aliran darah dari jantung ke jaringan yang memerlukannya untuk menghasilkan energi. **Protein Nutrient** sering disebut juga protein penyimpanan, protein ini merupakan cadangan makanan yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan. Beberapa contoh protein ini, sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari seperti ovalbumin merupakan protein utama putih telur, kasein sebagai protein utama dalam susu. **Protein Kontraktil** juga dikenal sebagai protein motil, di dalam sel organisme protein ini berperan untuk bergerak seperti aktin dan myosin. **Protein struktural**, jenis protein ini berperan untuk menyangga atau membangun struktur biologi makhluk hidup. Misalnya kolagen adalah protein utama dalam urat dan tulang rawan yang memiliki kekuatan dan liat.

Protein juga dapat digolongkan berdasarkan bentuk dan proses pembentukan serta sifat fisiknya. ***Terdapat empat struktur protein yaitu struktur primer, sekunder, tersier dan kuartener.*** Selain penggolongan juga sering dilakukan sebagai sebagai protein serabut atau dan protein globular. Protein adalah polimer dari asam amino. Protein dinyatakan bersifat unik karena beberapa faktor antara lain; masing-masing protein memiliki jumlah dan urutan asam amino yang khas, yang menentukan struktur tiga-dimensi dan fungsi biologisnya, Protein berperan sebagai enzim, dan Protein disusun oleh 20 jenis asam amino

Protein dari makanan yang kita konsumsi sehari-hari dapat berasal dari hewani maupun nabati. Protein yang berasal dari hewani seperti daging, ikan, ayam, telur, susu, dan lain-lain disebut protein hewani, sedangkan protein yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti kacang-kacangan, tempe, dan tahu disebut protein nabati.

Kekurangan Protein bisa berakibat fatal seperti; kerontokan rambut (Rambut terdiri dari 97-100% dari Protein), yang paling buruk ada yang disebut dengan kwaskiorkor (busung lapar) biasanya pada anak-anak kecil yang menderitanya, dapat dilihat dari yang busung lapar yang disebabkan oleh filtrasi air di dalam pembuluh darah serta gangguan kekurangan protein yang terus menerus menyebabkan kematian.

Bab 3

ASAM AMINO PENYUSUN PROTEIN

A. Definisi dan Struktur Asam Amino

Asam amino adalah senyawa yang memiliki gugus amino ($-\text{NH}_2$) dan asam karboksilat (COOH) pada molekul yang sama³⁵. Tiap asam amino tersusun atas suatu atom karbon yang mengikat atom hidrogen, gugus amino, dan gugus karboksilat dan salah satu gugus R yang berbeda pada 20 asam amino dan struktur gugus R menentukan identitas asam amino dan sifat-sifat khasnya³⁶. Rantai samping (gugus R) tergantung pada gugus fungsionalnya dapat berupa alifatis, aromatis, asam, basa, hidroksilik, mengandung sulfur, atau amidik³⁷.

³⁵ Matta dan Wilbraham, *Pengantar Kimia Organik dan Hayati* (Bandung: ITB Bandung, 1992).hal.215

³⁶ Nahar dan Sarker, *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam, dan Umum*. (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2009). hal.250

³⁷ Ibid, hal.251

karbon α ialah atom karbon asimetrik, kecuali bila R ialah atom H sehingga setiap asam amino memiliki sifat dapat memutar bidang cahaya terpolarisasi atau dikenal dengan istilah aktivitas optic yang dapat digambarkan dengan rumus proyeksi Fischer dan dengan model bola dan batang sehingga memiliki 2 konfigurasi yaitu D dan L³⁹. Molekul asam amino dikatakan mempunyai konfigurasi L, apabila gugus -NH_2 di sebelah kiri atom karbon α . Apabila posisi gugus -NH_2 di sebelah kanan, maka gugus asam amino itu mempunyai konfigurasi D.



Gambar 3.3. Struktur L dan D Asam Amino

Keterangan:

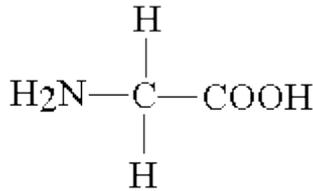
Gugus -NH_2 di sebelah kiri Gugus -NH_2 di sebelah kanan

L= Leavo = kiri

D= Dextro = Kanan

Di alam, yang banyak ditemukan ialah L-asam α -amino, sedangkan D-asam α -amino hanya sedikit. Kedua puluh asam amino protein C α -nya asimetris kecuali glisinyaitu asamamino yang C α -nya simetris.

³⁹ Ibid, hal.84



glycine

Gambar 3.4. Asam Amino Glisin

Seperti yang telah dikemukakan pada bahasan sebelumnya bahwa apabila protein dihidrolisis secara terkendali akan dihasilkan suatu peptida, asam amino sebagai unit molekul. Hasil hidrolisis dari semua protein alamiah ternyata tetap menghasilkan 20 asam amino⁴⁰. Hingga saat ini sudah ditemukan 150 asam amino yang berarti bahwa selain 20 asam amino pembentuk protein yang disebut asam amino protein, selebihnya adalah asam amino bebas atau dalam bentuk kompleks dengan senyawa lain atau dalam bentuk suatu peptide yang disebut asam amino non protein⁴¹. Contoh asam amino dalam bentuk peptida ialah bradikinin yang disebut hormon peptide. Contoh asam amino dalam bentuk kompleks dengan senyawa lain ialah S-adenosilmetionin, dan asam amino non protein juga ditemukan pada kompleks protein asam nukleat yaitu pada ribosom dan histon.

Berdasarkan struktur asam amino secara umum memiliki struktur dasar yang sama yang membedakan antara asam amino yang satu dengan yang lainnya adalah gugus rantai

⁴⁰ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.32

⁴¹ Ibid, hal.32

cabang yang disebut gugus R yang menjadi penentu sifat-sifat fisika dan kimia dari suatu protein⁴².

Kedua puluh asam amino dibedakan berdasarkan -R yang dimiliki.

Berdasarkan polaritas -R, maka asam amino dikelompokkan menjadi:

1. Asam amino polar bermuatan: bersifat asam dan basa.
2. Asam amino polar tidak bermuatan: mengandung H, hidroksi, S dan amida.
3. Asam amino nonpolar: mengandung hidrokarbon alifatik, aromatik, S dan siklik.

Tabel.3.1 Pengelompokan 20 Asam Amino Berdasarkan Polaritas Gugus-R

Kelompok	Asam amino	Gugus R	Simbol	pI	Keterangan (sifat gugus R)
Polar bermuatan	Asam: Asam aspartat Asam glutamat	$\text{---CH}_2\text{CO}_2\text{H}$ $\text{---CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$	Asp (D) Glu (E)	2,77 3,22	-Bermuatan negatif pada pH fisiologis.
	Basa: Lisina	$\text{---CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$	Lys (K)	9,74	-Bermuatan positif pada pH fisiologis.
	Arginina	$\text{---CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}-\text{C}(\text{NH}_2)_2$	Arg (R)	10,76	
	Histidina	$\text{---CH}_2-\text{C}_5\text{H}_3\text{N}_2$	His (H)	7,59	
	Polar tidak Bermuatan	Glisina	---H	Gly (G)	5,97
Hidroksil: Serina		$\text{---CH}_2\text{OH}$	Ser (S)	5,68	-Memiliki gugus R yang mengandung gugus hidroksil bersifat asam yang sangat lemah.
Treonina		$\text{---CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	Thr (T)	5,64	
Tirosin		$\text{---CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	Tyr (Y)	5,66	
Mengandung S: Sistina		$\text{---CH}_2\text{S-CH}_3$	Cys (C)	5,07	-Gugus R berupa gugus sulfhidril.
Amida: Asparagina Glutamina		$\text{---CH}_2\text{CONH}_2$ $\text{---CH}_2\text{CH}_2\text{CONH}_2$	Asn (N) Gln (Q)	5,41 5,65	-Amida dari asam aspartat dan asam glutamat.

⁴² Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009. hal.86

Nonpolar	Alifatis: Alanina Valina Leusina Isoleusina	—CH_3 $\text{—CH(CH}_3\text{)}_2$ $\text{—CH}_2\text{CH(CH}_3\text{)}_2$ $\text{—CHCH}_2\text{CH}_2$ $\quad $ $\quad \text{CH}_3$	Ala (A) Val (V) Leu (L) Ile (I)	6,00 5,96 5,98 6,02	-Memiliki gugus R berupa rantai karbon alifatik yang bersifat hidrofobik.	
	Aromatik: Fenilalanina Triptofan	—CH_2 	Phe (F) Trp (W)	5,48 5,89	-Gugus R berupa cincin aromatis	
	Mengandung S: Metionina		Met (M)	5,74	-Gugus R mengandung atom S	
	Siklik: Prolina		Pro (P)	6,30	-Gugus R berupa cincin yang terikat pada atom N gugus amina	
			(struktur lengkap)			

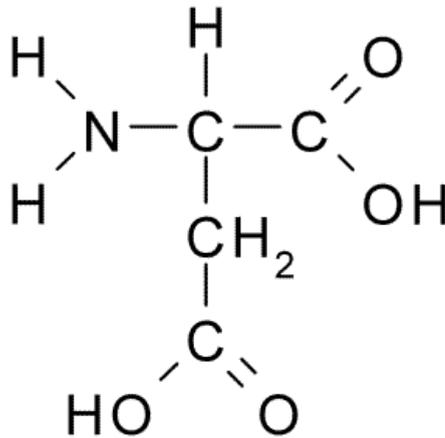
Kepolaran gugus R suatu asam amino menentukan letaknya pada pelipatan protein, secara umum hampir semua asam amino yang memiliki R hidrofobik terkubur di bagian dalam protein untuk menghindari kontak dengan air, sebaliknya asam amino yang memiliki R hidrofilik berada di permukaan luar dan mengadakan kontak dengan air. Berikut akan diuraikan jenis-jenis asam amino berdasarkan penggolongannya.

1. Kelompok Asam Amino Polar Bermuatan yaitu terbagi menjadi asam amino polar bermuatan yang bersifat asam dan bersifat basa;

- a. Asam Amino Polar Bersifat Asam ada dua yaitu asam aspartat dan asam glutamat; dapat diperoleh masing-masing dari glutamin dan asparagin⁴³.

⁴³ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

Asam aspartat (atau sering disebut *aspartat* saja, karena terionisasi di dalam sel), merupakan satu dari 20 asam amino penyusun protein. Asparagin merupakan asam amino analognya karena terbentuk melalui aminasi aspartat pada satu gugus hidroksilnya. Asam aspartat bersifat asam, dan dapat digolongkan sebagai asam karboksilat. Bagi mamalia aspartat tidaklah esensial. Fungsinya diketahui sebagai pembangkit neurotransmisi di otak dan saraf otot. Diduga, aspartat berperan dalam daya tahan terhadap kepenatan. Senyawa ini juga merupakan produk dari daur urea dan terlibat dalam glukoneogenesis. Gugus Amida yang terdapat pada molekul glutamin dan asparagin dapat diubah menjadi gugus karboksilat melalui proses hidrolisis dengan asam ataupun basa⁴⁴.

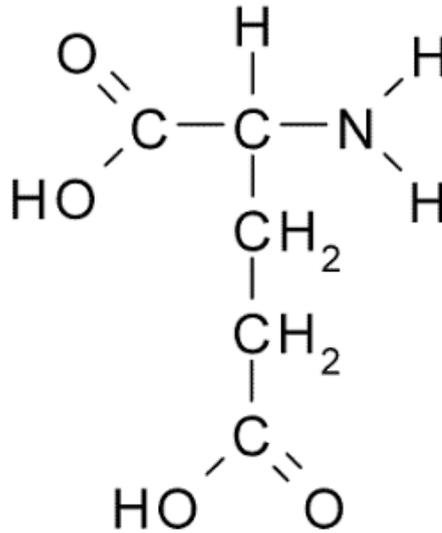


Gambar 3.5. Struktur Asam Amino Asam Aspartat

⁴⁴ Ibid, hal.98

Asam glutamat termasuk asam amino yang bermuatan (polar) bersama-sama dengan asam aspartat. Ini terlihat dari titik isoelektriknya yang rendah, yang menandakan ia sangat mudah menangkap elektron (bersifat asam menurut Lewis). Asam ⁴⁵glutamat dapat diproduksi sendiri oleh tubuh manusia sehingga tidak tergolong esensial. Saat pertama kali diketemukan pada tahun 1970, asam glutamat dan beberapa asam amino lainnya dianggap sebagai neurotoksin, ketika senyawa diberikan sebagai asupan melalui mulut kepada model hewan yang belum dewasa. Degenerasi neuron akut ditemukan pada area yang tidak terlindungi oleh sawar darah otak, terutama pada area nukleus arsuat pada hipotalamus. Ion glutamat merangsang beberapa tipe saraf yang ada di lidah manusia. Sifat ini dimanfaatkan dalam industri penyedap. Garam turunan dari asam glutamat, yang dikenal sebagai mononatrium glutamat (dikenal juga sebagai monosodium glutamat, MSG, vetsin atau micin), sangat dikenal dalam dunia boga Indonesia maupun Asia Timur lainnya sebagai penyedap masakan.

⁴⁵ George J Siegel, Bernard W Agranoff, R Wayne Albers, Stephen K Fisher, dan Michael D Uhler. (1999). *Basic Neurochemistry - Molecular, Cellular and Medical Aspects : Excessive Glutamate Receptor Activation and Neurological Disorders*. Edward Hines Jr Veterans Affairs Hospital, Loyola University Chicago Stritch School of Medicine, University of Michigan, National Institute of Neurological Disorders and Stroke, National Institutes of Health, Mental Health Research Institute (6 ed.) (Lippincott-Raven). ISBN 0-397-51820-X. Diakses tanggal 2010-07-19.



Gambar 3.6. Struktur Asam Amino Glutamat

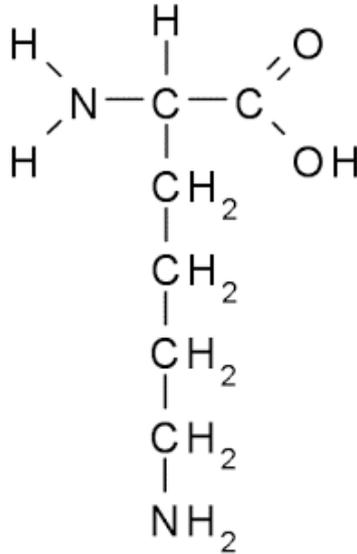
- b. Asam Amino Polar Bersifat Basa terdiri dari asam amino lisin, arginin, dan histidin; Ketiga asam amino tersebut, gugus R nya akan bermuatan total positif pada kondisi PH 7,0⁴⁶.

Lisin (bahasa Inggris *lysine*) merupakan asam amino penyusun protein yang dalam pelarut air bersifat basa, seperti juga histidin dan bermuatan positif pada gugus amino pada ujung rantai alifatiknya⁴⁷. Lisina tergolong asam amino esensial bagi manusia, yakni asam amino yang dibutuhkan untuk kesehatan, tetapi tidak dapat diproduksi sendiri oleh tubuh manusia. Kebutuhan rata-rata per hari adalah 1 - 1,5 g. Lisina menjadi kerangka bagi niasin (vitamin B1). Kekurangan

⁴⁶ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.43

⁴⁷ Ibid, hal.43

vitamin ini dapat menyebabkan pelagra. Manfaat Lisin berdasarkan hasil penelitian membuktikan bahwa lisina terbukti efektif untuk mencegah HSV (Herpes Simplex Syndrome), karena lisin bersifat antivirus, sehingga dapat mencegah perkembangbiakan virus penyebab herpes (University of Maryland Medical Center). Di samping itu, manfaat lain lisin adalah membantu dalam penyerapan kalsium, pembentukan hormon dan kolagen, serta antibodi. Secara tidak langsung, lisina juga dapat menstimulasi selera makan, karena perannya dalam membantu proses detoksifikasi pada hati dan menghasilkan enzim pencernaan. Lisina juga memainkan peranan penting dalam produksi carnitine untuk mengubah asam lemak menjadi energi dan membantu menurunkan kadar kolesterol. Sumber lisin banyak terdapat pada makanan yang banyak mengandung protein, seperti daging, keju, susu, ikan dan telur untuk protein hewani. Sementara untuk protein nabati bisa didapat dari kacang-kacangan, seperti kacang kedelai dan hasil proses kedelai lainnya seperti tahu dan tempe. Biji-bijian sereal lain dikenal miskin akan lisina. Sebaliknya, biji polong-polongan kaya akan asam amino ini. Kekurangan lisin dapat menyebabkan tubuh menjadi mudah lelah, pusing, kehilangan selera makan, anemia, gangguan pertumbuhan dan gangguan reproduksi.



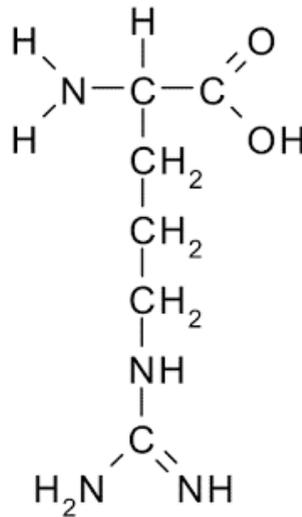
Gambar 3.7. Struktur Asam Amino Lisin

Asam amino arginin memiliki kecenderungan basa yang cukup tinggi akibat ekresi dua gugus amina pada gugus residunya. Arginin bermuatan positif pada gugus guanidino⁴⁸. Asam amino ini diberikan nama arginin karena untuk pertama kali diisolasi dalam bentuk garam perak (argentum) dari hasil hidrolisis tanduk pada tahun 1895⁴⁹. Arginin tergolong setengah esensial bagi manusia dan mamalia lainnya, tergantung pada tingkat perkembangan atau kondisi kesehatan. Bagi anak-anak, asam amino ini esensial. Pangan yang menjadi sumber utama arginin adalah produk-produk peternakan (*dairy products*) seperti daging, susu (dan

⁴⁸ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.43

⁴⁹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.99

olahannya), dan telur. Dari produk tumbuhan dapat disebutkan cokelat dan biji kacang tanah.

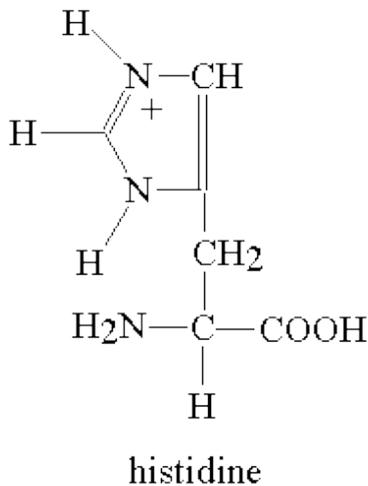


Gambar.3.8. Struktur Asam Amino Arginin

Histidina merupakan satu dari 20 asam amino dasar yang ada dalam protein. Histidin diperoleh dari hasil hidrolisis protein yang terdapat pada sperma suatu jenis ikan dan juga dari protein jaringan dan terglolong ke dalam asam amino yang bersifat basa⁵⁰. Bagi manusia histidina merupakan asam amino yang esensial bagi anak-anak. Rantai samping imidazol dan nilai pK_a yang relatif netral (yaitu 6,0) berarti bahwa perubahan sedikit saja pada pH sel akan mengubah muatannya. Sifat ini menjadikan histidina sering menjadi bagian

⁵⁰ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.99

dari gugus katalitik pada enzim maupun ligan koordinasi pada metaloprotein. Histidina menjadi prekursor histamin, suatu amina yang berperan dalam sistem saraf, dan karnosin, suatu asam amino. Terdapat dua enantiomer histidina yaitu D-histidin dan L-histidin, namun yang lebih dominan adalah L-histidin (atau S-histidin).



Gambar.3.9. Struktur Asam Amino Histidin

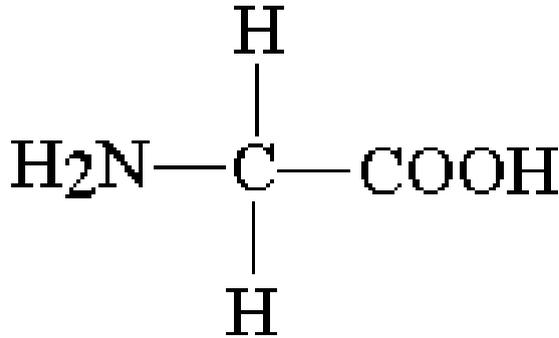
2. **Kelompok Asam Amino Polar Tidak Bermuatan** terdiri dari asam amino glisin, serin, terionin, tirosin, sistein, asparagin, dan glutamin; kelompok asam amino ini bersifat hidrofilik yaitu cinta air, karena itu bagian terlarut dalam air⁵¹.

Glisina (Gly, G) atau asam aminoetanoat adalah asam amino alami paling sederhana dan terdapat pada

⁵¹ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.41

skelroprotein dan pada tahun 1820 Braconnot menemukan glisin dari hasil hidrolisis gelatin⁵². Rumus kimianya $C_2H_5NO_2$. Asam amino ini bagi manusia bukan merupakan asam amino esensial karena tubuh manusia dapat mencukupi kebutuhannya. Glisina merupakan satu-satunya asam amino yang tidak memiliki isomer optik karena gugus residu yang terikat pada atom karbon *alpha* adalah atom hidrogen sehingga terjadi simetri. Jadi, tidak ada L-glisin atau D-glisin. Glisina merupakan asam amino yang mudah menyesuaikan diri dengan berbagai situasi karena strukturnya sederhana. Sebagai misal, glisina adalah satu-satunya asam amino internal pada heliks kolagen, suatu protein struktural. Pada sejumlah protein penting tertentu, misalnya sitokrom c, mioglobin, dan hemoglobin, glisina selalu berada pada posisi yang sama sepanjang evolusi (terkonservasi). Penggantian glisina dengan asam amino lain akan merusak struktur dan membuat protein tidak berfungsi dengan normal. Secara umum protein tidak banyak mengandung glisina. Perkecualian ialah pada kolagen yang dua per tiga dari keseluruhan asam aminonya adalah glisina. Glisina merupakan asam amino nonesensial bagi manusia. Tubuh manusia memproduksi glisina dalam jumlah mencukupi. Glisina berperan dalam sistem saraf sebagai inhibitor neurotransmiter pada sistem saraf pusat (CNS).

⁵² Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.95



glycine

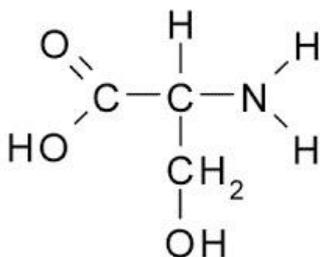
Gambar 3.10. Struktur Asam Amino Glisin

Serina merupakan asam amino yang mempunyai gugus alkohol, diperoleh dari hasil hidrolisis gelatin yang terdapat pada sutera alam⁵³. Glisin merupakan asam amino penyusun protein yang umumnya ditemukan pada protein hewan. Protein mamalia hanya memiliki L-serin. Serina bukan merupakan asam amino esensial bagi manusia. Namanya diambil dari bahasa Latin, *sericum* (berarti *sutera*) karena pertama kali diisolasi dari protein serat sutera pada tahun 1865. Strukturnya diketahui pada tahun 1902. Sintesis serina (dan glisina) berawal dari oksidasi 3-fosfoglisarat (3-PGA) yang membentuk 3-fosfohidroksipiruvat dan NADH. Reaksi transaminasi

⁵³ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

dengan asam glutamat menghasilkan 3-fosfoserina dan glisina, yang diikuti dengan dilepasnya gugus fosfat.

Serina penting bagi metabolisme karena terlibat dalam biosintesis senyawa-senyawa purina dan pirimidina, sisteina, triptofan (pada bakteri), dan sejumlah besar metabolit lain. Sebagai penyusun enzim, serina sering memainkan peran penting dalam fungsi katalisator enzim. Ia diketahui berada pada bagian aktif kimotripsin, tripsin, dan banyak enzim lainnya. Berbagai gas-gas perangsang saraf dan senyawa aktif yang dipakai pada insektisida bekerja melalui residu serina pada enzim asetilkolin esterase, sehingga melumpuhkan enzim itu sepenuhnya. Akibatnya, asetilkolina (suatu neurotransmitter) yang seharusnya segera diuraikan oleh enzim itu segera setelah bekerja malah menumpuk di sel dan mengakibatkan kekejangan dan kematian. Sebagai penyusun protein non-enzim, rantai sampingnya dapat mengalami glikolisasi yang dapat menjelaskan gangguan akibat diabetes. Serina juga merupakan satu dari tiga asam amino yang biasanya terfosforilasi oleh enzim kinase pada saat transduksi signal pada eukariota.



The chemical structure of a serine molecule.

Gambar.3.11. Struktur Asam Amino Serin

Treonin adalah homolog adalah homolog yang lebih besar dari serin dan termasuk dalam asam amino esensial dan diisolasi dari hasil hidrolisis fibrin darah⁵⁴. Treonin adalah asam amino esensial pada manusia yang hanya bisa diperoleh secara alami dengan cara mengkonsumsi beberapa jenis makanan. Treonin adalah salah satu bagian dari 20 jenis asam amino yang merupakan blok bangun protein. Jenis asam amino ini pertama kali ditemukan pada tahun 1935 oleh William Cumming Rose. Asam amino ini berfungsi meningkatkan sistem kekebalan tubuh manusia dengan membantu dalam produksi antibodi.

Kekurangan treonin akan menyebabkan ekskresi nitrogen dan urea darah yang lebih tinggi. Selain itu, ketidakseimbangan treonin dalam makanan dapat mengurangi pertumbuhan usus kecil, hati, dan otot rangka. Oleh karenanya, kita perlu mencukupi treonin dalam tubuh kita. Karena tubuh kita tidak dapat memproduksi treonin, maka kita perlu mendapatkannya dari luar dengan cara mengkonsumsi beberapa jenis makanan yang mengandung treonin. Beberapa makanan yang mengandung Treonin di antaranya adalah kedelai, lentil, kacang tunggak, daging sapi, daging ayam, ikan salmon, udang, biji rami, wijen, buncis, kenari, kacang almond, bayam, susu, asparagus, dan kuning telur.

Adanya Treonin dalam tubuh memiliki beberapa fungsi, di antaranya adalah memproduksi glisin dan serin, dua asam amino yang diperlukan untuk produksi kolagen, elastin, dan jaringan otot. Selain itu, Treonin juga dapat

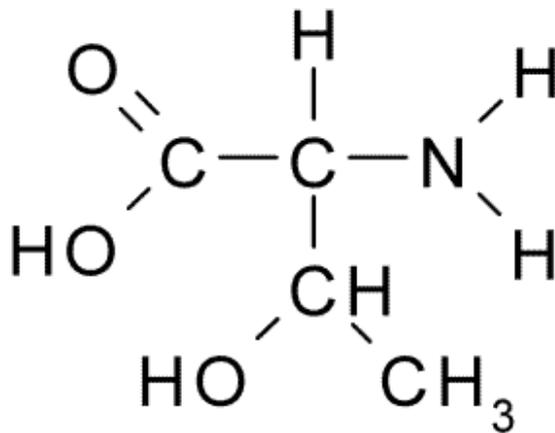
⁵⁴ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

membantu menjaga jaringan ikat dan otot di seluruh tubuh agar tetap kuat dan elastis, termasuk jantung, di mana ia ditemukan dalam jumlah yang signifikan. Treonin juga membantu membangun tulang yang kuat dan enamel gigi, dan dapat mempercepat penyembuhan luka atau pemulihan dari cedera. Treonin bersama dengan asam amino asam aspartat dan Methione memiliki fungsi untuk membantu hati dengan fungsi lipotropic, atau pencernaan lemak dan asam lemak. Tanpa cukup treonin dalam tubuh, lemak bisa menumpuk di hati dan akhirnya menyebabkan gagal hati.

Treonin dapat meningkatkan sistem kekebalan tubuh dengan membantu dalam produksi antibodi, dan karena ditemukan sebagian besar dalam sistem saraf pusat, ia juga dapat membantu dalam mengatasi beberapa jenis depresi. Suplemen treonin mungkin juga berguna untuk pengobatan Penyakit Gherigs, juga dikenal sebagai *Amyotrophic Lateral Sclerosis* (ALS). Threonine merupakan residu penting dari banyak protein, seperti enamel gigi, kolagen, dan elastin. Asam amino yang penting untuk sistem saraf, treonin juga memainkan peran penting dalam porfirin dan metabolisme lemak dan mencegah penumpukan lemak di hati. Berguna dengan gangguan usus dan pencernaan, treonin juga telah digunakan untuk mengurangi kecemasan dan depresi ringan.

Mengonsumsi Treonin dengan teratur dan dengan dosis yang tepat akan memberikan banyak manfaat bagi tubuh kita. Namun jika kita mengkonsumsinya dengan dosis yang terlalu tinggi, yang terjadi justru adalah sebaliknya, Treonin akan menjadi racun bagi tubuh kita. Untuk mengonsumsi treonin, dosis yang diperlukan adalah antara 100mg hingga 500mg perharinya, dan sebaiknya

anda berkonsultasi dengan dokter tentang seberapa banyak treonin yang perlu anda konsumsi. Karena beda kondisi beda juga dosis treonin yang diperlukan. Sementara itu, untuk efek samping dari treonin itu sendiri di antaranya adalah seperti sakit perut, sakit kepala, mual, dan ruam kulit. Oleh karenanya, konsumsilah treonin sesuai dengan kebutuhan dengan mengikuti dosis yang direkomendasikan.



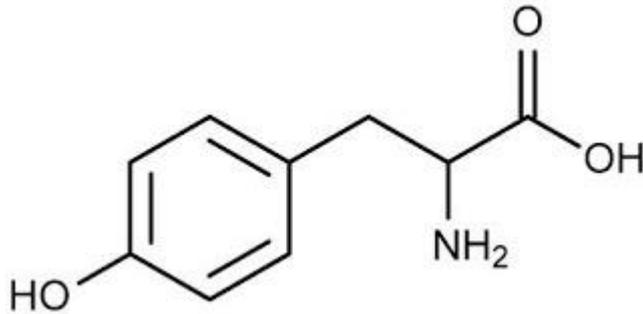
Gambar 3.12. Struktur Asam Amino Treonin

Tirosin adalah salah satu jenis asam amino yang termasuk non esensial karena dapat dibuat dalam tubuh dengan memanfaatkan asam amino fenilalanin. Tirosin merupakan asam amino mempunyai gugus fenol dan bersifat asam lemah, tirosin dapat diperoleh dari kasein, yaitu protein utama yang terdapat dalam keju⁵⁵. Selain itu tirosin juga dapat diubah menjadi dopamin dan norepinefrin. Dengan asupan tirosin dan fenilalanin yang

⁵⁵ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

cukup, akan dapat meningkatkan kewaspadaan dan gairah mental. Karena tirosin merupakan asam amino non esensial, hal ini berarti tubuh kita dapat membuat tirosin. Meski demikian, kita juga bisa mendapatkan fenilalanin dari makanan tertentu, termasuk almond, kedelai, keju, kacang-kacangan, biji-bijian, daging sapi, daging domba, ayam, ikan, telur, susu, kacang-kacangan, dan biji-bijian. Tirosin adalah asam amino non esensial yang bermanfaat dalam mengatur suasana hati dan merangsang sistem saraf. Selain itu tirosin juga berfungsi mempercepat metabolisme serta bermanfaat dalam mengobati kondisi yang ditandai dengan gejala kelelahan kronis. Tirosin juga diperlukan oleh tubuh kita untuk produksi berbagai macam senyawa kimia otak untuk menjalankan beberapa fungsi seperti mengatur nafsu makan, sensitivitas nyeri, dan respon tubuh terhadap stres.

Tirosin bersama dengan fenilalanin amino esensial dapat membuat epinefrin, dopamin, dan norepinefrin yaitu senyawa kimia neurotransmitter yang memiliki fungsi mengontrol cara tubuh kita berinteraksi dengan lingkungan. Kedua asam amino ini saling dibutuhkan satu sama lain oleh tubuh kita, tanpa adanya fenilalanin tubuh kita tidak dapat memproduksi tirosin, sementara itu tanpa tirosin yang cukup tubuh kita tidak dapat memetabolisme fenilalanin. Tirosin merupakan jenis asam amino yang aman dikonsumsi terutama jika dikonsumsi dengan dosis yang tepat. Secara umum dosis untuk orang normal, adalah 25 mg per 1 kg berat badan dalam sehari.



Gambar.3.13. Struktur Asam Amino Tirosin

Sistein adalah asam amino yang secara umum dapat diproduksi oleh tubuh, di antara banyak fungsinya, salah satu fungsi sistein adalah membantu menciptakan anti-oksidan dalam tubuh, sehingga dapat melawan radikal bebas dalam tubuh dan sistem kekebalan tubuh menjadi lebih kuat. Beberapa makanan yang mengandung sistein yang cukup tinggi termasuk kedelai, daging sapi, domba, biji bunga matahari, ayam, gandum, ikan, keju, telur, kacang-kacangan, dan kamut. Asupan harian yang direkomendasikan untuk sistein adalah 4.1mg per kilogram per hari.

Sistein merupakan asam amino non esensial. Jika beberapa jenis asam amino seperti Leusin (Leucine), Triptofan (Tryptophan) dan Likopen (Lykopen) tidak dapat diproduksi oleh tubuh kita, maka tidak demikian dengan sistein. Jenis asam amino ini dapat dihasilkan oleh tubuh kita. Meski demikian terkadang seseorang juga perlu menambah sistein dari luar tubuh mereka. Oleh karenanya ada kalanya seseorang juga perlu mengkonsumsi beberapa makanan yang mengandung Sistein. Beberapa makanan yang mengandung sistein yang cukup tinggi diantaranya adalah kedelai, daging sapi, daging domba, biji bunga

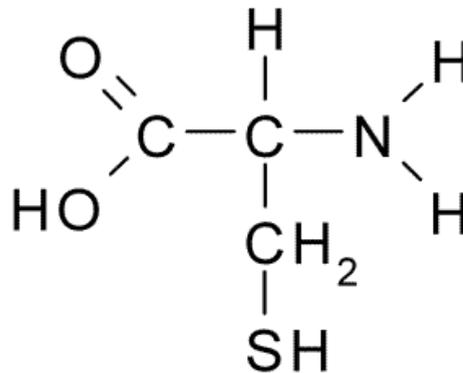
matahari, daging ayam, gandum, ikan, keju, telur, kacang-kacangan, dan kamut.

Sistein antioksidan alami diproduksi dalam tubuh untuk melawan aktivitas radikal bebas. Tanpa glutathione, sistem kekebalan tubuh Anda akan sangat terganggu, dan meninggalkan dengan sedikit pertahanan terhadap racun dan penyakit. Salah satu manfaat dari Sistein mungkin efektif dalam mencegah dan mengatasi penyakit kanker, keracunan logam berat, batuk yang terjadi akibat rokok, bronkitis, penyakit jantung, fibrosis kistik, serta keracunan asetamenofen. Sistein juga dapat membantu detoksifikasi tubuh serta melindungi tubuh dari stres oksidatif. Sistein ditemukan dalam beta-keratin yaitu protein utama yang ditemukan dalam kuku, kulit dan rambut.

Sistein bermanfaat dalam membantu menjaga kesehatan organ tersebut, agar tetap tampak muda dengan mendorong produksi kolagen serta menjaga elastisitas kulit. Meningkatnya sistem kekebalan tubuh yang dipengaruhi oleh Sistein juga dapat memberikan perlindungan terhadap serangan virus Influenza. Tidak hanya itu, jenis asam amino ini juga dapat dijadikan sebagai pengobatan Aids. dapat membantu melindungi paru-paru kita dari pengaruh buruk karsinogen yang terdapat dalam asap tembakau, melindungi hati kita dari efek samping alkohol, dan mengurangi efek samping beracun dari penggunaan obat-obatan yang digunakan untuk mengobati penyakit kanker. Sistein juga dapat digunakan untuk mengobati arsenik serta keracunan merkuri.

Sistein biasanya tidak akan memberikan efek samping jika dikonsumsi berdasarkan dosis yang dianjurkan oleh dokter atau ahli kesehatan. Oleh karenanya, sebelum kita mengonsumsi suplemen sistein, sangat dianjurkan

untuk berkonsultasi dengan dokter terlebih dahulu. Untuk dosisnya sendiri, seseorang biasanya dianjurkan mengonsumsi 4.1mg sistein dalam setiap 1 kg berat badan per harinya. Jika tidak demikian biasanya seseorang akan mengalami efek samping. Beberapa efek samping yang dikaitkan dengan sistein adalah timbulnya rasa kurang nyaman pada perut, perut kembung serta lekas marah. Selain itu, terlalu banyak sistein juga akan menimbulkan beberapa masalah seperti mual, muntah, demam dan menimbulkan rasa ngantuk. Sistein merupakan molekul asam amino mengandung gugus sulfhidril (-SH) yang cukup reaktif terutama pada proses dehidrogenasi⁵⁶. Sistein pada molekul proteinnya dapat ditemukan dalam dua bentuk yaitu sebagai sistein dan sistin. Sistin berperan pada struktur beberapa protein fungsional seperti pada hormone insulin, immunoglobulin, sebagai antibody dan keratin yang ditemukan pada protein bulu, rambut, kulit, dan kuku⁵⁷.

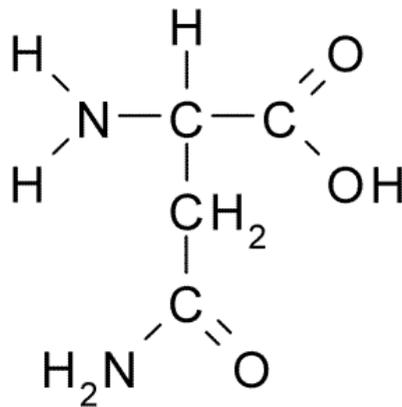


Gambar 3.14. Struktur Asam Amino Sistein

⁵⁶ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

⁵⁷ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.40

Asparagin adalah analog dari asam aspartat dengan penggantian gugus karboksil oleh gugus karboksamid. Asparagin bersifat netral (tidak bermuatan) dalam pelarut air. Asparagina merupakan asam amino pertama yang berhasil diisolasi. Namanya diambil karena pertama kali diperoleh dari jus asparagus. Fungsi biologi: Asparagina diperlukan oleh sistem saraf untuk menjaga kesetimbangan dan dalam transformasi asam amino. Ia berperan pula dalam sintesis amonia. Sumber: Daging (segala macam sumber), telur, dan susu (serta produk turunannya) kaya akan asparagina.



Gambar. 3.15. Struktur Asam Amino Asparagin

Glutamin, atau juga disebut dengan L-glutamin adalah salah satu jenis asam amino yang dikelompokkan pada jenis asam amino non-esensial. Hal ini berarti glutamin dapat diproduksi oleh tubuh kita, meski pada kenyataannya terkadang tubuh kita masih memerlukan

pasokan glutamin dari luar tubuh dengan mengonsumsi makanan atau suplemen. Hal itu terutama ketika kita mengalami kelemahan pada sistem kekebalan tubuh serta mengalami permasalahan dengan sistem saraf. Tubuh kita menggunakan L-glutamine untuk membuat gula amino, dan untuk mendukung produksi glutathione yang berfungsi sebagai antioksidan.

Kita dapat memperoleh Glutamin dalam berbagai jenis makanan, akan tetapi glutamin kadang menjadi rusak ketika makanan tersebut dimasak. Bayam dan peterseli yang dikonsumsi dalam keadaan mentah merupakan sumber glutamin yang baik. Selain bayam dan peterseli, Glutamin juga dapat kita temukan dalam keju, susu dan yogurt, daging mentah, kedelai dan gandum. Glutathione juga bisa kita konsumsi dalam bentuk kapsul dan serbuk, dan ditambahkan pada beberapa suplemen asam amino.

L-glutamin memiliki peran penting menciptakan protein. Fungsi lainnya ialah berperan penting dalam produksi gula amino, yang membantu tubuh dalam memerangi hal-hal seperti osteoarthritis, dan mendukung produksi glutathione. Glutamin sangat baik dalam perawatan Hormon Pertumbuhan, menjaga fungsi sistem kekebalan tubuh, menjaga volume sel, dan substrat protein daur ulang untuk meningkatkan sintesis protein.

Glutamin dapat menjaga kesehatan saluran pencernaan serta membantu pencernaan dalam menyerap nutrisi membantu menyeimbangkan kadar asam basa dalam tubuh. selain itu, Glutamine juga dapat membantu menghilangkan amonia beracun dalam hati . Glutamin juga melindungi hati dari pengaruh buruk alkohol dan kelebihan dosis obat acetaminophen.

Glutamine membantu transportasi nitrogen pada semua bagian terutama pada semua otot. Dengan demikian asam amino ini juga membantu dalam menyediakan glikogen pada otot, glutamin membantu mencegah kerusakan otot akibat aktifitas yang berat seperti olah raga dan serta saat melakukan pekerjaan keras lainnya. Glutamin adalah suatu amida yang terdapat pada gliadin, yaitu protein dan terigu⁵⁸.

Glutamin memiliki fungsi dalam membantu pembelahan sel sehingga pembelahan berjalan normal di seluruh tubuh. Selain glutamin juga berperan dalam memnetuk sel sel yang berfungsi sebagai bagian dari sistem kekebalan tubuh seperti thymocytes, limfosit, dan makrofag. Dengan demikian Glutamin sangat baik dikonsumsi oleh orang yang menderita penyakit terkait dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah, seperti rheumatoid arthritis, kelelahan kronis, skleroderma, dan AIDS

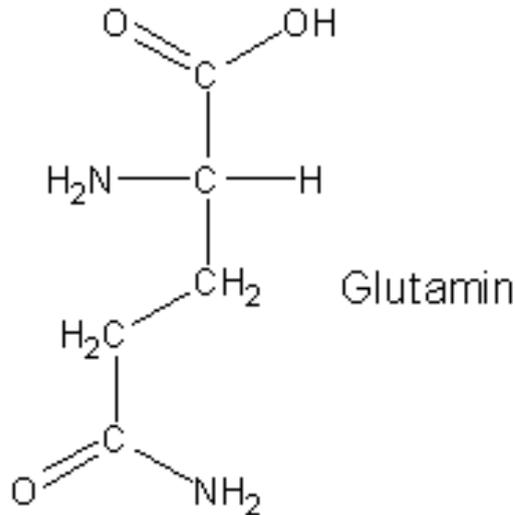
Untuk mengkonsumsi glutamin, jumlah 5-10g sehari merupakan jumlah yang aman serta bermanfaat untuk memulihkan hilang Glutamin pada sel otot. Untuk memberikan hasil terbaik terbaik dalam memperkuat sistem kekebalan, ada sebuah rekomendasi dimana kita bisa mengkonsumsi dosis 5g L-glutamine setelah bangun tidur dan 5g lagi dapat kita konsumsi sebelum tidur.

Sementara itu, L-Glutamin juga dapat memberikan efek samping, beberapa efek samping yang umum terjadi adalah suara menjadi serak, selalu ingin buang air besar, serta kesulitan untuk mengeluarkan tinja.

⁵⁸ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

Selain itu glutamin juga memberikan efek samping yang tidak umum atau jarang terjadi. Beberapa efek samping tersebut di antaranya adalah adanya darah dalam urin, perubahan warna kulit, panas dingin, tangan dan kaki dingin, batuk, kesulitan menelan, pusing, detak jantung menjadi lebih cepat, demam, sering dan nyeri buang air kecil, sakit kepala, gatal-gatal, gatal, ringan, punggung bawah terasa nyeri, kemerahan, atau bengkak di tangan atau kaki, bengkak kelopak mata atau sekitar mata, wajah, bibir atau lidah. Selain itu, glutamin juga dapat memberikan efek samping berupa sesak napas, ruam kulit, sakit perut, mengalami kelelahan, dan memiliki penyakit mengi.

