

B I O K I M I A

KARBOHIDRAT, LEMAK, DAN PROTEIN

Seri I

MILIK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DATE IMA TGL	13-7-94
SIMPAN H R A	140
KOPAK I	KKI
NOI VE TERIS	538/110/94-6111
CALL NO	574.192.9 Bah 60



Drs. Usman Bakar, M. Ed. St.
Jurusan Pendidikan Kimia

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
PADANG
1992

KATA PENGANTAR

Mengingat kurangnya jumlah buku teks Biokimia yang tersedia, khususnya yang ditulis dalam bahasa Indonesia, penulis terdorong untuk menyusun buku yang berjudul "Biokimia : Karbohidrat, Lemak dan Protein" ini dengan tujuan untuk membantu para pembaca, khususnya para mahasiswa, yang ingin memperdalam ilmu pengetahuannya di bidang Biokimia secara mandiri. Cakupan materi yang dibahas dalam buku ini meliputi sejarah perkembangan biokimia, manfaat mempelajari biokimia, peranan biokimia dalam perkembangan sains dan teknologi, ciri-ciri karbohidrat, struktur karbohidrat, bentuk-bentuk siklis dari mono dan disakarida, reaksi-reaksi pengenalan karbohidrat, struktur kimia lemak, klasifikasi lipid, identifikasi lipid (lemak), metoda pemisahan lipid dalam bahan alam, struktur kimia protein, asam-asam amino, ikatan peptida, teknik pemurnian protein, dan klasifikasi protein.

Semua konsep dan prinsip biokimia yang dikemukakan dalam materi tersebut di atas disusun berdasarkan inti kurikulum baru FPMIPA tahun 1990. Pembahasan materi diusahakan sebaik mungkin dengan menggunakan contoh-contoh yang mudah dipahami dan pada setiap bab diberikan soal-soal untuk dipecahkan.

Di samping itu, dalam upaya mempertinggi kualitas buku ini, saran dan kritik sehat dari pembaca sangat diharapkan. Semoga buku ini ada manfaatnya.

Penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
BAB	
I. PENDAHULUAN	1
A. Sejarah Perkembangan Biokimia	3
B. Manfaat Mempelajari Biokimia	8
C. Peranan Biokimia dalam Perkembangan Sains dan Teknologi :.....	10
Soal-Soal	16
II. KARBOHIDRAT	17
A. Ciri-Ciri Karbohidrat	18
B. Struktur Karbohidrat	19
C. Bentuk-Bentuk Siklis dari Mono dan Di- sakarida	47
D. Reaksi-Reaksi Pengenal Karbohidrat ...	50
Soal-Soal	55
III. LEMAK	56
A. Struktur Kimia Lemak	57
B. Klasifikasi Lipid	60
C. Identifikasi Lipid (Lemak)	75
D. Metoda Pemisahan Lipid dalam Bahan Alam	79
Soal-Soal	82
IV. PROTEIN	83
A. Struktur Kimia Protein	85
B. Asam-Asam Amino	87
C. Ikatan Peptida	92
D. Teknik Pemurnian Protein	94
E. Klasifikasi Protein	96
Soal-Soal	99
Daftar Pustaka	100

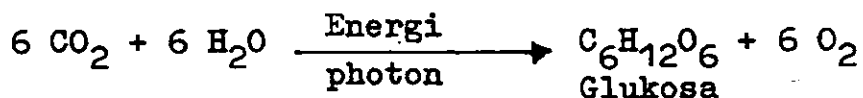
I. PENDAHULUAN

Alam semesta ini pada dasarnya tersusun dari dua jenis benda, yaitu benda hidup dan benda mati. Benda hidup disebut juga jasad hidup atau organisme hidup. Perbedaan antara organisme hidup dan benda mati pada umumnya adalah bahwa organisme hidup selalu mengalami pertumbuhan dan berkembang biakan (reproduksi) mulai dari organisme bersel tunggal sampai kepada organisme bersel banyak, seperti hewan dan tumbuh-tumbuhan, sedangkan benda mati tidak mengalami baik pertumbuhan maupun reproduksi. Jadi benda hidup dan benda mati secara umum menunjukkan dua jenis benda yang sangat berbeda satu sama lain.

Meskipun benda hidup atau organisme hidup mempunyai fenomena yang sangat berlawanan dengan benda mati, para ahli Biokimia meyakini bahwa organisme hidup pada hakekatnya terdiri benda-benda atau molekul-molekul tak hidup. Organisme hidup tersusun dari molekul-molekul hidup dan molekul-molekul hidup terdiri pula dari molekul-molekul tak hidup. Sebagai contoh: manusia adalah organisme hidup bersel banyak. Dalam jasad manusia terdapat berjuta-juta sel dan dalam setiap sel terdapat pula bermacam-macam jenis molekul hidup. Hasil analisis kimia terhadap sel-sel atau molekul-molekul hidup menunjukkan bahwa molekul-molekul hidup itu hanya tersusun dari molekul-molekul tak hidup yakni molekul-molekul protein, karbohidrat, lemak, senyawa-senyawa fosfat, mineral, dan sebagainya. Penggabungan dari molekul-molekul tak hidup inilah yang akan membentuk molekul-molekul hidup. Hanya saja permasalahan yang sedang dipe-

lajari oleh para ahli Biokimia sehubungan dengan kehidupan ini adalah bagaimana perubahan dari molekul-molekul tak hidup tadi menjadi molekul-molekul hidup yang dapat menjalankan tugas sesuai dengan fungsinya masing-masing dalam tubuh organisme hidup.