Seseorang yang memiliki penyakit hati atau ginjal, sindrom Reye, atau jenis gangguan yang dapat mengakibatkan akumulasi amonia dalam darah, disarankan untuk tidak mengonsumsi glutamin, karena dapat memperparah penyakit tersebut.



Gambar 3.16. Struktur Asam Amino Glutamin

3. Kelompok Asam Amino Non Polar

Ada delapan jenis asam amino yang gugus R-nya non polar yang bersifat hidrofobik yaitu tidak suka air sehingga pada bagian ini tidak larut dalam air. Asam amino yang khas pada golongan ini adalah asam amino prolin karena gugus aminanya tidak bebas seperti gugus amino lain karena berstruktur melingkar dengan atom C yang lain sehingga terbentuklah struktur aromatik.

a. Kelompok Asam Amino Non Polar Alifatik (Alanin, Valin, Leusin, dan Isoleusin)

Alanin adalah asam amino non-esensial yang terdapat dalam tubuh manusia, alanin adalah salah satu yang paling banyak digunakan untuk konstruksi protein dan terlibat dalam metabolisme triptofan dan vitamin piridoksin. Alanin merupakan sumber energi yang penting untuk otot dan sistem saraf pusat, memperkuat sistem kekebalan tubuh, membantu dalam metabolisme gula dan asam organik, dan menampilkan efek mengurangi kolesterol. Semua asam amino kecuali glisin dapat dianggap sebagai derivat alanin dan diperoleh untuk pertama kalinya oleh Weyl dari hasil hidrolisis fibroin, yaitu protein yang terdapat pada sutera⁵⁹.

Alanin merupakan asam amino nonesensial, yang berarti bahwa senyawa ini mampu diproduksi oleh tubuh kita. Meski demikian, terkadang jumlah alanin tidak mencukupi kebutuhan dalam tubuh kita sehingga kita perlu mengonsumsi sejumlah makanan yang

⁵⁹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.95

mengandung alanin untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Ada banyak jenis makanan yang mengandung alanin. Beberapa di antaranya adalah jamur, parseli, biji bunga matahari, daging sapi, daging ayam, dan ikan. Beberapa makanan nabati kaya protein seperti alpukat juga menyediakan alanin.

Seseorang yang memiliki gangguan pencernaan terkadang tidak dapat mencukupi alanin dari makanan yang ia konsumsi. Orang yang memiliki gangguan pencernaan bisa mencukupi alanin dengan mengkonsumsi suplemen. Ada beberapa suplemen yang mengandung alanine yang tersedia di apotek.

Alanin merupakan asam amino yang dapat menjaga kadar glukosa sehingga dapat mensuplay energi dalam tubuh. Selain itu Alanin dapat membantu mengatur keseimbangan gula darah. Alanin adalah asam amino yang juga memiliki fungsi membantu tubuh dalam mengkonversi glukosa gula sederhana menjadi energi serta dapat menghapus kelebihan racun dari hati. Asam amino adalah blok bangunan protein, dan merupakan kunci dalam menjaga kesehatan dan kekuatan tubuh kita. Selain itu alanin juga dapat membantu melindungi sel-sel dari kerusakan selama sedang beraktivitas berat seperti berolah raga atau pun pekerjaan berat lainnya.

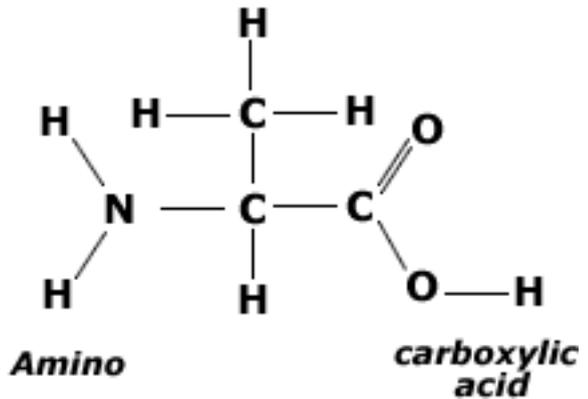
Beta-Alanin juga memiliki fungsi penting dalam menjaga keseimbangan nitrogen dan glukosa dalam tubuh, yaitu dengan cara serangkaian tindakan kimia yang disebut siklus alanin. Selama siklus alanin, setiap kelebihan asam amino (protein) dalam sel-sel atau jaringan ditransfer ke molekul reseptor yang disebut piruvat, yang diproduksi dengan pemecahan

glukosa. Piruvat tersebut nantinya dikonversi menjadi alanin dan ditransfer ke hati. Hati mengekstrak nitrogen dari alanin dan mengkonversinya kembali ke piruvat, yang kemudian dapat digunakan untuk menghasilkan lebih banyak glukosa. Sementara itu nitrogen yang berlebih selanjutnya akan diubah menjadi urea dan akan diekskresikan dari tubuh bersamaan dengan urin.

Sementara itu, untuk manfaatnya sendiri Alanin memiliki beberapa manfaat di antaranya adalah membantu perkembangan otot, meningkatkan sistem kekebalan tubuh, menjaga kesehatan ginjal dan prostat serta dapat mengobati beberapa jenis penyakit seperti penyakit diabetes dan beberapa penyakit terkait dengan peradangan atau inflamasi.

Mengonsumsi asam amino bisa mengganggu keseimbangan nitrogen dalam tubuh, dan membuat lebih sulit bagi hati dan ginjal menghilangkan limbah. Orang yang memiliki diabetes, prostatitis, hipertensi gangguan hati atau penyakit ginjal harus berkonsultasi dengan dokter sebelum memilih untuk mengonsumsi suplemen asam amino. Hal itu perlu kita lakukan agar kita mendapatkan dosis yang tepat. Sementara itu, untuk efek samping dari Alanin hingga saat ini belum ada laporan tentang efek samping tersebut.

Alanine $R = CH_3$



Gambar. 3.17. Struktur Asam Amino Alanin

Valin (L-Valin) adalah asam amino rantai bercabang yang memiliki aktivitas stimulan. Ia termasuk pada asam amino esensial alifatik dan sangat hidrofobik pada manusia yang memiliki kaitan dengan leusin, jenis asam amino ini ditemukan di banyak protein. Valin merupakan asam amino yang terlibat dalam menyembuhkan penyakit metabolik dan hati. Ia juga berperan dalam mengatur penyerapan asam amino lainnya.

Valin merupakan asam amino rantai bercabang yang bekerja dengan dua jenis asam amino rantai bercabang lainnya yaitu isoleusin dan leusin untuk membantu proses pertumbuhan secara baik dan normal, memperbaiki jaringan, mengatur gula darah, dan menjaga tubuh untuk tetap energi. Valin membantu merangsang sistem saraf pusat, dan diperlukan untuk menjaga fungsi mental.

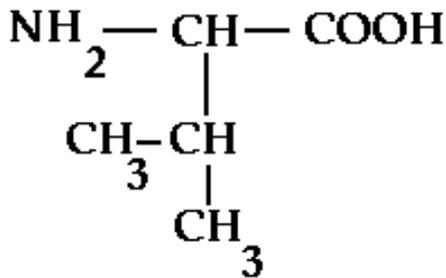
Valin memiliki manfaat dalam mencegah kerusakan otot dengan cara memberi suplai otot dengan glukosa ekstra untuk menghasilkan energi selama aktivitas fisik. Selain itu Valin juga dapat menghilangkan kelebihan nitrogen yang dapat berpotensi menjadi racun dari hati, serta mampu mengangkut nitrogen ke jaringan lain dalam tubuh yang diperlukan. Valin juga dapat dijadikan sebagai obat hati dan penyakit kandung empedu, serta kerusakan organ-organ ini disebabkan oleh pengaruh buruk alkohol dan penyalahgunaan narkoba. Valin dapat membantu mengobati atau bahkan membalikkan ensefalopati, atau kerusakan otak yang terjadi karena pengaruh makanan beralkohol.

Valin merupakan asam amino esensial, sebagaimana asam amino esensial lainnya, berarti bahwa itu tidak dapat diproduksi dalam tubuh dan harus diperoleh melalui sumber makanan. Sumber alami valin termasuk produk susu, jamur, keju, daging sapi, daging domba, ayam, daging babi, kacang-kacangan, biji-bijian, ikan, kacang-kacangan, biji-bijian dan protein kedelai.

Agar kita benar benar mendapatkan manfaat valin serta aman dalam mengkonsumsinya, sebaiknya mengikuti dosis yang dianjurkan yaitu 26mg per 1kg berat bada dalam sehari. Meski demikian kebutuhan valin bagi setiap orang tidaklah sama, orang yang memiliki kondisi tertentu mungkin perlu dosis yang lebih tinggi, atau justru malah sebaliknya. Berkonsultasilah dengan dokter sebelum mengkonsumsi valin dalam bentuk suplemen. Karena Terlalu banyak mengkonsumsi valin juga dapat memberikan efek

samping berupa terganggunya fungsi hati dan ginjal serta dapat meningkatkan jumlah amonia di dalam tubuh. Orang dengan gangguan hati atau fungsi ginjal tidak harus mengambil isoleusin tanpa terlebih dahulu berkonsultasi dengan dokter, karena dosis besar asam amino dapat memperburuk kondisi ini.

valine



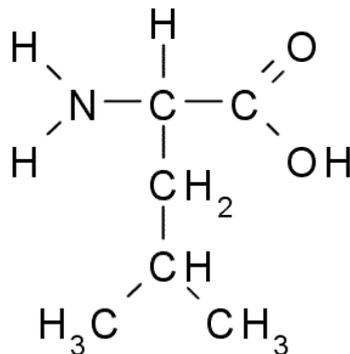
Gambar 3.18. Asam Amino Valin

Leusin adalah asam amino esensial yang digunakan dalam hati, jaringan lemak, dan jaringan otot. Leusin juga diduga menjadi satu-satunya asam amino yang dapat merangsang pertumbuhan otot, dan juga dapat membantu mencegah kerusakan otot yang terjadi karena faktor pertambahan usia. Leusin merupakan asam amino yang tidak diproduksi oleh tubuh. Oleh karena itu, tubuh kita perlu mengkonsumsi makanan yang mengandung leusin untuk memenuhi kebutuhan zat ini.

Dalam menjalankan fungsinya, Leusin bekerja dengan isoleusin dan valin untuk memperbaiki kerusakan dan membangun otot, mengatur gula darah, dan memberikan tubuh energi. Selain itu Leusin juga dapat meningkatkan produksi hormon pertumbuhan dan membantu membakar lemak yang terletak di lapisan terdalam dari tubuh.

Leusin merupakan asam amino esensial yang berarti bahwa kita harus mendapatkannya dari luar karena tubuh kita tidak dapat memproduksinya. Leusin dapat kita peroleh secara alami dengan mengkonsumsi beberapa jenis makanan. Sumber alami dari leusin termasuk beras merah, kacang-kacangan, daging, kacang-kacangan, kedelai, keju, daging ayam, biji labu, kacang tanah, ikan tuna dan gandum.

Bagi kita yang ingin membangun lebih baik lagi, kita bisa berolahraga, akan tetapi tentu kita harus mempertimbangkan asupan makanan yang mengandung leusin. Kita juga dapat memperoleh Leusin dalam bentuk suplemen, akan tetapi perlu kita ingat bahwa leusin harus dikonsumsi bersama dengan dua jenis asam amino lainnya yaitu isoleusin dan valin.



Gambar3.19. Asam Amino Leusin

Isoleusin, atau juga L-Isoleusin merupakan salah satu asam amino esensial yang tidak dapat dibuat oleh tubuh. Kberadaannya dalam tubuh berkontribusi dalam membantu daya tahan dan membantu dalam perbaikan mengembalikan energi otot. L-Isoleusin juga diklasifikasikan sebagai asam amino rantai bercabang (BCAA). Ada tiga rantai cabang asam amino di dalam tubuh, yaitu isoleusin L-valine, dan L-Leucine, ketiga jenis asam ini memiliki manfaat yang sama, yaitu membantu pemulihan otot setelah berolahraga atau melakukan pekerjaan berat lainnya. Isoleusin pada dasarnya dipecah untuk energi dalam jaringan otot.

Isoleusin memiliki fungsi utama untuk menambah energi dalam tubuh. Isoleusin juga berfungsi dalam meningkatkan daya tahan tubuh, memperbaiki jaringan otot yang rusak serta membatu pembekuan darah ketika terjadi luka. Asam amino ini juga dapat memulihkan tenaga karena aktivitas yang berat. Oleh karenanya, isoleusin sering dikonsumsi seorang atlet mau pun pekerja keras agar cepat memperoleh energi.

Sebagai mana valin dan leusin, isoleusin juga merupakan asam amino rantai bercabang yang semuanya dapat membantu dalam pemulihan kekuatan otot, meningkatkan energi, serta membantu mengatur gula darah.

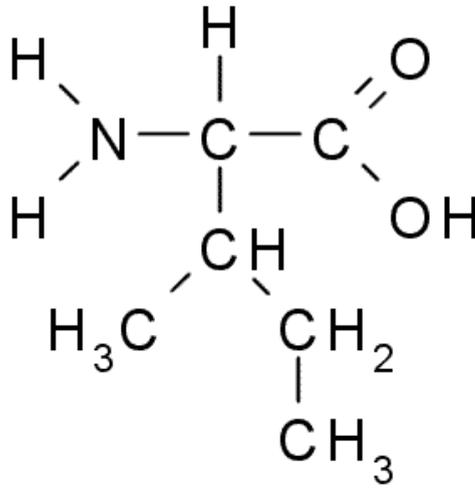
Kekurangan jenis asam amino isoleusin akan menyebabkan beberapa gangguan seperti sakit kepala, pusing, kelelahan, depresi, kebingungan, serta gangguan emosional seperti mudah tersinggung. Oleh karenanya kita harus menyeimbangkan jumlah Isoleusin dalam tubuh. Karena Isoleusin tergolong asam amino esensial, kita harus memenuhinya dengan mengkonsumsi jenis

makanan yang mengandung Isoleusin. Jenis asam amino ini dapat kita temukan dalam makanan yang mengandung perotein seperti kacang-kacangan, biji-bijian, daging, telur, ikan, kacang, kacang polong, dan protein kedelai.

Isoleusin dapat tersedia dalam bentuk suplemen secara terpisah dari valin dan leusin, akan tetap harus dikonsumsi bersama dengan dua jenis asam amino tersebut yang sama sama tergolong asam amino rantai bercabang. Untuk mengkonsumsi asam amino rantai bercabang, kita disarankan menggunakan perbandingan 1 miligram Isoleusin, 2 miligram valin dan 2 miligram leusin. Untuk dosis yang disarankan, hingga saat ini belum ada informasi ilmiah mengenai hal ini. Seseorang yang ingin mengkonsumsi disarankan membaca petunjuk yang tertera pada produk suplemen ini, atau sebaiknya berkonsultasi dengan dokter terlebih dahulu. Valin, leusin, dan isoleusin mempunyai gugus -R bercabang dan mempunyai sifat kimia yang hampir sama. Leusin dan Isoleusin bahkan sukar dipisahkan dan termasuk asam amino esensial⁶⁰.

Mengkonsumsi Asam amino rantai bercabang juga memiliki efek samping. Efek samping jika terlalu banyak mengkonsumsi asam amino rantai bercabang adalah terjadinya hipoglikemia dan penumpukan zat amonia. Hal ini akan membuat hati dan ginjal dipaksa untuk bekerja lebih keras. Orang yang memiliki gangguan terkait dengan hati dan ginjal harus lebih hati hati dalam mengkonsumsi jenis asam amino ini.

⁶⁰ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98



Gambar 3.20. Struktur Asam Amino Isoleusin

b. Kelompok Asam Amino Non Polar Aromatik (Fenilalanin dan Triptofan)

Fenilalanin merupakan asam amino mempunyai gugus -R aromatik dan tidak dapat disintesis dalam tubuh⁶¹. Fenilalanin (Phenylalanine) merupakan salah satu asam amino esensial yang memiliki fungsi membantu tubuh dalam memproduksi DNA serta molekul otak seperti dopamin, norepinefrin (noradrenalin), dan epinefrin (adrenalin), dan melanin. Fenilalanin juga dapat digunakan oleh tubuh untuk membuat asam amino tirosin. Fenilalanin terdapat hampir di semua protein, ia tidak dapat diproduksi oleh tubuh manusia, dan hanya bisa diperoleh dengan cara mengkonsumsi berbagai jenis makanan yang

⁶¹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

mengandungnya. Bersama dengan zat lain, Fenilalanin berkontribusi dalam pembentukan senyawa neurotransmitter yaitu senyawa kimia otak yang dapat mengirimkan impuls saraf.

Fenilalanin merupakan asam amino esensial, yang berarti harus diperoleh dari sumber makanan dan tidak dihasilkan oleh tubuh kita. Untuk memenuhinya, kita bisa mengkonsumsi suplemen atau beberapa jenis makanan alami. Beberapa jenis makanan yang mengandung fenilalanin tinggi di antaranya termasuk kedelai, keju, kacang-kacangan, biji-bijian, daging sapi, domba, ayam, ikan, telur, susu, kacang-kacangan, dan biji-bijian.

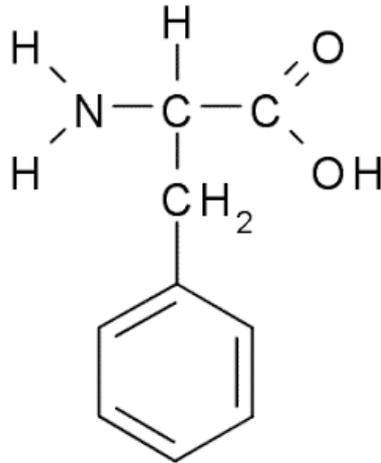
Fenilalanin merupakan salah satu jenis asam amino esensial yang memiliki fungsi untuk menjaga fungsi sistem saraf pusat agar tetap normal. Fenilalanin dapat digunakan untuk membantu mengendalikan gejala depresi dan rasa sakit akibat penyakit kronis, serta beberapa penyakit lain yang berkaitan dengan rusaknya sistem saraf pusat. Selain itu Fenilalanin juga memiliki kemampuan melindungi otak dari racun, bakteri, dan virus, dll, yang beredar melalui aliran darah.

Fenilalanin diperlukan oleh tubuh kita untuk memproduksi epinefrin, dopamin, dan norepinefrin. Senyawa ini merupakan neurotransmitter yang dapat mengontrol kita dalam berinteraksi dengan lingkungan. Selain itu fenilalanin dapat membuat kita merasa lebih bahagia, mengurangi rasa lapar serta meningkatkan kewaspadaan. Fenilalanin juga dapat dijadikan sebagai obat pereda rasa sakit serta dapat meningkatkan daya ingat dan konsentrasi.

Fenilalanin juga dapat dijadikan sebagai obat penyakit Parkinson, dan skizofrenia, tapi beberapa orang dengan kondisi kesehatan yang serius seharusnya tidak mengonsumsi Fenilalanin dalam bentuk suplemen tanpa terlebih dahulu berkonsultasi dengan dokter mereka tentang dosis yang tepat.

Mengonsumsi Fenilalanin terutama bagi seseorang yang memiliki penyakit atau kondisi tertentu diharuskan mengikuti saran dokter atau ahli kesehatan untuk mengetahui dosis yang tepat untuk mengkonsumsinya. Akan tetapi secara umum dosis yang aman adalah 25 mg per 1 kg berat badan seseorang dalam setiap harinya.

Sementara itu, fenilalanin sebagai mana jenis asam amino lainnya terkadang juga memberikan efek samping terutama jika dikonsumsi secara berlebihan dan dikonsumsi dengan obat-obatan tertentu, atau seseorang dalam keadaan tertentu seperti sedang dalam keadaan hamil atau menyusui. Beberapa efek samping yang bisa timbul diantaranya adalah kecemasan, reaksi alergi, dan tekanan darah tinggi. Sementara itu, bagi wanita yang sedang hamil efek yang bisa terjadi diantaranya adalah keterlambatan dan perubahan, atau bahkan terjadi cacat lahir pada bayi.



Gambar. 3.21. Struktur Asam Amino FenilAlanin

Triptofan merupakan asam amino heterosiklik yang mula-mula diperoleh dari hasil pencernaan kasein oleh cairan pancreas⁶². Triptofan merupakan salah satu jenis asam amino esensial yang dibutuhkan untuk perkembangan dan pertumbuhan tubuh secara umum, produksi niacin, dan menciptakan serotonin dalam tubuh. Serotonin diduga dapat membuat tidur kita lebih nyaman dan dapat membuat suasana hati menjadi lebih stabil. Triptofan dapat kita temukan dalam beberapa jenis makanan yang mengandung protein. Triptofan gugus R-nya mengandung gugus indol yang banyak ditemukan pada berbagai senyawa biolog⁶³.

⁶² Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

⁶³ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.39

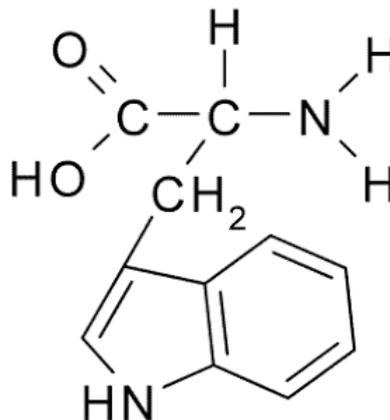
Triptofan adalah jenis asam amino yang tidak dapat diproduksi oleh tubuh. Oleh karenanya, untuk memenuhi kebutuhan Triptofan dalam tubuh, kita harus mensuplaynya dengan cara mengkonsumsi berbagai jenis makanan yang mengandung Triptofan. Ada banyak jenis makanan yang mengandung Triptofan. Di antara makanan yang mengandung Triptofan , berikut ini merupakan makanan yang mengandung Triptofan yang cukup tinggi, yaitu labu, kedelai, keju, daging sapi, daging domba, daging ayam, daging kalkun, ikan tuna, aneka jenis kerang, kacang lentil dan telur. Fungsi Triptofan (Tryptophan) dalam tubuh yaitu digunakan untuk memproduksi niacin, yaitu vitamin B yang penting untuk kesehatan pencernaan, kulit dan saraf . Selain itu Triptofan juga membantu dalam menghasilkan serotonin, yaitu senyawa kimia yang memainkan peran penting dalam menjaga suasana hati serta dapat membantu untuk menciptakan rasa tenang sehingga dapat menghilangkan kegelisahan.

Adanya kandungan senyawa serotonin dalam tubuh kita akan memberikan kita suasana hati yang baik sehingga kita akan terhindar dari depresi dan badmood. Selain itu, serotonin juga memiliki manfaat dalam menciptakan tidur lebih baik sehingga membuat seseorang terbebas dari masalah insomnia. Selain beberapa manfaat di atas, manfaat dari adanya Triptofan (Tryptophan) dalam tubuh kita yaitu dapat menurunkan kolesterol, menurunkan berat badan, serta membantu proses pertumbuhan dan perkembangan bayi.

Untuk memberikan hasil yang terbaik, sebagaimana nutrisi lainnya, mengkonsumsi Triptofan (Tryptophan) juga dianjurkan untuk mengikuti dosis

yang direkomendasikan. Karena jika tidak kemungkinan Triptofan (Tryptophan) juga akan memberikan efek samping. Untuk dosisnya sendiri, untuk orang dewasa ialah 8-12 gram perhari.

Sementara itu, Triptofan (Tryptophan) juga akan memberikan efek samping. Beberapa efek samping yang bisa terjadi adalah sindrom eosinofilia-mialgia, yaitu suatu kondisi yang berkaitan dengan neurologis dengan gejala yang meliputi kelelahan; nyeri otot intens; nyeri saraf; perubahan kulit; kebotakan; ruam; dan rasa sakit dan bengkak yang mempengaruhi sendi, jaringan ikat, paru-paru, jantung, dan hati. Selain itu, Triptofan (Tryptophan) juga dapat mengakibatkan efek samping seperti efek samping seperti mulas, sakit perut, bersendawa dan gas, mual, muntah, diare, dan kehilangan nafsu makan. Hal ini juga dapat menyebabkan sakit kepala, pusing, mengantuk, mulut kering, pandangan kabur, kelemahan otot, dan masalah seksual.



Gambar 3.22. Struktur Asam Amino Triptofan

c. Kelompok Asam Amino Non Polar Mengandung Gugus S (Metionin)

Metionin adalah salah satu dari dua asam amino esensial yang mengandung sulfur⁶⁴. Rantai samping cukup hidrofobik dan metionin sebagaimana jenis asam amino lainnya juga ditemukan dalam protein. Tidak seperti sistein, sulfur metionin sangat tidak nukleofilik, meskipun akan bereaksi dengan beberapa pusat elektrofilik.

Metionin merupakan asam amino esensial, sebagaimana asam amino esensial lainnya hal ini tidak dapat diproduksi dalam tubuh. Untuk memenuhi kebutuhan metionin kita dapat memperolehnya melalui sumber makanan. Beberapa makanan yang mengandung metionin di antaranya termasuk kacang, telur, ikan, bawang putih, kacang, daging, bawang, kedelai, biji-bijian, dan yogurt. Metionin juga dapat kita peroleh dengan cara mengonsumsi suplemen berbentuk kapsul. Metionin merupakan asam amino esensial, sebagaimana asam amino esensial lainnya hal ini tidak dapat diproduksi dalam tubuh. Untuk memenuhi kebutuhan metionin kita dapat memperolehnya melalui sumber makanan. Beberapa makanan yang mengandung metionin di antaranya termasuk kacang, telur, ikan, bawang putih, kacang, daging, bawang, kedelai, biji-bijian, dan yogurt. Metionin juga dapat kita peroleh

⁶⁴ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.39

dengan cara mengonsumsi suplemen berbentuk kapsul.

Metionin adalah asam amino esensial yang membantu proses tubuh serta untuk menghilangkan lemak. Metionin mengandung sulfur, sebuah zat yang diperlukan untuk produksi tubuh yang paling banyak antioksidan alami, glutathione. Tubuh kita juga membutuhkan banyak metionin untuk menghasilkan dua asam lainnya yang mengandung sulfur amino, yaitu sistein dan taurin, yang membantu tubuh dalam menghilangkan racun, membangun jaringan yang sehat dan kuat, serta meningkatkan kesehatan kardiovaskular.

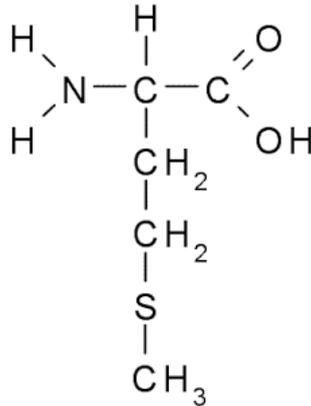
Metionin merupakan zat kimia yang membantu hati dalam memproses lemak dalam hati. Zat lainnya yang dapat membantu hati dalam memproses lemak di antaranya adalah kolin, inositol, dan betaine (trimethylglycine), yang semuanya membantu mencegah akumulasi lemak di hati dan yang pada gilirannya dapat menjaga fungsi hati tetap normal, dan yang tidak kalah penting adalah ia dapat menghilangkan racun dari tubuh. Metionin juga mendukung fungsi hati dengan mengatur persediaan glutathione, yaitu zat yang diperlukan dalam menetralkan racun dalam hati.

Metionin juga dibutuhkan tubuh kita untuk membuat kreatin, yaitu nutrisi alami yang ditemukan dalam tubuh kita terutama pada jaringan otot yang menyediakan energi otot-otot kita untuk bergerak. Kreatin juga diperlukan untuk semua fungsi otot, selain itu ia juga mendukung fungsi jantung dan sistem peredaran darah untuk berkeja normal.

Metionin juga diperlukan dalam pembentukan kolagen yang sehat yang digunakan untuk pembentukan kulit, kuku, dan jaringan ikat, dan membantu mengurangi tingkat inflamasi dalam tubuh. Orang yang memiliki penyakit terkait dengan produksi histamin yang berlebihan, seperti arthritis dan kronis alergi, bisa mengkonsumsi metionin untuk memperoleh manfaat dari suplementasi ini.

Metionin juga dapat membantu mengobati gejala pankreatitis dan penyakit Parkinson. Selain itu, ia juga dapat membantu untuk pengobatan infeksi saluran kemih; seperti buah cranberry, metionin dapat mencegah bakteri untuk menempel dan berkembang biak pada dinding saluran kemih.

Kita perlu mengikuti anjuran dokter untuk mendapatkan manfaat dari metionin. Untuk orang dewasa, dosis yang diperlukan oleh tubuh, normalnya adalah 800 mg sampai 1000 mg dalam sehari. Terlalu banyak mengkonsumsi Metionin justru akan memberikan efek samping tersendiri bagi tubuh kita. Terlalu banyak metionin dapat menyebabkan kerusakan otak dan kematian. Metionin dapat meningkatkan kadar homosistein, zat kimia yang dapat menyebabkan penyakit jantung. Metionin mungkin juga dapat menjadi pemicu pertumbuhan beberapa jenis tumor.



Gambar.3.23. Asam Amino Metionin

d. Kelompok Asam Amino Non Polar Siklik (Prolin)

Prolin atau prolin adalah salah satu asam amino yang digunakan oleh organisme sebagai blok bangunan protein. Prolin merupakan asam amino yang paling menarik karena gugus aminonya tidak bebas seperti gugus amino yang lain karena berstruktur melingkar dengan atom C yang lain sehingga terbentuklah struktur aromatik⁶⁵. Prolin merupakan asam amino diklasifikasikan sebagai asam amino non esensial karena tidak harus mengkonsumsi makanan untuk mendapatkannya, tetapi dapat disintesis oleh tubuh manusia dari senyawa lain melalui reaksi kimia, terutama dari asam glutamat.

Kita bisa memperoleh prolin melalui makanan yang kita konsumsi seperti daging, susu dan telur. Selain itu makanan yang menjadi sumber prolin antara

⁶⁵ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.39

lain adalah keju, kedelai, kubis, rebung dan yougurt. Kita juga dapat menambah jumlah prolin dalam tubuh kita dengan mengkonsumsi splemen yang bisa kita peroleh di apotek. Adanya Prolin dalam tubuh kita diperlukan untuk produksi kolagen dan tulang rawan. Prolin bermanfaat dalam menjaga otot dan sendi untuk tetap fleksibel serta mengatasi kulit kendur dan kerutan yang disebabkan oleh pengaruh sinar matahari. Prolin adalah asam amino heterosiklik yang diperoleh dari hidrolisis kasein, dan kolagen mengandung banyak prolin dan hidroksiprolin⁶⁶.

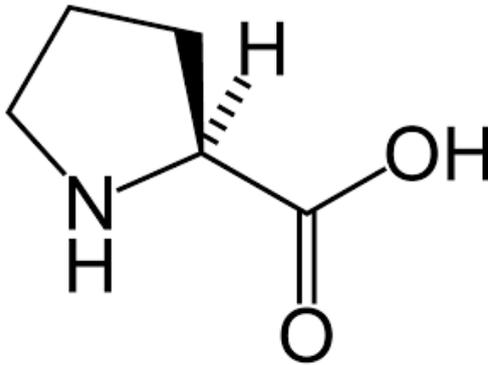
Selain itu Prolin juga memiliki peran penting dalam produksi sel dengan memecah protein yang pada dasarnya untuk pengembangan dan pemeliharaan jaringan kulit dan jaringan ikat, terutama ketika kulit sedang mengalami luka. Prolin bersama jenis asam amino lain yang disebut lisin yang baik diperlukan untuk membuat hidroksiprolin dan hidroksilisin, yang asam amino yang berfungsi membentuk kolagen. Kolagen memiliki manfaat dalam menyembuhkan tulang rawan serta memberikan perlindungan terhadap persendian tulang. Oleh karenanya prolin sangat baik dalam mengatasi beberapa jenis penyakit seperti osteoarthritis, serta nyeri punggung kronis.

Prolin tidak hanya diperlukan dalam pembuatan sel, akan tetapi untuk menjaga kesehatan jaringan otot. Adanya prolin dalam tubuh berpengaruh terhadap kekuatan otot untuk menjalankan fungsinya. Pada umumnya orang biasanya memiliki Prolin yang

⁶⁶ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.98

cukup dalam tubuh mereka jika ia mengkonsumsi makanan yang sehat. Tetapi bagi mereka yang sedang sedang dalam kondisi tertentu biasanya perlu menambah prolin dengan mengkonsumsi suplemen.

Dosis yang diperlukan dalam mengkonsumsi prolin adalah 500-100 mg. Sementara itu, mengkonsumsi dapat memberikan efek samping. Salah satunya adalah menyebabkan tekanan darah rendah. Selain itu prolin juga dapat menyebabkan gangguan saraf, masalah lambung dan reaksi alergi. Mengkonsumsi prolin dengan dosis yang terlalu tinggi juga dapat siklus asam sitrat menjadi tidak seimbang yang akan membuat hati dan ginjal dipaksa untuk bekerja lebih keras.



Gambar.3.24. Struktur Asam Amino Prolin

B. SIFAT ASAM-BASA ASAM AMINO

Bentuk-bentuk netral asam amino adalah zwitter ion⁶⁷. Sifat asam basa asam amino disebabkan karena asam amino memiliki gugus aktif amina dan karboksil sekaligus, zat ini dapat dianggap sebagai sekaligus asam dan basa (walaupun pH alaminya biasanya dipengaruhi oleh gugus-R yang dimiliki). Pada pH tertentu yang disebut titik isolistrik, gugus amina pada asam amino menjadi bermuatan positif (terprotonasi, $-\text{NH}_3^+$), sedangkan gugus karboksilnya menjadi bermuatan negatif (terdeprotonasi, $-\text{COO}^-$) sehingga asam amino bersifat amfoter⁶⁸. Titik isolistrik ini spesifik bergantung pada jenis asam aminonya. Titik isoelektrik atau pH isoelektrik merupakan pH yang mana molekul tidak mempunyai muatan elektrik atau muatannya nol⁶⁹. Dalam keadaan demikian, asam amino tersebut dikatakan berbentuk *zwitter-ion*. Zwitter-ion dapat diekstrak dari larutan asam amino sebagai struktur kristal putih yang bertitik lebur tinggi karena sifat dipolarnya. Kebanyakan asam amino bebas berada dalam bentuk zwitter-ion pada pH netral maupun pH fisiologis yang dekat netral. Karena mempunyai muatan negatif dan positif, asam amino dapat mengalami reaksi terhadap asam maupun basa.

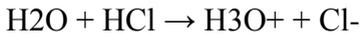
Amfoter/amfoterik adalah kemampuan suatu zat yang dapat berpindah sifat *keasaman* dari sifat *asam* ke sifat *basa*. hal ini tergantung dari kondisi atau lingkungan dimana zat tersebut bereaksi bila zat itu berada di lingkungan asam kuat maka zat tersebut bersifat basa. dan begitu pula sebaliknya bila zat tersebut berada pada lingkungan asam maka zat tersebut

⁶⁷ Nahar dan Sarker, *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam, dan Umum*. (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2009). hal.253

⁶⁸ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*. (Yogyakarta: Andi, 2006). Hal. 68

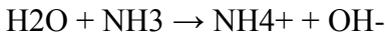
⁶⁹ Ibid, hal.254

bersifat basa .salah satu zat bersifat amfoter yang biasa kita temui ditemui diskitar kita adalah air (H₂O) . Sebagai basa:



terlihat pada contoh ini HCL adalah asam kuat sehingga air bersifat basa.

Sebagai asam:



pada contoh 2 NH₃ adalah basa sehingga air bersifat sebagai asam

Di dalam asam amino gugus karboksil (-COOH) bersifat asam dangugus amina (-NH) bersifat basa. Jadi, asam amino dapat bersifat asam dan basa, dan sifat inilah yang diberi istilah bersifat **amfoterik**. Molekul yang bersifat amfoterik dapat bersifat netral atau tidak bermuatan, namun dapat juga bersifat dipolar seperti ditulis dalam struktur di atas. Dalam bentuk dipolar ini asam amino bersifat sebagai “Zwitter Ion”.

Dalam larutan asam keras (pH asam) sebagian besar asam amino berada dalam bentuk kation (bermuatan positif), dalam larutan basa keras (pH basa) asam amino berada dalam bentuk anion (bermuatan negatif). Pada pH tertentu untuk setiap asam amino dapat berada dalam keadaan Titik isolistrik adalah titik atau pH asam amino mempunyai muatan listrik yang netral. dan nilai pH tersebut dimana asam amino berada dalam keadaan netral dikenal sebagai titik isoelektrik dari asam amino.

Titik isolistrik asam amino asam pada pH 3, diperlukan larutan yang lebih asam untuk asam amino golongan ini untuk menambah proton gugusan karboksilat kedua. Titik isolistrik basa asam amino basa sekitar pH 9-10, diperlukan larutan yang lebih basa untuk menghilangkan proton dari gugusan amonium kedua. Asam amino memiliki gugus aktif amina dan karboksil sekaligus, jadi dapat dianggap sebagai sekaligus asam dan basa (walaupun pH alaminya biasanya dipengaruhi oleh gugus-R yang dimiliki). Pada pH tertentu yang disebut titik isolistrik, gugus amina pada asam amino menjadi bermuatan positif (terprotonasi, $-\text{NH}_3^+$), sedangkan gugus karboksilnya menjadi bermuatan negatif (terdeprotonasi, $-\text{COO}^-$). Titik isolistrik ini spesifik bergantung pada jenis asam aminonya. Dalam keadaan demikian, asam amino tersebut dikatakan berbentuk *zwitter-ion*.

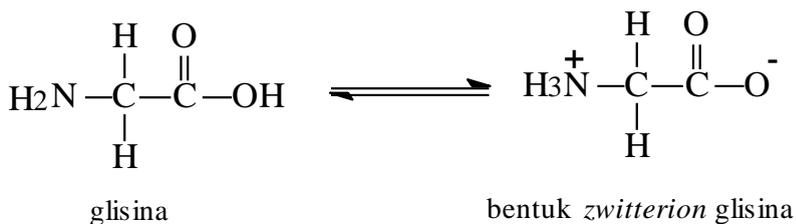
Pada keadaan *zwitter ion*, umumnya memiliki titik isoelektrik, yaitu titik dimana asam amino mempunyai pH optimum (pHI). Rumus :

$$\text{pHI} = 0,5 (\text{pK}'1 + \text{pK}'2)$$

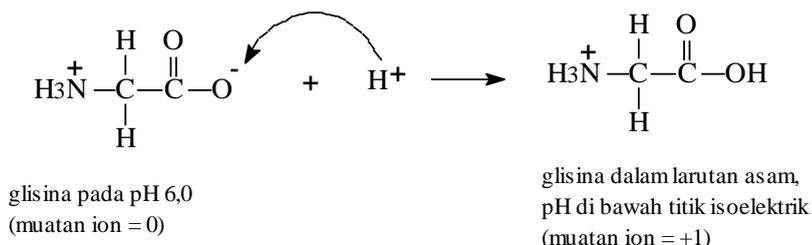
Sifat fisikomia pada setiap protein tidak selalu sama, baik jenis asam aminonya, berat molekul (BM) sangat besar sehingga protein tidak dapat melalui membran semipermeabel, masih dapat menimbulkan tegangan pada membran. Sifat-sifat asam amino yang dapat larut dalam air dapat membentuk Kristal. Harga konstanta dielektrikum yang tinggi, memiliki netralisasi seperti pada H dan OH dan dalam medan listrik misalnya dengan elektrophoresa tak bergerak dalam keadaan tertentu. Masa asam amino dipercayai memiliki sifat amfoter atau dalam keadaan *zwitter ion* yang memiliki muatan (+) dan (-) yang seimbang Gugus karboksil melepas ion, Gugus amino menerima proton, Molekul asam amino “dipolar”.

Akan terbentuk dengan pergeseran proton dari gugus karboksil ke gugus amino. Ion-ion positif dan negatifnya tidak bebas, karena ikatan yang kuat dari ion-ion ini melalui atom C. Internal salt disebut Zwitter Ion. Sebuah asam amino ditandai dengan adanya gugus nitrogen berupa gugus amino (-NH), gugus karboksil (-COOH), dan sebuah atom hidrogen di mana ketiganya terikat pada sebuah atom C yang disebut sebagai karbon a (dibaca karbon alfa), serta gugus R sebagai rantai samping atau rantai cabang. Struktur dan rumus umum sebuah asam amino diberikan pada gambar 1. Gugus amino atau amin ditulis di dalam struktur kimi di atas sebagai NH₃⁺ dan gugus karboksil sebagai COO⁻ karena dalam lingkungan air berada dalam bentuk ion yang bersifat. Adanya kedua ion plus dan minus dalam satu buah asam amino membuat asam amino bersifat dipolar (dua muatan ion plus dan minus).

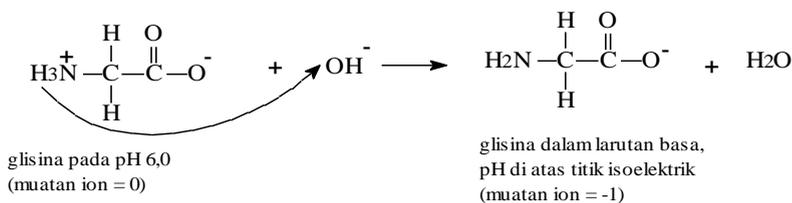
Asam amino memiliki bentuk zwitterion dan bermuatan nol pada pH isoelektriknya.



Pada pH dibawah pI maka asam amino akan bertindak sebagai basa (menerima proton)



Pada pH diatas pI maka asam amino akan bertindak sebagai asam (memberi proton)

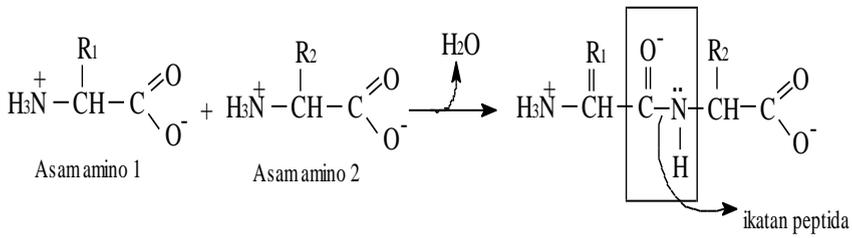


C. HIRARKI STRUKTUR PROTEIN

Struktur tiga-dimensi protein yang memiliki fungsi biologis tertentu terdiri dari beberapa tingkatan struktur, yaitu:

1. Struktur primer protein.

- Urutan linier asam amino dalam satu rantai polipeptida.
- Asam amino satu dengan lainnya dihubungkan melalui **ikatan peptida**. Berikut persamaan reaksi pembentukan dipeptida:

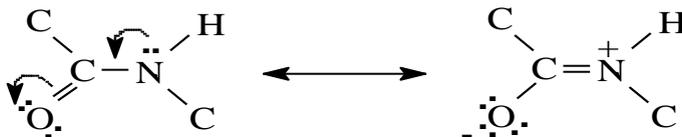


Catatan:

Ikatan peptida merupakan suatu ikatan kovalen (amida), sehingga struktur ini juga dikenal sebagai *struktur kovalen protein*. Kekuatan ikatannya paling tinggi diantara jenis ikatan lain yang membangun struktur protein.