Organisme hidup selalu berada dalam suatu sistem yang terbuka. Hal ini berarti bahwa organisme hidup itu dalam kehidupannya selalu dipengaruhi atau mempengaruhi lingkungan. Organisme hidup memerlukan energi untuk dapat tumbuh dan berkembang. Energi ini tentu diperolehnya dari hasil interaksinya dengan lingkungan. Organisme hidup memiliki kemampuan untuk merubah bentuk energi yang diperolehnya dari lingkungan sehingga dapat digunakan untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Energi matahari dirobah secara kimia oleh tumbuh-tumbuhan menjadi energi potensial yang tersimpan dalam molekul senyawa karbohidrat melalui suatu proses yang disebut fotosintesis. Reaksi fotosintesis terjadi di dalam daun tumbuh-tumbuhan dan merupakan reaksi perubahan gas karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) menjadi karbohidrat ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dan oksigen (O_2) dengan bantuan energi matahari dalam bentuk photon. Secara sederhana, reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Pada reaksi ini, pembentukan 1 mol karbohidrat (glukosa) memerlukan energi sebesar 48 photon. Energi ini tentu berasal dari sinar matahari dari spektrum daerah tampak. Energi photon ini diserap oleh pigmen fotosintesis dalam daun tumbuh-tumbuhan hi-

jau yang lazim disebut sebagai kloropil. Jadi, karbohidrat terjadi sebagai hasil interaksi tumbuh-tumbuhan dengan lingkungannya. Manusia memanfaatkan senyawa karbohidrat ini sebagai bahan makanan dan secara alamiah tubuh manusia merubah energi potensial yang terkandung dalam molekul karbohidrat tersebut menjadi energi dalam bentuk lain dan menggunakannya untuk keperluan aktivitas tubuhnya.

Proses pembentukan dan pengubahan energi yang terjadi di dalam tubuh organisme hidup ini pada dasarnya adalah proses kimia dan ilmu yang mempelajarinya disebut sebagai Biokimia. Dengan demikian, Biokimia adalah ilmu yang mempelajari tentang proses-proses kimia yang terjadi pada organisme hidup baik tumbuh-tumbuhan maupun hewan, terutama pada manusia. Dalam hal ini, proses kimia yang akan dipelajari terutama adalah proses-proses kimia yang ada kaitannya dengan pembentukan dan pengubahan energi.

A. Sejarah Perkembangan Biokimia.

Ilmu pengetahuan Biokimia sampai saat sekarang ini selalu menunjukkan perkembangan yang sangat pesat. Perkembangan Biokimia ini sejalan dengan perkembangan Kimia Organik. Hasil Studi Scheele (1742-1786), seorang ahli kimia kebangsaan Swedia, dapat dipandang sebagai awal dari perkembangan ilmu pengetahuan Biokimia. Dia pada masa itu telah memelopori studi tentang komposisi kimia jaringan tumbuh-tumbuhan dan hewan serta berhasil mengisolasi berbagai senyawa yang sekarang disebut asam laktat, sitrat, oksalat, tartrat, gliserol, dan eter, dari organisme hi-

dup yang dianalisisnya.

Kemudian Berzelius dan Liebig, pada abad ke 19, melakukan analisis laboratorium terhadap senyawa-senyawa yang telah ditemukan oleh Scheele tersebut di atas. Hasil analisis mereka menunjukkan bahwa semua zat yang ditemukan oleh Scheele itu selalu mengandung unsur karbon. Semenjak itu banyak ahli kimia berpendapat bahwa senyawa karbon hanya terbentuk di dalam organisme hidup dan senyawa itu dapat hidup dengan bantuan kekuatan hidup, dan oleh sebab itu senyawa ini disebut sebagai senyawa organik.

Hasil studi Wohler pada tahun 1828 tentang pembuatan urea dan Kolbe pada tahun 1844 tentang pembuatan asam asetat mendorong para ahli kimia untuk meninjau kembali ketepatan pendapat bahwa senyawa karbon hanya terbentuk dalam organisme hidup. Urea sebagai senyawa yang secara alamiah dihasilkan oleh organisme hidup (hewan) ternyata dapat dibuat oleh Wohler secara laboratorium dengan memanaskan senyawa ammonium sianat (NH_4OCN). Begitu pula asam asetat yang biasanya dibuat oleh organisme hidup ternyata dapat pula dibuat secara sintesis di laboratorium oleh Kolbe. Dengan demikian, para ahli kimia menyimpulkan bahwa tidak semua senyawa karbon itu terbentuk dalam organisme hidup.

Penelitian tentang senyawa-senyawa karbon terus berlanjut. Chevreul (1789-1889) mempelajari reaksi-reaksi penyabunan lemak dan menemukan bahwa dalam proses penyabunan lemak tersebut diperoleh asam lemak dan gliserol. Kemudian Fisher mengadakan penelitian terhadap struktur berbagai senyawa karbon, se-

perti karbohidrat, lemak, protein, dan asam nukleat. Pada tahun 1868, Miescher menemukan bahwa asam nukleat terdapat di dalam inti sel organisme hidup. Dari hasil temuan ini, para ahli kimia berkeyakinan bahwa pembahasan biokimia sangat erat kaitannya dengan proses organis dan biologis.