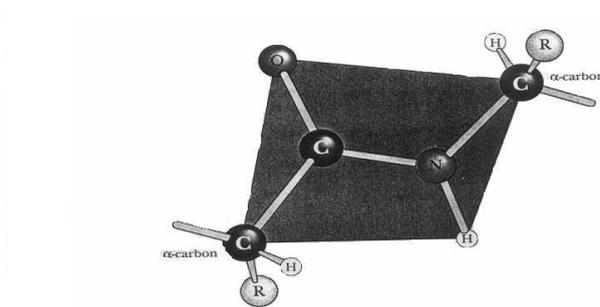
Asam amino yang telah membentuk ikatan peptida disebut *residu asam amino*.

c. Ikatan peptida dapat mengalami resonansi:



Sehingga memiliki sifat:

1. Ikatan rangkap sebagian (~40%).
2. Tidak bebas berotasi (kaku)
3. Keenam atom penyusunnya cenderung koplanar, dan membentuk suatu bidang yang dinamakan “bidang amida”



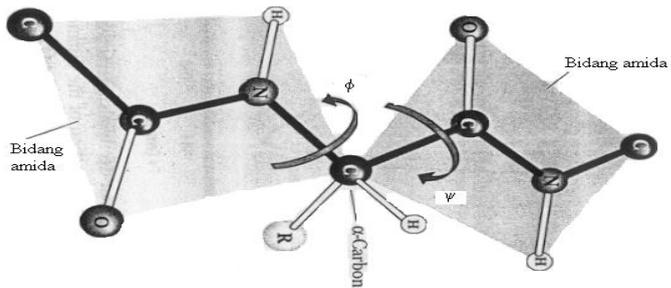
Gambar. 3.25. Struktur Primer Protein

2. Struktur sekunder

Pengaturan ruang residu asam amino yang berdekatan dalam urutan linier, tanpa memperhatikan konformasi dari R-nya, Ditentukan oleh:

Sifat unit peptida

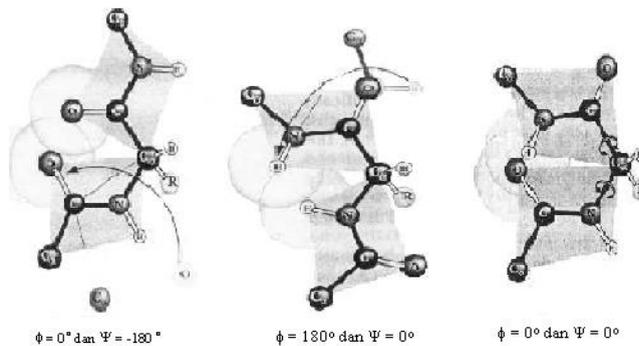
Ikatan peptida tidak dapat berotasi, tetapi ikatan C α -C karbonil (sudut putar Ψ) dan C α -N (sudut putar ϕ) dapat berotasi dengan bebas.



Gambar. 3.26. Struktur Sekunder Protein

Sudut putar Ψ dan $\phi = 180^\circ$

Konformasi ϕ dan ψ yang stabil sangat dibatasi oleh efek sterik antara atom-atom yang tidak berikatan, seperti contoh berikut:

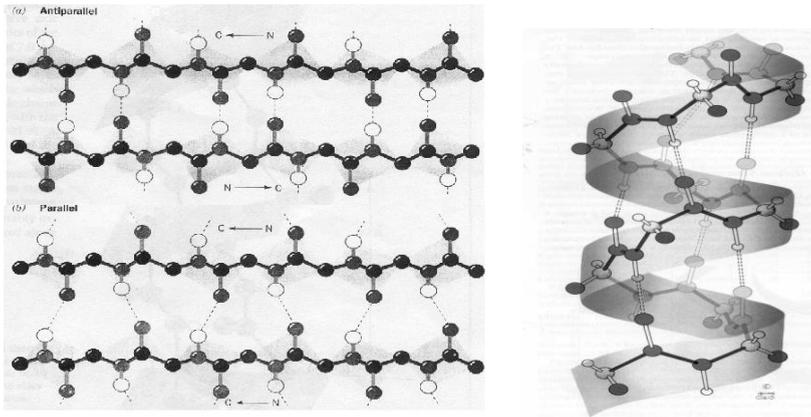


Gambar. 3.27. Konformasi $\phi = 0^\circ$ dan $\psi = -180^\circ$ terjadi tumpang tindih antar oksigen karbonil
Konformasi $\phi = 180^\circ$ dan $\psi = 0^\circ$ terjadi tumpang tindih antar hidrogen amida
Konformasi $\phi = 0^\circ$ dan $\psi = 0^\circ$ terjadi tumpang tindih antar oksigen karbonil dan hidrogen amida;

*Ikatan hidrogen antara atom oksigen karbonil dengan atom hidrogen pada tulang punggung peptida.
Semakin banyak ikatan hidrogen semakin stabil struktur tersebut.*

Struktur sekunder yang paling umum dijumpai adalah:

- a. Struktur heliks- α putar kanan
- b. Struktur lembar berlipat β



Gambar. 3.28. Struktur heliks- α dan β Struktur Sekunder

3. Struktur tersier

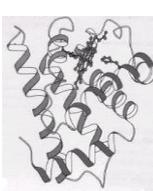
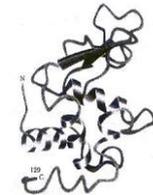
pelipatan struktur sekunder bersama-sama dengan penempatan ruang gugus R-nya membentuk struktur tiga-dimensi. ∞ Struktur tersier distabilkan oleh beberapa interaksi lemah, kecuali ikatan (jembatan) disulfida yang terbentuk antar 2 residu sistein yang berdekatan, yaitu:

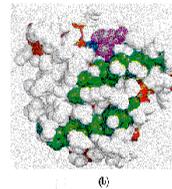
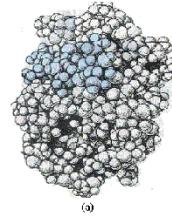
- a. Interaksi hidrofobik
- b. Interaksi elektrostatik antara R residu asam amino yang bermuatan positif dengan yang bermuatan negatif.
- c. Ikatan hidrogen
- d. Ikatan van der waals

4. Struktur kuarterner

Pengaturan ruang beberapa struktur tersier yang terjadi pada protein multimerik (protein yang terdiri lebih dari satu rantai polipeptida)

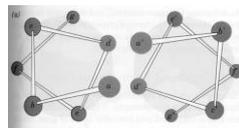
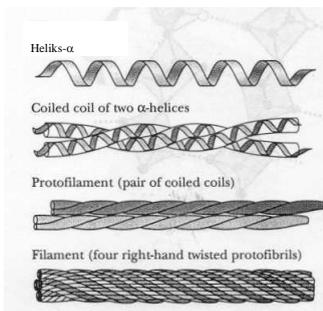
Struktur 3-dimensi protein berhubungan dengan fungsi biologisnya.

Protein	Total Residu	Heliks- α (%)	Lembar Berlipat- β (%)	Aktivitas Biologi	Pola Pelipatan (Gambaran Skematis Tulang Punggung Polipeptida)
Mioglobin	153	78	0	Pembawa oksigen dalam otot	
Lisosim	129	40	12	Mengatalisa reaksi hidrolisis polisakarida kompleks penyusun membran sel beberapa golongan sel bakteri	



Gambar. 3.29. Struktur 3 Dimensi Protein

Keratin- α merupakan penyusun utama protein struktural seperti rambut, kuku, dan tanduk. Satu sel rambut terdiri dari jutaan filamen keratin- α .



Penggabungan garis hidrofobik pada rantai polipeptida keratin- α

Keratin- α kaya residu sistein yang membentuk ikatan disulfida antar rantai polipeptida yang berdekatan

Keratin- α bersifat rigid, tidak dapat meregang dan tidak larut dalam air.

Gambar. 3.20. Struktur Keratin

D. DENATURASI PROTEIN

Denaturasi adalah perubahan atau modifikasi pada struktur molekul protein⁷⁰. Selain itu, denaturasi adalah sebuah proses di mana protein atau asam nukleat kehilangan struktur tersier dan struktur sekunder dengan penerapan beberapa tekanan eksternal atau senyawa, seperti asam kuat atau basa, garam anorganik terkonsentrasi, sebuah misalnya pelarut organik (cth, alkohol atau kloroform), atau panas. Jika protein dalam sel hidup didenaturasi, ini menyebabkan gangguan terhadap aktivitas sel dan kemungkinan kematian sel. protein didenaturasi dapat menunjukkan berbagai karakteristik, dari hilangnya kelarutan untuk agregasi komunal. Denaturisasi dalam pengertian ini tidak digunakan dalam penyusunan bahan kimia industri alkohol didenaturasi.

Proses denaturasi kadang berlangsung secara reversibel ataupun irreversibel tergantung pada penyebabnya, dan protein yang mengalami denaturasi akan menurunkan aktivitas biologinya dan berkurang kelarutannya sehingga mudah mengendap⁷¹.

Contoh umum proses denaturasi yaitu ketika makanan dimasak, beberapa protein akan ter denaturasi. Inilah sebabnya mengapa telur rebus menjadi keras dan daging dimasak menjadi lebih padat. Sebuah contoh klasik, denaturasi protein putih telur. Saat baru dari telur, putih telur berwujud transparan dan cair. Memasak putih telur membuatnya menjadi buram, membentuk sebuah massa padat yang saling berhubungan. Transformasi yang sama dapat dilakukan dengan suatu bahan kimia yang bersifat men-denaturasi. Menuangkan putih telur ke dalam gelas kimia aseton juga akan mengubah putih telur

⁷⁰ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*. (Yogyakarta: Andi, 2006). Hal. 67

⁷¹ Ibid, hal 68

buram dan padat. Kulit, yang terbentuk pada susu beku adalah contoh lain protein didenaturasi umum.

Protein didenaturasi dapat menunjukkan berbagai karakteristik, dari hilangnya kelarutan untuk agregasi komunal. agregasi Komunal adalah fenomena agregasi protein hidrofobik untuk datang mendekat dan membentuk ikatan antara mereka, sehingga mengurangi luas areal terkena air. Kebanyakan protein biologis kehilangan fungsi biologisnya ketika didenaturasi. Sebagai contoh, enzim kehilangan sifatnya, karena mengikat substrat tidak bisa lagi ke situs aktif, dan karena residu asam amino yang terlibat dalam menstabilkan keadaan transisi substrat 'tidak lagi diposisikan untuk dapat melakukannya.

Dalam banyak protein (tidak seperti putih telur), denaturasi adalah reversibel (protein bisa mendapatkan kembali bentuk asal mereka ketika pemicu denaturasi dihapus). Ini penting, karena menyebabkan gagasan bahwa semua informasi yang dibutuhkan bagi protein untuk mengangap bentuk asli mereka dikodekan dalam struktur primer protein, dan karenanya di dalam DNA kode tersebut untuk protein.

Denaturasi mempunyai sisi positif dan sisi negatif. Sisi negatif denaturasi

1. Protein kehilangan aktivitas biologis
2. Pengendapan protein
3. Protein kehilangan beberapa sifat fungsional

Sisi positif denaturasi yaitu :

1. Denaturasi panas pada inhibitor tripsin dalam legume dapat meningkatkan tingkat pencernaan dan ketersediaan biologis protein legum.
2. Protein yang terdenaturasi sebagian lebih mudah dicerna, sifat pembentuk buih dan emulsi lebih baik daripada protein asli.

3. Denaturasi oleh panas merupakan prasyarat pembuatan gel protein yang dipicu oleh panas.

Beberapa protein (kulit dan dinding dalam saluran pencernaan) sangat tahan terhadap denaturasi, sedangkan protein-protein lain sangat peka. Denaturasi dapat bersifat reversible jika suatu protein hanya dikenai kondisi denaturasi yang lembut, seperti sedikit perubahan pH. Jika protein ini dikembalikan ke lingkungan awalnya, protein ini dapat memperoleh kembali struktur lebih tingginya yang alamiah dalam suatu proses yang disebut **renaturasi**. Sayangnya renaturasi umumnya sangat lambat atau tak terjadi sama sekali. Adapun ciri khas dari denaturasi yaitu;

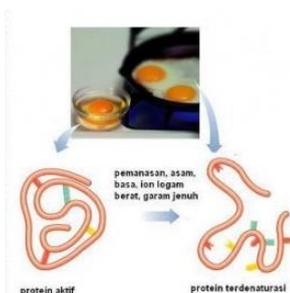
1. Hilangnya sifat alamiah protein (struktur tiga-dimensi dan fungsi)
2. Prosesnya terjadi secara kooperatif
3. Pendenaturan merusak ikatan-ikatan lemah yang membangun struktur 3D protein

Adapun Faktor yang mendenaturasi protein antara lain:

1. Panas, merusak ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik dan menyebabkan terjadinya koagulasi.
2. Asam dan basa, merusak jembatan garam (interaksi elektrostatik)
3. Pelarut organik, merusak ikatan hidrogen
4. Ion logam berat, bereaksi dengan ikatan disulfida dan asam amino asam
5. Agitasi, menarik protein hingga memutuskan ikatan silang membentuk suatu padatan

Denaturasi protein merupakan suatu keadaan dimana protein mengalami perubahan atau perusakan struktur sekunder, tersier dan kuaternernya. Denaturasi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya pemanasan, suasana asam atau basa

yang ekstrim, kation logam berat dan penambahan garam jenuh. Pemanasan dapat menyebabkan pemutusan ikatan hidrogen yang menopang struktur sekunder dan tersier suatu protein sehingga menyebabkan sisi hidrofobik dari gugus samping polipeptida akan terbuka. Hal ini menyebabkan kelarutan protein semakin turun dan akhirnya mengendap dan menggumpal peristiwa ini dinamakan koagulasi. Perubahan pH yang sangat ekstrim akibat penambahan asam kuat atau basa kuat akan merusak interaksi ionik yang terbentuk antar gugus R polar dari asam amino penyusun protein. Hal ini juga berakibat sama pada perusakan struktur protein. Kehadiran ion logam berat dapat memutuskan ikatan disulfida (S-S) yang menstabilkan tekukan – tekukan yang dibentuk oleh polipeptida dalam membangun struktur protein⁷². Contoh yang paling sering ditemui adalah terjadinya denaturasi protein pada waktu telur digoreng dan dididihkan dan bagian telur yang mengalami proses denaturasi adalah bagian ovalbumin⁷³.



Gambar 3.21. Pemanasan telur ayam merupakan contoh denaturasi protein

⁷² Matta dan Wilbraham, *Pengantar Kimia Organik dan Hayati*. (Bandung: ITB, 1992). Hal. 225

⁷³ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.100

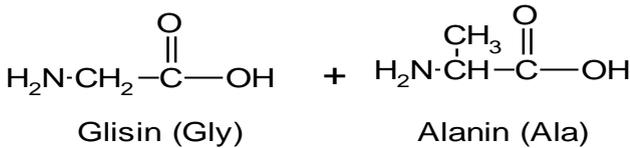
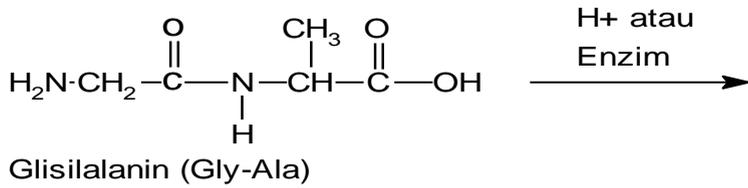
Penambahan larutan garam encer pada protein globular akan meningkatkan kelarutan protein. Beberapa interaksi hidrofilik antara molekul protein dan air akan semakin kuat dengan kehadiran garam pada konsentrasi rendah peristiwa ini dinamakan *salting in*. Namun apabila larutan garam pekat yang ditambahkan maka kelarutan protein akan menurun. Kehadiran garam pada konsentrasi tinggi menyebabkan peristiwa solvasi air pada molekul protein berpindah ke garam sehingga menurunkan tingkat kelarutan protein. peristiwa ini disebut *salting out*.

Beberapa jenis protein fungsional seperti enzim dan hormon yang telah terdenaturasi akan kehilangan sifat dalam biokatalisisnya. Hal ini menyebabkan terhambatnya beberapa jenis reaksi biokimia yang dikatalisis oleh enzim atau hormon yang bersangkutan.

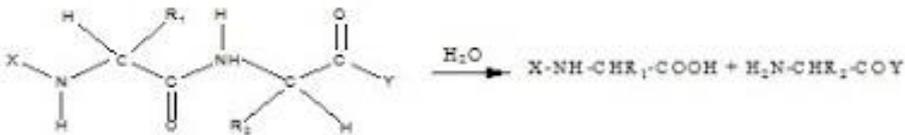
Apabila berada pada kondisi yang sesuai, protein yang telah terdenaturasi akan dapat mengalami renaturasi atau penyusunan kembali struktur protein yang meliputi struktur sekunder, tersier dan kuartenernya. Peristiwa denaturasi protein dapat kita jumpai dalam kehidupan sehari – hari, seperti saat kita memanaskan putih telur, sterilisasi peralatan gelas dengan *autoclave*, dan sebagainya.

E. HIDROLISIS PROTEIN

Hidrolisis protein adalah penguraian protein oleh air. Terjadi jika protein direaksikan dengan asam atau enzim pengurai protein seperti pepsin atau tripsin. Hidrolisis suatu protein menghasilkan peptida-peptida pendek hingga asam amino penyusunnya terganggu pada kondisi reaksi hidrolisis.



Proses hidrolisis adalah proses pemecahan suatu molekul menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan molekul air. Hidrolisis protein adalah proses pecahnya atau terputusnya ikatan peptida dari protein menjadi molekul yang lebih sederhana. Hidrolisis ikatan peptida akan menyebabkan beberapa perubahan pada protein, yaitu meningkatkan kelarutan karena bertambahnya kandungan NH_3^+ dan COO^- dan berkurangnya berat molekul protein atau polipeptida, rusaknya struktur globular protein. Reaksi katalisis protease secara umum ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



X = rantai peptida sebelumnya

Y = rantai peptida sesudahnya

Gambar 2. Hidrolisis Ikatan Peptida oleh Enzim Protease

Ada tiga cara yang dapat ditempuh untuk menghidrolisis protein, yaitu hidrolisis menggunakan asam, basa dan enzim.

1. Hidrolisis Asam

Hidrolisis dengan mempergunakan asam kuat anorganik, seperti HCl atau H₂SO₄ pekat (4-8 normal) dan dipanaskan pada suhu mendidih, dapat dilakukan dengan tekanan di atas satu atmosfer, selama beberapa jam, akibat samping yang terjadi dengan hidrolisis asam ialah rusaknya beberapa asam amino (triptofan, sebagian serin dan threonin).

2. Hidrolisis Basa

Hidrolisis protein menggunakan basa merupakan proses pemecahan polipeptida dengan menggunakan basa / alkali kuat, seperti NaOH dan KOH pada suhu tinggi, selama beberapa jam, dengan tekanan di atas satu atmosfer, serin dan threonin rusak dengan basa.

3. Hidrolisis Enzimatik

Hidrolisis enzimatik dilakukan dengan mempergunakan enzim. Dapat digunakan satu jenis enzim saja, atau beberapa jenis enzim yang berbeda. Penambahan enzim perlu dilakukan pengaturan pada kondisi pH dan suhu optimum.

Dibandingkan dengan hidrolisis secara kimia (menggunakan asam atau basa), hidrolisis enzimatik lebih menguntungkan karena tidak mengakibatkan kerusakan asam amino dan asam-asam amino bebas serta peptida dengan rantai pendek yang dihasilkan lebih bervariasi, reaksi dapat dipercepat kira-kira 10^{12} sampai 10^{20} , tingkat kehilangan asam amino esensial lebih rendah, biaya produksi relatif lebih murah dan menghasilkan komposisi asam amino tertentu terutama peptida rantai pendek

(dipeptida dan tripeptida) yang mudah diabsorpsi oleh tubuh.

Salah satu cara lain untuk menghidrolisis kandungan protein dalam suatu bahan dapat menggunakan enzim proteolitik baik yang berasal dari bahan itu sendiri atau dengan penambahan enzim dari luar bahan. Enzim proteolitik yang ditambahkan dapat berasal dari hewan maupun dari tumbuhan. Enzim proteolitik atau enzim protease adalah enzim yang dapat memecah molekul-molekul protein dengan cara menghidrolisis ikatan peptida menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana seperti proteosa, pepton, polipeptida, dipeptida dan sejumlah asam-asam amino.

F. RANGKUMAN

Asam amino adalah senyawa yang memiliki gugus amino ($-\text{NH}_2$) dan asam karboksilat (COOH) pada molekul yang sama. Tiap asam amino tersusun atas suatu atom karbon yang mengikat atom hidrogen, gugus amino, dan gugus karboksilat dan salah satu gugus R yang berbeda pada 20 asam amino dan struktur gugus R menentukan identitas asam amino dan sifat-sifat khasnya. Rantai samping (gugus R) tergantung pada gugus fungsionalnya dapat berupa alifatis, aromatis, asam, basa, hidroksilik, mengandung sulfur, atau amidik.

Struktur molekul dari 20 asam amino protein, memiliki gugus baku yaitu gugus amino dan gugus karboksil, sednagkan gugus R-nya bervariasi. Oleh sebab atom karbon α ialah atom karbon asimetrik, kecuali bila R ialah atom H sehingga setiap asam amino memiliki sifat dapat memutar bidang cahaya terpolarisasi atau dikenal dengan istilah aktivitas optik yang dapat digambarkan dengan rumus proyeksi Fischer dan dengan model bola dan batang sehingga memiliki 2 konfigurasi yaitu D dan L. Molekul asam amino dikatakan mempunyai konfigurasi L, apabila gugus $-\text{NH}_2$ di sebelah kiri atom karbon α . Apabila

posisi gugus $-NH_2$ di sebelah kanan, maka gugus asam amino itu mempunyai konfigurasi D.

Berdasarkan struktur asam amino secara umum memiliki struktur dasar yang sama yang membedakan antara asam amino yang satu dengan yang lainnya adalah gugus rantai cabang yang disebut gugus R yang menjadi penentu sifat-sifat fisika dan kimia dari suatu protein. Kedua puluh asam amino dibedakan berdasarkan -R yang dimiliki, dan berdasarkan polaritas -R, maka asam amino dikelompokkan menjadi: Asam amino polar bermuatan: bersifat asam dan basa. Asam amino polar tidak bermuatan: mengandung H, hidroksi, S dan amida. Asam amino nonpolar: mengandung hidrokarbon alifatik, aromatik, S dan siklik.

Kelompok Asam Amino Polar Bermuatan yaitu terbagi menjadi asam amino polar bermuatan yang bersifat asam dan bersifat basa; Asam Amino Polar Bersifat Asam ada dua yaitu asam aspartat dan asam glutamat; dapat diperoleh masing-masing dari glutamin dan asparagin. Asam Amino Polar Bersifat Basa terdiri dari asam amino lisin, arginin, dan histidin; Ketiga asam amino tersebut, gugus R nya akan bermuatan total positif pada kondisi PH 7,0. Kelompok Asam Amino Polar Tidak Bermuatan terdiri dari asam amino glisin, serin, terionin, tirosin, sistein, asparagin, dan glutamin; kelompok asam amino ini bersifat hidrofilik yaitu cinta air, karena itu bagian terlarut dalam air. Kelompok Asam Amino Non Polar Alifatik (Alanin, Valin, Leusin, dan Isoleusin). Kelompok Asam Amino Non Polar Aromatik (Fenilalanin dan Triptofan). Kelompok Asam Amino Non Polar Mengandung Gugus S (Metionin). Kelompok Asam Amino Non Polar Siklik (Prolin)

Sifat asam basa asam amino disebabkan karena asam amino memiliki gugus aktif amina dan karboksil sekaligus, zat

ini dapat dianggap sebagai sekaligus asam dan basa (walaupun pH alaminya biasanya dipengaruhi oleh gugus-R yang dimiliki). Pada pH tertentu yang disebut titik isolistrik, gugus amina pada asam amino menjadi bermuatan positif (terprotonasi, $-\text{NH}_3^+$), sedangkan gugus karboksilnya menjadi bermuatan negatif (terdeprotonasi, $-\text{COO}^-$) sehingga asam amino bersifat amfoter. Titik isolistrik ini spesifik bergantung pada jenis asam aminonya. Titik isoelektrik atau pH isoelektrik merupakan pH yang mana molekul tidak mempunyai muatan elektrik atau muatannya nol. Dalam keadaan demikian, asam amino tersebut dikatakan berbentuk *zwitter-ion*. Zwitter-ion dapat diekstrak dari larutan asam amino sebagai struktur kristal putih yang bertitik lebur tinggi karena sifat dipolarnya.

Denaturasi adalah perubahan atau modifikasi pada struktur molekul protein. Selain itu, denaturasi adalah sebuah proses di mana protein atau asam nukleat kehilangan struktur tersier dan struktur sekunder dengan penerapan beberapa tekanan eksternal atau senyawa, seperti asam kuat atau basa, garam anorganik terkonsentrasi, sebuah misalnya pelarut organik (cth, alkohol atau kloroform), atau panas. Jika protein dalam sel hidup didenaturasi, ini menyebabkan gangguan terhadap aktivitas sel dan kemungkinan kematian sel. protein didenaturasi dapat menunjukkan berbagai karakteristik, dari hilangnya kelarutan untuk agregasi komunal. Denaturasi dalam pengertian ini tidak digunakan dalam penyusunan bahan kimia industri alkohol didenaturasi.

Hidrolisis protein adalah penguraian protein oleh air. Terjadi jika protein direaksikan dengan asam atau enzim pengurai protein seperti pepsin atau tripsin. Hidrolisis suatu protein menghasilkan peptida-peptida pendek hingga asam amino penyusunnya terganggu pada kondisi reaksi hidrolisis.

Bab 4

KARBOHIDRAT

A. DEFINISI KARBOHIDRAT

Karbohidrat adalah senyawa organik yang tersusun dari unsur C (karbon), H (hidrogen), dan O (oksigen)⁷⁴. Jumlah atom hidrogen dan oksigen merupakan perbandingan 2:1 seperti pada molekul air⁷⁵. Karbohidrat atau hidrat arang adalah suatu zat gizi yang fungsi utamanya sebagai penghasil energi, dimana setiap gramnya menghasilkan 4 kalori. Di negara sedang berkembang karbohidrat dikonsumsi sekitar 70-80% dari total kalori, bahkan pada daerah-daerah miskin bisa mencapai 90%. Sedangkan pada negara maju karbohidrat dikonsumsi hanya sekitar 40-60%. Hal ini disebabkan sumber bahan makanan yang mengandung karbohidrat lebih murah harganya dibandingkan sumber bahan makanan kaya lemak maupun protein. Karbohidrat banyak ditemukan pada sereal (beras, gandum, jagung, kentang dan sebagainya), serta pada biji-bijian yang tersebar luas di alam.

⁷⁴ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.49

⁷⁵ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.10

Karbohidrat ('hidrat dari karbon', hidrat arang) atau sakarida (dari bahasa Yunani σάκχαρον, sákcharon, berarti "gula") adalah segolongan besar senyawa organik yang paling melimpah di bumi. Karbohidrat memiliki berbagai fungsi dalam tubuh makhluk hidup, terutama sebagai bahan bakar (misalnya glukosa), cadangan makanan (misalnya pati pada tumbuhan dan glikogen pada hewan), dan materi pembangun (misalnya selulosa pada tumbuhan, kitin pada hewan dan jamur). Pada proses fotosintesis, tumbuhan hijau mengubah karbon dioksida menjadi karbohidrat.

Secara biokimia, karbohidrat adalah polihidroksil-aldehida atau polihidroksil-keton, atau senyawa yang menghasilkan senyawa-senyawa ini bila dihidrolisis. Karbohidrat mengandung gugus fungsi karbonil (sebagai aldehida atau keton) dan banyak gugus hidroksil. Pada awalnya, istilah karbohidrat digunakan untuk golongan senyawa yang mempunyai rumus $(CH_2O)_n$, yaitu senyawa-senyawa yang n atom karbonnya tampak terhidrasi oleh n molekul air. Namun demikian, terdapat pula karbohidrat yang tidak memiliki rumus demikian dan ada pula yang mengandung nitrogen, fosforus, atau sulfur.

Bentuk molekul karbohidrat paling sederhana terdiri dari satu molekul gula sederhana yang disebut monosakarida, misalnya glukosa, galaktosa, dan fruktosa. Banyak karbohidrat merupakan polimer yang tersusun dari molekul gula yang terangkai menjadi rantai yang panjang serta dapat pula bercabang-cabang, disebut polisakarida, misalnya pati, kitin, dan selulosa. Selain monosakarida dan polisakarida, terdapat pula disakarida (rangkaiannya dua monosakarida) dan oligosakarida (rangkaiannya beberapa monosakarida).

Karbohidrat adalah kelompok besar senyawa yang umumnya disebut gula, pati, dan selulosa (yang semuanya

adalah gula atau polimer gula). Umumnya gula merupakan sumber penyimpanan energi. Dengan memecah gula turun menjadi karbon dioksida dan air, organisme hidup dapat melepaskan energi yang terkunci di dalamnya digunakan untuk kebutuhan energi.

Satu diantara tiga makanan pokok kita adalah karbohidrat. Karbohidrat dihasilkan oleh tumbuhan berklorofil dengan bantuan sinar matahari. Manusia dan hewan memperoleh karbohidrat dari bagian-bagian tertentu tumbuhan. Kita memperoleh karbohidrat dari nasi, roti, tapioka, dan sebagainya.

Secara umum definisi karbohidrat adalah senyawa organik yang mengandung atom Karbon, Hidrogen dan Oksigen, dan pada umumnya unsur Hidrogen dan oksigen dalam komposisi menghasilkan H_2O ⁷⁶. Di dalam tubuh karbohidrat dapat dibentuk dari beberapa asam amino dan sebagian dari gliserol lemak. Akan tetapi sebagian besar karbohidrat diperoleh dari bahan makanan yang dikonsumsi sehari-hari, terutama sumber bahan makan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan.

Sumber karbohidrat nabati dalam glikogen bentuk glikogen, hanya dijumpai pada otot dan hati dan karbohidrat dalam bentuk laktosa hanya dijumpai di dalam susu. Pada tumbuh-tumbuhan, karbohidrat di bentuk dari hasil reaksi CO_2 dan H_2O melalui proses fotosintesis di dalam sel-sel tumbuh-tumbuhan yang mengandung hijau daun (klorofil)⁷⁷. Matahari merupakan sumber dari seluruh kehidupan, tanpa matahari

⁷⁶ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.10

⁷⁷ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.50

tanda-tanda dari kehidupan tidak akan dijumpai. Reaksi fotosintesis sinar matahari :



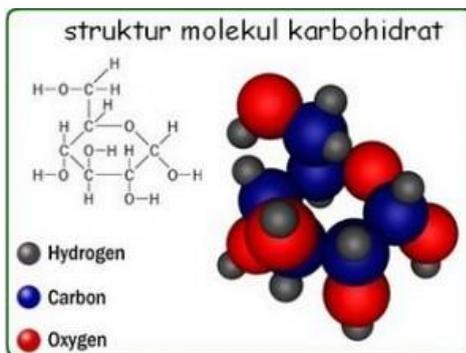
Pada proses fotosintesis, klorofil pada tumbuh-tumbuhan akan menyerap dan menggunakan enersi matahari untuk membentuk karbohidrat dengan bahan utama CO₂ dari udara dan air (H₂O) yang berasal dari tanah. Enersi kimia yang terbentuk akan disimpan di dalam daun, batang, umbi, buah dan biji-bijian.

B. KIMIAWI KARBOHIDRAT

Karbohidrat berasal dari kata karbo (Unsur karbon dan hidrat/air) yang berarti unsur C mengikat molekul H₂O, dengan rumus kimia: C.H₂O⁷⁸. Biomolekul karbohidrat adalah suatu makromolekul senyawa organik dengan bobot molekul beberapa ribu-500.000 sehingga rumus kimia karbohidrat ditulis menjadi:



C_n (H₂O)_n di mana n = Jumlah atom C



Gambar 4.1. Struktur Molekul Karbohidrat

⁷⁸ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.103

Secara kimiawi karbohidrat adalah suatu polihidroksialdehid dan polihidroksiaseton. Suatu makromelul karbohidrat adalah suatu polimer alam yang dibangun oleh monomer monosakarida⁷⁹. Berdasarkan BM dan panjangnya rantai hidrokarbon makromolekulnya karbohidrat dibedakan menjadi; Monosakarida, disakarida, oligosakarida, dan polisakarida⁸⁰.

Karbohidrat terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Contohnya adalah glukosa ($C_6H_{12}O_6$), Sukrosa $C_{12}H_{22}O_{11}$ dan selulosa ($C_6H_{10}O_5$). Sebagaimana tampak dalam tiga contoh tersebut, karbohidrat mempunyai rumus umum $C_n(H_2O)_n$. Rumus molekul glukosa misalnya, dapat dinyatakan sebagai $C_6(H_2O)_6$ Oleh Karena komposisi demikian, kelompok senyawa ini pernah di sangka sebagai hidrat karbon sehingga diberi nama karbohidrat. Akan tetapi, sejak tahun 1880-an disadari bahwa senyawa tersebut bukanlah hidrat dari karbon. Nama lain dari karbohidrat adalah sakarida⁸¹. Kata sakarida berasal dari Arab “sakkar” yang artinya manis.

Karbohidrat yang dibangun oleh polihidroksi dan gugus aldehid disebut dengan aldosa, sedangkan yang disusun oleh polihidroksi dan gugus keton dikenal dengan ketosa⁸².

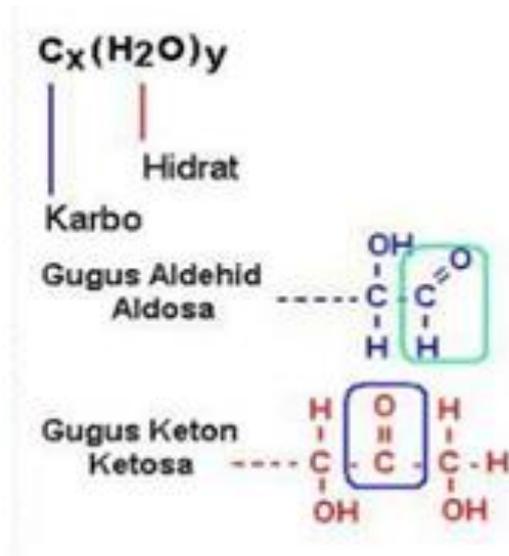
⁷⁹ Ibid, hal.104

⁸⁰ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.104

⁸¹Fessenden & Fessenden, *Kimia Organik*. (Jakarta: Erlangga,1986).hal.318

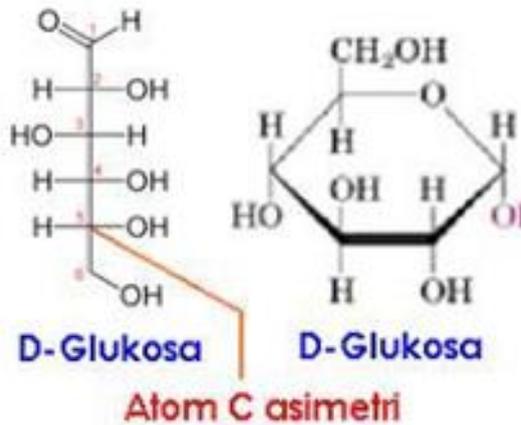
⁸² Ibid, hal.10

Karbohidrat : Polihidroksi $\left\{ \begin{array}{l} + \text{ Aldehid} = \text{ Aldosa} \\ + \text{ Keton} = \text{ Ketosa} \end{array} \right.$



Gambar 4.2. Struktur Karbohidrat (Gugus Aldehid dan Gugus Keton)

Molekul karbohidrat yang paling sederhana adalah polihidroksi aldehida dan polihidroksi keton yang mempunyai tiga hingga enam atom karbon. Atom C memiliki kerangka tetrahedral yang membentuk sudut $105,9^\circ$ menyebabkan molekul karbohidrat cukup sulit berbentuk rantai lurus. Berdasarkan kerangka tetrahedral inilah, molekul polihidroksi ini lebih stabil dalam struktur siklik.

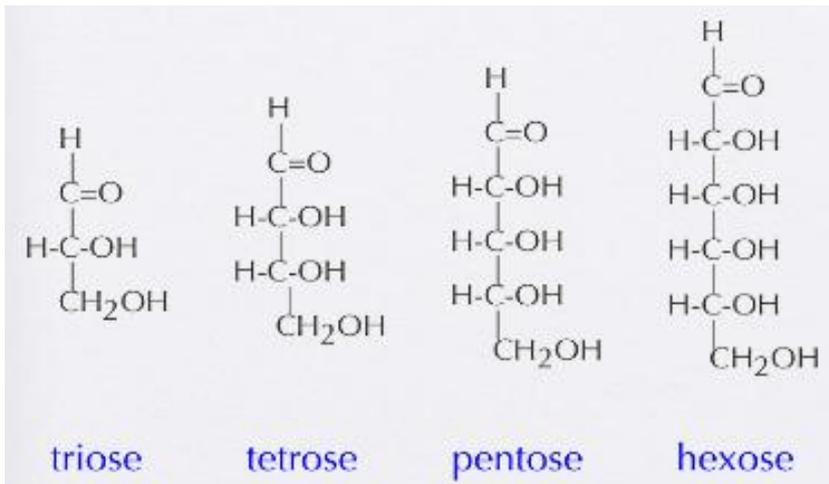


Gambar.4.3. Struktur Siklik Karbohidrat

Karbohidrat sederhana dibangun oleh 5 (lima) atom C disebut dengan pentosa. Sedangkan yang dibangun oleh 6 (enam) atom C dikenal dengan heksosa. Selain dibentuk oleh sejumlah atom C yang mengandung gugus polihidroksi, strukturnya karbohidrat semakin kompleks dengan adanya atom karbon asimetri, yaitu atom karbon yang mengikat empat atom atau molekul yang berbeda pada struktur tetrahedralnya⁸³. Kehadiran C asimetri menyebabkan molekul karbohidrat bersifat optik aktif, yaitu mampu memutar bidang cahaya terpolarisasi. Pada karbohidrat juga dijumpai keisomeran optik, molekul-molekul yang komposisinya identik tetapi berbeda orientasinya dalam ruang dan keaktifan optiknya.

⁸³ Poedjadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.11

Karbohidrat yang paling sederhana ditemukan di alam mengandung tiga atom C disebut triosa⁸⁴. Jika dengan gugus aldehida dinamakan aldotriosa (HOCH₂-CHOH-CHO) dan dengan gugus keton disebut dengan ketotriosa (HOCH₂-CO-CH₂OH).



Gambar 4.4. Struktur Karbohidrat Berdasarkan Jumlah Atom C

C. KLASIFIKASI KARBOHIDRAT

Karbohidrat biasanya digolongkan menjadi monosakarida, disakarida dan polisakarida⁸⁵. Penggolongan ini didasarkan pada reaksi hidrolisisnya. Monosakarida adalah karbohidrat paling sederhana, tidak dapat dihidrolisis menjadi karbohidrat lebih sederhana; disakarida dapat dihidrolisis menjadi dua monosakarida; sedangkan polisakarida dapat

⁸⁴ Fessenden & Fessenden, *Kimia Organik*. (Jakarta: Erlangga,1986).hal.320

⁸⁵ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.51

dihidrolisis menjadi banyak molekul monosakarida. Adapun klasifikasi atau penggolongan Karbohidrat adalah sebagai berikut:

1. Monosakarida

Monosakarida berarti satu gula yang disebut dengan gula sederhana oleh karena tidak bisa lagi dihidrolisa⁸⁶. Monosakarida larut di dalam air dan rasanya manis, sehingga secara umum disebut juga gula. Penamaan kimianya selalu berakhiran -osa. Dalam Ilmu Gizi hanya ada tiga jenis monosakarida yang penting yaitu, glukosa, fruktosa dan galaktosa.

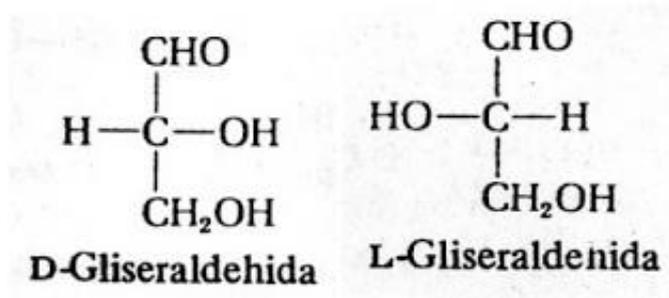
Monosakarida merupakan satuan karbohidrat yang paling sederhana dengan rumus $C_nH_{2n}O_n$ dimana $n = 3 - 8$. Monosakarida sering disebut gula sederhana (simple sugars) adalah karbohidrat yang tidak dapat dihidrolisis menjadi bentuk yang lebih sederhana lagi. Molekulnya hanya terdiri atas beberapa atom karbon saja. Monosakarida dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan atom karbonnya, yaitu triosa, tetrosa, pentosa, dan heksosa atau heptosa.

Monosakarida atau gula sederhana hanya terdiri atas satu unit polihidroksialdehida atau keton atau hanya terdiri atas satu molekul sakarida. Kerangka monosakarida adalah rantai karbon berikatan tunggal yang tidak bercabang. Satu diantara atom karbon berikatan ganda terhadap suatu atom oksigen membentuk gugus karbonil, masing-masing atom karbon lainnya berikatan dengan gugus hidroksil. Jika gugus karbonil berada pada ujung rantai karbon, monosakarida tersebut adalah suatu aldosa, dan jika gugus

⁸⁶ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.104

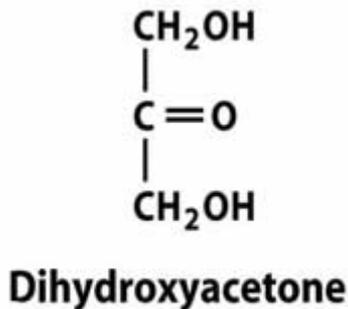
karbonil berada pada posisi lain, monosakarida tersebut adalah suatu ketosa. Berbagai jenis monosakarida aldosa dan ketosa.

Macam-macam monosakarida berdasarkan gugusnya yaitu aldosa dan ketosa⁸⁷. Aldosa adalah monosakarida yang mengandung gugus aldehyd. Contoh: Gliseraldehyd



Gambar. 4.5. Struktur Gliseraldehyd

Sedangkan ketosa merupakan monosakarida yang mengandung gugus keton. Contoh: Dihidroksiaseton

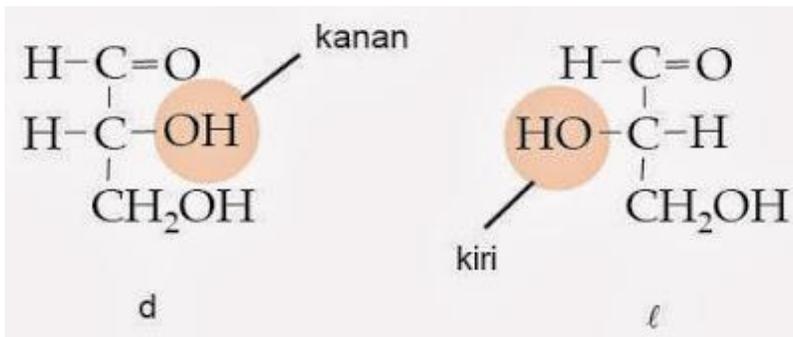


Gambar. 4.6. Struktur Dihydroxyacetone

⁸⁷ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.105

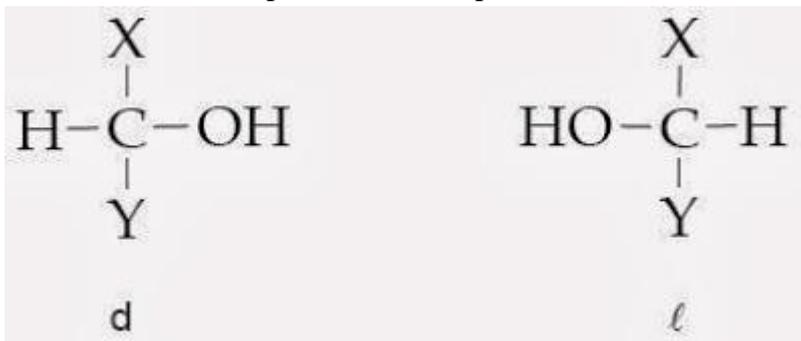
Dalam rumus Fischer digunakan istilah dekstro (d) dan levo (l). Biasanya huruf d atau l ditulis di depan nama gula sederhana. Bentuk l merupakan bayangan cermin dari bentuk d. Bila gugus hidroksil pada karbon nomor 2 (di tengah) dari sebuah molekul struktur linier gliseraldehida terletak di sebelah kanan, dinamakan d dan bila berada di sebelah kiri, dinamakan l.

Perhatikan contoh berikut.



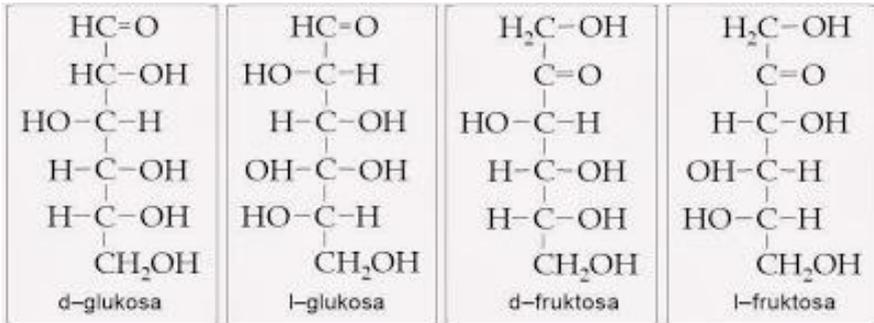
Gambar 4.7. Struktur dekstro dan levo Karbohidrat

Secara umum dapat dituliskan seperti berikut.



Gambar 4.8. Struktur Umum dekstro dan levo Karbohidrat

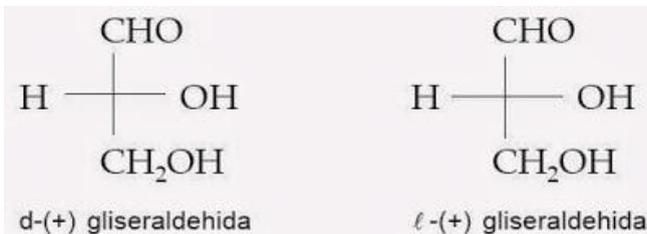
Contoh :



Gambar 4.9. Struktur Glukosa dan Fruktosa

Meskipun terdapat bentuk *d* dan *l* , tetapi monosakarida-monosakarida yang terdapat di alam pada umumnya berbentuk *d*, dan jarang sekali dalam bentuk *l* , kecuali *l*-fruktosa yang terdapat dalam mukopolisakarida dan mukoprotein. Beberapa pentosa yang secara alam terdapat dalam bentuk *l* ialah *l*-arabinosa dan *l*-xilosa, yang terdapat pada urin penderita pentosuria.

Fischer menggunakan (*d*) untuk menyatakan konfigurasi (+) gliseraldehida, dengan gugus hidroksil di sebelah kanan; enantiomernya dengan gugus hidroksil di sebelah kiri, ditetapkan sebagai *l* (-) gliseraldehida. Karbon yang paling teroksidasi (CHO) ditetapkan di bagian atas.

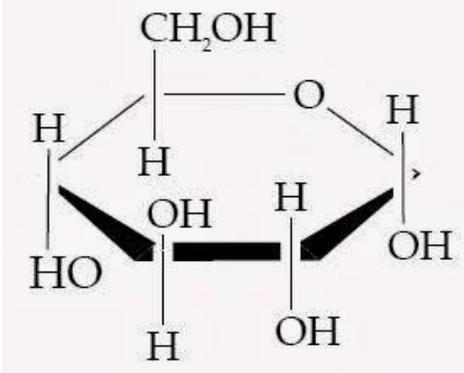


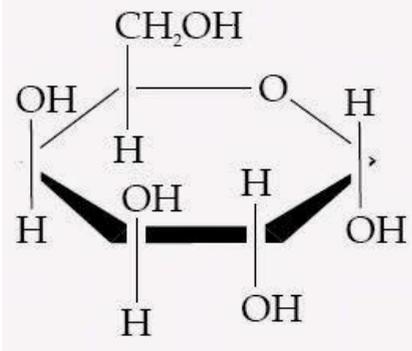
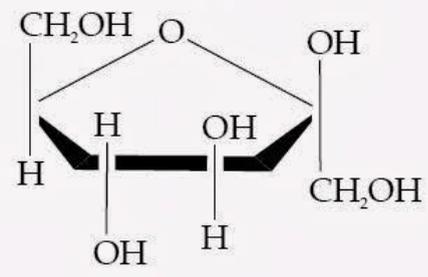
Gambar.4.10. Struktur Gliseraldehid

Kimiawan karbohidrat Inggris WN. Howarth memperkenalkan cara proyeksi yang dikenal dengan proyeksi Howarth. Sudut valensi antara atom karbon bukan 180° tetapi $109,5^\circ$. Oleh karena itu, gugus aldehida pada karbon pertama menjadi sangat dekat dengan gugus hidroksil pada atom karbon nomor lima jika rantai dipuntir.

Pada proyeksi ini cincin digambarkan seolah-olah planar dan dipandang dari tepinya, dengan oksigen di kanan-atas. Substituen melekat pada cincin di atas atau di bawah bidang. Perhatikan cara penulisan Howarth untuk beberapa gula sederhana berikut ini.

Tabel 4.1. Cara Penulisan Rumus Howarth Pada Gula Sederhana

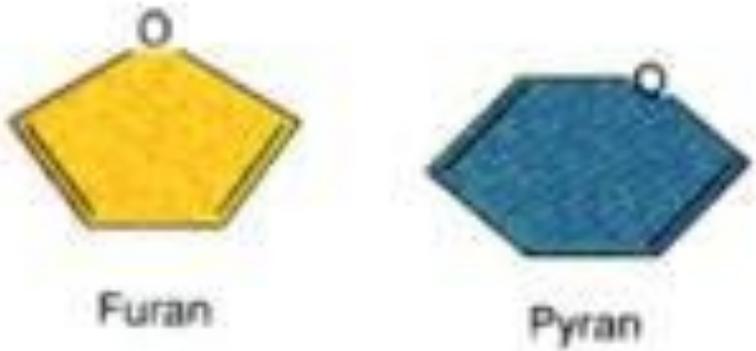
Nama	Proyeksi Fischer	Proyeksi Howarth
d-glukosa	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} $	

d-galaktosa	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} $	
d-fruktosa	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} $	

Dalam mengonversi satu jenis rumus proyeksi menjadi proyeksi lain yang perlu diperhatikan bahwa gugus hidroksil di sebelah kanan pada proyeksi Fischer akan terletak di bawah pada proyeksi Howarth dan sebaliknya, gugus hidroksi di sebelah kiri pada proyeksi Fischer akan terletak di atas pada proyeksi Howarth.

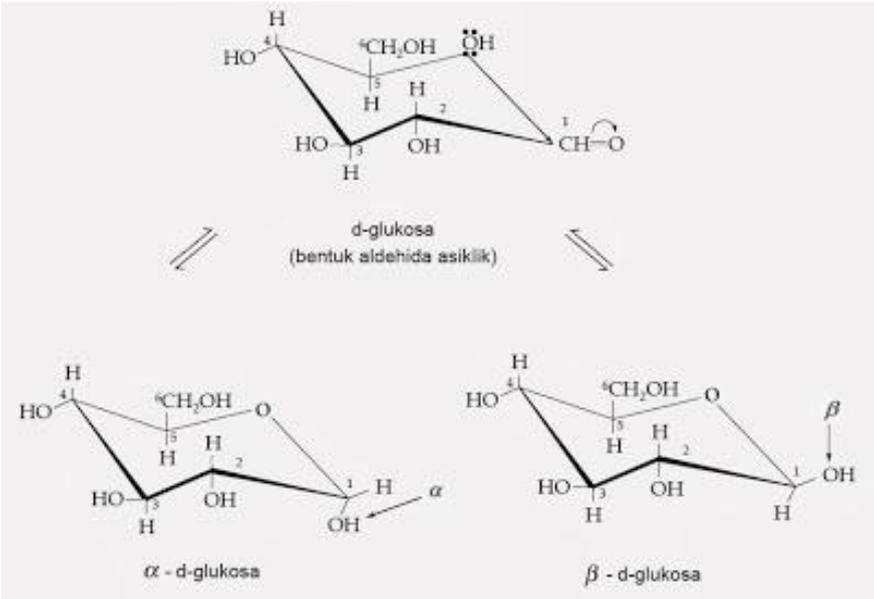
Sir Walter Norman Haworth (1883-1950) seorang ahli kimia Inggris yang pada tahun 1937 memperoleh hadiah nobel untuk ilmu kimia yang berpendapat bahwa pada

molekul glukosa kelima atom karbon yang pertama dengan atom oksigen dapat membentuk cincin segi enam⁸⁸. Sistem kursi hampir sama dengan proyeksi Howarth. Pada bentuk α , gugus OH pada atom karbon nomor satu berada di bawah bidang, sedangkan pada bentuk β letak gugus OH di atas bidang. Perhatikan contoh struktur monosakarida berdasarkan sistem kursi berikut. Oleh karena itu Howarth mengusulkan penulisan rumus struktur karbohidrat sebagai bentuk cincin furan atau piran.



Gambar 4.11. Struktur Karbohidrat dalam Bentuk Cincin Furan dan Piral

⁸⁸ Poedjadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.22



Gambar.4.12. Struktur Aldehida Asiklik

Sifat α -d-glukosa berbeda dengan β -d-glukosa. Rumus proyeksi Howarth lebih banyak digunakan daripada cara kursi, karena lebih mudah penulisannya.

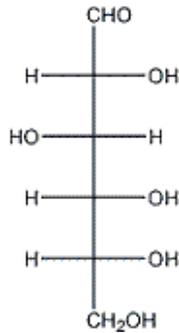
a. Glukosa

Merupakan suatu aldohexosa, disebut juga dekstrosa karena memutar bidang polarisasi ke kanan⁸⁹. Glukosa merupakan komponen utama gula darah, menyusun 0,065- 0,11% darah kita. Terkadang orang menyebutnya gula anggur ataupun dekstrosa. Banyak dijumpai di alam, terutama pada buah-buahan, sayur-sayuran, madu, sirup jagung dan tetes tebu. Di dalam tubuh glukosa didapat dari hasil akhir pencernaan

⁸⁹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.26

amilum, sukrosa, maltosa dan laktosa. Glukosa dijumpai di dalam aliran darah (disebut Kadar Gula Darah) dan berfungsi sebagai penyedia energi bagi seluruh sel-sel dan jaringan tubuh. Pada keadaan fisiologis Kadar Gula Darah sekitar 80-120 mg %. Kadar gula darah dapat meningkat melebihi normal disebut hiperglikemia, keadaan ini dijumpai pada penderita Diabetes Mellitus. Glukosa adalah sebuah heksosa yang mengandung sebuah gugus aldehida dan membentuk struktur cincin yang tersusun dari 6 atom dan disebut juga gula darah karena terdapat dalam darah manusia⁹⁰.

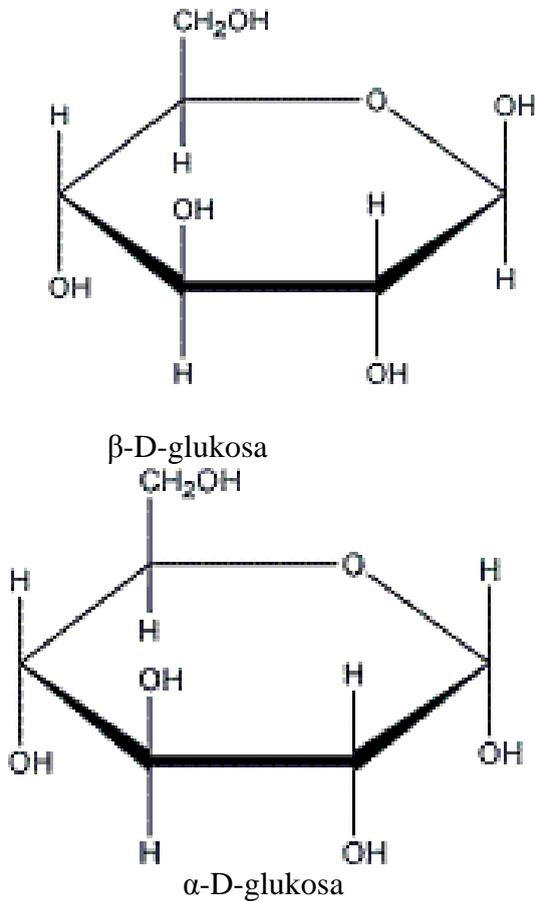
Glukosa dapat terbentuk dari hidrolisis pati, glikogen, dan maltosa. Glukosa sangat penting bagi kita karena sel tubuh kita menggunakannya langsung untuk menghasilkan energi. Glukosa dapat dioksidasi oleh zat pengoksidasi lembut seperti pereaksi Tollens sehingga sering disebut sebagai gula pereduksi.



D-glukosa

Gambar 4.13. Struktur Glukosa

⁹⁰ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.53



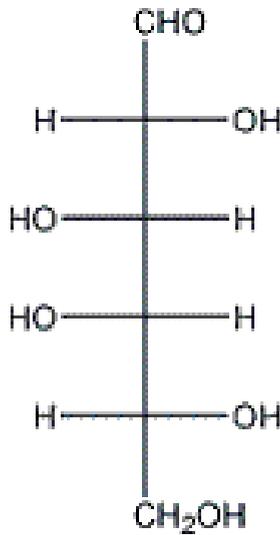
Gambar 4.14. Struktur Glukosa

b. Galaktosa

Galaktosa merupakan suatu aldohexosa. Monosakarida ini jarang terdapat bebas di alam. Umumnya berikatan dengan glukosa dalam bentuk laktosa, yaitu gula yang terdapat dalam susu⁹¹. Galaktosa

⁹¹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.28

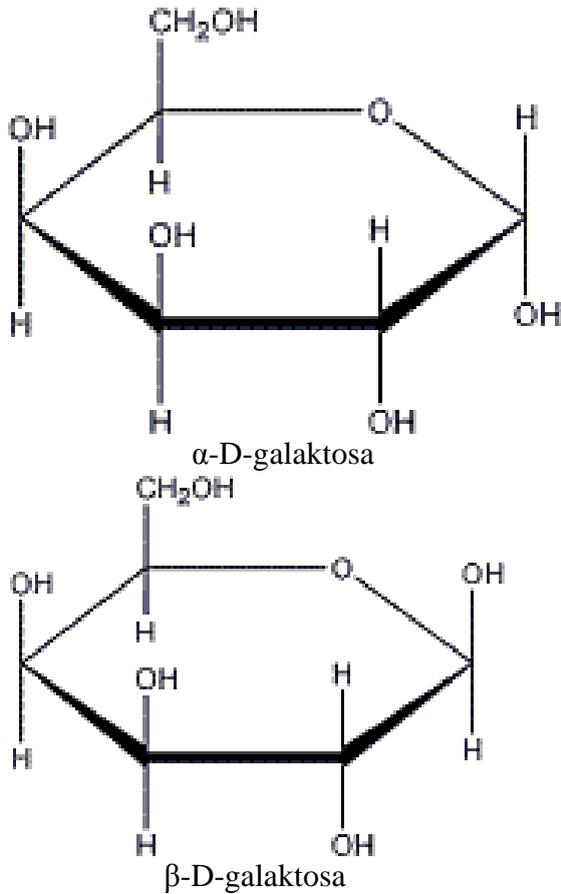
mempunyai rasa kurang manis jika dibandingkan dengan glukosa dan kurang larut dalam air. Seperti halnya glukosa, galaktosa juga merupakan gula pereduksi. Galaktosa adalah sebuah aldohexosa seperti glukosa yang berbeda pada gugus -OH pada atom karbon no.4 sehingga memiliki struktur siklik hampir sama dengan glukosa⁹². Galaktosa dapat juga berada dalam struktur alpha dan beta.



D-galaktosa

Gambar 4.15. Struktur D-Galaktosa

⁹² Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.57



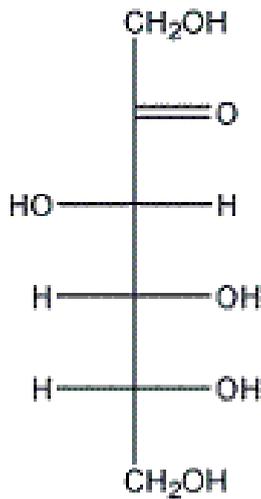
Gambar 4.16. Struktur α-D-galaktosa dan β-D-galaktosa

c. Fruktosa

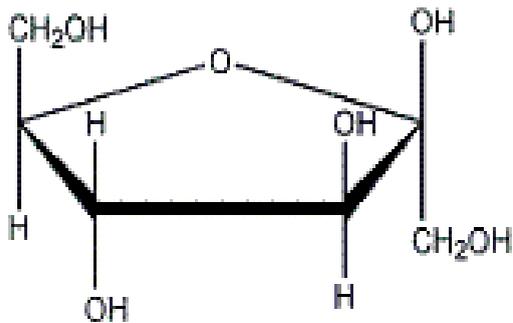
Fruktosa adalah suatu heksulosa, disebut juga levulosa karena memutar bidang polarisasi ke kiri⁹³. Merupakan satu-satunya heksulosa yang terdapat di alam. Fruktosa merupakan gula manis, terdapat dalam

⁹³ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.26

madu dan buah-buahan bersama glukosa⁹⁴. Fruktosa dapat terbentuk dari hidrolisis suatu disakarida yang disebut sukrosa. Sama seperti glukosa, fruktosa adalah suatu gula pereduksi.



Gambar.4.17. Struktur Fruktosa



Gambar 4.18. Struktur Siklik Fruktosa

⁹⁴ Nahar dan Sarker, *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam, dan Umum* (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2009) hal. 430

Disebut juga gula buah ataupun levulosa. Merupakan jenis sakarida yang paling manis, banyak dijumpai pada mahkota bunga, madu dan hasil hidrolisa dari gula tebu. Di dalam tubuh fruktosa didapat dari hasil pemecahan sukrosa.

2. Disakarida

Disakarida adalah karbohidrat yang terdiri dari 2 satuan monosakarida⁹⁵. Dua monosakarida dihubungkan dengan ikatan glikosidik antara C-anomerik dari satu unit monosakarida dengan gugus -OH dari unit monosakarida yang lainnya. Beberapa disakarida yang sering dijumpai: Maltosa, Laktosa, Sukrosa⁹⁶.

a. Sukrosa

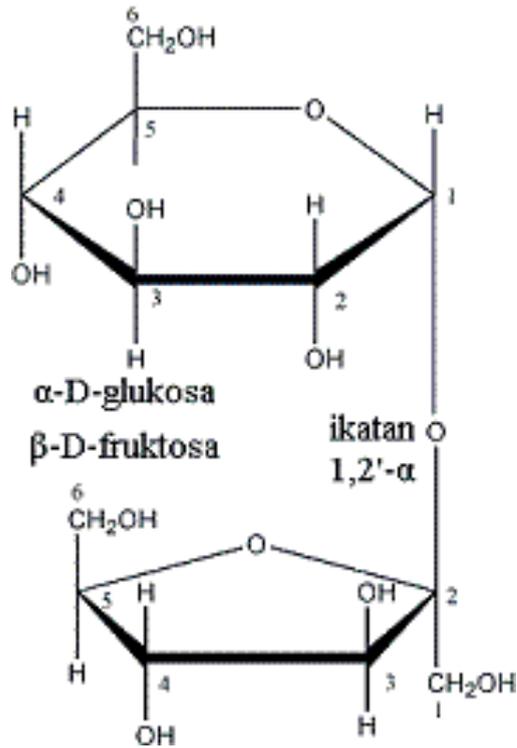
Adalah gula yang kita pergunakan sehari-hari, sehingga lebih sering disebut gula meja (table sugar) atau gula pasir dan disebut juga gula invert. Mempunyai 2 (dua) molekul monosakarida yang terdiri dari satu molekul glukosa dan satu molekul fruktosa. Sumber: tebu (100% mengandung sukrosa), bit, gula nira (50%), jam, jelly.

Sukrosa terdapat dalam gula tebu dan gula bit. Dalam kehidupan sehari-hari sukrosa dikenal dengan gula pasir⁹⁷. Sukrosa tersusun oleh molekul glukosa dan fruktosa yang dihubungkan oleh ikatan 1,2 - α .

⁹⁵ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.57

⁹⁶ Ibid, hal.57

⁹⁷ Nahar dan Sarker, *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam, dan Umum* (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2009) hal. 438



Gambar.4.19 Struktur Sukrosa

Sukrosa terhidrolisis oleh enzim invertase menghasilkan α -D-glukosa dan β -D-fruktosa. Campuran gula ini disebut gula inversi, lebih manis daripada sukrosa. Jika kita perhatikan strukturnya, karbon anomerik (karbon karbonil dalam monosakarida) dari glukosa maupun fruktosa di dalam air tidak digunakan untuk berikatan sehingga keduanya tidak memiliki gugus hemiasetal. Akibatnya, sukrosa dalam air tidak berada dalam kesetimbangan dengan bentuk aldehid atau keton

sehingga sukrosa tidak dapat dioksidasi. Sukrosa bukan merupakan gula pereduksi.

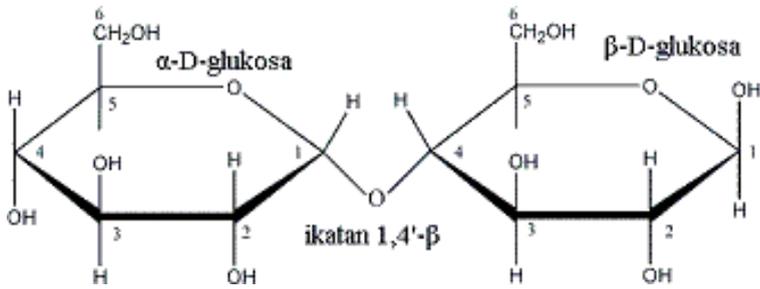
b. Maltosa

Mempunyai 2 (dua) molekul monosakarida yang terdiri dari dua molekul glukosa⁹⁸. Di dalam tubuh maltosa didapat dari hasil pemecahan amilum, lebih mudah dicerna dan rasanya lebih enak dan nikmat. Dengan Jodium amilum akan berubah menjadi warna biru. Peranan perbandingan amilosa dan amilo pektin terlihat pada serelia; Contohnya beras, semakin kecil kandungan amilosa atau semakin tinggi kandungan amilopektinnya, semakin lekat nasi tersebut.

Pulut sedikit sekali amilosanya (1-2%), beras mengandung amilosa > 2%. Berdasarkan kandungan amilosanya, beras (nasi) dapat dibagi menjadi 4 golongan: amilosa tinggi 25-33%, amilosa menengah 20-25%, amilosa rendah 09-20%, dan amilosa sangat rendah < 9%.

Maltosa adalah suatu disakarida dan merupakan hasil dari hidrolisis parsial tepung (amilum). Maltosa tersusun dari molekul α -D-glukosa dan β -D-glukosa.

⁹⁸ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.32



Gambar 4.20. Struktur maltosa

Dari struktur maltosa, terlihat bahwa gugus -O- sebagai penghubung antarunit yaitu menghubungkan C 1 dari α -D-glukosa dengan C 4 dari β -D-glukosa. Konfigurasi ikatan glikosida pada maltosa selalu α karena maltosa terhidrolisis oleh α -glukosidase. Satu molekul maltosa terhidrolisis menjadi dua molekul glukosa. Sukrosa bila dihidrolisis terurai menjadi fruktosa dan glukosa, laktosa dihidrolisis akan terurai menjadi glukosa dan galaktosa, dan maltosa bila dihidrolisis akan menghasilkan glukosa dan glukosa⁹⁹.

c. Laktosa

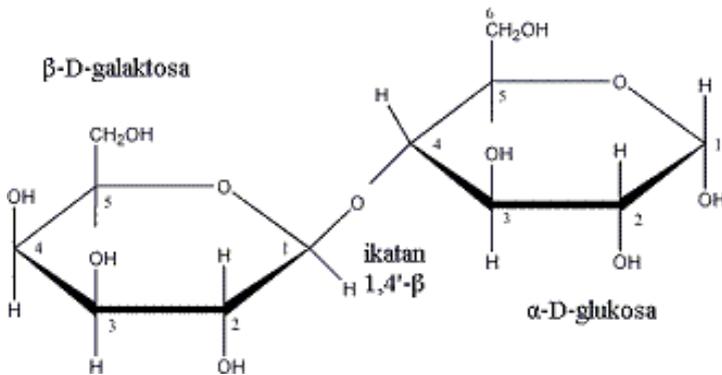
Mempunyai 2 (dua) molekul monosakarida yang terdiri dari satu molekul glukosa dan satu molekul galaktosa. Laktosa kurang larut di dalam air. Sumber : hanya terdapat pada susu sehingga disebut juga gula susu. Kandungan pada susu sapi 4-5% dan pada asi 4-7%.

Laktosa dapat menimbulkan intolerance (laktosa intolerance) disebabkan kekurangan enzim laktase sehingga kemampuan untuk mencerna laktosa berkurang.

⁹⁹ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.59

Kelainan ini dapat dijumpai pada bayi, anak dan orang dewasa, baik untuk sementara maupun secara menetap. Gejala yang sering dijumpai adalah diare, gembung, flatulensi dan kejang perut. Defisiensi laktase pada bayi dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan, karena bayi sering diare. Terapi diet dengan pemberian formula rendah laktosa seperti LLM, Almiron, Isomil, Prosobee dan Nutramigen, dan AI 110 bebas Laktosa. Formula rendah laktosa tidak boleh diberikan terlalu lama (maksimum tiga bulan), karena laktosa diperlukan untuk pertumbuhan sel-sel otak.

Laktosa adalah komponen utama yang terdapat pada air susu ibu dan susu sapi. Laktosa tersusun dari molekul β -D-galaktosa dan α -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan 1,4'- β .



Gambar 4.21. Struktur laktosa

Hidrolisis dari laktosa dengan bantuan enzim galaktase yang dihasilkan dari pencernaan, akan memberikan jumlah ekivalen yang sama dari α -D-

glukosa dan β -D-galaktosa. Apabila enzim ini kurang atau terganggu, bayi tidak dapat mencernakan susu. Keadaan ini dikenal dengan penyakit galaktosemia yang biasa menyerang bayi.

3. Polisakarida

Merupakan senyawa karbohidrat kompleks, dapat mengandung lebih dari 60.000 molekul monosakarida yang tersusun membentuk rantai lurus ataupun bercabang dan setiap cincin dapat membentuk ikatan glikosida¹⁰⁰. Polisakarida rasanya tawar (tidak manis), tidak seperti monosakarida dan disakarida. Di dalam Ilmu Gizi ada 3 (tiga) jenis yang ada hubungannya yaitu amilum, dekstrin, glikogen dan selulosa.

Polisakarida atau glikan tersusun atas unit-unit gula yang panjang. Polisakarida dapat dibagi menjadi dua kelas utama yaitu homopolisakarida dan heteropolisakarida. Homopolisakarida yang mengalami hidrolisis hanya menghasilkan satu jenis monosakarida, sedangkan heteropolisakarida bila mengalami hidrolisis sempurna menghasilkan lebih dari satu jenis monosakarida. Rumus umum polisakarida yaitu $C_6(H_{10}O_5)_n$.

a. Amilum

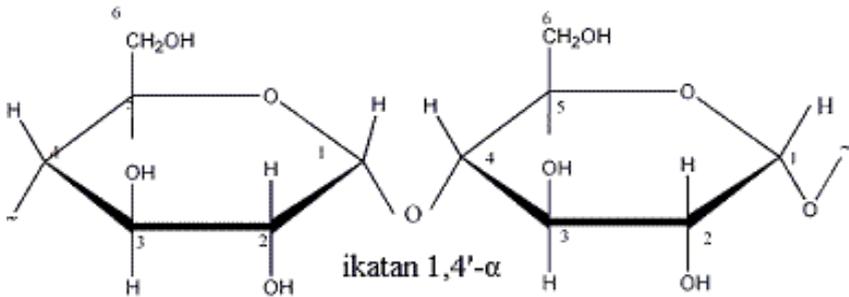
Amilum (zat pati) merupakan polimer glukosa berberat molekul tinggi yang mana unit monosakarida terhubungkan melalui ikatan glikosida 1,4 serupa dengan maltosa¹⁰¹. Merupakan sumber energi utama bagi orang

¹⁰⁰ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.59

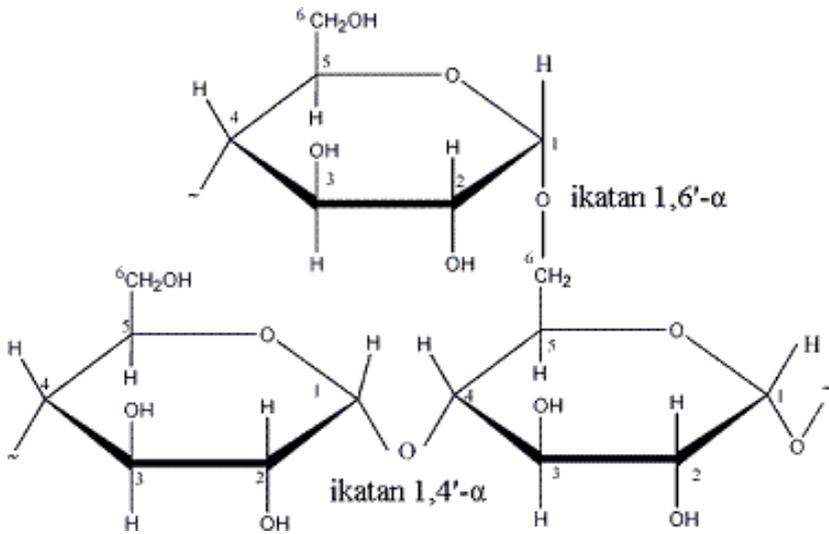
¹⁰¹ Nahar dan Sarker, *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam, dan Umum* (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2009) hal. 441

dewasa di seluruh penduduk dunia, terutama di negara sedang berkembang oleh karena di konsumsi sebagai bahan makanan pokok. Sumber: umbi-umbian, sereal, dan biji-bijian merupakan sumber amilum yang berlimpah ruah oleh karena mudah didapat untuk di konsumsi. Jagung, beras dan gandum kandungan amilurnya lebih dari 70%, sedangkan pada kacang-kacangan sekitar 40%. Amilum tidak larut di dalam air dingin, tetapi larut di dalam air panas membentuk cairan yang sangat pekat seperti pasta; peristiwa ini disebut “gelatinisasi”.

Pati atau amilum adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati merupakan bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis) dalam jangka panjang. Hewan dan manusia juga menjadikan pati sebagai sumber energi yang penting. Pati tersusun dari dua macam karbohidrat, amilosa dan amilopektin.



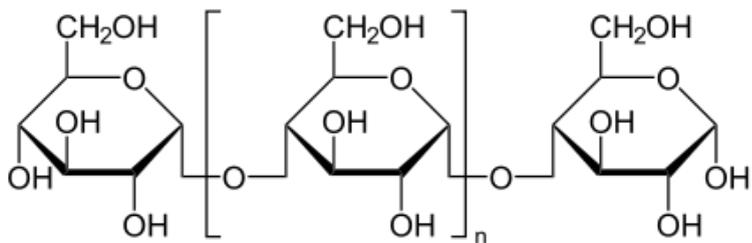
Gambar 4.22. Struktur amilosa



Gambar 4.23 Struktur amilopektin

b. Dekstrin

Merupakan zat antara dalam pemecahan amilum. Molekulnya lebih sederhana, lebih mudah larut di dalam air, dengan jodium akan berubah menjadi warna merah.



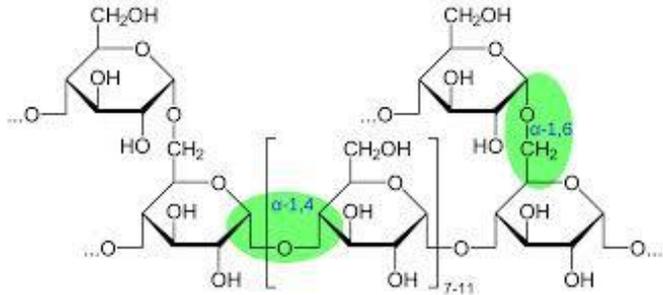
Gambar 4.24. Struktur Dekstrin

c. Glikogen

Glikogen merupakan homopolimer glukosa merupakan bentuk karbohidrat yang tersimpan dalam hewan dan mempunyai fungsi sebagai penyimpanan energi¹⁰². Glikogen merupakan “pati hewani”, terbentuk dari ikatan 1000 molekul, larut di dalam air (pati nabati tidak larut dalam air) dan bila bereaksi dengan iodium akan menghasilkan warna merah. Glikogen terdapat pada otot hewan, manusia dan ikan. Pada waktu hewan disembelih, terjadi kekejangan (rigor mortis) dan kemudian glikogen dipecah menjadi asam laktat selama post mortum. Sumber banyak terdapat pada kecambah, sereal, susu, syrup jagung (26%).

Glikogen adalah salah satu jenis polisakarida simpanan dalam tubuh hewan. Pada manusia dan vertebrata lain, glikogen disimpan terutama dalam sel hati dan otot. Glikogen terdiri atas subunit glukosa dengan ikatan rantai lurus ($\alpha 1 \rightarrow 4$) dan ikatan rantai percabangan ($\alpha 1 \rightarrow 6$). Glikogen memiliki struktur mirip amilopektin (salah satu jenis pati) tetapi dengan lebih banyak percabangan, yaitu setiap 8-12 residu.

¹⁰² Nahar dan Sarker, *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam, dan Umum* (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2009) hal. 444



Gambar 4.25. Struktur Glikogen

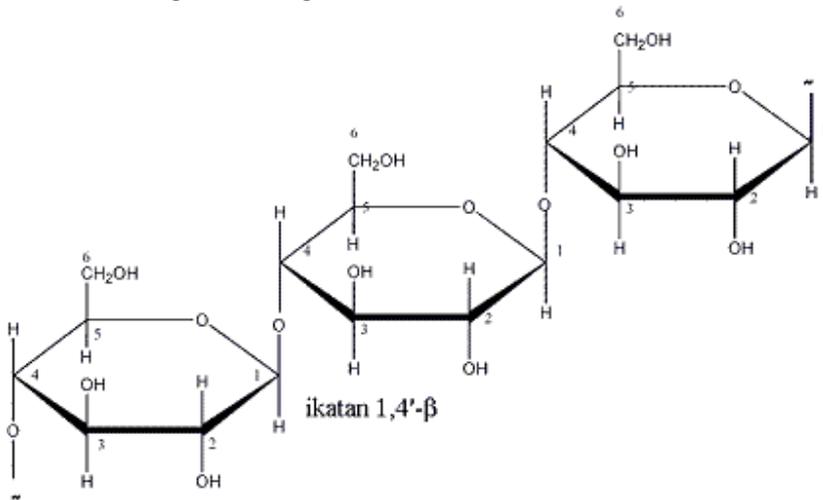
d. Selulosa

Hampir 50% karbohidrat yang berasal dari tumbuh-tumbuhan adalah selulosa¹⁰³, karena selulosa merupakan bagian yang terpenting dari dinding sel tumbuh-tumbuhan. Selulosa tidak dapat dicerna oleh tubuh manusia, oleh karena tidak ada enzim untuk memecah selulosa. Meskipun tidak dapat dicerna, selulosa berfungsi sebagai sumber serat yang dapat memperbesar volume dari faeses, sehingga akan memperlancar defekasi. Dahulu serat digunakan sebagai indeks dalam menilai kualitas makanan, makin tinggi kandungan serat dalam makanan maka nilai gizi makanan tersebut dipandang semakin buruk. Akan tetapi pada dasawarsa terakhir ini, para ahli sepakat bahwa serat merupakan komponen penyusun diet manusia yang sangat penting. Tanpa adanya serat, mengakibatkan terjadinya konstipasi (susah buang air besar).

Selulosa (C₆H₁₀O₅)_n adalah polimer berantai panjang polisakarida karbohidrat, dari beta-glukosa. Selulosa merupakan komponen struktural utama dari

¹⁰³ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.38

tumbuhan dan tidak dapat dicerna oleh manusia¹⁰⁴. Pada hidrolisis, selulosa menghasilkan selobiosa, dan akhirnya menghasilkan glukosa¹⁰⁵.



Struktur 4.26. selulosa

4. Glikosida

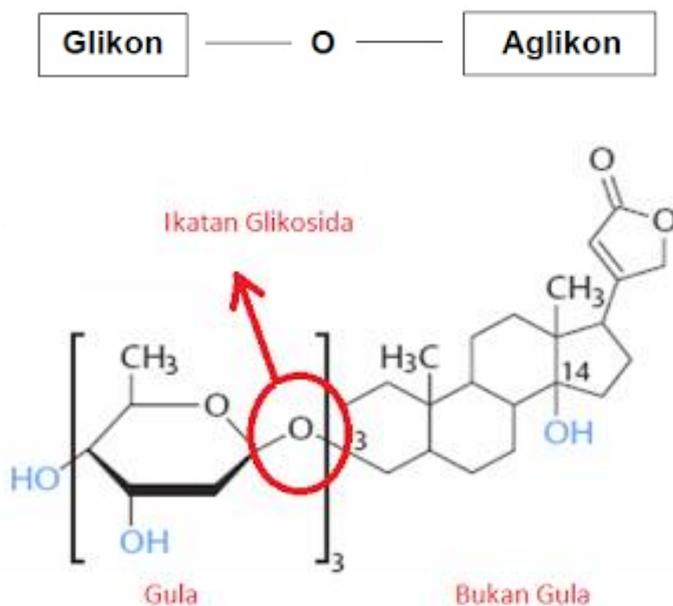
Adalah; Suatu Senyawa yang terbentuk dari molekul monosakrida yang berikatan/bersenyawa (bereaksi) dengan senyawa bukan karbohidrat. Cth; monoskarida (glikon) bereaksi dengan senyawa alkohol (aglikon). Ditemukan pada jaringan tumbuhan, akar, kulit, dan daun buah.

Glikosida adalah senyawa yang terdiri dari bagian gula (glikon) dan bukan gula (aglikon). Oleh karena itulah,

¹⁰⁴ Ibid, hal.38

¹⁰⁵ ¹⁰⁵ Nahar dan Sarker, *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam, dan Umum* (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2009) hal. 445

apabila terdapat senyawa gula misalnya glukosa kemudian berikatan dengan senyawa bukan gula maka ikatannya disebut dengan ikatan glikosida¹⁰⁶.



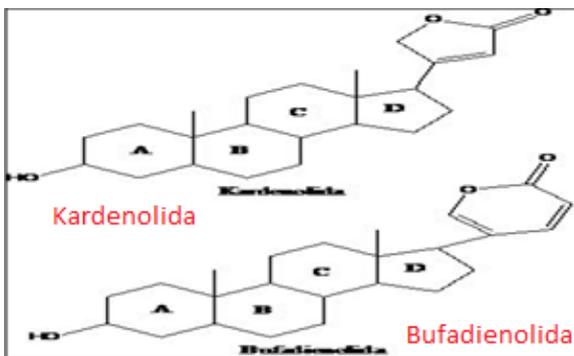
Gambar.4.27. Struktur Glikosida

Glikosida ada banyak macam penggolongannya, biasanya didasarkan atas jenis aglikonnya. Menurut Claus, glikosida dibagi menjadi 11 golongan, antara lain:

¹⁰⁶ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.113

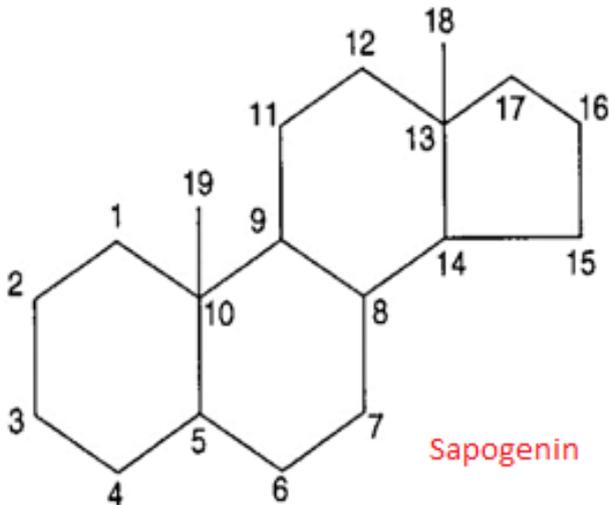
1. Glikosida Kardioaktif (Glikosida Jantung)
2. Glikosida Antrakinon
3. Glikosida Sianofor
4. Glikosida Saponin
5. Glikosida Flavonol
6. Glikosida Isotiosianat
7. Glikosida Alkohol
8. Glikosida Aldehid
9. Glikosida Lakton
10. Glikosida Fenol
11. Glikosida golongan lain, termasuk di antaranya zat netral

Disebut glikosida kardioaktif atau glikosida jantung karena memiliki aktifitas yang spesifik seperti bekerja pada otot jantung, meningkatkan ritme jantung, dan kontraktilitas jantung. Aglikon dari glikosida jantung ini berupa "cardiac genin". Berdasarkan aglikonnya tersebut, glikosida jantung dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe cardenolida dan tipe bufadienolida. Perbedaan keduanya adalah dari struktur aglikonnya.

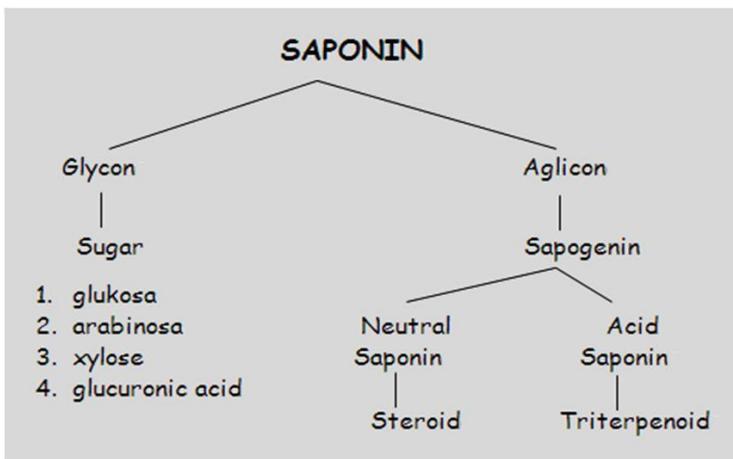


Gambar.4.28. Struktur Glikosida Jantung

Glikosida saponin adalah glikosida yang aglikonnya berupa saponin. Glikosida saponin adalah senyawa yang memiliki struktur steroid dan mempunyai sifat khas yaitu dapat membentuk larutan koloidal dalam air dan dapat membuih jika dikocok.



Gambar.4.29. Struktur Glikosida Saponin



D. Fungsi karbohidrat di dalam tubuh adalah¹⁰⁷:

1. Fungsi utamanya sebagai sumber enersi (1 gram karbohidrat menghasilkan 4 kalori) bagi kebutuhan sel-sel jaringan tubuh. Sebagian dari karbohidrat diubah langsung menjadi enersi untuk aktifitas tubuh, dan sebagian lagi disimpan dalam bentuk glikogen di hati dan di otot. Ada beberapa jaringan tubuh seperti sistem syaraf dan eritrosit, hanya dapat menggunakan enersi yang berasal dari karbohidrat saja.
2. Melindungi protein agar tidak dibakar sebagai penghasil enersi. Kebutuhan tubuh akan enersi merupakan prioritas pertama; bila karbohidrat yang di konsumsi tidak mencukupi untuk kebutuhan enersi tubuh dan jika tidak cukup terdapat lemak di dalam makanan atau cadangan lemak yang disimpan di dalam tubuh, maka protein akan menggantikan fungsi karbohidrat sebagai penghasil enersi. Dengan demikian protein akan meninggalkan fungsi utamanya.
3. Membantu metabolisme lemak dan protein dengan demikian dapat mencegah terjadinya ketosis dan pemecahan protein yang berlebihan.
4. Di dalam hepar berfungsi untuk detoksifikasi zat-zat toksik tertentu.
5. Beberapa jenis karbohidrat mempunyai fungsi khusus di dalam tubuh. Laktosa misalnya berfungsi membantu penyerapan kalsium. Ribosa merupakan merupakan komponen yang penting dalam asam nukleat.