Perkembangan pengetahuan biokimia dalam aspek metabolisme dan respirasi pada hakekatnya telah dipelopori oleh Lavoisier (1779-1784). Dia telah terlebih dahulu mempelajari proses pernapasan (respirasi) dengan menggunakan alat kalorimeter untuk mengukur panas yang terjadi pada proses pernapasan tersebut sehingga hasil penemuannya ini dijadikan dasar bagi penelitian tentang metabolisme energi. Dari hasil penelitian ini orang akhirnya dapat mengetahui nilai kalori per gram yang dihasilkan dalam metabolisme karbohidrat, lemak dan protein pada abad ke 19.

Penyelidikan ilmiah tentang biokimia dalam abad ke 19 dan 20 berkembang dengan cepat. Penelitian mengenai proses fermentasi, baik yang menggunakan oksigen (aerob) maupun tidak menggunakan oksigen (anaerob), telah banyak dilakukan para ahli kimia. Pasteur mempelajari beberapa jenis organisme hidup yang dapat menyebabkan terjadinya fermentasi. Pada tahun 1897, Bucher berhasil melakukan fermentasi gula menjadi alkohol hanya dengan menggunakan ekstrak ragi, tanpa menggunakan sel hidup. Perkembangan yang penting sehubungan dengan biokimia ini pada abad ke 19 adalah penemuan tentang fotosintesis dan proses pencernaan hewan.

Hasil-hasil penemuan pada abad ke 19 menjadi dasar bagi

pengembangan biokimia pada abad ke 20. Penemuan tentang gizi dalam makanan manusia serta berbagai jenis penyakit yang disebabkan oleh karena kekurangan gizi dalam makanan mempunyai arti yang amat penting dalam bidang kedokteran. Begitu pula penemuan tentang vitamin dan fungsinya dalam tubuh memperkaya ilmu dalam bidang biokimia. Di samping itu, penemuan Bucher tentang fermentasi memungkinkan orang pada abad ke 20 ini untuk mempelajari tahap-tahap reaksi dalam proses biokimia. Hasil yang sangat gemilang yang telah dicapai dalam bidang biokimia adalah penemuan Krebs dalam kaitan dengan metabolisme karbohidrat. Penemuan ini lebih diperjelas oleh penemuan Sumner tentang enzim. Enzim merupakan suatu protein yang berfungsi sebagai katalis dalam setiap reaksi biokimia dalam tubuh.

Meningkatnya jumlah penelitian dan tertariknya para ahli di bidang biokimia dewasa ini terjadi karena beberapa alasan. Stryer (1981:1) mengemukakan empat alasan mengapa para ahli dewasa ini banyak melakukan aktivitas di bidang biokimia. Pertama adalah karena konsep-konsep atau prinsip-prinsip kimia untuk menjelaskan proses-proses biokimia yang penting telah banyak yang dimengerti dan dipahami orang. Penemuan tentang struktur deoxyribonucleic acid (DNA), penjelasan tentang faktor genetik, penemuan struktur tiga dimensi dari molekul protein, dan penjelasan tentang jalur-jalur metabolisme, merupakan penemuan yang sangat berarti dalam perkembangan ilmu pengetahuan biokimia.

Kedua, adanya penemuan tentang bentuk atau jenis molekul materi yang menjelaskan perbedaan berbagai macam kehidupan, se-

perti kehidupan hewan dan tumbuh-tumbuhan berbeda dengan kehidupan bakteri, manusia mempunyai banyak keistimewaan dalam hal struktur molekul penyusun tubuhnya dan molekul-molekul yang sama membentuk unit-unit molekul untuk membentuk molekul yang lebih besar (makromolekul). Aliran informasi genetik dari DNA kepada ribonucleic acid (RNA) dan kepada protein pada dasarnya menggunakan adenisine teriphosphate (ATP) sebagai molekul pembawa energi.

Ketiga, ilmu pengetahuan biokimia mempunyai peranan yang besar dalam dunia kedokteran. Sebagai contoh, pengidentifikasian logam tertentu untuk aktivitas enzim sekarang ini memegang peranan yang sangat penting dalam mendiagnosa kesehatan pasien, kadar enzim tertentu dalam serum darah merupakan kriteria yang berguna sekali dalam mengetahui apakah pasien baru-baru ini telah menderita penyakit tertentu, dan ilmu pengetahuan biokimia telah memberikan landasan yang sangat berarti bagi perencanaan pengobatan secara rasional.

Keempat, perkembangan pengetahuan biokimia yang berjalan cepat dewasa ini telah memungkinkan para peneliti untuk mentekel masalah-masalah yang mendasar dalam bidang biologi dan kedokteran. Sebagai contoh, para ilmuwan telah dapat mengungkapkan bagaimana sebuah sel tunggal berkembang menjadi sel-sel yang berbeda dengan sel-sel otot, syaraf dan hati; bagaimana sel dapat bertemu satu sama lainnya dalam membentuk organ yang rumit; bagaimana pertumbuhan sel dapat dikontrol; bagaimana kanker dapat terjadi, dan sebagainya.

B. Manfaat Mempelajari Biokimia

Biokimia adalah ilmu yang mempelajari tentang senyawa-senyawa karbon serta reaksi-reaksinya dalam tubuh organisme hidup, baik tumbuh-tumbuhan maupun hewan atau manusia. Biokimia dewasa ini berkembang dengan cepat. Tidak ada cabang ilmu lain dalam ilmu pengetahuan alam yang secara mendalam membahas tentang proses-proses kehidupan yang mendasar. Penemuan tentang kimia vitamin dan hormon telah mendorong para ilmuwan untuk melakukan eksperimen tentang keadaan tubuh dan mekanisme reaksi enzim dalam jasad organisme hidup. Pengertian yang mendasar tentang proses-proses dinamis dari metabolisme telah diperoleh, sehingga karakteristik dari setiap sel hidup telah dapat diketahui. Pemahaman yang mendasar tentang pembentukan, perubahan dan penggunaan dari energi serta cara-cara bagaimana materi sel dibangun dan dihancurkan juga telah dicapai. Pengetahuan-pengetahuan tersebut di atas sangat bermanfaat bagi manusia dalam upaya mengungkapkan proses-proses yang terjadi dalam tubuh organisme hidup.

Dengan demikian, mempelajari Biokimia akan memberikan banyak manfaat, baik manfaat yang berkaitan dengan pengembangan ilmu Biokimia itu sendiri maupun manfaat yang secara langsung dapat dirasakan oleh manusia sebagai akibat dari aplikasi ilmu pengetahuan Biokimia dalam kehidupan sehari-hari. Dengan mempelajari Biokimia manusia dapat mengenal struktur jaringan tubuh organisme hidup serta karakteristik senyawa-senyawa penyusun jaringan tersebut. Secara kimia orang dapat menentukan je-

nis dan struktur senyawa-senyawa karbon yang terdapat dalam jaringan hidup, seperti struktur berbagai macam protein, lemak, karbohidrat, vitamin, hormon dan asam nukleat. Jenis dan struktur senyawa-senyawa karbon yang telah diketahui akan menjadi dasar bagi penentuan jenis dan struktur senyawa-senyawa karbon yang belum diketahui dalam jaringan hidup sehingga ilmu pengetahuan Biokimia berkembang secara berkelanjutan.

Pengetahuan tentang jenis dan struktur senyawa karbon dalam jasad organisme hidup sangat menarik untuk diaplikasikan. Dengan mengetahui jenis dan struktur senyawa protein, lemak dan karbohidrat dalam tubuh manusia misalnya, orang dapat memahami fungsi dan peranan setiap jenis senyawa karbon tersebut dalam proses kehidupan sehingga proses metabolisme ketiga jenis senyawa tersebut dapat dijelaskan. Jenis protein, lemak dan karbohidrat yang dimetabolisme dalam tubuh manusia adalah asam amino, triasilgliserol dan glukosa. Dalam proses metabolisme ini dihasilkan sejumlah energi. Pengetahuan tentang metabolisme akan dapat membantu manusia dalam menentukan jumlah zat makanan yang harus diperolehnya melalui bahan makanan sehari-hari guna melangsungkan proses metabolisme tubuhnya serta pengaruh senyawa-senyawa lain, seperti vitamin, hormon, enzim dan mineral dalam proses metabolisme yang normal. Dengan demikian, pengetahuan Biokimia akan dapat menolong manusia dalam melestarikan kesehatan tubuhnya melalui pengaturan bahan makanan yang dimakannya sehari-hari.

Penemuan tentang jenis dan struktur kimia jaringan tubuh organisme hidup sangat bermanfaat dalam menerapkan suatu tek-

nologi baru di bidang Biokimia berupa transformasi kimia dari senyawa-senyawa karbon yang terdapat dalam jaringan organisme hidup, baik pada tumbuh-tumbuhan maupun pada hewan. Secara garis besarnya transformasi kimia ini dapat dikelompokkan ke dalam dua bahagian. Pertama adalah transformasi yang mengacu kepada pembentukan suatu produk akhir yang diinginkan, seperti pembuatan enzim, antibiotika, asam organik dan steroid. Produk-produk ini diperoleh dari jaringan organisme hidup dengan cara isolasi, purifikasi dan modifikasi di laboratorium. Hasilnya dimanfaatkan sesuai dengan keperluan. Kedua adalah proses transformasi yang berkaitan dengan penguraian bahan baku yang tersedia, seperti pengolahan limbah menjadi produk-produk yang tidak merusak kesehatan, pendestruksian buangan industri menjadi produk-produk yang tidak beracun, dan pembersihan tumpahan minyak. Hal ini sesuai dengan pendapat Smith. (1985:1) sebagai berikut:

"Proses bioteknologi pada umumnya mencakup produksi sel atau biomassa dan transformasi kimia yang diinginkan. Transformasi kimia tersebut lebih lanjut dapat dibagi ke dalam dua subbagian yaitu:

- a. pembentukan suatu produk akhir yang diinginkan,
- b. penguraian suatu bahan baku yang diberikan".