¹⁰⁷ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.67

6. Selain itu beberapa golongan karbohidrat yang tidak dapat dicerna, mengandung serat (dietary fiber) berguna untuk pencernaan, memperlancar defekasi.

E. Uji Karbohidrat¹⁰⁸

a. Uji Molisch

Uji Molisch adalah uji umum untuk karbohidrat. Pereaksi molisch yang terdiri dari α -naftol dalam alkohol akan bereaksi dengan furfural tersebut membentuk senyawa kompleks berwarna ungu yang disebabkan oleh daya dehidrasi asam sulfat pekat terhadap karbohidrat. Uji ini bukan uji spesifik untuk karbohidrat, walalupun hasil reaksi yang negatif menunjukkan bahwa larutan yang diperiksa tidak mengandung karbohidrat. Terbentuknya cincin ungu menyatakan reaksi positif.

b. Uji Benedict

Larutan tembaga alkalis akan direduksi oleh gula yang mempunyai gugus aldehid atau keton bebas dengan membentuk kuprooksida yang berwarna. Gula pereduksi beraksi dengan pereaksi menghasilkan endapan merah bata (Cu_2O). Pada gula pereduksi terdapat gugus aldehid dan OH laktol. OH laktol adalah OH yang terikat pada atom C pertama yang menentukan karbohidrat sebagai gula pereduksi atau bukan.

c. Uji Barfoed

Uji ini untuk membedakan monosakarida dan disakarida. Pada percobaan ini, karbohidrat direduksi pada suasana asam. Disakarida juga akan memberikan hasil positif bila dididihkan cukup lama hingga terjadi hidrolisis.

¹⁰⁸ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.40

d. Uji Seliwanoff

Reaksi ini spesifik untuk ketosa. Dasarnya adalah perubahan fruktosa oleh asam panas menjadi levulinat dan hidroksimetilfurfural yang selanjutnya berkondensasi dengan resorsinol membentuk senyawa berwarna merah.

e. Uji Tollens

Uji ini untuk positif terhadap karbohidrat pentosa yang membedakannya dengan heksosa.

f. Hidrolisis Sukrosa

Sukrosa adalah karbohidrat golongan disakarida. Hidrolisis sukrosa ini untuk membuktikan apakah hasil hidrolisis dari sukrosa adalah glukosa dan fruktosa yaitu dengan cara setelah sukrosa dihidrolisis, larutan yang telah dihidrolisis itu dites dengan test benedict untuk membuktikan glukosa dan test seliwanoff untuk membuktikan ada fruktosa.

g. Percobaan glikolisis pada ragi

Pada manusia dan hewan, hasil akhir glikolisis anaerob adalah asam laktat, sedangkan pada ragi glikolisis anaerob (peragian gula) menghasilkan etanol. Pada percobaan ini akan dilihat hasil glikolisis anaerob pada ragi yang berupa CO₂ dan etanol. Selain itu akan dilihat pula pengaruh inhibitor terhadap glikolisis anaero.

F. RANGKUMAN

Karbohidrat adalah senyawa organik yang tersusun dari unsur C (karbon), H (hidrogen), dan O (oksigen). Jumlah atom hidrogen dan oksigen merupakan perbandingan 2:1 seperti pada molekul air. Karbohidrat atau hidrat arang adalah suatu zat gizi yang fungsi utamanya sebagai penghasil energi, dimana setiap gramnya menghasilkan 4 kalori. Di negara sedang berkembang karbohidrat dikonsumsi sekitar 70-80% dari total kalori, bahkan

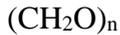
pada daerah-daerah miskin bisa mencapai 90%. Sedangkan pada negara maju karbohidrat dikonsumsi hanya sekitar 40-60%. Hal ini disebabkan sumber bahan makanan yang mengandung karbohidrat lebih murah harganya dibandingkan sumber bahan makanan kaya lemak maupun protein. Karbohidrat banyak ditemukan pada sereal (beras, gandum, jagung, kentang dan sebagainya), serta pada biji-bijian yang tersebar luas di alam.

Secara biokimia, karbohidrat adalah polihidroksil-aldehida atau polihidroksil-ke-ton, atau senyawa yang menghasilkan senyawa-senyawa ini bila dihidrolisis. Karbohidrat mengandung gugus fungsi karbonil (sebagai aldehida atau ke-ton) dan banyak gugus hidroksil. Pada awalnya, istilah karbohidrat digunakan untuk golongan senyawa yang mempunyai rumus $(CH_2O)_n$, yaitu senyawa-senyawa yang n atom karbonnya tampak terhidrasi oleh n molekul air. Namun demikian, terdapat pula karbohidrat yang tidak memiliki rumus demikian dan ada pula yang mengandung nitrogen, fosforus, atau sulfur.

Bentuk molekul karbohidrat paling sederhana terdiri dari satu molekul gula sederhana yang disebut monosakarida, misalnya glukosa, galaktosa, dan fruktosa. Banyak karbohidrat merupakan polimer yang tersusun dari molekul gula yang terangkai menjadi rantai yang panjang serta dapat pula bercabang-cabang, disebut polisakarida, misalnya pati, kitin, dan selulosa. Selain monosakarida dan polisakarida, terdapat pula disakarida (rangkai-an dua monosakarida) dan oligosakarida (rangkai-an beberapa monosakarida).

Karbohidrat berasal dari kata karbo (Unsur karbon dan hidrat/air) yang berarti unsur C mengikat molekul H_2O , dengan rumus kimia: $C.H_2O$. Biomolekul karbohidrat adalah suatu makromolekul senyawa organik dengan bobot molekul

beberapa ribu-500.000 sehingga rumus kimia karbohidrat ditulis menjadi:



$\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ di mana n = Jumlah atom C

Karbohidrat yang dibangun oleh polihidroksi dan gugus aldehid disebut dengan aldosa, sedangkan yang disusun oleh polihidroksi dan gugus keton dikenal dengan ketosa.

Karbohidrat biasanya digolongkan menjadi monosakarida, disakarida dan polisakarida. Penggolongan ini didasarkan pada reaksi hidrolisisnya. Monosakarida adalah karbohidrat paling sederhana, tidak dapat dihidrolisis menjadi karbohidrat lebih sederhana; disakarida dapat dihidrolisis menjadi dua monosakarida; sedangkan polisakarida dapat dihidrolisis menjadi banyak molekul monosakarida. Fungsi utamanya sebagai sumber enersi (1 gram karbohidrat menghasilkan 4 kalori) bagi kebutuhan sel-sel jaringan tubuh. Sebagian dari karbohidrat diubah langsung menjadi enersi untuk aktifitas tubuh, dan sebagian lagi disimpan dalam bentuk glikogen di hati dan di otot. Ada beberapa jaringan tubuh seperti sistem syaraf dan eritrosit, hanya dapat menggunakan enersi yang berasal dari karbohidrat saja.

Fungsi Karbohidrat adalah melindungi protein agar tidak dibakar sebagai penghasil energi, membantu metabolisme lemak dan protein dengan demikian dapat mencegah terjadinya ketosis dan pemecahan protein yang berlebihan, di dalam hepar berfungsi untuk detoksifikasi zat-zat toksik tertentu, beberapa jenis karbohidrat mempunyai fungsi khusus di dalam tubuh. Laktosa misalnya berfungsi membantu penyerapan kalsium. Ribosa merupakan merupakan komponen yang penting dalam asam nukleat, selain itu beberapa golongan karbohidrat yang tidak dapat dicerna, mengandung serat (dietary fiber) berguna untuk pencernaan, memperlancar defekasi.

Uji Karbohidrat antara lain dengan *Uji Molisch*; Pereaksi molisch yang terdiri dari α -naftol dalam alkohol akan bereaksi dengan furfural tersebut membentuk senyawa kompleks berwarna ungu yang disebabkan oleh daya dehidrasi asam sulfat pekat terhadap karbohidrat. *Uji Benedict*; Larutan tembaga alkalis akan direduksi oleh gula yang mempunyai gugus aldehyd atau keton bebas dengan membentuk kuprooksida yang berwarna. *Uji Barfoed*; Uji ini untuk membedakan monosakarida dan disakarida. Pada percobaan ini, karbohidrat direduksi pada suasana asam. *Uji Seliwanoff*; Reaksi ini spesifik untuk ketosa. *Uji Tollens*; Uji ini untuk positif terhadap karbohidrat pentosa yang membedakannya dengan heksosa. *Hidrolisis Sukrosa*; Hidrolisis sukrosa ini untuk membuktikan apakah hasil hidrolisis dari sukrosa adalah glukosa dan fruktosa. *Percobaan glikolisis pada ragi*; Pada manusia dan hewan, hasil akhir glikolisis anaerob adalah asam laktat, sedangkan pada ragi glikolisis anaerob (peragian gula) menghasilkan etanol.

Bab 5

LIPID

A. DEFINISI LIPID

Kata lemak berasal dari bahasa Yunani (Greece) yaitu *lipos*. Sedangkan dalam bahasa Inggris berarti *lipid*¹⁰⁹. Secara umum lemak merupakan senyawa organik yang tidak larut dalam air tetapi dapat diekstraksi dengan pelarut non polar seperti kloroform, eter dan benzena. Pengertian ini didasarkan dari salah satu kesepakatan Kongres Internasional Kimia Murni dan Terapan (*International Congress of Pure and Applied Chemistry*) karena sukarnya memberikan definisi yang jelas tentang lemak. Senyawa-senyawa lemak tidak memiliki rumus struktur yang sama dan sifat kimia serta biologinya juga bervariasi. Karena itu dibuat kesepakatan tentang lemak yang didasarkan pada sifat fisika lemak seperti diatas. Lipida adalah senyawa organik yang mempunyai sifat mudah larut dalam pelarut organik, tetapi tidak larut dalam air¹¹⁰.

¹⁰⁹ Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati*. (Bandung: ITB, 1992).

¹¹⁰ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.69

Lipid adalah kelompok molekul alami yang meliputi lemak, lilin, sterol, vitamin yang larut dalam lemak (seperti vitamin A, D, E, dan K), monogliserida, digliserida, trigliserida, fosfolipid, dan lain-lain. Fungsi biologis utama lipid termasuk menyimpan energi, pensinyalan, dan bertindak sebagai komponen pembangun membran sel. Lipid memiliki aplikasi dalam industri kosmetik dan makanan serta dalam nanoteknologi.

Lipid dapat didefinisikan secara luas sebagai molekul kecil hidrofobik atau amfifilik; sifat amfifilik beberapa lipid memungkinkan mereka untuk membentuk struktur seperti vesikel, liposom multilamellar/unilamellar, atau membran dalam lingkungan akuatik. Lipid biologis berasal, seluruhnya atau sebagian, dari dua jenis subunit biokimia atau "blok-pembangun" yang berbeda yaitu: gugus ketoasil dan isoprena. Dengan menggunakan pendekatan ini, lipid dapat dibagi menjadi delapan kategori: asam lemak, gliserolipid, gliserofosfolipid, spingolipid, sakarolipid, dan poliketida (diturunkan dari kondensasi subunit ketoasil); dan lipid sterol serta lipid prenol (berasal dari kondensasi subunit isoprena).

Meskipun istilah *lipid* kadang-kadang digunakan sebagai sinonim untuk lemak, lemak adalah subkelompok lipid yang disebut trigliserida. Lipid juga mencakup molekul seperti asam lemak dan turunannya (termasuk tri-, di-, monogliserida, dan fosfolipid), serta metabolit lainnya yang mengandung sterol seperti kolesterol. Meskipun manusia dan mamalia lainnya menggunakan berbagai jalur biosintesis untuk memecah dan mensintesis lipid, beberapa lipid esensial tidak dapat dibuat dengan cara ini dan harus diperoleh dari makanan.

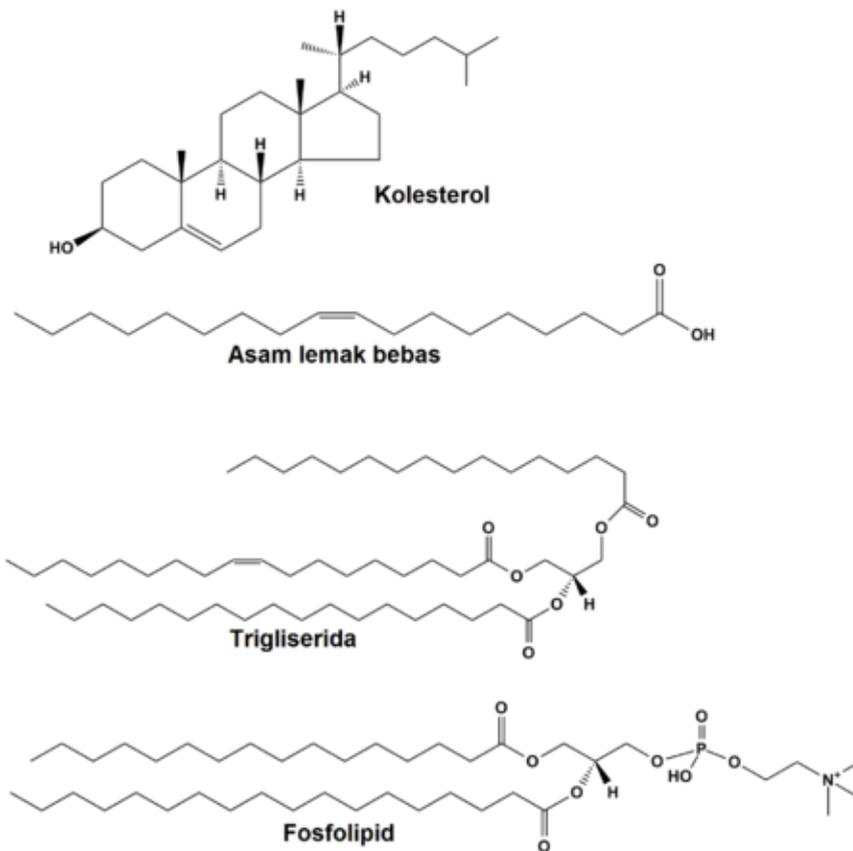
Salah satu kelompok senyawa organik yang terdapat dalam tumbuhan, hewan, atau manusia dan yang sangat berguna bagi kehidupan manusia adalah lipid. Para ahli

Biokimia bersepakat bahwa lemak dan senyawa organik yang mempunyai sifat fisika seperti lemak, dimasukkan dalam suatu kelompok yang disebut dengan lipid. Adapun sifat fisika yang dimaksud adalah: (1) tidak larut dalam air, tetapi larut dalam satu atau lebih dari satu pelarut organik misalnya eter, aseton, kloroform, benzena yang sering juga disebut “pelarut lemak”; (2) ada hubungan dengan asam-asam lemak dan esternya; (3) mempunyai kemungkinan digunakan oleh makhluk hidup.

Ada beberapa cara penggolongan yang dikenal, Bloor membagi lipid dalam tiga golongan yaitu¹¹¹; (1) Lipid Sederhana, yaitu ester asam lemak dengan berbagai alcohol contohnya lemak atau gliserida dan lilin; (2) Lipid gabungan, yaitu ester asam lemak yang mempunyai gugus tambahan, contohnya fosfolipid, dan serebrosida; (3) derivat lipid, yaitu senyawa yang dihasilkan dari hasil hidrolisis lipid contohnya asam lemak, gliserol, dan sterol. Disamping itu berdasarkan sifat kimia yang penting, lipid dapat dibagi dalam dua golongan yaitu¹¹²; lipid yang dapat disabunkan, yakni dapat dihidrolisis dengan basa, contohnya lemak, dan lipid yang tidak dapat disabunkan, contohnya steroid.

¹¹¹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.52

¹¹² Ibid, hal.52



Gambar. 5.1. Struktur Lipid dan Penggolongannya

Struktur beberapa lipid umum. Di bagian atas adalah kolesterol dan asam oleat. Struktur bagian tengah adalah trigliserida yang terdiri dari rantai oleoil, stearoil, dan palmitoil yang melekat pada kerangka gliserol. Di bagian bawah adalah fosfolipid yang umum, fosfatidilkolina.

B. PENGGOLONGAN LIPID

Senyawa-senyawa yang termasuk dalam lipid ini terbagi dalam beberapa golongan. Secara umum lipid digolongkan dalam tiga golongan besar yaitu: (1) Lipid sederhana yaitu ester asam lemak dengan berbagai alkohol, contohnya lemak/gliserida dan lilin; (2) lipid gabungan yaitu ester asam lemak yang mempunyai gugus tambahan yaitu fosfolipid dan serebrosida; (3) derivat lipid yaitu senyawa yang dihasilkan oleh proses hidrolisis lipid, contohnya asam lemak, gliserol, dan sterol. Disamping itu berdasarkan sifat kimianya, lipid dibagi dalam dua golongan besar yaitu lipid yang disabunkan, yakni dapat dihidrolisis dengan basa, contohnya lemak, dan lipid yang tidak dapat disabunkan, contohnya steroid.

Lemak, disebut juga lipid adalah suatu zat yang kaya akan energi, berfungsi sebagai sumber energi yang utama untuk proses metabolisme tubuh. Lemak yang beredar di dalam tubuh diperoleh dari dua sumber yaitu dari makanan dan hasil produksi organ hati, yang bisa disimpan di dalam sel-sel lemak sebagai cadangan energi.

Dalam bab ini lipid dibagi dalam beberapa golongan berdasarkan kemiripan struktur kimianya, yaitu lemak, kolesterol, trigliserida, fosfolipid, dan asam lemak.

1. Lemak

Salah satu senyawa organik golongan ester yang banyak terdapat dalam tumbuhan, hewan, atau manusia dan sangat berguna bagi kehidupan manusia adalah lemak (Fat). Lemak adalah turunan karboksilat dari ester gliserol yang disebut gliserida yang berupa trigliserida dan triasilgliserol¹¹³. Contoh lemak adalah wax (lilin) yang dihasilkan lebah (gambar

¹¹³ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.69

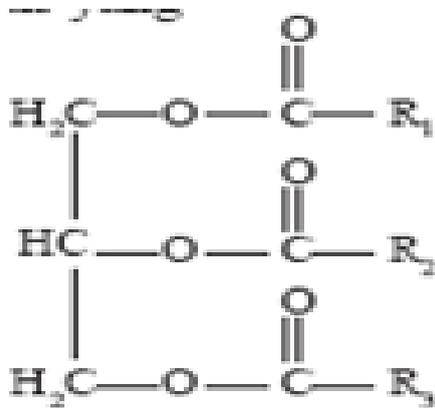
disamping). Lemak pada tubuh manusia terutama terdapat pada jaringan bawah kulit di sekitar perut, jaringan lemak sekitar ginjal yang mencapai 90%, sedangkan pada jaringan otak sekitar 7,5 sampai 70%. Lemak yang pada suhu kamar berbentuk cair disebut minyak, sedangkan istilah lemak biasanya digunakan untuk yang berwujud padat. Lemak umumnya bersumber dari hewan, sedangkan minyak dari tumbuhan. Beberapa contoh lemak dan minyak adalah lemak sapi, minyak kelapa, minyak jagung, dan minyak ikan.

a. Struktur dan Tata Nama Lemak

Adapun yang dimaksud lemak disini adalah suatu ester asam lemak dengan gliserol¹¹⁴. Gliserol adalah suatu rihidroksil alkohol yang terdiri atas tiga atom karbon, di mana setiap atom karbonnya memiliki gugus -OH. Satu molekul gliserol dapat mengikat satu, dua atau tiga molekul asam lemak dalam bentuk ester yang disebut monogliserida, digliserida atau trigliserida. Pada lemak, satu molekul gliserol mengikat tiga molekul asam lemak, oleh karena itu, lemak adalah suatu trigliserida.

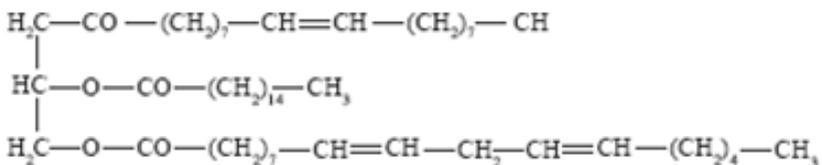
Lemak adalah ester dari gliserol dengan asam-asam karboksilat suku tinggi. Asam penyusun lemak disebut asam lemak. Asam lemak yang terdapat di alam adalah asam palmitat ($C_{15}H_{31}COOH$), asam stearat ($C_{17}H_{35}COOH$), asam oleat ($C_{17}H_{33}COOH$), dan asam linoleat ($C_{17}H_{29}COOH$). Pada lemak, satu molekul gliserol mengikat tiga molekul asam lemak, oleh karena itu lemak adalah suatu trigliserida. Struktur umum molekul lemak seperti terlihat pada ilustrasi di bawah ini:

¹¹⁴ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.135



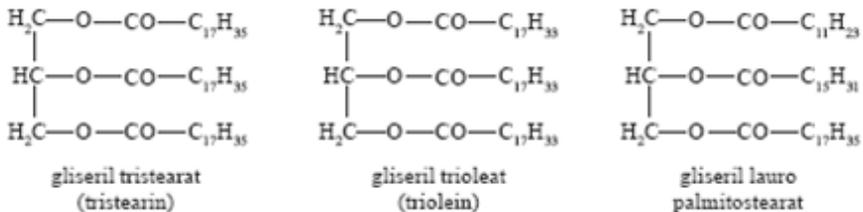
Gambar. 5.2. Struktur Umum Lemak

Pada rumus struktur lemak di atas, R₁-COOH, R₂-COOH, dan R₃-COOH adalah molekul asam lemak yang terikat pada gliserol. Ketiga molekul asam lemak itu boleh sama (disebut asam lemak sederhana) dan boleh berbeda (disebut lemak campuran). Tetapi pada umumnya, molekul lemak terbentuk dari dua atau lebih macam asam lemak. Sebagai contoh, salah satu komponen minyak kapas mempunyai struktur sebagai berikut:



Gambar 5.3. Struktur Komponen Minyak Kapas

Nama lazim dari lemak adalah trigliserida. Penamaan lemak dimulai dengan kata gliseril yang diikuti oleh nama asam lemak. Contoh;



Gambar 5.4. Contoh Penamaan Lemak

b. Sifat Lemak

1) Sifat Fisis Lemak

Lemak hewan pada umumnya berupa zat padat pada suhu ruangan sedangkan lemak yang berasal dari tumbuhan berupa zat cair¹¹⁵. Lemak yang mempunyai titik lebur tinggi mengandung asam lemak jenuh, sedangkan lemak cair (minyak) mengandung asam lemak tidak jenuh. Lemak hewan dan tumbuhan mempunyai susunan asam lemak yang berbeda-beda. Untuk menentukan derajat ketidakjenuhan asam lemak yang terkandung di dalamnya diukur dengan menggunakan bilangan iodium. Iodium dapat bereaksi dengan ikatan rangkap dalam asam lemak. Tiap molekul iodium mengadakan reaksi adisi pada suatu ikatan rangkap. Oleh karena itu, makin banyak ikatan rangkap, makin banyak pula ikatan iodium yang dapat bereaksi.

¹¹⁵ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.59

Pada umumnya lemak apabila dibiarkan lama di udara akan menimbulkan bau dan rasa yang tidak enak. Hal ini disebabkan oleh proses hidrolisis yang menghasilkan asam lemak bebas. Di samping itu juga dapat terjadi proses oksidasi terhadap asam lemak tidak jenuh yang hasilnya akan menambah bau dan rasa tidak enak. Oksidasi asam lemak tidak jenuh akan menghasilkan peroksida dan selanjutnya akan terbentuk aldehida. Inilah yang menyebabkan bau dan rasa tidak enak atau tengik. Kelembaban udara, cahaya, suhu tinggi dan adanya bakteri perusak adalah faktor-faktor yang menyebabkan ketengikan lemak.

Pada suhu kamar, lemak hewan pada umumnya berupa zat padat, sedangkan lemak dari tumbuhan berupa zat cair¹¹⁶. Lemak yang mempunyai titik lebur tinggi mengandung asam lemak jenuh, sedangkan lemak yang mempunyai titik lebur rendah mengandung asam lemak tak jenuh. Contoh: Tristearin (ester gliserol dengan tiga molekul asam stearat) mempunyai titik lebur 71 °C, sedangkan triolein (ester gliserol dengan tiga molekul asam oleat) mempunyai titik lebur -17 °C. Lemak yang mengandung asam lemak rantai pendek larut dalam air, sedangkan lemak yang mengandung asam lemak rantai panjang tidak larut dalam air. Semua lemak larut dalam kloroform dan benzena. Alkohol panas merupakan pelarut lemak yang baik.

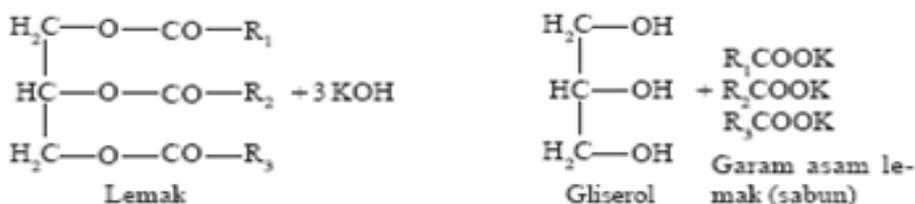
2) Sifat Kimia Lemak

- a) Reaksi Penyabunan atau Saponifikasi (Latin, *sapo* = sabun)

¹¹⁶ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*, (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2006). hal.43

Lemak dan minyak dapat mengalami ketengikan karena dapat terhidrolisis dan teroksidasi bila dibiarkan terlalu lama kontak dengan udara¹¹⁷. Hidrolisis yang paling umum adalah dengan alkali atau enzim lipase. Hidrolisis dengan alkali disebut penyabunan karena salah satu hasilnya adalah garam asam lemak yang disebut sabun¹¹⁸.

Reaksi umum:



Gambar 5.5. Reaksi Penyabunan Pada Lemak

Reaksi hidrolisis berguna untuk menentukan bilangan penyabunan. **Bilangan penyabunan** adalah bilangan yang menyatakan jumlah miligram KOH yang dibutuhkan untuk menyabun satu gram lemak atau minyak. Besar kecilnya bilangan penyabunan tergantung pada panjang pendeknya rantai karbon asam lemak atau dapat juga dikatakan bahwa besarnya bilangan penyabunan tergantung pada massa molekul lemak tersebut.

¹¹⁷ Ibid, hal.44

¹¹⁸ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.56

Contoh soal:

Berapakah bilangan penyabunan dari gliseril tristearat atau tristearin?

Jawab:



$$1 \text{ gram tristearin} = \text{mol}$$

$$\text{mol KOH} = \times = \text{mol}$$

$$\text{massa KOH yang dibutuhkan} = \text{mol KOH} \times M_r \text{ KOH}$$

$$= \text{mol} \times 56 \text{ g/mol}$$

$$= 0,18876 \text{ gram} = 188,76 \text{ miligram}$$

Massa KOH yang dibutuhkan adalah 188,76 miligram tiap 1 gram lemak tristearin. Jadi, bilangan penyabunan lemak tristearin adalah 188,76.

b) Halogenasi

Asam lemak tak jenuh, baik bebas maupun terikat sebagai ester dalam lemak atau minyak mengadisi halogen (I₂ atau Br₂) pada ikatan rangkapnya



Gambar 5.6. Struktur Reaksi Halogenasi

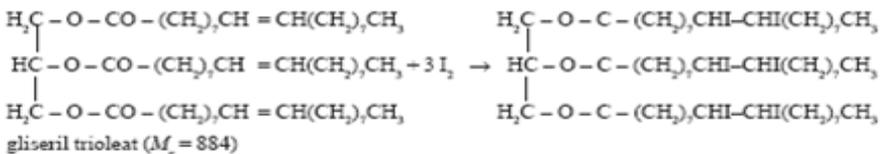
Karena derajat absorpsi lemak atau minyak sebanding dengan banyaknya ikatan rangkap pada asam lemaknya, maka jumlah halogen yang dapat bereaksi dengan lemak

dipergunakan untuk menentukan derajat ketidajenuhan. Untuk menentukan derajat ketidajenuhan asam lemak yang terkandung dalam lemak, diukur dengan bilangan yodium. **Bilangan yodium** adalah bilangan yang menyatakan banyaknya gram yodium yang dapat bereaksi dengan 100 gram lemak. Yodium dapat bereaksi dengan ikatan rangkap dalam asam lemak. Tiap molekul yodium mengadakan reaksi adisi pada suatu ikatan rangkap. Oleh karena itu makin banyak ikatan rangkap, maka makin besar pula bilangan yodium.

Contoh soal:

Hitunglah bilangan yodium dari gliseril trioleat (triolein)!

Jawab:



$$100 \text{ gram gliseril trioleat} = \quad \text{mol}$$

$$\text{jumlah I}_2 \text{ yang diperlukan} = \quad \times \quad \text{mol}$$

$$= \quad \text{mol}$$

$$\text{massa I}_2 = \quad \text{mol} \times 254 \text{ g/mol}$$

$$= 86,2 \text{ gram}$$

Jadi, bilangan yodium gliseril trioleat adalah 86,2.

c) Hidrogenasi

Sejumlah besar industri telah dikembangkan untuk merubah minyak tumbuhan menjadi lemak padat dengan cara hidrogenasi katalitik (suatu reaksi reduksi). Proses konversi minyak menjadi lemak dengan jalan hidrogenasi kadang-kadang lebih dikenal dengan proses pengerasan. Salah satu cara adalah dengan mengalirkan gas hidrogen dengan tekanan ke dalam tangki minyak panas (200 °C) yang mengandung katalis nikel yang terdispersi.

c. Fungsi Lemak¹¹⁹

Fungsi lemak umumnya yaitu sebagai sumber energi, bahan baku hormon, membantu transport vitamin yang larut lemak, sebagai bahan insulasi terhadap perubahan suhu, serta pelindung organ-organ tubuh bagian dalam. Sebuah penelitian pernah melaporkan bahwa hewan-hewan percobaan yang tidak mendapatkan jumlah lemak yang cukup dalam makanannya akan mengalami hambatan pertumbuhan, bahkan ada yang berhenti tumbuh dan akhirnya mati. Dalam saluran pencernaan, lemak dan minyak akan lebih lama berada di dalam lambung dibandingkan dengan karbohidrat dan protein, demikian juga proses penyerapan lemak yang lebih lambat dibandingkan unsur lainnya. Oleh karena itu, makanan yang mengandung lemak mampu

¹¹⁹Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.132

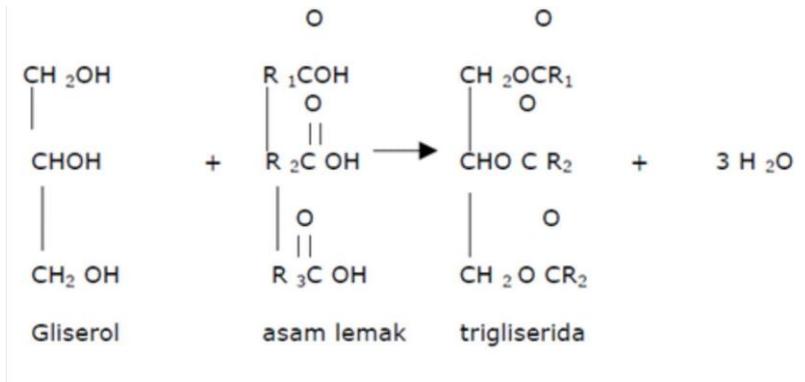
memberikan rasa kenyang yang lebih lama dibandingkan makanan yang kurang atau tidak mengandung lemak. Salah satu fungsi lemak memang untuk mensuplai sejumlah energi, dimana satu gram lemak mengandung 9 kalori, sedangkan 1 gram karbohidrat hanya mengandung 4 kalori. Fungsi lain dari lemak adalah untuk membantu absorpsi vitamin yang larut dalam lemak. Selain itu, lemak juga merupakan sumber asam-asam lemak esensial yang tidak dapat dihasilkan tubuh dan harus disuplai dari makanan. Lemak tubuh dalam jaringan lemak (jaringan adipose) mempunyai fungsi sebagai insulator untuk membantu tubuh mempertahankan temperaturnya, sedangkan pada wanita dapat memberikan kontur khas feminim seperti jaringan lemak di bagian bokong dan dada. Selain itu, lemak tubuh dalam jaringan lemak juga berperan sebagai bantalan yang melindungi organ-organ seperti bola mata, ginjal dan organ lainnya.

2. Triglicerida

Sebagian besar lemak dan minyak di alam terdiri atas 98-99% triglicerida. Triglicerida adalah suatu ester gliserol. Triglicerida terbentuk dari 3 asam lemak dan gliserol¹²⁰. Ketiga asam lemak itu dapat berasal dari jenis yang sama atau dapat pula berasal dari jenis yang berbeda dan tergolong ke dalam lemak sederhana yang

¹²⁰ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.134

sulit dihidrolisis oleh larutan asam atau basa¹²¹. Apabila terdapat satu asam lemak dalam ikatan dengan gliserol maka dinamakan monogliserida. Fungsi utama Trigliserida adalah sebagai zat energi. Trigliserida adalah sebuah gliserida, yaitu ester dari gliserol dan tiga asam lemak. Trigliserida merupakan penyusun utama minyak nabati dan lemak hewani.



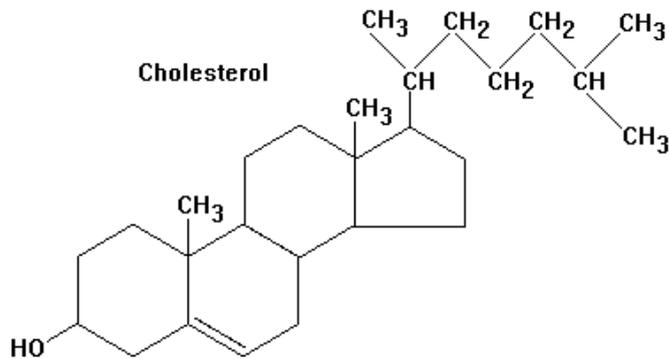
Gambar 5.7. Struktur Trigliserida

3. Kolesterol

Kolesterol adalah jenis lemak yang paling dikenal oleh masyarakat. Kolesterol merupakan komponen utama pada struktur selaput sel dan merupakan komponen utama sel otak dan saraf. Kolesterol merupakan bahan perantara untuk pembentukan sejumlah komponen penting seperti vitamin D (untuk membentuk & mempertahankan tulang yang sehat), hormon seks (contohnya Estrogen & Testosteron) dan

¹²¹ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.70

asam empedu (untuk fungsi pencernaan). Pembentukan kolesterol di dalam tubuh terutama terjadi di hati (50% total sintesis) dan sisanya di usus, kulit, dan semua jaringan yang mempunyai sel-sel berinti. Jenis-jenis makanan yang banyak mengandung kolesterol antara lain daging (sapi maupun unggas), ikan dan produk susu. Makanan yang berasal dari daging hewan biasanya banyak mengandung kolesterol, tetapi makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan tidak mengandung kolesterol.



Gambar.5.8. Struktur Kolesterol

4. Lipid Plasma

Pada umumnya lemak tidak larut dalam air, yang berarti juga tidak larut dalam plasma darah. Agar lemak dapat diangkut ke dalam peredaran darah, maka lemak tersebut harus dibuat larut dengan cara mengikatkannya pada protein yang larut dalam air. Ikatan antara lemak (kolesterol, trigliserida, dan fosfolipid) dengan protein ini disebut *Lipoprotein* (dari kata Lipo=lemak, dan protein). Ada beberapa jenis lipoprotein, antara lain;

Kilomikron, VLDL (Very Low Density Lipoprotein), IDL (Intermediate Density Lipoprotein), LDL (Low Density Lipoprotein), dan HDL (High Density Lipoprotein)

5. Asam Lemak

a) *Struktur*

Asam lemak adalah asam organik yang terdapat sebagai ester trigliserida atau lemak, baik yang berasal dari hewan ataupun dari tumbuhan. Asam ini adalah asam karboksilat dengan yang mempunyai rantai karbon panjang dengan rumus umum R-COOH, di mana R adalah rantai karbon yang jenuh (tidak mengandung ikatan rangkap) atau rantai karbon tidak jenuh (mengandung ikatan rangkap) dan pada umumnya asam lemak mempunyai jumlah atom karbon genap¹²².

Asam lemak atau residu asam lemak ketika mereka merupakan bagian dari lipid, adalah kelompok molekul lain yang disintesis dengan elongasi rantai asetil-KoA primer dengan malonil-KoA atau kelompok metilmalonil-KoA dalam proses yang disebut sintesis asam lemak. Mereka terbentuk dari rantai hidrokarbon yang diterminasi dengan gugus asam karboksilat; penataan ini membuat molekul memiliki ujung hidrofilik yang polar, dan ujung hidrofobik yang nonpolar yang tidak larut dalam air. Asam lemak dapat dibentuk dari senyawa-senyawa yang mengandung karbon seperti asam

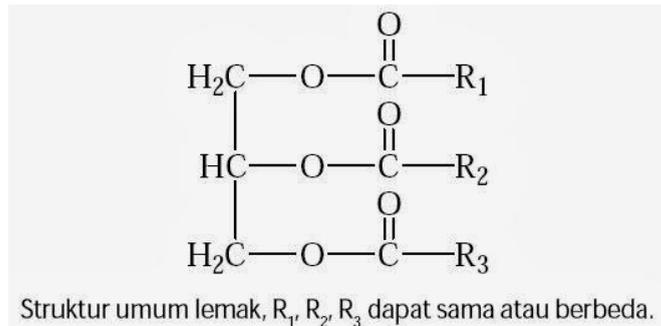
¹²² Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.52

asetat, asetaldehid, dan etanol yang merupakan hasil respirasi tanaman¹²³. Struktur asam lemak adalah salah satu dari kategori paling mendasar lipid biologis, dan banyak digunakan sebagai blok pembangun untuk sebagian besar lipid yang lebih kompleks. Rantai karbon, biasanya dengan panjang antara empat hingga 24 karbon, dapat bersifat jenuh maupun tak jenuh, dan dapat berikatan dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen, halogen, nitrogen, dan belerang.

Jika asam lemak mengandung ikatan rangkap, terdapat kemungkinan memiliki isomer geometri *cis* atau *trans*, yang berpengaruh terhadap konfigurasi molekul secara signifikan. Ikatan rangkap *cis* menyebabkan rantai asam lemak melengkung, dan berimbas pada pelipatgandaan ikatan rangkap dalam rantai karbon. Tiga ikatan rangkap dalam *asam linolenat* (C-18), rantai lemak asil yang paling melimpah dalam *membran tilakoid*, mengakibatkan membran ini sangat *fluid* meskipun suhu lingkungan rendah. Ini juga membuat asam linolenat mendominasi puncak-puncak tajam pada spektrum kloplas yang dianalisis menggunakan NMR C-13 resolusi tinggi. Ini pada gilirannya memainkan peran penting dalam struktur dan fungsi membran sel. Sebagian besar asam lemak alami mempunyai konfigurasi *cis*, meskipun bentuk *trans* nya ada

¹²³ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*, (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2006). hal.43

dalam beberapa lemak dan minyak alami atau yang telah dihidrogenasi parsial.



Gambar. 5.9. Struktur Umum Lemak

Contoh asam lemak yang penting secara biologis adalah eikosanoid, utamanya diturunkan dari asam arakidonat dan asam eikosapentaenoat, yang meliputi prostaglandin, leukotriena, dan tromboksana. Asam dokosaheksanoat juga penting dalam sistem biologis, terutama yang berhubungan dengan penglihatan. Kelas utama lain dalam kategori asam lemak adalah ester lemak dan amida lemak. Ester lemak meliputi zat-zat antara biokimia yang penting seperti ester lilin, turunan-turunan asam lemak tioester koenzim A, turunan-turunan asam lemak tioester ACP, dan asam lemak karnitin. Amida lemak meliputi senyawa N-asil etanolamina, seperti penghantar saraf kanabinoid anandamida.

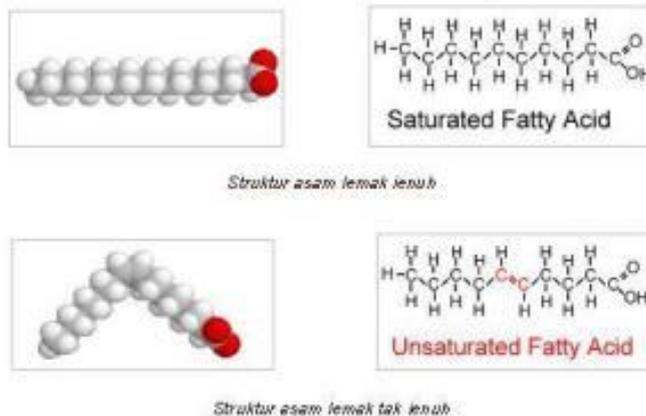
b) Penggolongan Asam Lemak

Menurut ada atau tidaknya ikatan rangkap yang terkandung dalam asam lemak, maka asam lemak

dapat digolongkan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh¹²⁴.

(1). Asam lemak jenuh (Tidak Mengandung Ikatan Rangkap), saturated Fatty Acid (SFA)

Asam lemak jenuh merupakan asam lemak yang tidak mempunyai ikatan rangkap pada strukturnya¹²⁵. Iktan tunggal atom karbon (C), di mana masing-masing atom C ini akan berikatan dengan atom H, contohnya adalah: asam butirat(C₄),asam kaproat(C₆),asam kaprotat(C₈) dan asam kaprat(C₁₀). Umumnya sampai denagan asam kaprat(C₁₀) ini bersifat cair dan mulai asam laurat sampai asam lignoserat bersifat padat¹²⁶.



Gambar 5.10. Struktur Asam Lemak Tak Jenuh

¹²⁴ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*, (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2006). hal.44

¹²⁵ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.74

¹²⁶ Ibid, hal.74

Asam lemak jenuh, yaitu asam lemak yang semua ikatan atom karbon pada rantai karbonnya berupa ikatan tunggal (jenuh). Contoh: asam laurat, asam palmitat, dan asam stearat.

Asam laurat

Asam laurat adalah asam lemak jenuh berantai sedang (MCFA) yang tersusun dari 12 atom C. Sumber utama asam lemak ini adalah minyak kelapa, yang dapat mengandung 50% asam laurat, serta minyak biji sawit (palm kernel oil). Sumber lain adalah susu sapi.

Rumus empiris : $(\text{CHO})_n$



Gambar.5.11. Struktur Asam Laurat

Rumus molekul : $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$

Sifat kimia Asam ini larut dalam pelarut polar, misalnya air, juga larut dalam lemak karena gugus hidrokarbon (metil) di satu ujung dan gugus karboksil di ujung lain. Perilaku ini dimanfaatkan oleh industri pencuci, misalnya pada sampo. Natrium laurilsulfat adalah turunan yang paling sering dipakai dalam industri sabun dan sampo. Pada Industri Kosmetik, Asam Laurat ini berfungsi sebagai Pengental, pelembab dan pelembut. Sifat fisika Asam laurat memiliki titik lebur $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan titik didih $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ sehingga pada

suhu ruang berwujud padatan berwarna putih, dan mudah mencair jika dipanaskan. Berat molekul 200,3 g.mol⁻¹. Indeks bias 1.432. densitas 0.880 g/cm³. Titik didih 43°C. titik didih 298.9 °C. viskositas 7.30 mPa.s pada 323°K. massa molar 200.31776.