Pengetahuan tentang kedua jenis transformasi ini sangat bermanfaat mengingat kebutuhan manusia akan jasa proses transformasi kimia dalam mewujudkan produk-produk yang diinginkan dewasa ini semakin meningkat.

C. Peranan Biokimia dalam Perkembangan Sains dan Teknologi.

Ilmu pengetahuan Biokimia memegang peranan penting dalam perkembangan sains dan teknologi. Penemuan-penemuan di bidang

Biokimia secara praktis merupakan bahan terapan dalam mewujudkan produk-produk yang diinginkan manusia. Biokimia beserta berbagai disiplin ilmu pengetahuan alam dan teknologi, seperti mikrobiologi, genetika, biologi molekuler, kimia dan rekayasa teknik kimia, menghasilkan produk-produk baru yang dibutuhkan manusia melalui suatu proses yang disebut bioteknologi. Smith (1985:1) mengungkapkan bahwa bioteknologi merupakan suatu bidang penerapan biosains dan teknologi yang menyangkut penerapan praktis dari organisme hidup atau komponen subselulernya pada industri jasa dan manufaktur serta pengolahan lingkungan. Dalam prosesnya, bioteknologi ini memanfaatkan bakteri, ragi, kapang, alga, sel jaringan tumbuhan atau hewan yang dibiakkan sebagai konstituen berbagai proses industri dalam menghasilkan produk-produk bioteknologi yang mutakhir.

Reaksi kimia yang terjadi pada proses bioteknologi dapat bersifat katabolik dan anabolik atau biosintesis. Reaksi katabolik terjadi bila senyawa yang kompleks (makromolekuler) diuraikan menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana, seperti penguraian glukosa menjadi etanol dan gas karbon dioksida. Reaksi anabolik atau biosintesis terjadi bila molekul-molekul sederhana bergabung menjadi molekul yang kompleks, seperti reaksi sintesis antibiotika, protein, dan sebagainya.

Dalam dekade terakhir ini terjadi inovasi atau perkembangan baru di bidang biomolekuler dan pengendalian proses yang dapat menciptakan produk-produk baru yang menakjubkan. Perkembangan baru tersebut meliputi rekayasa genetika, teknologi enzim, rekayasa biokimia, dan rekayasa produk/sistem.

Rekayasa genetika merupakan manipulasi genom dari organisme penting di bidang industri dengan cara rekombinasi dan mutasi seksual, yakni rekombinasi dan mutasi DNA. Teknik rekombinasi DNA ini melibatkan pemecahan sel hidup secara hati-hati, ekstraksi DNA, pemurnian dan fragmentasi selektif DNA dengan menggunakan enzim yang spesifik, nalisis, pemilihan dan pemurnian suatu fragmen yang mengandung gen yang diinginkan dan pengikatan secara kimiawi suatu molekul pembawa ke DNA serta pemasukan hibrid DNA ke dalam suatu sel terpilih untuk reproduksi dan sintesis seluler. Teknologi rekombinasi DNA memberikan manipulasi lebih mudah dari suatu genom dan secara langsung dapat segera menghindari ketidakcocokan antar spesies dan antar genetis. Kemungkinan pemanfaatan teknik sangat luas. Gen insulin dan interferon manusia telah berhasil dipindahkan dan diekspresikan ke dalam sel mikroorganisme. Fusi protoplast, pembuatan monoklonal antibodi, dan penggunaan secara luas teknik kultur jaringan, merupakan hasil rekayasa genetika yang pada gilirannya mempunyai pengaruh besar terhadap perkembangan bioteknologi.

Perkembangan bioteknologi di bidang teknologi enzim telah membuat orang mampu menciptakan produk-produk komersial melalui proses fermentasi. Enzim diisolasi dari jaringan tumbuh-tumbuhan, hewan dan mikroorganisme tertentu, kemudian dimurnikan dan sifat katalisnya dapat dimanfaatkan melalui pengembangan teknik imobilisasi yang sesuai untuk memungkinkan pemanfaatannya kembali sebagai biokatalis. Pemanfaatan khusus telah dilakukan melalui pembuatan sirup berkadar fruktosa tinggi dengan menggunakan enzim isomerase glukosa yang diisolasi dari bakteri. Imobi-

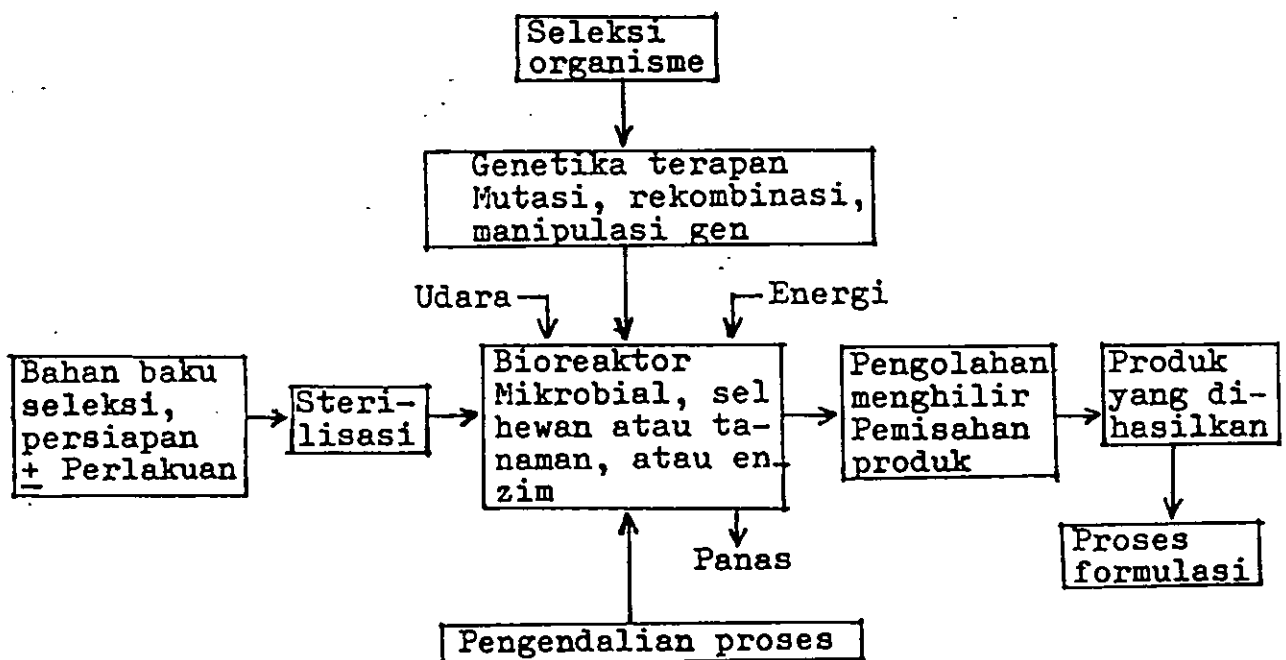
lisasi enzim sebagai biokatalis merupakan pengembangan lebih lanjut dari teknologi enzim. Imobilisasi enzim dapat dianggap sebagai perubahan enzim yang larut dalam air (keadaan bergerak) menjadi enzim yang tidak larut dalam air (keadaan tidak bergerak). Imobilisasi ini mencegah difusi enzim ke dalam campuran reaksi dan mempermudah memperoleh kembali enzim tersebut dari aliran produk dengan teknik pemisahan padat/cair yang sederhana. Jadi, imobilisasi pada dasarnya adalah reaksi terbatas dari enzim sehingga enzim tersebut memungkinkan untuk dapat dipakai kembali. Hal ini dapat dicapai dengan mengikat enzim secara kovalen ke permukaan bahan yang tidak larut dalam air, pengikatan silang dengan bahan yang cocok untuk menghasilkan partikel yang larut, penjebakan di dalam suatu matrik atau gel yang permeabel terhadap enzim, substrat dan produk, dengan enkapsulasi, dan dengan adsorpsi pada zat pendukung.

Rekayasa biokimia ditandai dengan terwujudnya bioreaktor sebagai sarana penting dalam proses bioteknologi dengan menyediakan suatu mata rantai antara bahan baku atau substrat dan produk akhir. Bioreaktor pada hakekatnya adalah sistem tertutup untuk reaksi biologis dari suatu proses bioteknologi. Rancang bangun bioreaktor mengacu kepada teknik pemantauan dan pengendalian proses dengan bantuan alat komputer. Skema dari suatu proses bioteknologi dapat dilihat pada gambar 1.

Kemampuan menghasilkan sejumlah molekul biologi seperti antibodi dan enzim, bersamaan dengan teknik imobilisasi protein dan sel, memberikan kemungkinan pengembangan baru secara radikal yang dapat digunakan untuk tujuan biodiagnosis dan biode-

toksifikasi. Dalam rekayasa produk atau sistem hal demikian dapat dikombinasikan dengan alat mikroelektronis atau komputer yang memungkinkan pemrograman pengendalian canggih dalam banyak industri bioteknologi dan jasa.

Bioteknologi pada umumnya mempunyai dua karakteristik, yakni aplikasi praktis dan kerjasama interdisipliner. Para ahli bioteknologi akan menggunakan berbagai teknik yang berasal dari bidang ilmu kimia, mikrobiologi, genetika, biokimia, teknik kimia, dan ilmu komputer, dengan sasaran utamanya adalah inovasi, pengembangan, dan operasi. Dalam hal ini, suatu proses katalis biokimia mempunyai peranan penting yang tidak dapat diganti. Jadi, bioteknologi bukanlah suatu disiplin ilmu baru, tetapi merupakan suatu aktivitas bagi para ilmuwan dari berbagai bidang disiplin ilmu guna memberikan kontribusinya.



Gambar 1: Ikhtisar skematis suatu proses bioteknologi

(Sumber: Smith.J.E. 1985. Prinsip Bioteknologi. hal. 9)

Perbedaan antara biosains dan bioteknologi dapat dilihat dengan jelas. Biosains mengacu kepada pengenalan pengetahuan biologi, sedangkan bioteknologi berhubungan dengan aplikasi dari pengetahuan biologi serta ilmu-ilmu pengetahuan lainnya dari berbagai bidang yang terkait.