Asam palmitat

Salah satu asam lemak yang paling mudah diperoleh adalah asam palmitat atau asam heksadekanoat. Sifat kimia dari asam palmitat adalah merupakan salah satu asam lemak yang tidak dapat larut dalam air¹²⁷. Tumbuh-tumbuhan dari famili Palmaceae, seperti kelapa (*Cocos nucifera*) dan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan sumber utama asam lemak ini. Minyak kelapa bahkan mengandung hampir semuanya palmitat (92%). Minyak sawit mengandung sekitar 50% palmitat. Produk hewani juga banyak mengandung asam lemak ini (dari mentega, keju, susu, dan juga daging).

Rumus empiris : (CHO)_n

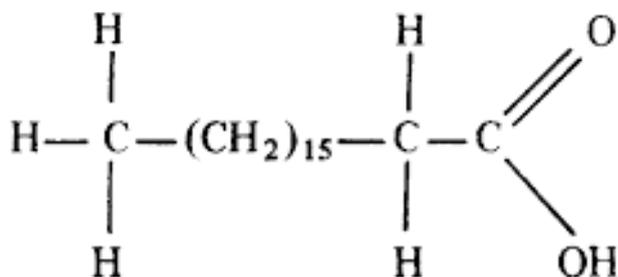
Rumus molekul : C₁₆H₃₂O₂

¹²⁷ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.55

rantai karbon¹²⁸. Wujudnya padat pada suhu ruang, dengan rumus kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$. Kata stearat berasal dari bahasa Yunani *stear*, yang berarti "lemak padat" (Ing. *tallow*). Asam stearat diproses dengan memperlakukan lemak hewan dengan air pada suhu dan tekanan tinggi. Asam ini dapat pula diperoleh dari hidrogenasi minyak nabati.

Rumus empiris : $(\text{CHO})_n$

Rumus molekul : $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$



Asam stearat

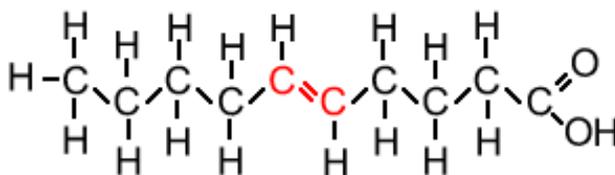
Gambar. 5.13. Struktur Asam Stearat

Sifat kimia tidak dapat larut dalam air, bersifat hidrolisis, dapat terhidrogenasi. Sifat fisika massa molar 284.48 g/mol. Berbentuk padatan putih, indeks bias 1.4299. densitas 0.847 g/cm³ pada suhu 70°C, dan titik leleh 69.9°C dengan titik didih 292°C

¹²⁸ Ibid, hal.55

(2). Asam Lemak tidak Jenuh (mengandung ikatan rangkap)

Asam lemak tidak jenuh tunggal merupakan asam lemak yang selalu mengandung 1 ikatan rangkap¹²⁹, 2 atom C dengan kehilangan paling sedikit 2 atom H. Contohnya Asam burat, Asam palmitoleat(C₁₂), dan Asam oleat(C₁₈) umumnya banyak terdapat pada lemak nabati atau hewani dan berwujud cair¹³⁰.



Unsaturated Fatty Acid

Gambar. 5.14. Struktur Asam Lemak Tak Jenuh
Golongan MUFA

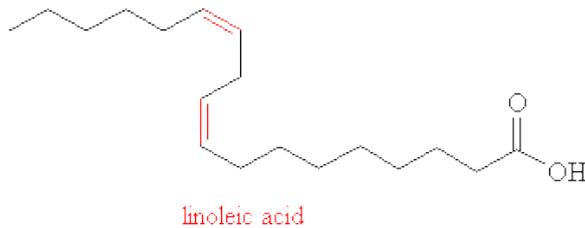
(3). Asam Lemak Tak Jenuh Poli (PUFA, Poly Unsaturated Fatty Acid)

Asam lemak tak jenuh dengan ikatan rangkap banyak merupakan asam lemak yang mengandung lebih dari 1 ikatan rangkap. Asam lemak ini akan kehilangan paling sedikit 4 atom H, contohnya asam

¹²⁹ Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.74

¹³⁰ Ibid, hal.74

lemak linoleat. Sifat kimia dari asam linoleat adalah tidak larut dalam air¹³¹.



Gambar. 5.16. Struktur Asam Linoleat

6. Gliserolipid

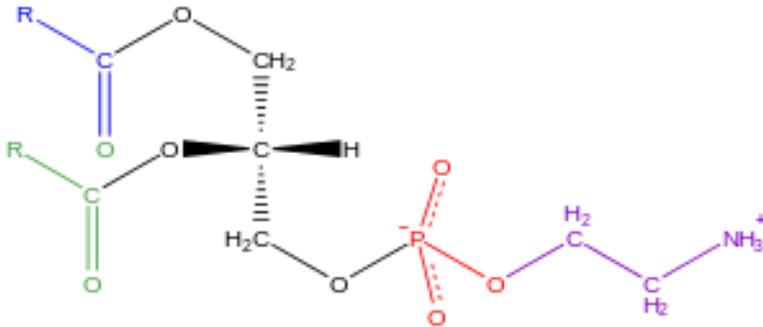
Gliserolipid tersusun atas gliserol tersubstitusi mono-, di-, dan tri-yang paling terkenal adalah triester asam lemak dari gliserol, disebut trigliserida, Istilah "triasilgliserol" terkadang digunakan sebagai sinonim "trigliserida". Dalam senyawa ini, tiga gugus hidroksil dari gliserol masing-masing mengalami esterifikasi, biasanya oleh asam lemak yang berbeda. Oleh karena berfungsi sebagai cadangan energi, lipid ini terdapat dalam sebagian besar cadangan lemak di dalam jaringan hewan. Hidrolisis ikatan ester pada trigliserida serta pelepasan gliserol dan asam lemak dari jaringan adiposa disebut "mobilisasi lemak".

Subkelas gliserolipid lainnya adalah glikosilgliserol, yang ditandai dengan keberadaan satu atau lebih residu gula yang melekat pada gliserol via ikatan glikosidik. Contoh struktur di dalam

¹³¹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.55

kategori ini adalah digalaktosildiasilgliserol yang dijumpai di dalam membran tumbuhan dan seminolipid dari sel sperma mamalia.

7. Gliserofosfolipid



Gambar.5.17. Struktur Fosfatidiletanolamina

Gliserofosfolipid, biasanya dirujuk sebagai fosfolipid, terdapat cukup banyak di alam dan merupakan komponen kunci lipid dwilapis dalam sel serta terlibat di dalam metabolisme dan sinyal komunikasi antar sel. Fosfolipid adalah lipid yang mengandung gugus ester fosfat dan satu tipe dengan fosfoglisericida erat berhubungan dengan lemak dan minyak¹³². Jaringan saraf, termasuk otak, mengandung cukup banyak gliserofosfolipid. Perubahan komposisi zat ini dapat mengakibatkan berbagai kelainan saraf. Glisero fosfolipid dapat dibagi menjadi beberapa kelas yang berbeda, berdasarkan sifat gugus kepala polar pada posisi *sn*-3

¹³² Fesenden dan Fessenden, *Kimia Organik* .(Jakarta: Erlangga;1986). Hal.413

kerangka gliserol dalam eukariota dan eubakteria, atau posisi *sn*-1 dalam kasus arkaebakteria.

Contoh gliserofosfolipid yang ditemukan di dalam membran biologis adalah fosfatidilkolina (juga dikenal sebagai PC, GPCho, atau lesitin), fosfatidiletanolamina (PE atau GPEtn), dan fosfatidilserin (PS atau GPSer). Selain berperan sebagai komponen primer membran sel dan tempat perikatan bagi protein intra- dan antarseluler, beberapa gliserofosfolipid di dalam sel-sel eukariotik, seperti fosfatidilinositol dan asam fosfatidat adalah prekursor, ataupun sendirinya adalah "kurir sekunder" yang diturunkan dari membran. Biasanya, satu atau kedua gugus hidroksil ini terasilasi dengan asam lemak berantai panjang, meski terdapat gliserofosfolipid yang terikat dengan alkil dan 1Z-alkenil (plasmalogen). Terdapat juga varian dialkileter pada arkaebakteria.

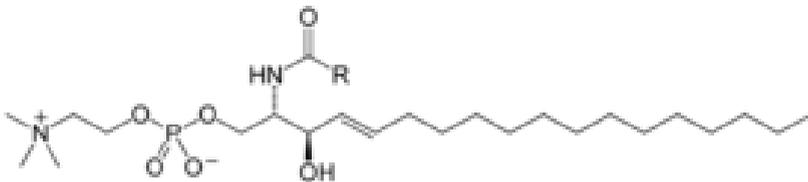
8. Sfingolipid

Senyawa yang termasuk golongan ini dapat dipandang sebagai derivat sfingosin atau mempunyai struktur yang mirip¹³³. Sfingolipid adalah keluarga senyawa-senyawa kompleks yang berbagi fitur struktural yang sama, yaitu kerangka dasar basa sfingoid yang disintesis secara *de novo* dari asam amino serina dan asil lemak KoA berantai panjang, yang kemudian diubah menjadi seramida,

¹³³ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.66

fosfosfingolipid, glisosfingolipid, dan senyawa-senyawa lainnya.

Basa sfingoid utama pada mamalia umumnya merujuk pada sfingosina. Seramida (basa N-asil-sfingoid) adalah subkelas utama turunan basa sfingoid dengan suatu asam lemak berikatan amida. Asam lemaknya biasanya adalah asam lemak jenuh atau tak jenuh tunggal dengan panjang rantai antara 16 dan 26 atom karbon. Sfingomielin adalah kelompok senyawa yang mempunyai rumus dan merupakan satu-satunya sfingolipid yang mengandung fosfat terutama terdapat dalam jaringan syaraf¹³⁴.



Gambar. 5.18. Struktur Sfingomielin

Nama sfingolipid diambil dari mitologi Yunani, *Spinx*, setengah wanita dan setengah singa yang membinasakan siapa saja yang tidak dapat menjawab teka-tekinya. Sfingolipid ditemukan oleh Johann Thudichum pada tahun 1874 sebagai teka-teki yang sangat rumit dari jaringan otak.

Sfingolipid adalah jenis lemak kedua yang ditemukan di dalam membran sel, khususnya pada sel saraf dan jaringan otak. Lemak ini tidak

¹³⁴ Ibid, hal.67

mengandung gliserol, tetapi dapat menahan dua gugus alkohol pada bagian tengah kerangka amina.

Fosfosfingolipid utama pada mamalia adalah sfingomielin (seramida fosfokolina), sementara pada serangga terutama mengandung seramida fosfoetanolamina dan pada fungi memiliki fitoseramida fosfoinositol dan gugus kepala yang mengandung manosa.

Glikosfingolipid adalah sekelompok molekul beraneka ragam yang tersusun dari satu residu gula atau lebih yang berikatan dengan basa sfingoid melalui ikatan glikosidik. Contohnya adalah glikosfingolipid sederhana dan kompleks seperti serebrosida dan gangliosida.

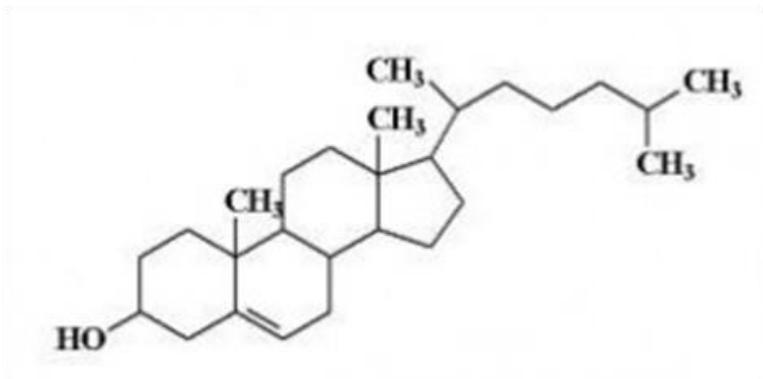
9. Lipid sterol

Sterol merupakan derivat lemak yang dapat berasal dari makanan dan dapat pula dibentuk oleh tubuh sendiri dan sterol yang terdapat dalam bahan makanan yang berasal dari hewan disebut dengan kolesterol¹³⁵. Lipid sterol, seperti kolesterol dan turunannya, adalah komponen penting dalam lipid membran, bersama dengan gliserofosfolipid dan sfingomielin. Steroid, semuanya diturunkan dari penyatuan struktur inti empat cincin yang sama, memiliki peran biologis yang bervariasi seperti hormon dan molekul pensinyalan. Steroid 18-karbon (C₁₈) meliputi keluarga estrogen, sementara steroid

^{135 135} Astuti Nafsiati, *Konsep Dasar Kimia*. (Malang: UIN Malang Press, 2009). hal.76

C₁₉ terdiri dari androgen seperti testosteron dan androsteron. Subkelas C₂₁ meliputi progestagen, juga glukokortikoid dan mineralokortikoid. Sekosteroid, terdiri dari beragam bentuk vitamin D, dikarakterisasi oleh perpecahan cincin B dari struktur inti. Contoh lain dari sterol adalah asam empedu dan konjugat-konjugatnya, yang pada mamalia merupakan turunan kolesterol yang teroksidasi dan disintesis di dalam hati. Cairan empedu ini mengandung billubirin yaitu zat warna yang terjadi dari penguraian hemoglobin, asam-asam empedu dalam bentuk garam empedu dan kolesterol. Asam-asam empedu yang terdapat dalam cairan empedu antara lain asam kolat, asam deoksikolat, dan asam litokolat.

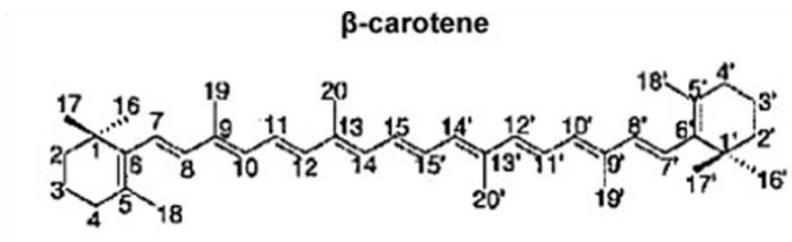
Pada tumbuhan, senyawa yang setara adalah fitosterol, seperti beta-Sitosterol, stigmasterol, dan brasikasterol; senyawa terakhir ini juga digunakan sebagai penanda biologis bagi pertumbuhan alga. Sterol dominan di dalam membran sel fungi adalah ergosterol.



Gambar.5.19. Struktur Fitosterol

10. Lipid prenol

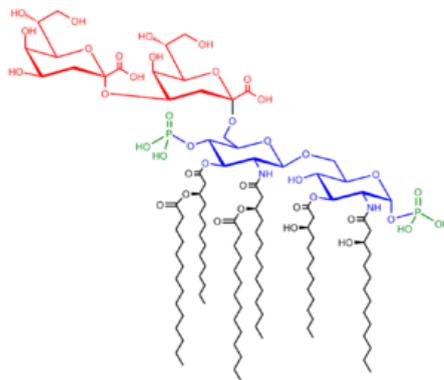
Lipid prenol disintesis dari prekursor berkarbon 5 isopentenil pirofosfat dan dimetilalil pirofosfat yang sebagian besar dihasilkan melalui jalur asam mevalonat (MVA). Isoprenoid sederhana (alkohol linear, difosfat, dan lain-lain) terbentuk dari adisi unit C5 secara terus menerus, dan diklasifikasi menurut banyaknya satuan terpena ini. Struktur yang mengandung lebih dari 40 karbon dikenal sebagai politerpena. Karotenoid adalah isoprenoid sederhana yang penting yang berfungsi sebagai antioksidan dan sebagai prekursor vitamin A. Contoh kelas molekul yang penting secara biologis lainnya adalah kuinon dan hidrokuinon, yang mengandung ekor isoprenoid yang melekat pada inti kuinonoid yang tidak berasal dari isoprenoid. Vitamin E dan vitamin K, juga ubikuinon, adalah contoh kelas ini. Prokariota mensintesis poliprenol (disebut baktoprenol) yang satuan isoprenoid terminalnya, yang melekat pada oksigen, tetap tak jenuh, sedangkan pada poliprenol hewan (dolikol) isoprenoid terminalnya telah direduksi.



Gambar.5.20. Struktur Beta Karoten

11. Sakarolipid

Residu glukosamina berwarna biru, residu Kdo berwarna merah, rantai asil berwarna hitam, dan gugus fosfat berwarna hijau. Sakarolipid (bahasa Inggris: *saccharolipid*, *glucolipid*) adalah asam lemak yang terikat langsung dengan kerangka gula^[44] dan membentuk struktur yang sesuai dengan membran dwilapis. Pada sakarolipid, monosakarida menggantikan kerangka gliserol pada gliserolipid dan gliserofosfolipid. Sakarolipid yang paling dikenal adalah prekursor glukosamina terasilasi dari komponen lipid A lipopolisakarida dalam bakteri gram-negatif. Molekul Lipid-A yang umum adalah disakarida dari glukosamina, yang diturunkan hingga tujuh rantai asil-lemak. Lipopolisakarida minimal yang diperlukan untuk pertumbuhan *E. coli* adalah Kdo₂-Lipid A, yakni disakarida yang terasilasi di enam lokasi pada gugus glukosamina dan diglikosilasikan dengan dua residu asam 3-deoksi-D-mano-oktulosonat (Kdo).



Gambar 5.21. Struktur sakarolipid Kdo₂-Lipid A

12. Poliketida

Poliketida disintesis melalui polimerisasi subunit asetil dan propionil oleh enzim klasik serta enzim iteratif dan multimodular yang berbagi fitur mekanistik dengan sintase asam lemak. Mereka terdiri dari sejumlah besar metabolit sekunder dan produk alami dari hewan, tumbuhan, bakteri, jamur dan sumber laut, serta memiliki keragaman struktural yang besar. Banyak poliketida adalah molekul siklik dengan kerangka yang sudah dimodifikasi lebih lanjut oleh glikosilasi, metilasi, hidroksilasi, oksidasi, dan/atau proses-proses lainnya. Kebanyakan anti mikroba, anti parasit, dan anti kanker yang digunakan adalah poliketida atau turunan poliketida, seperti eritromisin, tetrasiklin, avermektin, dan anti tumor epotilon.

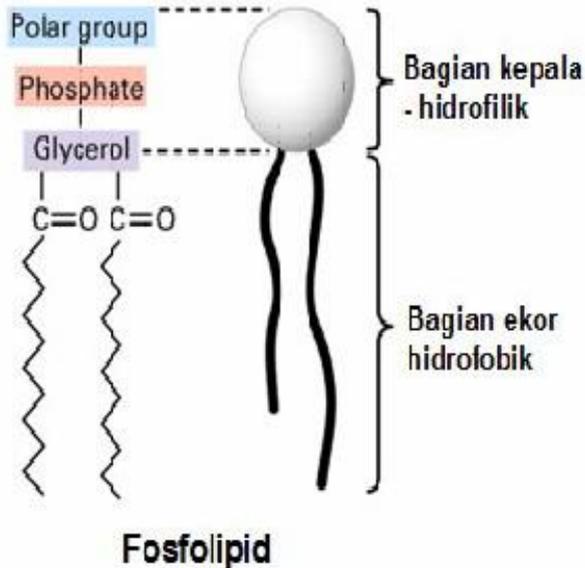
C. FUNGSI BIOLOGI LIPID

1. Membran Plasma

Sel eukariotik berada dalam organel berbatas membran yang melaksanakan fungsi biologis yang berbeda¹³⁶. Gliserofosfolipid adalah komponen struktural utama pada membran biologis, seperti membran plasma sel dan membran intrasel organel; dalam sel hewan membran plasma secara fisik memisahkan komponen intrasel dari lingkungan ekstrasel. Gliserofosfolipid adalah molekul amfipatik (mengandung daerah hidrofobik dan hidrofilik sekaligus) yang mengandung inti gliserol yang terikat

¹³⁶ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003).
hal.132

dengan "ekor" asam lemak yang diturunkan dari ikatan ester, dan satu "kepala" gugus fosfat.

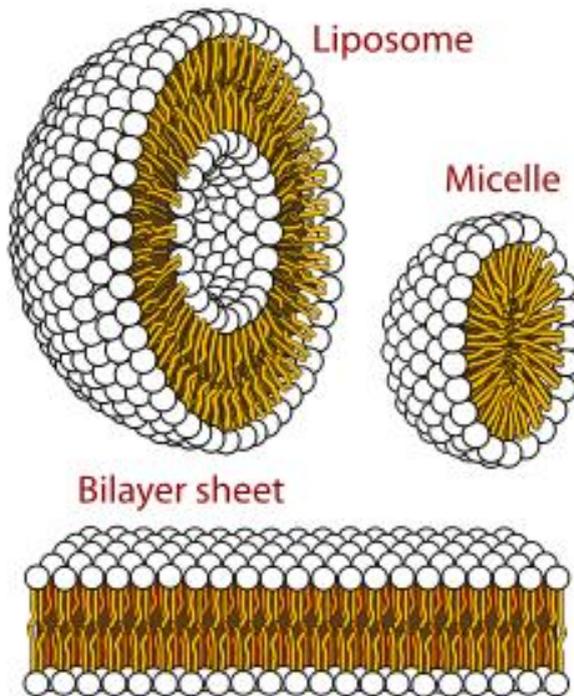


Gambar.5.22. Struktur Fosfolipid

Sementara gliserofosfolipid adalah komponen utama dari membran biologis, komponen non-gliserida lipid lainnya seperti sfingomielin dan sterol (terutama kolesterol di dalam membran sel hewani) juga ditemukan di membran biologis. Pada tumbuhan dan alga, galaktosildiasilgliserol, dan sulfokuinovosildiasilgliserol,^[19] yang tidak memiliki gugus fosfat, adalah komponen penting dari membran kloroplas dan organel terkait dan merupakan lipid yang paling melimpah di jaringan fotosintesis, termasuk tumbuhan tinggi, alga dan bakteri tertentu.

Membran tanaman tilakoid memiliki komponen lipid terbesar berupa non-dwilapis yang terbentuk dari

monogalaktosil digliserida (MGDG), dan fosfolipid kecil; meskipun komposisi lipid ini unik, membran tilakoid kloroplas telah terbukti mengandung matriks lipid dwilapis dinamis seperti yang terungkap dari studi resonansi magnetik dan mikroskop elektron.



Gambar.5.23. Fosfolipid: liposom sferis, misel, dan lipid dwilapis.

Membran biologis adalah suatu bentuk lipid dwilapis fase lamelar. Pembentukan lipid dwilapis adalah proses eksoterm ketika gliserofosfolipid yang dijelaskan di atas berada dalam lingkungan akuatik. Ini dikenal sebagai efek hidrofobik. Dalam sebuah sistem akuatik, kepala polar lipid menyelaraskan menuju lingkungan akuatik yang polar, sedangkan ekor hidrofobik meminimalkan kontak mereka

dengan air dan cenderung mengelompok bersama-sama, membentuk vesikel; tergantung pada konsentrasi lipid, interaksi biofisik ini dapat mengakibatkan pembentukan misel, liposom, dan lipid dwilapis. Agregasi lain juga diamati dan merupakan bagian dari perilaku polimorfisme amfifil (lipid). Perilaku fase adalah bidang studi dalam biofisika dan merupakan subjek penelitian akademis saat ini. Misel dan dwilapis terbentuk di media polar dengan proses yang dikenal sebagai efek hidrofobik. Ketika melarutkan zat lipofilik atau amfifilik dalam lingkungan polar, molekul polar (yaitu, air dalam larutan akuatik) menjadi lebih teratur di sekitar zat lipofilik terlarut, karena molekul polar tidak dapat membentuk ikatan hidrogen pada daerah lipofilik suatu amfifil. Jadi dalam lingkungan akuatik, molekul air membentuk suatu orde "kandang klatrat" di sekitar molekul lipofilik terlarut. Pembentukan lipid dalam membran protosel merupakan langkah kunci dalam model abiogenesis, asal usul kehidupan.

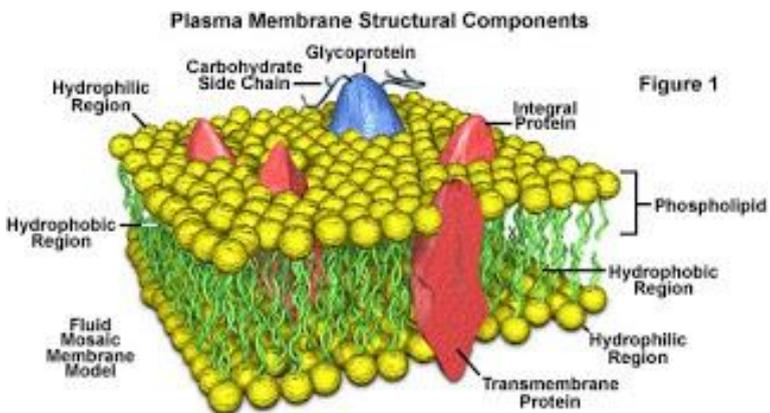
Membrane plasma yaitu bagian luar baik pada sel prokariotik maupun eukariotik yang memisahkan sel dengan lingkungan sekitarnya. Merupakan struktur yang tipis dan elastis. Tersusun dari lipida protein dan karbohidrat dengan komposisi : molekul molekul protein (50%-70%), fosfolipid (25%), kolesterol (13%) ; lipida lain (4%) , dan karbohidrat (3%), sedikit glikolipid, air dan ion.

Membran plasma tersusun atas struktur membran fosfolipid ganda (fosfolipid bilayer). Struktur Fosfolipid memiliki dua bagian yang berbeda, yaitu bagian protein yang bersifat hydrophilic (suka air) berupa kepala menghadap ke bagaian luar permukaan membran dan bagian lipida yang bersifat hydrophobic (menghindari

air) berupa ekor yang menghadap bagian internal membran. Oleh karena itu membran plasma bersifat selektif permeable. Selektif permeable berarti hanya dapat memasukan atau dilewati molekul tertentu saja. Struktur membran plasma juga dilengkapi dengan struktur protein:

Protein yang melekat (peripheral/ekstrinsik) yang hanya melekat pada permukaan membrane dan tidak menembus membrane. Bekerja sebagai protein pengangkut bahan-bahan kearah yang berlawanan dengan difusi yang sebenarnya. Protein ekstrinsik bergabung dengan permukaan luar membran.

Protein tertanam (integral/intrinsik) yang menonjol sepenuhnya dari membrane, mempunyai bagian hidrofobik maupun hidrofilik. Protein integral membentuk saluran structural (atau pori-pori) yang dilewati oleh bahan yang larut dalam air, terutama ion yang dapat berdifusi antara cairan ekstraseluler dan cairan intraseluler. Protein ini letaknya tenggelam di antara dua lapis fosfolipid. Protein intrinsik bergabung dengan membran dalam



Gambar.5.24. Struktur Komponen Membran Plasma

a. Struktur Membran Sel

Sel memiliki sistem penyimpanan materi di dalam sel yang serupa dengan suatu kontainer yang berupa membran plasma, suatu lapisan tipis yang tidak dapat diamati dengan mikroskop cahaya. Membran plasma ini memisahkan isi sel dari lingkungannya. Isi sel (cairan intra sel) berbeda dari lingkungan luarnya, misalnya dalam hal kandungan ion. Sistem kompartementasi dapat terjadi karena adanya sistem membran plasma (membran sel) yang mampu mencegah proses difusi atau perpindahan molekul-molekul tertentu dari dalam ke luar atau sebaliknya dari luar ke dalam sistem membran. Kompartementasi ini memungkinkan masing-masing organel mempunyai fungsi khusus. Semua membran sel secara umum tersusun oleh lipid dan protein, disamping juga karbohidrat dan memiliki struktur umum yang sama. Lipid, protein dan karbohidrat tersebut secara bersama menyusun membran plasma atau membran internal. Membran sel berupa selaput tipis, disebut juga *plasmalema*. Tebal membran antara 5-10 nm. Apabila diamati dengan mikroskop cahaya tidak terlihat jelas, tetapi keberadaannya dapat dibuktikan pada waktu sel mengalami *plasmolisis*.

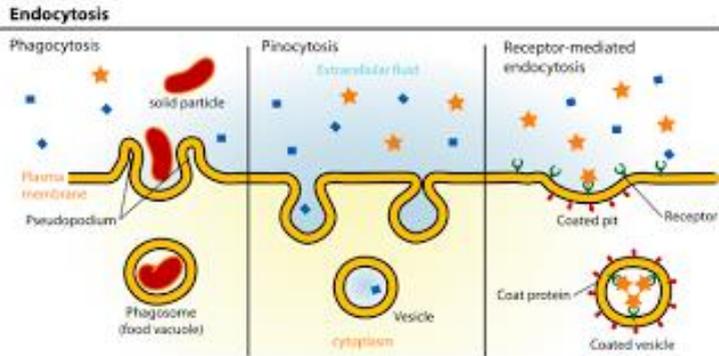
b. Fungsi Membran Plasma

Membran plasma mempunyai fungsi, sifat, struktur, dan sistem transport yang sangat penting bagi proses hidup suatu sel. Fungsi membran plasma yaitu untuk: membungkus sel, membatasi perluasan sel, sebagai filter yang sangat selektif, merupakan alat untuk transport aktif, mengontrol masuknya nutrisi dan keluarnya hasil metabolisme, menjaga perbedaan

konsentrasi ion di dalam dan di luar sel, serta sebagai sensor untuk sinyal-sinyal yang terdapat di luar sel.

c. Sifat Membran Plasma

Sifat utama membran sel adalah sangat dinamis. Sifat membran yang dinamis ini sangat tergantung pada struktur dari membran plasma itu. Sebagai contoh sifat membran yang tergantung pada strukturnya adalah adanya dua lapisan lemak yang menyusun membran (lipid bilayer). Membran lemak dapat terbentuk secara spontan dari campuran lipid dalam lingkungan air bila konsentrasi lipid melampaui nilai kritis tertentu. Bila jumlah lipid kurang dari konsentrasi kritis tersebut maka lipid larut dalam air. Karena senyawa lipid ini merupakan molekul-molekul amphipatik, maka bila dalam konsentrasi cukup tinggi molekul-molekul lipid tersebut secara spontan membentuk agregat berupa lapisan-lapisan lemak dua lapis. Lapisan panjang lipid ini secara spontan dapat putus atau bergabung kembali satu sama lain, sehingga di dalam air sering terbentuk balon-balon vesikula. Mengingat sebagian besar komponen sel adalah air, maka prinsip inipun rupanya juga berlaku di dalam sel dengan sistem kompartementasinya. Adanya sistem membran lemak di dalam sel memungkinkan sel untuk membelah diri tanpa kehilangan isi sel. Selain dari itu, juga memungkinkan terjadinya proses endositosis dan eksositosis, bahkan mengingat akan sifat fluiditas asam lemak penyusun membran sel, memungkinkan adanya gerak pindah tempat, meskipun sel tersebut sesungguhnya tidak mempunyai alat gerak.



Gambar.5.25. Mekanisme Endocytosis

d. Lipida membran plasma

Sekali lagi Lima puluh persen (50 %) dari komponen membran plasma adalah molekul lipid yang tidak larut dalam air, dan sangat mudah larut dalam pelarut organik, sedang sisa dari komponen tersebut sebagian besar adalah protein. Molekul-molekul lipid tersusun secara teratur sebagai dua lapisan lemak (lipida bilayer) setebal 5 nm. L lipid bilayer ini merupakan barrier yang semipermeabel untuk berbagai molekul yang larut dalam air. Ada tiga macam molekul lipid yang terdapat pada lipid membran yaitu; *phospolipid* (yang terbanyak), *cholesterol*, *glicolipid*.

Ketiga jenis lemak tersebut bersifat *amphipatic* atau *amphipilic*, yang berarti mempunyai dua sifat yaitu bersifat hidrophilic (senang pada air/polar), dan hidrophobic (tidak senang air/non-polar).¹³⁷

¹³⁷ Hawab, *Pengantar Biokimia*, (Bogor: Bayumedia Publishing, 2003). hal.133

Sebagai contoh, fosfolipid molekul mempunyai gugus kepala hidrophilic yang sifatnya non-polar yang dinamakan *hidrophobic hidrocarbon tail*. Sebagian fosfolipid dan glikolipid membentuk bilayer secara spontan apabila berada dalam lingkungan air. Sifat inilah yang menyebabkan membran sel dapat menutup kembali secara spontan apabila robek atau rusak. Sedangkan sifat penting lainnya dari membran plasma adalah fluiditasnya, oleh karena sifat ini sangat menentukan fungsi dari membran plasma.

e. Fluiditas Lipid Bilayer dan Keenceran

Lipid bilayer ditentukan oleh komposisinya yaitu; macam asam lemak (jenuh dan tidak jenuh), dan kolesterol. Makin banyak kandungan asam lemak tidak jenuh menyebabkan lapisan lipida makin encer. Membran plasma dapat mengalami perubahan fisika kimia (transisi fase) yaitu dari fase encer (*liquid state*) menjadi fase seperti agar (*gel state*). Jika membran banyak mengandung asam lemak tidak jenuh, perubahan fase encer menjadi fase gel lebih sukar terjadi, artinya untuk terjadinya perubahan fase memerlukan suhu yang lebih rendah.

f. Protein Membran Plasma

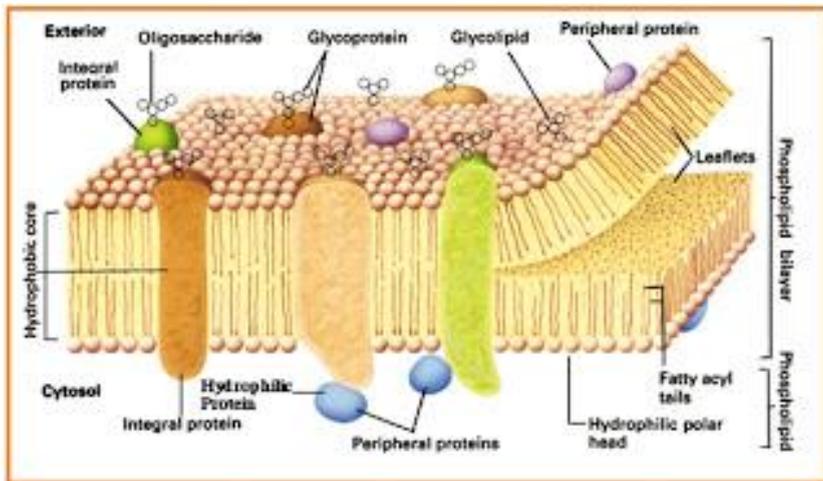
Walaupun struktur dasar dari membran adalah molekul lipid, namun fungsi fisiologis dan patologis dari membran disebabkan oleh adanya protein. Protein yang tertanam dalam lipid bilayer tersebut. Jumlah dan jenis protein yang terdapat dalam membran plasma bervariasi dari sel ke sel.

Molekul protein kebanyakan terlarut dalam lipid bilayer.

g. Karbohidrat Membran Plasma

Pada permukaan sel eukariotik didapatkan molekul karbohidrat pada permukaan selnya. Molekul yang banyak didapatkan adalah rantai polisakarida, rantai oligosakarida yang berikatan secara kovalen dengan membran protein, dan rantai oligosakarida yang secara kovalen berikatan dengan lipid (glikolipid). Jumlah karbohidrat dalam plasma membran berkisar antara 2 – 10 % dari seluruh berat membran. Pada membran plasma didapatkan juga proteoglikan molekul yang mengandung rantai yang panjang dari polisakarida terkait dengan protein membran dan didapatkan terutama pada bagian luar dari membran sebagai matriks eksternal. Sebagaimana protein membran, karbohidrat membran distribusinya juga tidak simetris karbohidrat yang sama tidak selalu ada pada permukaan dalam atau luar membran. Rantai karbohidrat dari glikolipid, glikoprotein dan proteoglikan pada membran sel atau membran internal selalu terletak pada membran nonsitoplasma. Pada membran plasma, karbohidrat terletak di bagian permukaan luar dari bilayer dan pada membran internal karbohidrat menghadap pada lumen dari kompartemen sel. Pada permukaan luar dari membran sel eukariotik terdapat daerah yang mengandung sangat kaya dengan karbohidrat, yang dapat ditunjukkan dengan memberikan pewarnaan ruthenium . Selaput ini dinamakan sebagai glikokaliks. Glikokaliks selain mengandung

karbohidrat, juga didapatkan glikoprotein dan proteoglikan yang disekresi sel dan diserap oleh permukaan luar membran plasma dan kemudian menjadi komponen dari matriks ekstra sel. Oligosakarida pada sisi luar membran plasma berbeda-beda dari satu spesies ke spesies lain, dan bahkan dari satu sel ke sel lainnya dalam satu individu. Keberagaman molekul dan lokasinya pada permukaan sel membuat oligosakarida dapat berfungsi sebagai penanda yang membedakan satu sel dari yang lain. Misalnya, empat kelompok darah manusia yang ditandai dengan A, B, AB, dan O mencerminkan keragaman oligosakarida pada permukaan sel darah merah.



Gambar.5.26. Struktur Glikoklaiks

2. Cadangan energi

Trigliserida, yang disimpan dalam jaringan adiposa, adalah bentuk utama cadangan energi baik dalam hewan maupun tumbuhan dan secara kimiawi lemak dan minyak adalah trigliserida¹³⁸, Adiposit, (bahasa Inggris: *adipocyte*) atau sel lemak, dirancang untuk melakukan sintesis dan pemecahan berkesinambungan trigliserida dalam hewan, dengan pengendali utama pemecahan adalah dengan mengaktivasi enzim yang peka terhadap hormon, lipase. Oksidasi lengkap asam lemak menghasilkan kalori tinggi, sekitar 9 kkal/g, dibandingkan dengan 4 kkal/g hasil pemecahan karbohidrat dan protein¹³⁹. Burung yang sedang bermigrasi dan harus menempuh jarak yang jauh tanpa makanan menggunakan energi yang disimpan dari trigliserida sebagai bahan bakar.

3. Pensinyalan

Dalam beberapa tahun terakhir, telah muncul bukti yang menunjukkan bahwa pensinyalan lipid adalah bagian penting dari pensinyalan sel. Pensinyalan lipid dapat terjadi melalui aktivasi pasangan protein G atau reseptor nuklir, dan anggota beberapa kategori lipid yang berbeda telah diidentifikasi sebagai molekul sinyal dan kurir sel. Ini termasuk sfingosina-1-fosfat, suatu sfingolipid yang diturunkan dari seramida yang merupakan molekul kurir potensial yang terlibat dalam mengatur mobilisasi kalsium,^[62] pertumbuhan sel, dan apoptosis; diasilgliserol (DAG) dan fosfat fosfatidilinositol (PIPs), yang terlibat dalam aktivasi protein kinase C yang dimediasi oleh kalsium;¹ prostaglandin, yang merupakan salah satu jenis

¹³⁸ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*, (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2006). hal.44

¹³⁹Ibid, hal.44

asam lemak yang diturunkan dari eikosanoid yang terlibat dalam peradangan dan imunitas, hormon steroid seperti sebagai estrogen, testosteron dan kortisol, yang memodulasi sejumlah fungsi seperti reproduksi, metabolisme dan tekanan darah; serta oksisterol seperti 25-hidroksi-kolesterol yang merupakan reseptor liver X agonis. Lipid fosfatidilserina yang diketahui terlibat dalam pensinyalan untuk fagositosis sel dan/atau potongan sel apoptosis. Mereka melakukannya dengan memaparkan bagian luar membran sel setelah inaktivasi flipase yang menempatkan mereka secara eksklusif di sisi sitosol dan aktivasi skramblase, yang berebut orientasi fosfolipid. Setelah ini terjadi, sel-sel lain mengenali fosfatidilserina dan memfagositasi sel atau fragmen sel yang memapar mereka.

Fungsi lainnya Vitamin yang larut dalam lemak (A, D, E and K) yang merupakan lipid berbasis isoprena – adalah nutrisi esensial yang disimpan di dalam liver dan jaringan lemak, dengan fungsi yang beragam. Asil-karnitin terlibat dalam transportasi dan metabolisme asam lemak di dalam dan di luar mitokondria, tempat mereka mengalami oksidasi beta.

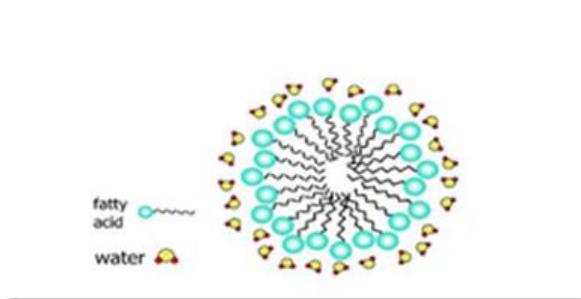
Poliprenol dan turunannya yang terfosforilasi juga memainkan peran transportasi penting, dalam kasus ini adalah transportasi oligosakarida melalui membran. Gula poliprenol fosfat dan gula poliprenol difosfat berfungsi dalam reaksi glikosilasi di luar sitoplasma, dalam biosintesis polisakarida ekstrasel (misalnya, polimerisasi peptidoglikan dalam bakteri), dan dalam N-glikosilasi protein eukariotik. Kardiolipin adalah subkelas gliserofosfolipid yang mengandung empat rantai asil dan tiga gugus gliserol yang cukup melimpah dalam membran dalam mitokondria. Mereka dipercaya dapat mengaktivasi

enzim yang terlibat dalam fosforilasi oksidatif. Lipid juga merupakan dasar dari pembentukan hormon steroid.

D. METABOLISME LIPID

1. Metabolisme Lipid

Lipid yang kita peroleh sebagai sumber energi utamanya adalah dari lipid netral, yaitu trigliserid (ester antara gliserol dengan 3 asam lemak)¹⁴⁰. 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. Pencernaan lemak terutama terjadi dalam usus karena dalam mulut dan lambung tidak terdapat enzim lipase yang dapat menghidrolisis lemak dan di dalam usus diubah dalam bentuk emulsi dan dicerna oleh enzim steapsin dalam cairan pancreas dan hasil akhir proses pencernaan lemak adalah asam lemak, gliserol, monogliserida, digliserida serta sisa trigliserida¹⁴¹.



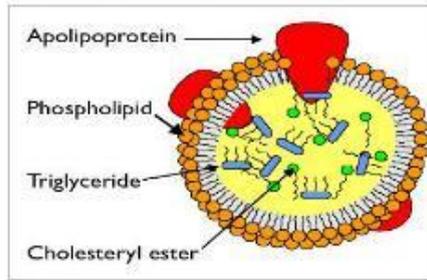
Gambar.5.27. Struktur Lipid Dalam Air

¹⁴⁰ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.52

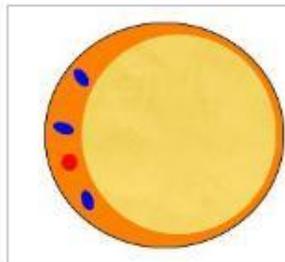
¹⁴¹ Ibid, hal.276

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.

Di dalam sel-sel hati dan jaringan lemak, kilomikron 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 lemak 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).