Seorang bioteknolog yang lengkap pada dasarnya tidak akan pernah ada, karena tidak seorangpun manusia yang dapat memiliki keahlian sekaligus dalam bidang mikrobiologi, biokimia, biologi molekuler, rekayasa kimia, rekayasa proses atau sistem, dan lain sebagainya. Namun, para ilmuwan yang berkecimpung dalam bidang ini harus berusaha agar mengerti dan memahami teknik-teknik pengaplikasian berbagai ilmu pengetahuan yang terkait dalam bidang bioteknologi yang dikembangkan.

Dari uraian di atas jelaslah bahwa proses bioteknologi mengacu kepada pembentukan suatu produk yang diinginkan dengan memanfaatkan berbagai macam ilmu pengetahuan guna memenuhi kebutuhan manusia. Biokimia terutama sekali berperan dalam proses pengolahan bahan baku dalam bioreaktor dengan menggunakan katalis enzim. Di samping ilmu pengetahuan di bidang lain, biokimia memegang peranan penting baik dalam pengembangan ilmu maupun dalam perwujudan bioteknologi.

SOAL-SOAL

1. Jelaskan dengan ringkas:
 - a. apa yang dimaksud dengan organisme hidup dan apa bedanya dengan benda mati!
 - b. apa yang dimaksud dengan sistem terbuka dan bagaimana implikasinya terhadap organisme hidup!
 - c. apa yang dimaksud dengan fotosintesis dan bagaimana implikasinya terhadap organisme hidup!
2. Kemukakan secara ringkas tentang sejarah perkembangan Biokimia! Sebutkan para ilmuwan yang berperan dalam pengembangan Biokimia!
3. Bagaimana perkembangan Biokimia dalam dasawarsa abad ke 20 dan apa kecenderungan pengembangan ilmu ini di masa datang?
4. Jelaskan pendapat anda mengapa para ilmuwan dewasa ini tertarik untuk mengembangkan Biokimia, baik sebagai pengembangan ilmunya maupun sebagai penerapan ilmunya?
5. Manfaat apa menurut anda yang dapat diperoleh jika mempelajari Biokimia?
6. Jelaskan secara ringkas pendapat anda tentang peranan Biokimia dalam Sains dan Teknologi!
7. Apa yang anda ketahui tentang:
 - a. rekayasa genetika
 - b. rekayasa biokimia
 - c. rekayasa produk/sistem
 - d. teknologi enzim
 - e. bioteknologi
8. Jelaskan dengan ringkas tentang proses bioteknologi dan tuliskan prosesnya secara skematis!

II. KARBOHIDRAT

Karbohidrat adalah senyawa yang paling banyak dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan. Melalui proses fotosintesis, tumbuh-tumbuhan merubah gas karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) menjadi senyawa karbohidrat. Jenis karbohidrat yang paling banyak dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan adalah sellulosa, zat pati atau starch, dan beberapa macam gula.

Sellulosa merupakan senyawa penyusun tubuh tumbuh-tumbuhan yang utama. Senyawa ini digunakan sebagai dinding sel, serat, dan jaringan kayu. Zat pati merupakan persediaan karbohidrat tumbuh-tumbuhan yang kemudian dapat digunakan oleh manusia sebagai bahan makanan. Beberapa jenis tumbuh-tumbuhan dapat menghasilkan karbohidrat berupa molekul yang lebih sederhana, yakni sukrosa (gula meja) yang dapat terurai menjadi molekul glukosa dan fruktosa melalui proses hidrolisis.

Karbohidrat merupakan zat makanan dan sumber kalori yang utama bagi manusia, khususnya bagi penduduk negara yang sedang berkembang. Walaupun jumlah kalori yang dapat dihasilkan oleh 1 gram karbohidrat hanya \pm 4 kkal, suatu jumlah yang relatif kecil dibandingkan dengan jumlah kalori yang dihasilkan oleh 1 gram lemak dan protein, karbohidrat merupakan sumber kalori tubuh yang murah. Di samping itu, beberapa golongan karbohidrat menghasilkan serat-serat yang berguna bagi pencernaan bahan makanan dalam tubuh manusia.

Untuk lebih mengenai kimia karbohidrat, pada bahagian ini akan dibahas tentang ciri-ciri dan struktur karbohidrat, bentuk siklis dari mono dan di sakarida, dan reaksi-reaksi pengenalan

karbohidrat terutama reaksi pengenalan mono dan disakarida.

A. Ciri-Ciri Karbohidrat.

Karbohidrat merupakan salah satu bentuk senyawa karbon yang terbentuk di alam. Kebanyakan senyawa ini tersusun dari hidrat karbon dengan perbandingan 1 : 1, yang berarti dalam setiap molekul karbohidrat terdapat 1 mol karbon (C) dan 1 mol air (H_2O), dengan rumus $C_n(H_2O)_n$. Oleh karena itu, nama karbohidrat diberikan kepada senyawa ini.