Struktur kilomikron. Perhatikan fungsi kilomikron sebagai pengangkut trigliserida



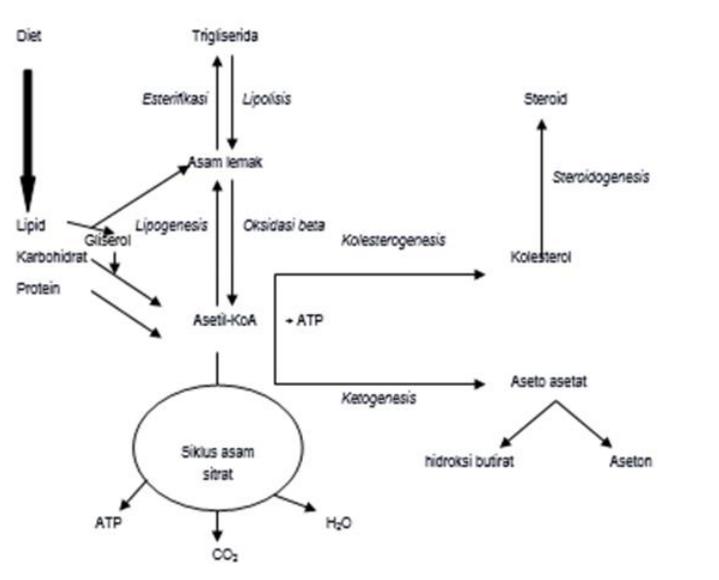
Simpanan trigliserida pada sitoplasma sel jaringan adiposa

Gambar. 5.27. Struktur Kilomikron

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 196etabo. Di sisi lain, jika kebutuhan 196etabo sudah mencukupi, asetil KoA dapat mengalami lipogenesis menjadi asam lemak dan selanjutnya dapat disimpan sebagai trigliserida.

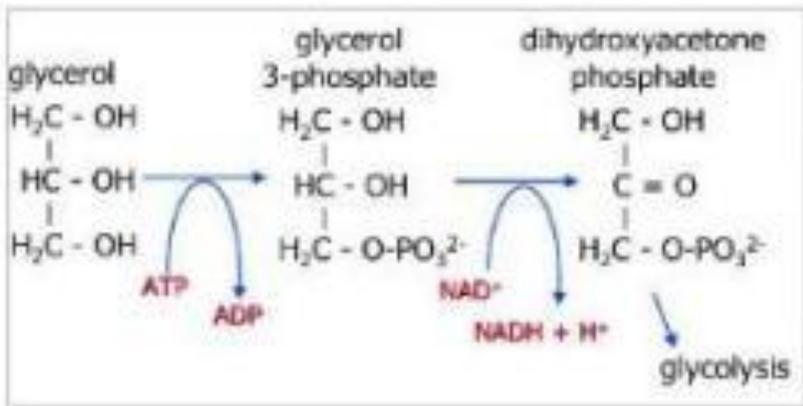
Beberapa lipid non gliserida disintesis dari asetil KoA. Asetil KoA mengalami kolesterogenesis menjadi kolesterol. Selanjutnya kolesterol mengalami steroidogenesis membentuk steroid. Asetil KoA sebagai hasil oksidasi asam lemak juga berpotensi menghasilkan badan-badan keton (aseto asetat, hidroksi butirir dan aseton). Proses ini dinamakan ketogenesis. Badan-badan keton dapat menyebabkan gangguan keseimbangan asam-basa yang dinamakan asidosis 196etabolic. Keadaan ini dapat menyebabkan kematian.



Gambar.5.28. Mekanisme Metabolisme Lipid

2. Metabolisme Gliserol

Gliserol sebagai hasil hidrolisis lipid (trigliserida) dapat menjadi sumber energi. Gliserol diubah oleh sel menjadi hidroksi aseton fosfat¹⁴². 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.



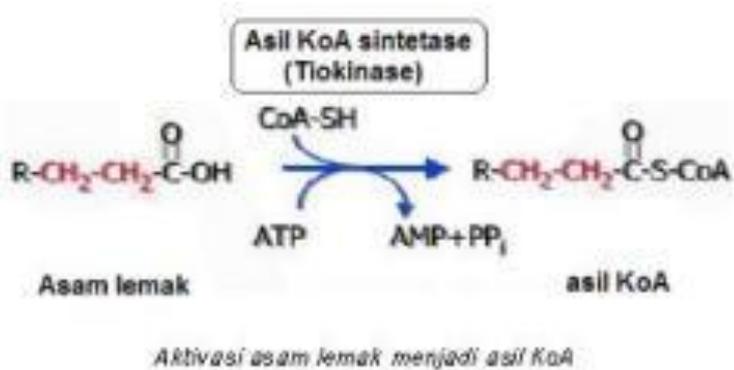
Reaksi-reaksi kimia dalam metabolisme gliserol

Gambar.5.29. Reaksi-Reaksi Kimia Dalam Metabolisme Gliserol

¹⁴² Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati.* (Bandung. :ITB, 1992).hal.419

3. Oksidasi asam lemak (oksidasi beta)

Untuk memperoleh energi, asam lemak dapat dioksidasi dalam proses yang dinamakan oksidasi beta¹⁴³. Sebelum dikatabolisir dalam oksidasi beta, asam lemak harus diaktifkan terlebih dahulu menjadi asil-KoA¹⁴⁴. Dengan adanya ATP dan Koenzim A, asam lemak diaktifkan dengan dikatalisir oleh enzim asil-KoA sintetase (Tiokinase).



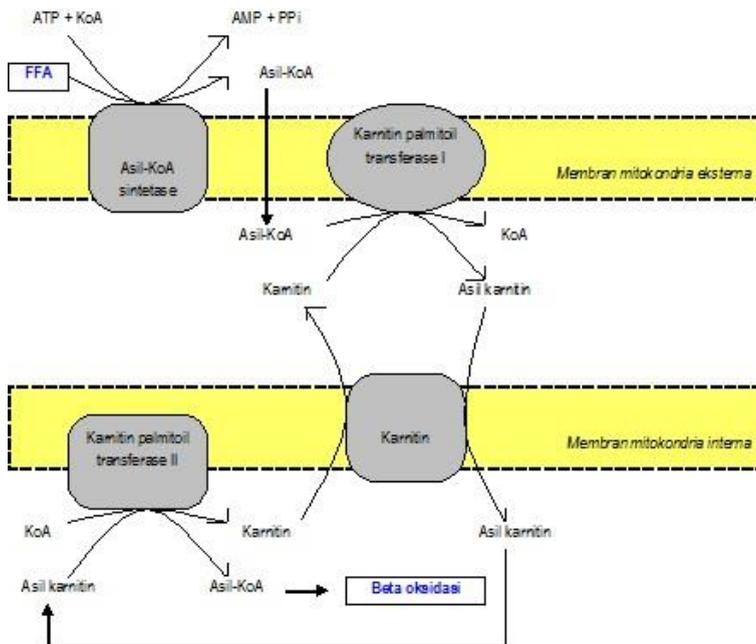
Gambar.5.30. Aktivasi Asam Lemak Menjadi Asil.Ko.A

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 $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{COO}^-$.

¹⁴³ Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati.* (Bandung. :ITB, 1992).hal.414

¹⁴⁴Ibid, .hal.414

Asam lemak maupun CoA tidak cukup berenergi untuk membentuk asil-lemak-CoA secara langsung sehingga sel menaikkan kereaktifan kimia dari gugus karboksil asam lemak dan menginvestasikan ATP. Gugus trifosfat dari molekul ATP diputuskan untuk menghasilkan pirofosfat dan sisanya yaitu adenosine monofosfat membentuk ikatan anhidrida berenergi tinggi dengan asam lemak dan dapat dipecah oleh reaksi dengangugus tiol dari CoA.

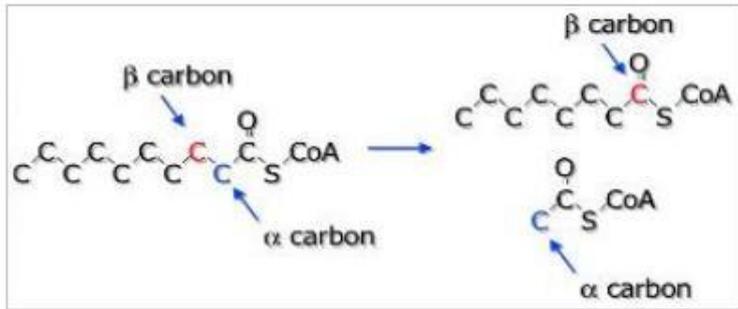


Gambar.5.31. Mekanisme Transpor Asil KoA Ke dalam Mitokondria

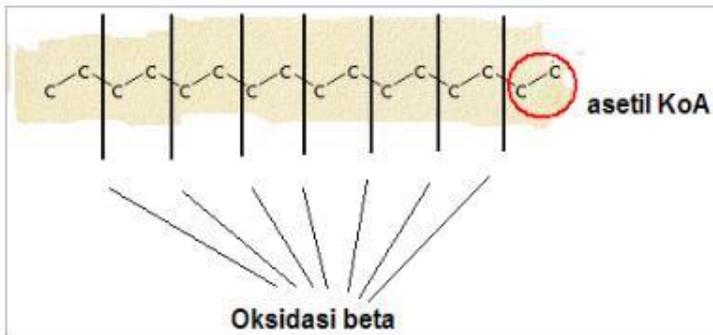
Langkah-langkah masuknya asil KoA ke dalam mitokondria dijelaskan sebagai berikut:

- a. Asam lemak bebas (FFA) diaktifkan menjadi asil-KoA dengan dikatalisir oleh enzim tiokinase.
- b. Setelah menjadi bentuk aktif, asil-KoA dikonversikan oleh enzim karnitin palmitoil transferase I yang terdapat pada membran eksterna mitokondria menjadi asil karnitin.
- c. Setelah menjadi asil karnitin, barulah senyawa tersebut bisa menembus membran interna mitokondria.
- d. Pada membran interna mitokondria terdapat enzim karnitin asil karnitin translokase yang bertindak sebagai pengangkut asil karnitin ke dalam dan karnitin keluar.
- e. Asil karnitin yang masuk ke dalam mitokondria selanjutnya bereaksi dengan KoA dengan dikatalisir oleh enzim karnitin palmitoiltransferase II yang ada di membran interna mitokondria menjadi Asil Koa dan karnitin dibebaskan.
- f. Asil KoA yang sudah berada dalam mitokondria ini selanjutnya masuk dalam proses oksidasi beta.

Dalam oksidasi beta, asam lemak masuk ke dalam rangkaian siklus dengan 5 tahapan proses dan pada setiap proses, diangkat 2 atom C dengan hasil akhir berupa asetil KoA. Selanjutnya asetil KoA masuk ke dalam siklus asam sitrat. Dalam proses oksidasi ini, karbon β asam lemak dioksidasi menjadi keton.



Oksidasi karbon β menjadi keton



Keterangan:

Frekuensi oksidasi β adalah ($\frac{1}{2}$ jumlah atom C)-1

Jumlah asetil KoA yang dihasilkan adalah ($\frac{1}{2}$ jumlah atom C)

Oksidasi asam lemak dengan 16 atom C. Perhatikan bahwa setiap proses pemutusan 2 atom C adalah proses oksidasi β dan setiap 2 atom C yang diputuskan adalah asetil KoA.

Gambar.5.32. Bagan Mekanisme Oksidasi Beta

Telah dijelaskan bahwa asam lemak dapat dioksidasi jika diaktifkan terlebih dahulu menjadi asil-KoA. Proses aktivasi ini membutuhkan energi sebesar 2P. (-2P). Setelah berada di dalam mitokondria, asil-KoA akan mengalami tahap-tahap perubahan sebagai berikut:

- a. Asil-KoA diubah menjadi delta2-trans-enoil-KoA. Pada tahap ini terjadi rantai respirasi dengan menghasilkan energi 2P (+2P)
- b. delta2-trans-enoil-KoA diubah menjadi L(+)-3-hidroksi-asil-KoA
- c. L(+)-3-hidroksi-asil-KoA diubah menjadi 3-Ketoasil-KoA. Pada tahap ini terjadi rantai respirasi dengan menghasilkan energi 3P (+3P)
- d. Selanjutnya terbentuklah asetil KoA yang mengandung 2 atom C dan asil-KoA yang telah kehilangan 2 atom C.
- e. Dalam satu oksidasi beta dihasilkan energi 2P dan 3P sehingga total energi satu kali oksidasi beta adalah 5P. Karena pada umumnya asam lemak memiliki banyak atom C, maka asil-KoA yang masih ada akan mengalami oksidasi beta kembali dan kehilangan lagi 2 atom C karena membentuk asetil KoA.
- f. Demikian seterusnya hingga hasil yang terakhir adalah 2 asetil-KoA.
- g. Asetil-KoA yang dihasilkan oleh oksidasi beta ini selanjutnya akan masuk siklus asam sitrat.

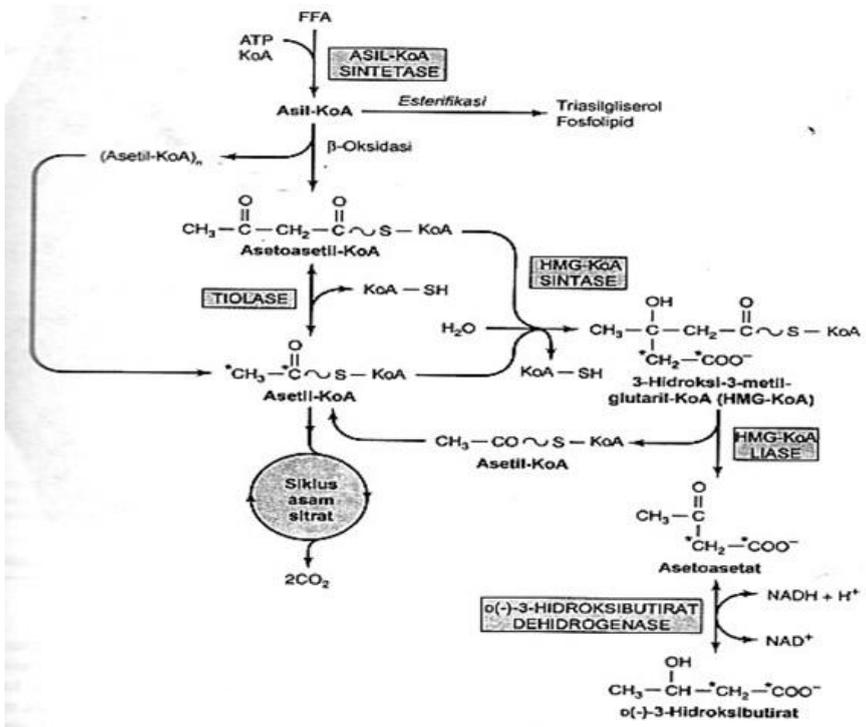
4. Penghitungan Energi Hasil Metabolisme Lipid

Dari uraian di atas kita bisa menghitung energi yang dihasilkan oleh oksidasi beta suatu asam lemak. Misalnya tersedia sebuah asam lemak dengan 10 atom C, maka kita memerlukan energi 2 ATP untuk aktivasi, dan energi yang di hasilkan oleh oksidasi beta adalah 10 dibagi 2 dikurangi 1, yaitu 4 kali oksidasi beta, berarti hasilnya adalah $4 \times 5 = 20$ ATP. Karena asam lemak memiliki 10 atom C, maka asetil-KoA yang terbentuk adalah 5 buah.

Setiap asetil-KoA akan masuk ke dalam siklus Krebs yang masing-masing akan menghasilkan 12 ATP,

sehingga totalnya adalah $5 \times 12 \text{ ATP} = 60 \text{ ATP}$. Dengan demikian sebuah asam lemak dengan 10 atom C, akan dimetabolisir dengan hasil -2 ATP (untuk aktivasi) + 20 ATP (hasil oksidasi beta) + 60 ATP (hasil siklus Kreb's) = 78 ATP .

Sebagian dari asetil-KoA akan berubah menjadi asetoasetat, selanjutnya asetoasetat berubah menjadi hidroksi butirat dan aseton. Asetoasetat, hidroksi butirat dan aseton dikenal sebagai badan-badan keton. Proses perubahan asetil-KoA menjadi benda-benda keton dinamakan ketogenesis.



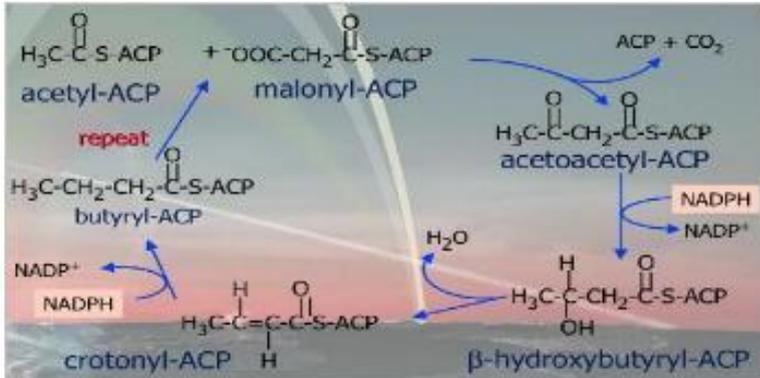
Gambar.5.33.Mekanisme Ketogenesis

Sebagian dari asetil KoA dapat diubah menjadi kolesterol (prosesnya dinamakan kolesterogenesis) yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan untuk disintesis menjadi steroid (prosesnya dinamakan steroidogenesis).

5. Sintesis asam lemak

Sintesis asam lemak merupakan kebalikan dari jalur penguraian asam lemak yang terjadi dalam mitokondria¹⁴⁵. Makanan bukan satu-satunya sumber lemak kita. Semua organisme dapat men-sintesis asam lemak sebagai cadangan energi jangka panjang dan sebagai penyusun struktur membran. Pada manusia, kelebihan asetil KoA dikonversi menjadi ester asam lemak. Sintesis asam lemak sesuai dengan degradasinya (oksidasi beta). Sintesis asam lemak terjadi di dalam sitoplasma. ACP (acyl carrier protein) digunakan selama sintesis sebagai titik pengikatan. Semua sintesis terjadi di dalam kompleks multi enzim-fatty acid synthase. NADPH digunakan untuk sintesis. Tahap-tahap sintesis asam lemak ditampilkan pada skema berikut.

¹⁴⁵ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.287



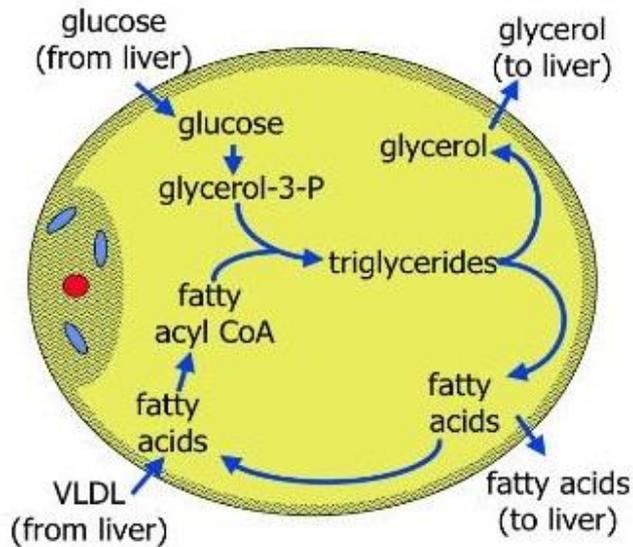
Tahap-tahap sintesis asam lemak

Gambar.5.34. Tahap-Tahap Sintesis Asam Lemak

Penyimpanan lemak dan penggunaannya kembali Asam-asam lemak akan disimpan jika tidak diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Tempat penyimpanan utama asam lemak adalah jaringan adiposa. Adapun tahap-tahap penyimpanan tersebut adalah: Asam lemak ditransportasikan dari hati sebagai kompleks VLDL.

Asam lemak kemudian diubah menjadi trigliserida di sel adiposa untuk disimpan.

Gliserol 3-fosfat dibutuhkan untuk membuat trigliserida. Ini harus tersedia dari glukosa. Akibatnya, kita tak dapat menyimpan lemak jika tak ada kelebihan glukosa di dalam tubuh.



Gambar.5.34. Tahap-Tahap Penyimpanan Asam Lemak

Jika kebutuhan energi tidak dapat tercukupi oleh karbohidrat, maka simpanan trigliserida ini dapat digunakan kembali. Trigliserida akan dipecah menjadi gliserol dan asam lemak. Gliserol dapat menjadi sumber energi (lihat metabolisme gliserol). Sedangkan asam lemak pun akan dioksidasi untuk memenuhi kebutuhan energi pula.

E. RANGKUMAN

Kata lemak berasal dari bahasa Yunani (Greece) yaitu *lipos*. Sedangkan dalam bahasa Inggris berarti *lipid*. Secara umum lemak merupakan senyawa organik yang tidak larut dalam air tetapi dapat diekstraksi dengan pelarut non polar seperti kloroform, eter dan benzena. Pengertian ini didasarkan dari salah satu kesepakatan Kongres Internasional Kimia Murni dan Terapan (*International Congress of Pure and Applied*

Chemistry) karena sukarnya memberikan definisi yang jelas tentang lemak. Senyawa-senyawa lemak tidak memiliki rumus struktur yang sama dan sifat kimia serta biologinya juga bervariasi. Karena itu dibuat kesepakatan tentang lemak yang didasarkan pada sifat fisika lemak seperti di atas. Lipida adalah senyawa organik yang mempunyai sifat mudah larut dalam pelarut organik, tetapi tidak larut dalam air.

Lipid adalah kelompok molekul alami yang meliputi lemak, lilin, sterol, vitamin yang larut dalam lemak (seperti vitamin A, D, E, dan K), monogliserida, digliserida, trigliserida, fosfolipid, dan lain-lain. Fungsi biologis utama lipid termasuk menyimpan energi, pensinyalan, dan bertindak sebagai komponen pembangun membran sel. Lipid memiliki aplikasi dalam industri kosmetik dan makanan serta dalam nanoteknologi.

Ada beberapa cara penggolongan yang dikenal, Bloor membagi lipid dalam tiga golongan yaitu; 1) Lipid Sederhana, yaitu ester asam lemak dengan berbagai alkohol contohnya lemak atau gliserida dan lilin; (2) Lipid gabungan, yaitu ester asam lemak yang mempunyai gugus tambahan, contohnya fosfolipid, dan serebrosida; (3) derivat lipid, yaitu senyawa yang dihasilkan dari hasil hidrolisis lipid contohnya asam lemak, gliserol, dan sterol. Disamping itu berdasarkan sifat kimia yang penting, lipid dapat dibagi dalam dua golongan yaitu; lipid yang dapat disabunkan, yakni dapat dihidrolisis dengan basa, contohnya lemak, dan lipid yang tidak dapat disabunkan, contohnya steroid.

Senyawa-senyawa yang termasuk dalam lipid ini terbagi dalam beberapa golongan. Secara umum lipid digolongkan dalam tiga golongan besar yaitu: (1) Lipid sederhana yaitu ester asam lemak dengan berbagai alkohol, contohnya lemak/gliserida dan lilin; (2) lipid gabungan yaitu ester asam

lemak yang mempunyai gugus tambahan yaitu fosfolipid dan serebrosida; (3) derivat lipid yaitu senyawa yang dihasilkan oleh proses hidrolisis lipid, contohnya asam lemak, gliserol, dan sterol. Disamping itu berdasarkan sifat kimianya, lipid dibagi dalam dua golongan besar yaitu lipid yang disabunkan, yakni dapat dihidrolisis dengan basa, contohnya lemak, dan lipid yang tidak dapat disabunkan, contohnya steroid.

Lemak, disebut juga lipid adalah suatu zat yang kaya akan energi, berfungsi sebagai sumber energi yang utama untuk proses metabolisme tubuh. Lemak yang beredar di dalam tubuh diperoleh dari dua sumber yaitu dari makanan dan hasil produksi organ hati, yang bisa disimpan di dalam sel-sel lemak sebagai cadangan energi.

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. Pencernaan lemak terutama terjadi dalam usus karena dalam mulut dan lambung tidak terdapat enzim lipase yang dapat menghidrolisis lemak dan di dalam usus diubah dalam bentuk emulsi dan dicerna oleh enzim steapsin dalam cairan pancreas dan hasil akhir proses pencernaan lemak adalah asam lemak, gliserol, monogliserida, digliserida serta sisa trigliserida.

Bab 6 ENZIM

A. DEFINISI DAN SIFAT ENZIM

Enzim adalah protein yang berfungsi sebagai biokatalisator, senyawa yang meningkatkan kecepatan reaksi kimia¹⁴⁶. Enzim merupakan biokatalisator organik yang dihasilkan organisme hidup di dalam protoplasma, yang terdiri atas protein atau suatu senyawa yang berikatan dengan protein. Suatu enzim bekerja secara khas terhadap suatu substrat tertentu dan inilah yang menjadi ciri khas enzim¹⁴⁷. Enzim disintesis dalam bentuk calon enzim yang tidak aktif, kemudian diaktifkan dalam lingkungan pada kondisi yang tepat. Misalnya, tripsinogen yang disintesis dalam pankreas, diaktifkan dengan memecah salah satu peptidanya untuk membentuk enzim tripsin yang aktif. Bentuk enzim yang tidak aktif ini disebut zimogen. Enzim merupakan katalisator pada semua reaksi yang terjadi di dalam sel.

¹⁴⁶Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati*. (Bandung: ITB, 1992).hal.242

¹⁴⁷Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.142

Sifat enzim sebagai katalis, yaitu:

- a. Enzim hanya mengubah kecepatan reaksi. Artinya enzim tidak mengubah produk akhir yang dibentuk atau mempengaruhi keseimbangan reaksi, hanya meningkatkan laju suatu reaksi.
- b. Efektif, kecepatan reaksi lebih tinggi dengan faktor 10⁶-10¹² kali.
- c. Tepat, kerja enzim memiliki kapasitas pengaturan yang baik.
- d. Spesifik, substrat dan produk yang dihasilkan spesifik dan tanpa terjadinya reaksi maupun produk samping. Enzim bekerja secara spesifik Artinya enzim hanya mempengaruhi substrat tertentu saja.
- e. Enzim merupakan protein. Oleh karena itu, enzim memiliki sifat seperti protein. Antara lain bekerja pada suhu optimum, umumnya pada suhu kamar. Enzim akan kehilangan aktivitasnya karena pH yang terlalu asam atau basa kuat, dan pelarut organik. Selain itu, panas yang terlalu tinggi akan membuat enzim terdenaturasi sehingga tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya.
- f. Enzim diperlukan dalam jumlah sedikit. Sesuai dengan fungsinya sebagai katalisator, enzim diperlukan dalam jumlah yang sedikit.
- g. Enzim bekerja secara bolak-balik. Reaksi-reaksi yang dikendalikan enzim dapat berbalik, artinya enzim tidak menentukan arah reaksi tetapi hanya mempercepat laju reaksi sehingga tercapai keseimbangan. Enzim dapat menguraikan suatu senyawa menjadi senyawa-senyawa lain. Atau sebaliknya, menyusun senyawa-senyawa menjadi senyawa tertentu.

B. TATA NAMA DAN KLASIFIKASI ENZIM

Komisi enzim internasional (The International Enzyme Commission, EC) telah menetapkan tata nama bersistem untuk enzim yang sama dengan konsep pada system IUPAC dalam tata nama senyawa organik yang memberikan nama dan nomor enzim sesuai dengan reaksi yang dikatalisnya¹⁴⁸. Contoh nama enzim bersistem; EC 3.5.1.5 *urea amidohidrolase* untuk enzim yang mengkatalisis hidrolisis urea.

Secara umum nama setiap enzim disesuaikan dengan nama substratnya dengan penambahan “ase” dibelakangnya. Substrat adalah senyawa yang bereaksi dengan bantuan enzim, sebagai contoh enzim yang menguraikan urea (substrat) dinamakan urease¹⁴⁹.

Penamaan enzim secara umum didasarkan pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Substrat yang dikatalisis, (urease, lipase, arginase).
2. Jenis reaksi yang dikatalisis, (dekarboksilase, hidrase, esterase).
3. Penomoran menurut ketentuan “International Enzyme Commission”.

EC.a.b.c.d = Enzyme Commission (a) nama golongan (b) nama subgolongan (c) sub sub golongan (d) urutan ditemukannya untuk jenis enzim yang sama.

Contoh: Tripsin EC.3.4.21.4, Kemotripsin EC.3.4.21.1 dan Elastase EC.3.4.21.36

¹⁴⁸ Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati.* (Bandung. :ITB, 1992).hal.244

¹⁴⁹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.142

Class	Example (reaction type)	Reaction Catalyzed
1. Oxidoreductases	Alcohol dehydrogenase (EC 1.1.1.1) (oxidation with NAD ⁺)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{\text{NAD}^+} \text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{H} + \text{NADH} + \text{H}^+$ <p>Ethanol → Acetaldehyde</p>
2. Transferases	Hexokinase (EC 2.7.1.2) (phosphorylation)	<p>D-Glucose → D-Glucose-6-phosphate</p>
3. Hydrolases	Carboxypeptidase A (EC 3.4.17.1) (peptide bond cleavage)	<p>C-terminus of polypeptide → Shortened polypeptide + C-terminal residue</p>
4. Lyases	Pyruvate decarboxylase (EC 4.1.1.1) (decarboxylation)	$\text{Pyruvate} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Acetaldehyde} + \text{CO}_2$
5. Isomerases	Maleate isomerase (EC 5.2.1.1) (cis-trans isomerization)	<p>Maleate ↔ Fumarate</p>
6. Ligases	Pyruvate carboxylase (EC 6.4.1.1) (carboxylation)	$\text{Pyruvate} + \text{CO}_2 \xrightarrow{\text{ATP}} \text{Oxaloacetate} + \text{ADP} + \text{P}_i$

Gambar.6.1. Contoh Penamaan Enzim

Enzim dapat digolongkan berdasarkan tempat bekerjanya, substrat yang dikatalisis, daya katalisisnya, dan cara terbentuknya.

1. Penggolongan enzim berdasarkan tempat bekerjanya

a) Endoenzim

Endoenzim disebut juga enzim intraseluler, yaitu enzim yang bekerjanya di dalam sel. Umumnya merupakan enzim yang digunakan untuk proses sintesis di dalam sel dan untuk pembentukan energi (ATP) yang berguna untuk proses kehidupan sel, misal dalam proses respirasi.

b) Eksoenzim

Eksoenzim disebut juga enzim ekstraseluler, yaitu enzim yang bekerjanya di luar sel. Umumnya berfungsi untuk “mencernakan” substrat secara hidrolisis, untuk dijadikan molekul yang lebih sederhana dengan BM lebih rendah sehingga dapat masuk melewati membran

sel. Energi yang dibebaskan pada reaksi pemecahan substrat di luar sel tidak digunakan dalam proses kehidupan sel.

2. Penggolongan enzim berdasarkan daya katalisis

Berdasarkan jenis reaksi yang dikatalisis, enzim dapat dibagi menjadi beberapa golongan yaitu¹⁵⁰:

a) Oksidoreduktase

Enzim ini mengkatalisis reaksi oksidasi-reduksi, yang merupakan pemindahan elektron, hidrogen atau oksigen. Sebagai contoh adalah enzim elektron transfer oksidase dan hidrogen peroksidase (katalase). Ada beberapa macam enzim electron transfer oksidase, yaitu enzim oksidase, oksigenase, hidroksilase dan dehidrogenase.

b) Transferase

Transferase mengkatalisis pemindahan gugusan molekul dari suatu molekul ke molekul yang lain. Sebagai contoh adalah beberapa enzim sebagai berikut; Transaminase adalah transferase yang memindahkan gugusan amina, Transfosforilase adalah transferase yang memindahkan gugusan fosfat, Transasilase adalah transferase yang memindahkan gugusan asil.

c) Hidrolase

Enzim ini mengkatalisis reaksi-reaksi hidrolisis, dengan contoh enzim adalah: Karboksilesterase adalah hidrolase yang menghidrolisis gugusan ester karboksil, Lipase adalah hidrolase yang menghidrolisis lemak

¹⁵⁰ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*, (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2006). Hal.96

(ester lipida), Peptidase adalah hidrolase yang menghidrolisis protein dan polipeptida.

d) Liase

Enzim ini berfungsi untuk mengkatalisis pengambilan atau penambahan gugusan dari suatu molekul tanpa melalui proses hidrolisis, sebagai contoh adalah: L malat hidrolase (fumarase) yaitu enzim yang mengkatalisis reaksi pengambilan air dari malat sehingga dihasilkan fumarat, Dekarboksilase (dekarboksilase) yaitu enzim yang mengkatalisis reaksi pengambilan gugus karboksil.

e) Isomerase

Isomerase meliputi enzim-enzim yang mengkatalisis reaksi isomerisasi, yaitu: Rasemase, merubah l-alanin D-alanin, Epimerase, merubah D-ribulosa-5-fosfat D-xylulosa-5-fosfat, Cis-trans isomerase, merubah transmetinal cisrentolal, Intramolekul ketol isomerase, merubah gliseraldehid-3-fosfat dihidroksi aseton fosfat, Intramolekul transferase atau mutase merubah metilmalonil-CoAsuksinil-CoA

f) Ligase

Enzim ini mengkatalisis reaksi penggabungan 2 molekul dengan dibebaskannya molekul pirofosfat dari nukleosida trifosfat, sebagai contoh adalah enzim asetat=CoASH ligase yang mengkatalisis reaksi sebagai berikut:



P-P

3. Enzim lain dengan tatanama berbeda

Ada beberapa enzim yang penamaannya tidak menurut cara di atas, misalnya enzim pepsin, tripsin, dan

sebagainya serta enzim yang termasuk enzim permease. Permease adalah enzim yang berperan dalam menentukan sifat selektif permeabel dari membran sel.

4. Penggolongan enzim berdasar cara terbentuknya

a) Enzim konstitutif

Di dalam sel terdapat enzim yang merupakan bagian dari susunan sel normal, sehingga enzim tersebut selalu ada umumnya dalam jumlah tetap pada sel hidup. Walaupun demikian ada enzim yang jumlahnya dipengaruhi kadar substratnya, misalnya enzim amilase. Sedangkan enzim-enzim yang berperan dalam proses respirasi jumlahnya tidak dipengaruhi oleh kadar substratnya.

b) Enzim adaptif

Perubahan lingkungan mikroba dapat menginduksi terbentuknya enzim tertentu. Induksi menyebabkan kecepatan sintesis suatu enzim dapat dirangsang sampai beberapa ribu kali. Enzim adaptif adalah enzim yang pembentukannya dirangsang oleh adanya substrat. Sebagai contoh adalah enzim beta galaktosidase yang dihasilkan oleh bakteri *E.coli* yang ditumbuhkan di dalam medium yang mengandung laktosa. Mulamula *E. coli* tidak dapat menggunakan laktosa sehingga awalnya tidak nampak adanya pertumbuhan (fase lag/fase adaptasi panjang) setelah beberapa waktu baru menampakkan pertumbuhan. Selama fase lag tersebut *E. coli* membentuk enzim beta galaktosidase yang digunakan untuk merombak laktosa.

Enzim diklasifikasikan berdasarkan tipe reaksi dan mekanisme reaksi yang dikatalisis. Pada awalnya hanya ada beberapa enzim yang dikenal, dan

kebanyakan mengkatalisis reaksi hidrolisis ikatan kovalen. Semua enzim ini diidentifikasi dengan menambahkan akhiran –ase pada nama substansi atau substrat yang dihidrolisis. Contoh: lipase menghidrolisis lipid, amilase menghidrolisis amilum, protease menghidrolisis protein. Pemakaian penamaan tersebut terbukti tidak memadai karena banyak enzim mengkatalisis substrat yang sama tetapi dengan reaksi yang berbeda. Contohnya ada enzim yang mengkatalisis reaksi reduksi terhadap fungsi alkohol gula dan ada pula yang mengkatalisis reaksi oksidasi pada substrat yang sama.

Sistem penamaan enzim sekarang tetap menggunakan –ase, namun ditambahkan pada jenis reaksi yang dikatalisisnya. Contoh: enzim dehidrogenase mengkatalisis reaksi pengeluaran hidrogen, enzim transferase mengkatalisis pemindahan gugus tertentu. Untuk menghindari kesulitan penamaan karena semakin banyak ditemukan enzim yang baru, maka *International Union of Biochemistry (IUB)* telah mengadopsi sistem penamaan yang kompleks tetapi tidak meragukan berdasarkan mekanisme reaksi. Namun sampai sekarang masih banyak buku-buku yang masih menggunakan sistem penamaan lama yang lebih pendek.

C. ASPEK UMUM MOLEKUL ENZIM

Secara umum hampir semua enzim adalah protein dan memperlihatkan sifat-sifat protein, yaitu:

1. BM enzim >>>> BM substrat
2. Struktur primer, sekunder, dan tersier penting bagi aktivitas katalitiknya.

3. Enzim berupa protein sederhana aktivitasnya hanya ditentukan oleh struktur tersiernya saja.
4. Enzim berupa protein terkonjugasi, bagian proteinnya saja (**apoenzim**) tidak memiliki aktivitas katalitik tanpa adanya bagian nonprotein (**kofaktor**).
5. Kofaktor dapat berupa molekul anorganik seperti ion logam, maupun molekul organik yang disebut sebagai **koenzim** seperti vitamin.
6. Bagian-bagian enzim berdasarkan fungsi katalitiknya:
 - a. Bagian katalitik, bagian yang mengikat substrat dan mengubah menjadi produk.
 - b. Bagian pengendali, bagian yang mengikat modulator.

D. MEKANISME KERJA ENZIM

Fungsi suatu enzim adalah sebagai katalis untuk proses biokimia yang terjadi di dalam sel maupun reaksi kimia yang terjadi di luar sel¹⁵¹. Enzim bekerja dengan cara bereaksi dengan molekul substrat untuk menghasilkan senyawa intermediat melalui suatu reaksi kimia organik yang membutuhkan energi aktivasi lebih rendah, sehingga percepatan reaksi kimia terjadi karena reaksi kimia dengan energi aktivasi lebih tinggi membutuhkan waktu lebih lama. Meskipun senyawa katalis dapat berubah pada reaksi awal, pada reaksi akhir molekul katalis akan kembali ke bentuk semula. Enzim mengkatalis reaksi dengan cara meningkatkan laju reaksi. Enzim meningkatkan laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi (energi yang diperlukan untuk reaksi) dari EA1 menjadi EA2. Penurunan energi aktivasi dilakukan dengan membentuk kompleks dengan substrat¹⁵².

¹⁵¹ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.143

¹⁵² Ibid, hal.143

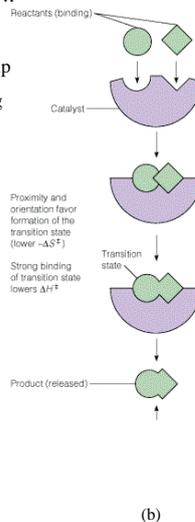
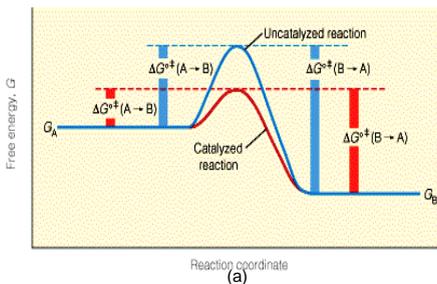
Setelah produk dihasilkan, kemudian enzim dilepaskan. Enzim bebas untuk membentuk kompleks baru dengan substrat yang lain.

Pada reaksi berenzim reaksi terjadi melalui interaksi substrat dengan rantai samping residu asam amino yang cocok dari enzim atau koenzim yang ada pada enzim, dan salah satu kekhususan enzim adalah mampu mengkatalis suatu reaksi kimia dengan hanya satu substrat¹⁵³. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, enzim amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa.

BAGAIMANA CARA ENZIM BEKERJA?

Menurunkan energi penghalang melalui:

1. Membentuk kompleks ES yang konformasinya mirip dengan keadaan transisi tetapi memiliki energi yang lebih rendah (Gambar a).
2. Menurunkan nilai $-\Delta S$ dan ΔH (gambar b)



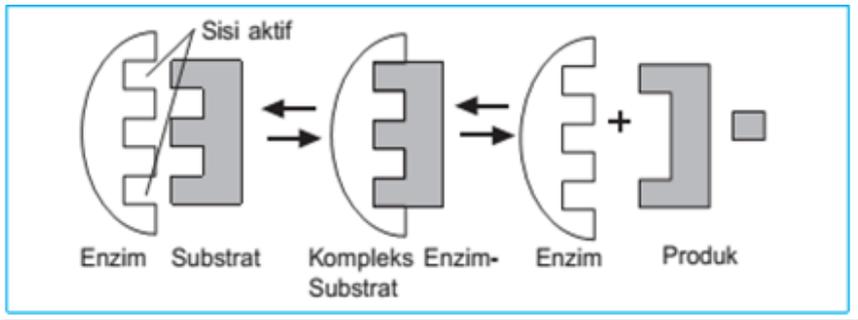
Gambar.6.2. Mekanisme Kerja Enzim

¹⁵³ Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati.* (Bandung. :ITB, 1992).hal.244

Cara kerja enzim juga dapat dijelaskan dengan dua teori, yaitu teori gembok dan anak kunci, dan teori kecocokan yang terinduksi.

a. Teori gembok dan anak kunci (Lock and key theory)

Enzim dan substrat bergabung bersama membentuk kompleks, seperti kunci yang masuk dalam gembok. Di dalam kompleks, substrat dapat bereaksi dengan energi aktivasi yang rendah. Setelah bereaksi, kompleks lepas dan melepaskan produk serta membebaskan enzim. Teori ini dikemukakan oleh Fischer (1898). Enzim diumpamakan sebagai gembok yang mempunyai bagian kecil dan dapat mengikat substrat. Bagian enzim yang dapat berikatan dengan substrat disebut sisi aktif. Substrat diumpamakan kunci yang dapat berikatan dengan sisi aktif enzim.

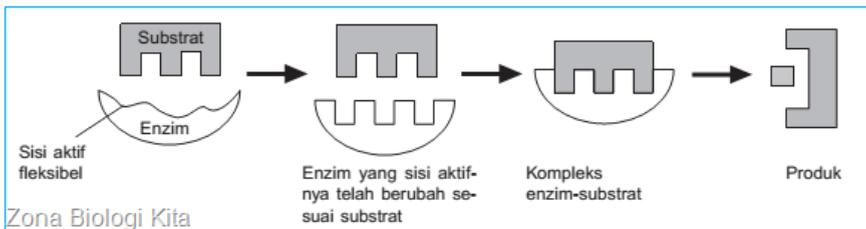


Gambar.6.3.Teori Gembok dan Kunci

Selain sisi aktif, pada enzim juga ditemukan adanya sisi alosterik. Sisi alosterik dapat diibaratkan sebagai sakelar yang dapat menyebabkan kerja enzim meningkat ataupun menurun. Apabila sisi alosterik berikatan dengan penghambat (inhibitor), konfigurasi enzim akan berubah sehingga aktivitasnya berkurang. Namun, jika sisi alosterik ini berikatan dengan aktivator (zat penggiat) maka enzim menjadi aktif kembali.

b. Teori kecocokan yang terinduksi (Induced fit theory)

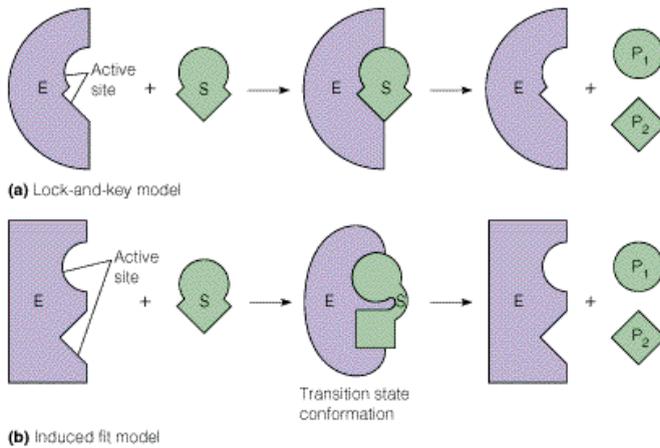
Menurut teori kecocokan yang terinduksi, sisi aktif enzim merupakan bentuk yang fleksibel. Ketika substrat memasuki sisi aktif enzim, bentuk sisi aktif termodifikasi melingkupi substrat membentuk kompleks.



Gambar.6.3. Teori Kecocokan yang Terinduksi

Ketika produk sudah terlepas dari kompleks, enzim tidak aktif menjadi bentuk yang lepas. Sehingga, substrat yang lain kembali bereaksi dengan enzim tersebut. Molekul enzim mempunyai sisi aktif tempat menempelnya substrat sehingga terbentuklah molekul kompleks enzim substrat. Pengikatan substrat menginduksi penyesuaian pada enzim sehingga meningkatkan kecocokan antara keduanya dan mendorong molekul kompleks enzim-enzim substrat ada dalam kondisi yang lebih reaktif. Saat substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim, bentuk sisi aktif akan termodifikasi melingkupinya dan membentuk kompleks. Saat produk sudah lepas dari kompleks, enzim berubah menjadi tidak aktif lagi dan menjadi bentuk yang lepas. Substrat lain pun kemudian kembali bereaksi dengan enzim tersebut. Begitu seterusnya.

TEORI “LOCK AND KEY” Vs “INDUCED FIT”



Gambar.6.4. Teori “Lock And Key” Vs “Induced Fit”

E. KINETIKA MICHAELIS-MENTEN

Pada pembahasan berikut, reaksi enzim dianggap seolah-olah hanya memiliki satu substrat dan satu produk. Sementara kebanyakan enzim memiliki lebih dari satu substrat, prinsip-prinsip yang dibahas di bawah juga berlaku bagi enzim dengan banyak substrat. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan konsentrasi enzim yang tetap, maka penambahan konsentrasi substrat akan menaikkan kecepatan reaksi. 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. Pada konsentrasi substrat rendah, bagian aktif enzim ini hanya menampung sedikit substrat. Bila konsentrasi substrat diperbesar, makin banyak substrat yang dapat berhubungan dengan enzim pada bagian aktif tersebut. Dengan demikian,

konsentrasi kompleks enzim substrat makin besar dan hal ini menyebabkan makin besarnya kecepatan reaksi. Namun dalam keadaan ini, bertambah besarnya konsentrasi substrat tidak menyebabkan bertambah besarnya konsentrasi kompleks enzim substrat, sehingga jumlah hasil reaksinya pun tidak bertambah besar.

Peningkatan konsentrasi substrat dapat meningkatkan kecepatan reaksi bila jumlah enzim tetap. Namun pada saat sisi aktif semua enzim berikatan dengan substrat, penambahan substrat tidak dapat meningkatkan kecepatan reaksi enzim selanjutnya. Ini menunjukkan seolah-olah enzim telah “jenuh” dengan substrat, artinya tidak dapat lagi menampung substrat sehingga Leonor Michaelis dan Maude Menten pada tahun 1913 mengajukan hipotesis bahwa dalam reaksi enzim terjadi lebih dahulu kompleks enzim substrat yang kemudian menghasilkan hasil reaksi dan enzim kembali¹⁵⁴. Enzim mempunyai spesifitas yang tinggi. Apabila substrat cocok dengan enzim maka kinerja enzim juga akan optimal.

Untuk suatu enzim tipikal, peningkatan konsentrasi substrat akan meningkatkan v_1 hingga tercapai nilai maksimal V_{max} (Gambar 8-3). Jika peningkatan lebih lanjut konsentrasi substrat tidak meningkatkan v_1 , enzim dikatakan “jenuh” oleh substrat. Perhatikan bahwa bentuk kurva yang menghubungkan aktivitas dengan konsentrasi substrat (Gambar 8-3) tampak hiperbolik. Pada setiap saat, hanya molekul substrat yang berkaitan dengan enzim dalam bentuk kompleks

¹⁵⁴ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.146

$$v_1 = V_{\max}[S] / K_m + S$$

Keterangan:

v_1 → kecepatan reaksi.

V_{\max} → kecepatan maksimum.

S → substrat

K_m → kadar substrat yang memberikan kecepatan reaksi separuh kecepatan reaksi maksimal pada kadar enzim tertentu.

= $K_m \cdot v = 1/2 V$. Maka:

Persamaan reaksi enzimatik satu substrat, satu produk:



Reaksi kebalikan antara E dan P sangat kecil sehingga $v = k_2 [ES]$(1)

Pada reaksi enzimatik [ES] sulit diukur, yang dapat terukur dengan baik adalah [S] atau [P] dan [E]_t

$$[E]_t = [E] + [ES] \text{ atau } [E] = [E]_t - [ES] \text{.....(2)}$$

Pada keadaan “steady state”:

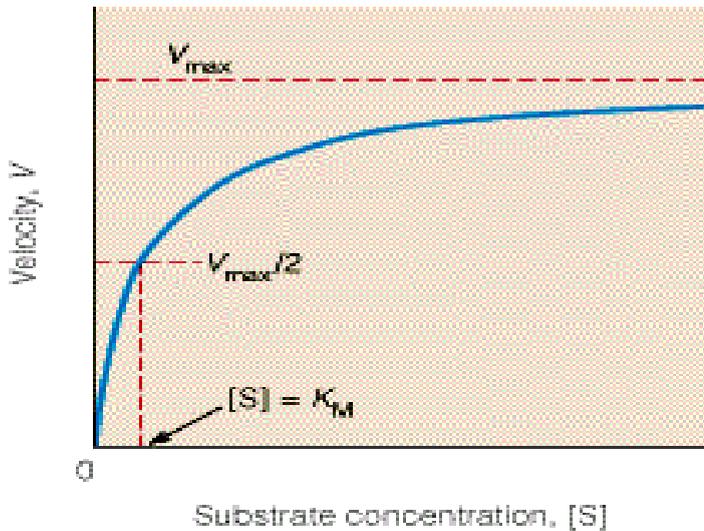
laju pembentukan ES = laju penguraian ES

$$k_1 [E] [S] = k_{-1}[ES] + k_2 [ES] \text{.....(3)}$$

$$[E] [S] = \{(k_{-1}+k_2)/k_1\} [ES] = K_M [ES] \text{.....(4)}$$

$$\frac{[E]_t [S] - [ES] [S]}{(K_M+[S])} = \frac{[E]_t [S]}{(K_M+[S])} \text{.....(5)}$$

$$v = \frac{k_2 [E]_t [S]}{(K_M+[S])} \text{.....(6)}$$



ju

Pada $[S] \gg \gg \gg$, **enzim telah jenuh dengan substrat** sehingga reaksi mendekati kecepatan maksimum:

$V_{maks} = k_2 [E]_t$, sehingga

$$v = V_{maks} [S] / (K_M + [S])$$

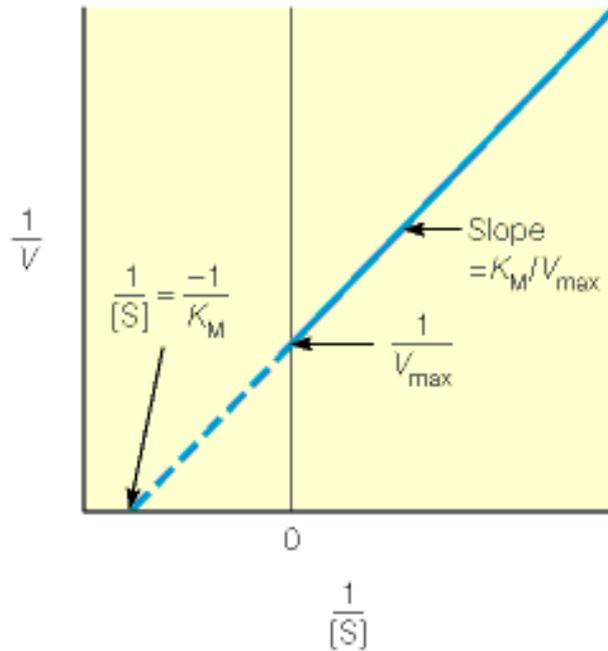
Pada saat $V_{maks}/2$ maka nilai $K_M = [S]$, berarti K_M pada suatu reaksi enzimatis adalah ukuran konsentrasi substrat agar proses katalitik berlangsung efektif. Artinya:

Suatu enzim dengan K_M besar memerlukan substrat lebih banyak daripada enzim dengan K_M kecil untuk mencapai laju reaksinya.

Catatan:

$K_M \gg \gg$ substrat tidak spesifik.

Nilai K_M khas bagi suatu reaksi enzimatis.



Gar

A

s,

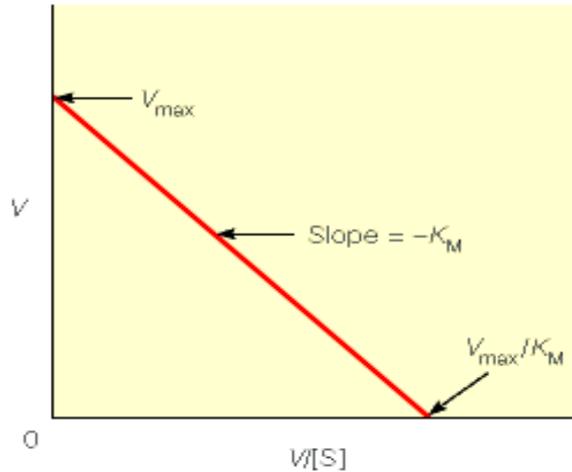
berdasarkan persamaan Michaelis-Menten, untuk menentukan harga K_m dari suatu reaksi dapat dipakai beberapa cara, salah satu cara adalah dengan menggunakan grafik kecepatan reaksi-konsentrasi substrat seperti kurva di bawah ini¹⁵⁵:

Kurva Lineweaver-Burk

$$\frac{1}{V} = \left(\frac{K_M}{V_{\max}} \right) \left(\frac{1}{[S]} \right) + \frac{1}{V_{\max}}$$

¹⁵⁵ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.149

Kurva Eadie-Hofstee
 $v = V_{\text{maks}} - K_M v/[S]$



Gambar.6.7. Grafik Lineweaver-Burk.

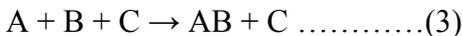
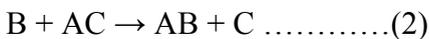
Kemiringan garis grafik tersebut ditentukan oleh harga K_M/V_{maks} atau Tangens sudut = K_M/V_{maks} . Metode penentuan harga K_M dan V_{maks} dengan cara ini disebut metode grafik Lineweaver-Burk.

F. KATALISATOR

Istilah katalisator berawal dari penelitian Berzelius (1836) tentang proses proses pemercepatan laju reaksi dan menjabarkannya sebagai akibat adanya gaya katalisis. Sebutan “gaya” katalisis ternyata tidak terbukti, tetapi istilah katalisator tetap digunakan untuk menyebutkan pengaruh substansi tertentu yang ikut dalam proses tanpa mengalami perubahan. Senyawa yang menurunkan laju reaksi biasa disebut sebagai katalisator negatif atau inhibitor, yang saat ini lebih dikenal dengan istilah katalis.

Definisi katalis pertama kali dikemukakan oleh Ostwald sebagai suatu substansi yang mengubah laju suatu reaksi kimia tanpa merubah besarnya energi yang menyertai reaksi tersebut. Pada tahun 1902 Ostwald mendefinisikan katalis sebagai substansi yang mengubah laju reaksi tanpa terdapat sebagai produk pada akhir reaksi, dengan kata lain katalisator mempengaruhi laju reaksi dan berperan sebagai reaktan sekaligus produk reaksi. Selanjutnya pada tahun 1941, Bell menjelaskan substansi yang dapat disebut sebagai katalis suatu reaksi adalah ketika sejumlah tertentu substansi ditambahkan maka akan mengakibatkan laju reaksi bertambah dari laju pada keadaan stoikiometri biasa. Jika substansi tersebut ditambahkan pada reaksi maka tidak mengganggu kesetimbangan.

Penggolongan katalis dapat didasarkan pada fasenya yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fase yang sama. Katalis homogen umumnya bereaksi dengan satu atau lebih pereaksi untuk membentuk suatu perantara kimia yang selanjutnya bereaksi membentuk produk akhir reaksi, dalam suatu proses yang memulihkan katalisnya. Berikut ini merupakan skema umum reaksi katalitik, di mana C melambangkan katalisnya:



Meskipun katalis (C) bereaksi dengan reaktan oleh reaksi 1, namun katalis dapat dihasilkan kembali oleh reaksi 2, sehingga untuk reaksi keseluruhannya menjadi reaksi (3).

Beberapa katalis ternama yang pernah dikembangkan di antaranya:

a. Katalis Asam-Basa

Katalis asam-basa sangat berperan dalam perkembangan kinetika kimia. Awal penelitian kinetika reaksi yang dikatalisis dengan suatu asam atau basa bersamaan dengan perkembangan teori disosiasi elektrolit, dimana Ostwald dan Arrhenius membuktikan bahwa kemampuan suatu asam untuk mengkatalisis reaksi tersebut adalah tidak bergantung pada sifat asal anion tetapi lebih mendekati dengan sifat konduktivitas listriknya. Penelitian lain yang menggunakan katalis asam basa antara lain Kirrchoff yang meneliti hidrolisis pati oleh pengaruh asam encer, Thenard yang meneliti dekomposisi hidrogen peroksida oleh pengaruh basa dan Wilhelmy yang meneliti tentang inversi tebu yang dikatalisis dengan asam.

b. Katalis Ziegler-Natta

Katalis Ziegler-Natta ditemukan oleh Ziegler pada tahun 1953 yang digunakan untuk polimerisasi etana, yang selanjutnya pada tahun 1955 Natta menggunakan katalis tersebut untuk polimerisasi propena dan monomer jenuh lainnya. Katalis Ziegler-Natta dapat dibuat dengan mencampurkan alkil atau aril dari unsur golongan 11-13 pada susunan berkala, dengan halida sebagai unsur transisi. Saat ini katalis Ziegler-Natta digunakan untuk produksi masal polietilen dan polipropilen.

c. Katalis Friedle-Crafts

Pada tahun 1877 Charles Friedel dan James M.Crafts merealisasikan penelitian tentang pembuatan senyawa amil iodida dengan mereaksikan amil klorida dengan aluminium dan yodium yang ternyata menghasilkan

hidrokarbon. Selanjutnya mereka menemukan bahwa pemakaian aluminium klorida dapat menggantikan aluminium untuk menghasilkan hidrokarbon. Dengan demikian Friedel dan Crafts merupakan orang pertama yang menunjukkan bahwa keberadaan logam klorida sangat penting sebagai reaktan atau katalis. Hingga saat ini penerapan kimia Friedel-Crafts sangat luas terutama di industri kimia.

d. Katalis dalam Reaksi Metatesis

Pada tahun 1970 Yves Chauvin dari Institut Francais du Petrole dan Jean-Louis Herrison menemukan katalis logam karbena (logam yang dapat berikatan ganda dengan atom karbon membentuk senyawa), atau dikenal juga dengan istilah metal alkilidena. Melalui senyawa logam karbena ini, Chauvin berhasil menjelaskan bagaimana susunan logam berfungsi sebagai katalis dalam suatu reaksi dan bagaimana mekanisme reaksi metatesis. Metatesis dapat diartikan sebagai pertukaran posisi atom dari dua zat yang berbeda. Contohnya pada reaksi $AB + CD \rightarrow AC + BD$, B bertukar posisi dengan C.

e. Katalis Grubbs

Perkembangan penemuan Chauvin dan Schrock terjadi tahun 1992 ketika Robert Grubbs dan rekannya Grubbs berhasil menemukan katalis metatesis yang efektif, mudah disintesis, dan dapat diaplikasikan di laboratorium secara baik. Mereka menemukan tentang logam rutenium tantalum, tungsten, dan molybdenum (komplek alkilidena) sebagai logam yang paling cocok sebagai katalis. Katalis menjadi standar pembandingan untuk katalis yang lain. Penemuan katalis Grubbs secara tidak langsung menambah peluang kemungkinan sintesis organik di masa depan.

f. Sistem Katalis Tiga Komponen

Sebuah sistem katalis dengan tiga komponen berhasil digunakan untuk membuat polimer bercabang dengan struktur-struktur yang tidak bisa didapat dengan sebuah katalis tunggal atau sepasang katalis yang bekerja bergandengan. Pada tahun 2002 Guillermo C. Bazan, seorang profesor kimia dan material di University of California, Santa Barbara; mahasiswa pascasarjana Zachary J. A. Komon; dan rekan kerja di Santa Barbara dan Symyx Technologies sudah mendemonstrasikan sebuah sistem dengan tiga katalis yang homogen; ketiga campuran bekerja sama mengubah sebuah monomer tunggal – etilen – menjadi polietilen bercabang. Jumlah dan jenis cabang yang dihasilkan dapat dikontrol dengan menyesuaikan komposisi campuran katalisnya.

Tiga katalis ini terdiri dari dua persenyawaan organonikel dan sebuah persenyawaan organotitanium. Satu dari katalis dengan unsur dasar nikel mengubah etilen menjadi 1-butena, sedangkan yang lainnya mengubah olefin menjadi penyebaran dari 1-alkena. Persenyawaan titanium menggabungkan etilen dari hasil reaksi-reaksi lainnya menjadi polietilen. Pada tahun 1913 Leonor Michaelis dan Maud L. Menten mengajukan suatu teori umum mengenai aksi dan kinetika enzim. Teori ini menjelaskan perjalanan dari reaksi enzimatik sebagai berikut :

Enzim (E) pertama kali bereaksi dengan substrat (S) untuk membentuk suatu kompleks enzim-substrat (ES), yang pada langkah kedua, menghasilkan enzim dan produk (P). Kedua reaksi dianggap reversible, dan empat kecepatan elementer konstan disebut sebagai k_1, k_2, k_{-1}, k_{-2} .

Michaelis dan Menten berkesimpulan bahwa kecepatan reaksi tergantung pada konsentrasi kompleks

enzim-substrat (ES), sebab apabila tergantung konsentrasi substrat (S), maka penambahan konsentrasi substrat akan menghasilkan pertambahan kecepatan reaksi yang apabila digambarkan akan merupakan garis lurus.

G. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI AKTIVITAS ENZIM

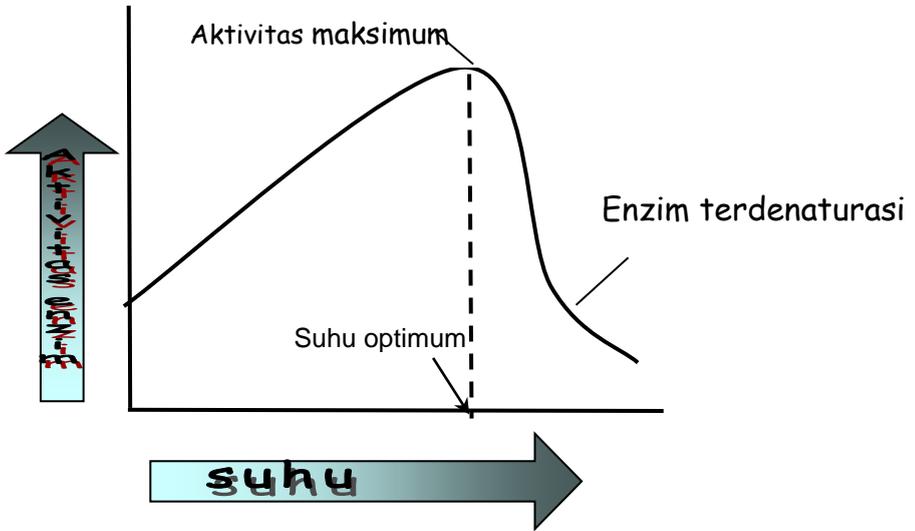
Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kerja enzim. Faktor-faktor tersebut erat kaitannya dengan sifat enzim sebagai protein. **Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim** tersebut di antaranya suhu, derajat keasaman (pH), hasil akhir produk, konsentrasi enzim dan substrat, serta zat penghambat¹⁵⁶.

1. Faktor Suhu

Enzim terbuat dari protein sehingga enzim dipengaruhi oleh suhu¹⁵⁷. Suhu mempengaruhi gerak molekul. Pada suhu optimal, tumbukan antara enzim dan substrat terjadi pada kecepatan yang paling tinggi. Setiap enzim memiliki suhu optimum dimana enzim memiliki aktivitas maksimal. Pada suhu jauh di atas suhu optimal menyebabkan enzim terdenaturasi, mengubah bentuk, struktur, dan fungsinya. Pada suhu jauh di bawah suhu optimal, misalnya pada 0°C, enzim tidak aktif. Enzim pada manusia bekerja optimal pada 35–40°C. Mendekati suhu normal tubuh. Adapun bakteri yang hidup di air panas memiliki enzim yang bekerja optimal pada 70°C.

¹⁵⁶ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*, (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2006). Hal.97

¹⁵⁷ Poedjiadi dan Supriyanti, *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*, (Jakarta: UI Press, 2009). hal.161



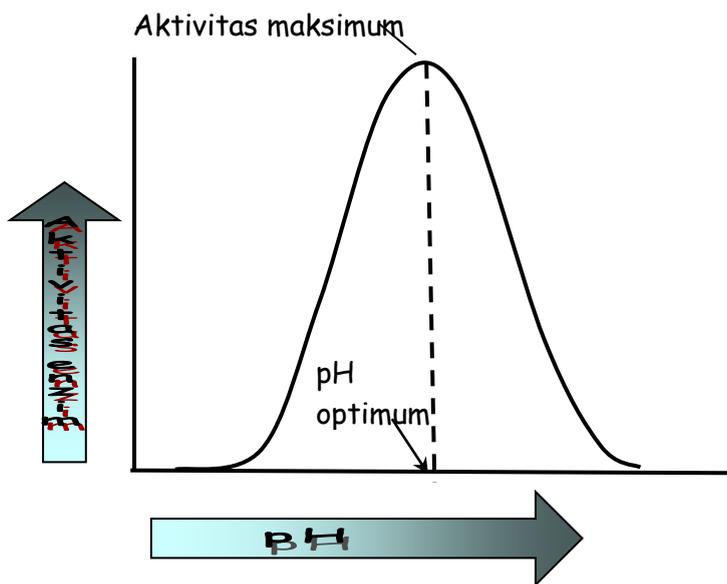
Gambar.6.7. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Kerja Enzim

2. Derajat keasaman (pH)

Seperti protein, enzim juga bekerja dipengaruhi oleh derajat keasaman lingkungan. Enzim bekerja pada pH tertentu yang disebut dengan pH Optimum¹⁵⁸. Derajat keasaman optimal bagi kerja enzim umumnya mendekati pH netral, sekitar 6–8. Di luar rentang tersebut, kerja enzim dapat terganggu bahkan dapat terdenaturasi. Misalnya pepsin merupakan enzim pencernaan dengan pH optimal 2. Tripsin enzim pencernaan yang terdapat pada usus halus dan memiliki pH 7,7. Pada pH jauh di atas

¹⁵⁸ Ibid, hal.98

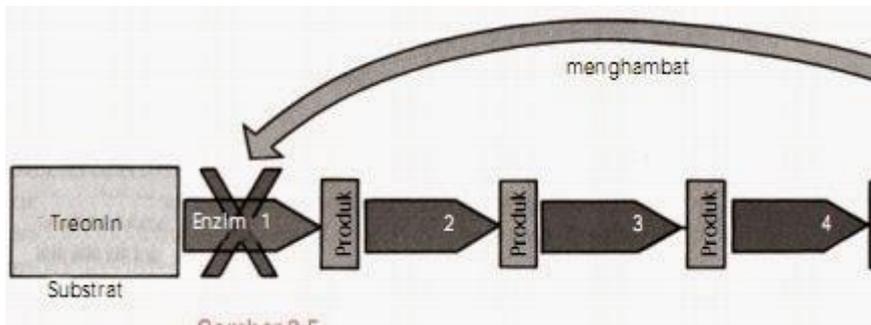
optimum, enzim akan mengalami denaturasi dan tidak dapat bekerja secara optimum.



Gambar.6.8. Grafik Pengaruh pH Terhadap Kerja Enzim

3. Hasil akhir (produk)

Jika sel menghasilkan produk lebih banyak daripada yang dibutuhkan, produk yang berlebih tersebut dapat menghambat kerja enzim. Hal ini dikenal dengan feedback inhibitor. Jika produk yang berlebih habis digunakan, kerja enzim akan kembali normal. Mekanisme ini sangat penting dalam proses 233versible, yaitu mencegah sel menghabiskan sumber molekul yang berguna menjadi produk yang tidak dibutuhkan



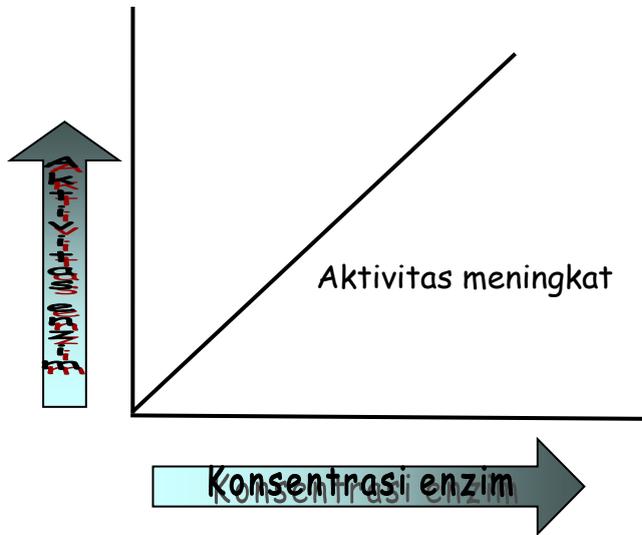
Peristiwa feedback inhibitor pada pembentukan isoleusin dari treonin

Gambar.6.8. Peristiwa Feedback Inhibitor pada pembentukan Isoleusin dari Treonin

4. Konsentrasi enzim

Pada reaksi dengan konsentrasi enzim yang jauh lebih sedikit daripada substrat, penambahan enzim akan meningkatkan laju reaksi. Peningkatan laju reaksi ini terjadi secara linier. Dengan kata lain kecepatan reaksi enzimatik berbanding lurus dengan konsentrasi enzim¹⁵⁹. Akan tetapi, jika konsentrasi enzim dan substrat sudah seimbang, laju reaksi akan bersifat konstan.

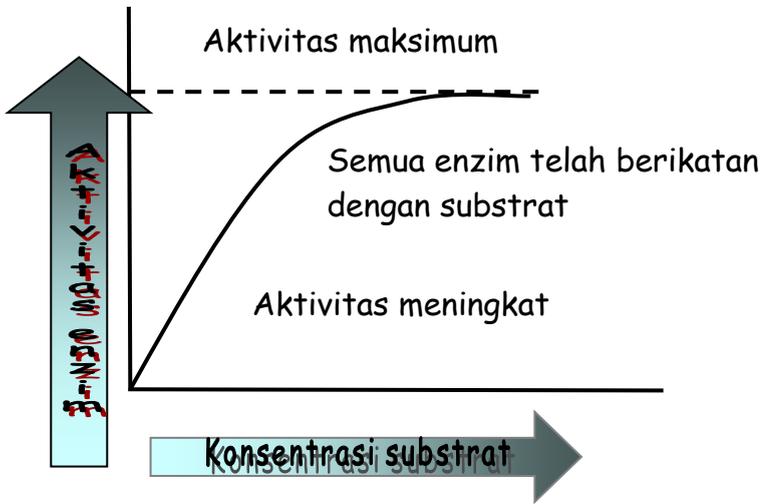
¹⁵⁹ Yazid dan Nursanti, *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analisis*, (Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2006). Hal.98



Gambar.6.8. Grafik Pengaruh Konsentrasi Enzim Terhadap Kerja Enzim

5. Konsentrasi substrat

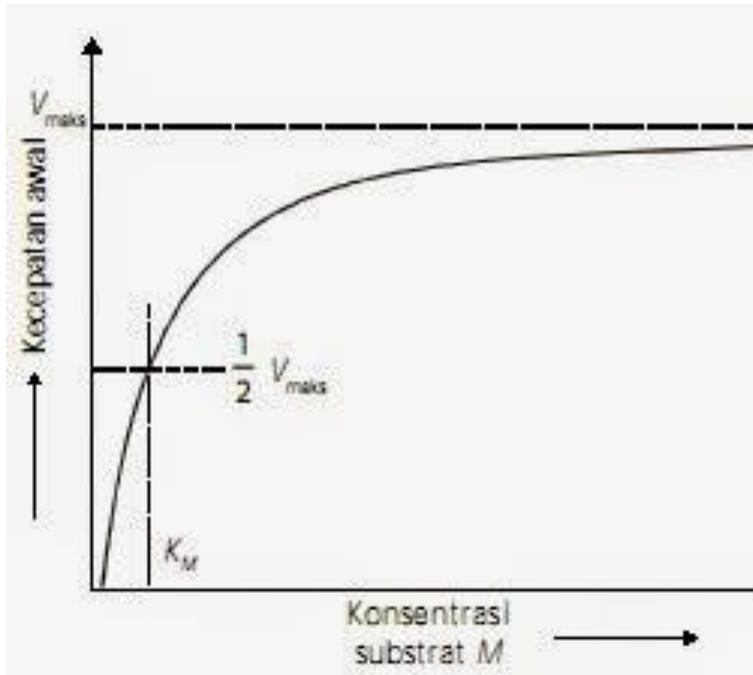
Penambahan konsentrasi substrat pada reaksi yang dikatalisis oleh enzim awalnya akan meningkatkan laju reaksi. Akan tetapi, setelah konsentrasi substrat dinaikkan lebih lanjut, laju reaksi akan mencapai titik jenuh dan tidak bertambah lagi. Setelah mencapai titik jenuh, penambahan kembali konsentrasi substrat tidak berpengaruh terhadap laju reaksi.



Gambar.6.9. Grafik Pengaruh Konsentrasi Enzim Terhadap Kerja Enzim

Pada keadaan laju reaksi jenuh oleh konsentrasi substrat, penambahan konsentrasi enzim dapat meningkatkan laju reaksi. Peningkatan laju reaksi oleh peningkatan konsentrasi enzim akan meningkatkan laju reaksi hingga terbentuk titik jenuh baru. Pada konsentrasi enzim yang tetap peningkatan konsentrasi substrat akan menaikkan kecepatan reaksi enzimatik sampai mencapai kecepatan maksimum yang tetap¹⁶⁰.

¹⁶⁰ Ibid, hal 99.



Gambar.6.10. Grafik pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju reaksi

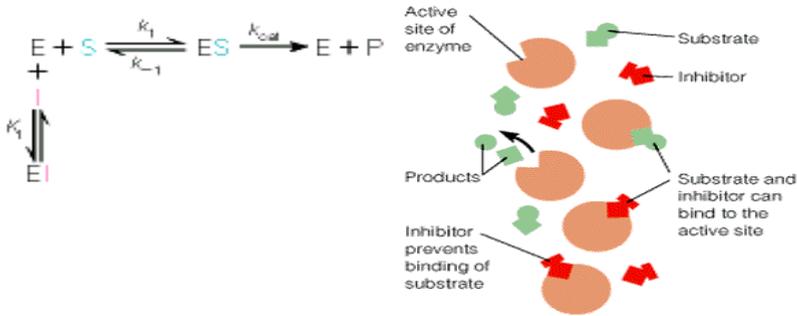
6. Zat Penghambat

Kerja enzim dapat dihambat oleh zat penghambat atau inhibitor. Terdapat dua jenis inhibitor, yaitu inhibitor kompetitif dan inhibitor nonkompetitif.

a. Inhibitor kompetitif

Inhibitor kompetitif menghambat kerja enzim dengan cara berikatan dengan enzim pada sisi aktifnya. Oleh karena itu, inhibitor ini bersaing dengan substrat menempati sisi aktif enzim. Hal ini terjadi karena inhibitor memiliki struktur yang mirip dengan substrat. Enzim yang telah berikatan dengan inhibitor tidak dapat menjalankan fungsinya sebagai fasilitator.

Inhibisi 238versible kompetitif

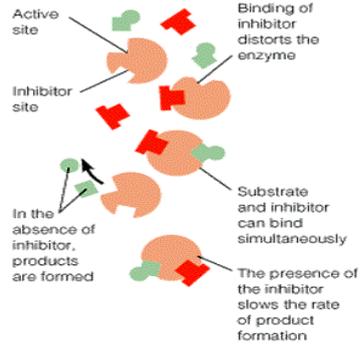
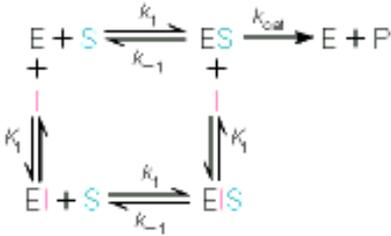


Gambar.6.11. Inhibisi Reversibel Kompetitif

b. Inhibitor nonkompetitif

Berbeda dengan inhibitor kompetitif, inhibitor nonkompetitif tidak bersaing dengan substrat untuk berikatan dengan enzim. Inhibitor jenis ini akan berikatan dengan enzim pada sisi yang berbeda (bukan sisi aktif). Jika telah terjadi ikatan enzim-inhibitor, sisi aktif enzim akan berubah sehingga substrat tidak dapat berikatan dengan enzim. Banyak ion logam berat bekerja sebagai inhibitor nonkompetitif, misalnya Ag^+ , Hg^{2+} , dan Pb^{2+} .

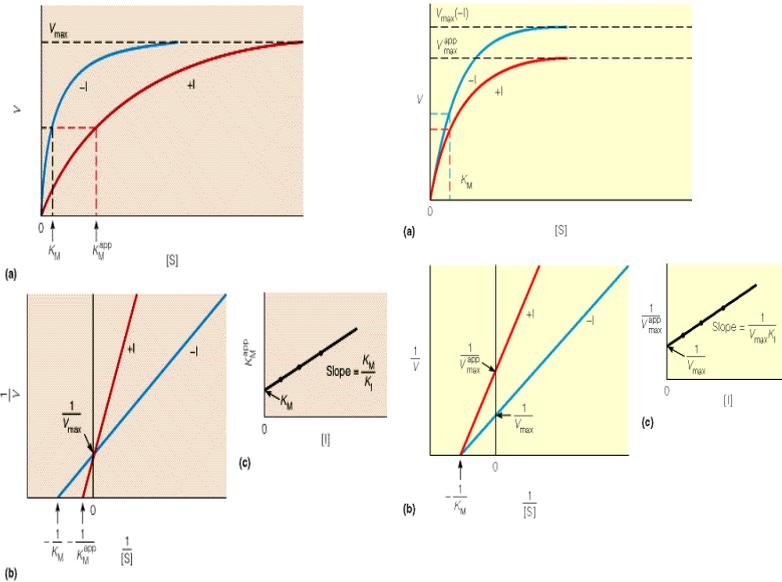
Inhibisi 239versible nonkompetitif



Gambar.6.11. Inhibisi Reversibel NonKompetitif

Inhibisi 239versible kompetitif

Inhibisi 239versible nonkompetitif



Gambar.6.11. Perbandingan Grafik Inhibisi Reversibel NonKompetitif Dengan Inhibisi Reversibel Kompetitif

H. RANGKUMAN

Enzim adalah protein yang berfungsi sebagai biokatalisator, senyawa yang meningkatkan kecepatan reaksi kimia. Enzim merupakan biokatalisator organik yang dihasilkan organisme hidup di dalam protoplasma, yang terdiri atas protein atau suatu senyawa yang berikatan dengan protein. Suatu enzim bekerja secara khas terhadap suatu substrat tertentu dan inilah yang menjadi ciri khas enzim. Enzim disintesis dalam bentuk calon enzim yang tidak aktif, kemudian diaktifkan dalam lingkungan pada kondisi yang tepat. Misalnya, tripsinogen yang disintesis dalam pankreas, diaktifkan dengan memecah salah satu peptidanya untuk membentuk enzim tripsin yang aktif. Bentuk enzim yang tidak aktif ini disebut zimogen. Enzim merupakan katalisator pada semua reaksi yang terjadi di dalam sel.

Sifat enzim sebagai katalis, yaitu: Enzim hanya mengubah kecepatan reaksi. Artinya enzim tidak mengubah produk akhir yang dibentuk atau mempengaruhi keseimbangan reaksi, hanya meningkatkan laju suatu reaksi, Efektif, kecepatan reaksi lebih tinggi dengan faktor 10⁶-10¹² kali, Tepat, kerja enzim memiliki kapasitas pengaturan yang baik, Spesifik, substrat dan produk yang dihasilkan spesifik dan tanpa terjadinya reaksi maupun produk samping. Enzim bekerja secara spesifik Artinya enzim hanya mempengaruhi substrat tertentu saja, Enzim merupakan protein. Oleh karena itu, enzim memiliki sifat seperti protein. Antara lain bekerja pada suhu optimum, umumnya pada suhu kamar. Enzim akan kehilangan aktivitasnya karena pH yang terlalu asam atau basa kuat, dan pelarut organik. Selain itu, panas yang terlalu tinggi akan membuat enzim terdenaturasi sehingga tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya.

Komisi enzim internasional (The International Enzyme Commission, EC) telah menetapkan tata nama bersistem untuk enzim yang sama dengan konsep pada system IUPAC dalam tata nama senyawa organik yang memberikan nama dan nomor enzim sesuai dengan reaksi yang dikatalisnya. Contoh nama enzim bersistem; EC 3.5.1.5 *urea amidohidrolase* untuk enzim yang mengkatalisis hidrolisis urea.

Fungsi suatu enzim adalah sebagai katalis untuk proses biokimia yang terjadi di dalam sel maupun reaksi kimia yang terjadi di luar sel. Enzim bekerja dengan cara bereaksi dengan molekul substrat untuk menghasilkan senyawa intermediat melalui suatu reaksi kimia organik yang membutuhkan energi aktivasi lebih rendah, sehingga percepatan reaksi kimia terjadi karena reaksi kimia dengan energi aktivasi lebih tinggi membutuhkan waktu lebih lama. Meskipun senyawa katalis dapat berubah pada reaksi awal, pada reaksi akhir molekul katalis akan kembali ke bentuk semula. Enzim mengkatalis reaksi dengan cara meningkatkan laju reaksi. Enzim meningkatkan laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi (energi yang diperlukan untuk reaksi) dari EA1 menjadi EA2. Penurunan energi aktivasi dilakukan dengan membentuk kompleks dengan substrat. Setelah produk dihasilkan, kemudian enzim dilepaskan. Enzim bebas untuk membentuk kompleks baru dengan substrat yang lain.

Definisi katalis pertama kali dikemukakan oleh Ostwald sebagai suatu substansi yang mengubah laju suatu reaksi kimia tanpa merubah besarnya energi yang menyertai reaksi tersebut. Pada tahun 1902 Ostwald mendefinisikan katalis sebagai substansi yang mengubah laju reaksi tanpa terdapat sebagai produk pada akhir reaksi, dengan kata lain katalisator mempengaruhi laju reaksi dan berperan sebagai reaktan sekaligus produk reaksi. Terdapat beberapa faktor yang

mempengaruhi kerja enzim. Faktor- faktor tersebut erat kaitannya dengan sifat enzim sebagai protein. Faktor- faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim tersebut di antaranya suhu, derajat keasaman (pH), hasil akhir produk, konsentrasi enzim dan substrat, serta zat penghambat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anna Poedjadi dan F.M. Titin Supriyanti. *Dasar-Dasar Biokimia Edisi Revisi*. Jakarta: UI Press.
- Anonim, 1991. *Kimia Dasar*. Surabaya. Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Baum, S. J., and Scaife, C. W. J., 1980, *Chemistry, A Life Science Approach* Second Edition, New York, Macmillan Publishing
- Chang, Raymond. 2004. *Kimia Dasar (Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1)*. Jakarta: Erlangga.
- Devlin, T.M.(editor) (1992). *Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations*, New York: Wiley Liss, hal. 673-674.
- Estien Yazid dan Lisda Nursanti. 2006. *Penuntun Praktikum Biokimia Untuk Mahasiswa Analis*. Yogyakarta: Andi Penerbit.
- Fessenden dan Fessenden. *Kimia Organik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- H.M. Hawab. *Pengantar Biokimia*. Bogor: Bayu Media.
- Huheey, J. E., 1978, *Inorganic Chemistry Principles of Structure and Reactivity*, Second Edition, New York, Harper International Edition
- Krisno, Agus. 2002. *Dasar-dasar Ilmu Gizi*. Universitas Muhammadiyah Malang. Malang
- Lewin, B.(2000). *Gene VII*, New York: Oxford University Press, hal 533-539.
- Lehninger, A.L., Nelson, D.L. and Cox, M.M.(1993). *Principles of Biochemistry*, New York: Worth Publishers, hal. 993-998.
- Maria Bintang. 2010. *Biokimia Teknik Penelitian*. Jakarta: Erlangga.

- Miessler, G. L., and Tarr, D. A., 1999, *Inorganic Chemistry*, Second Edition, New Jersey, Prentice Hall International
- Musbach, Musaddiq. 1996. *Fisika Modern II*. Jakarta: Depdikbud.
- Rini Nafsiati Astuti. 2009. *Konsep Dasar Kimia*. Malang: UIN Malang Press.
- Saito, Taro. 1996. *Kimia Anorganik (Diterjemahkan oleh Ismunandar)*. Reproduced by permission of Iwanami Shoten, Publishers, Tokyo
- Satyajit D Sarker dan Lutfun Nahar. 2009. *Kimia Untuk Mahasiswa Farmasi Bahan Kimia Organik, Alam dan Umum*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- Siregar, Morgong, 1988, *Dasar-dasar Kimia Organik*, Jakarta, P2LPTK
- Soedioetama, Djaenni.1976. Ilmu Gizi. Dian Rakyat. Jakarta
- Sukardjo, 1997, *Kimia Fisika*, Yogyakarta, Rineka Cipta
- Sukardjo, 1990, *Ikatan Kimia*, Yogyakarta, Rineka Cipta
- Sunjaya Akhmad. 1982. *Ilmu Kimia Umum Untuk Universitas dan Pendidikan Tinggi Lainnya*. Surabaya: Sinar Wijaya. UGM Press.
- Triwibowo Yuwono.2008. *Bioteknologi Pertanian*.Yogyakarta:
- Watson,J.D. et.al.(1992). *Recombinant DNA*, New York:Scientific American Books.
- Widi Prasetiawan. 2009. *Kimia Dasar I*. Jakarta: Cerdas Pustaka.
- Wilbraham, C. Antony dan Matta, S. Michael. 1992. *Pengantar Kimia Organik dan Hayati*. Bandung. ITB.



Alam semesta beserta isinya merupakan bukti kekuasaan Tuhan Yang Maha Esa yang meliputi bagian mikroskopik dan makroskopik. Tujuan mempelajari biokimia secara umum yaitu mendiskripsikan struktur, organisasi dan fungsi zat hidup pada tingkat molekul yang terkait dengan bagaimana suatu organisme membentuk struktur “supramolekul” yang dimulai dari tingkat sel, jaringan, organ, dan sistem organ. Menariknya, biokimia juga membahas bagaimana mekanisme reaksi-reaksi kimia di dalam sel berlangsung dan reaksi-reaksi kimia apa saja yang berkaitan dengan proses reproduksi, pertumbuhan dan kematian suatu sel atau organisme, serta bagaimana organisme menyimpan dan menyalurkan informasi genetik dengan sangat tepat dan akurat, proses metabolisme sel, termasuk reaksi-reaksi yang menggunakan enzim yaitu biokatalis yang mempercepat berlangsungnya reaksi biokimia tersebut. Demikian juga kebermanfaatannya mempelajari biokimia sangat berkaitan erat dengan keberlangsungan kehidupan di alam semesta beserta isinya. Oleh karena itu, temuan di bidang Biokimia telah diaplikasikan secara luas baik di berbagai bidang kehidupan seperti kajian-kajian ilmiah di laboratorium, pemanfaatan di bidang pertanian, kedokteran, industri pangan dan tekstil, farmasi, nutrisi, peternakan dan berbagai bidang kehidupan lainnya.