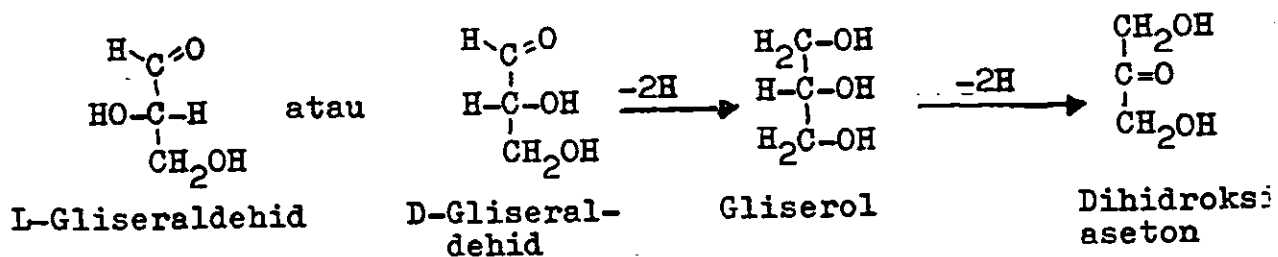
Berbagai jenis karbohidrat banyak terdapat di alam, terutama dalam bahan nabati, baik berupa molekul sederhana seperti gula sederhana, heksosa, pentosa, maupun berupa molekul yang lebih kompleks seperti zat pati, pektin, selulosa dan lignin. Buah-buahan pada umumnya mengandung molekul gula sederhana (monosakarida) seperti glukosa dan fruktosa. Molekul yang lebih kompleks (disakarida) seperti gula tebu (sukrosa atau sakarosa) terdapat di dalam batang tebu dan gula susu (laktosa) terdapat dalam air susu. Beberapa senyawa karbohidrat yang cukup kompleks (oligosakarida) seperti dekstrin terdapat dalam sirup pati, roti, dan bir, sedangkan berbagai senyawa karbohidrat yang sangat kompleks (polisakarida) seperti zat pati, banyak terdapat dalam umbi-umbian, dan selulosa dan pektin banyak terdapat dalam buah-buahan. Di samping itu, beberapa jenis senyawa karbohidrat juga terdapat dalam bahan hewani, seperti glikogen (polisakarida) terdapat dalam hati dan otot hewan, laktosa terdapat dalam air susu sapi, dan sedikit glukosa juga terkandung dalam daging hewan.

Mengingat banyaknya jenis senyawa karbohidrat terdapat di alam, maka untuk memudahkan dalam mempelajarinya satu persatu dilakukan pengelompokan berdasarkan jumlah atom karbon yang terkandung dalam molekulnya. Secara umum karbohidrat dapat dikelompokkan menjadi senyawa golongan monosakarida, oligosakarida, dan polisakarida. Monosakarida merupakan suatu molekul karbohidrat yang dapat terdiri dari lima atau enam atom karbon, sedangkan oligosakarida merupakan senyawa yang terbentuk dari hasil polimerisasi 2 - 10 molekul monosakarida, dan polisakarida pada umumnya merupakan senyawa karbohidrat yang terbentuk dari hasil polimerisasi lebih dari 10 molekul monosakarida.

Monosakarida biasanya mengandung sejumlah gugus hidroksi (polihidroksi) di samping terdapatnya gugus aldehid atau keton dalam molekulnya. Oleh karena itu, monosakarida disebut pula dengan molekul polihidroksi aldehid atau polihidroksi keton.

B. Struktur Karbohidrat.

Senyawa karbohidrat berbeda dengan senyawa polialkohol biasa dalam hal sifat gugus hidroksil yang dimilikinya. Gugus hidroksil yang terdapat pada molekul polialkohol biasa dapat dioksidasi menjadi gugus karbonil sedangkan gugus hidroksil yang terdapat pada karbohidrat tidak dapat dioksidasi menjadi gugus karbonil. Sebagai contoh pengoksidasian senyawa gliserol:

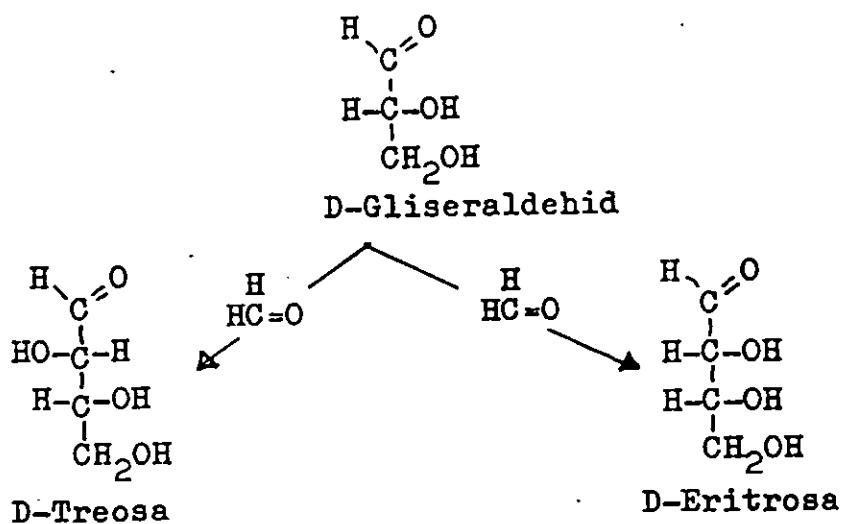


Reaksi oksidasi (dehidrogenasi) tersebut di atas ternyata dapat menghasilkan dua jenis molekul baru, yakni senyawa aldehid dan keton. Senyawa monosakarida dapat diperoleh dari turunan senyawa aldehid maupun keton dengan mensubstitusikan gugus lain kepada senyawa tersebut. Hal ini sejalan dengan pernyataan Winarno (1988:19) sebagai berikut:

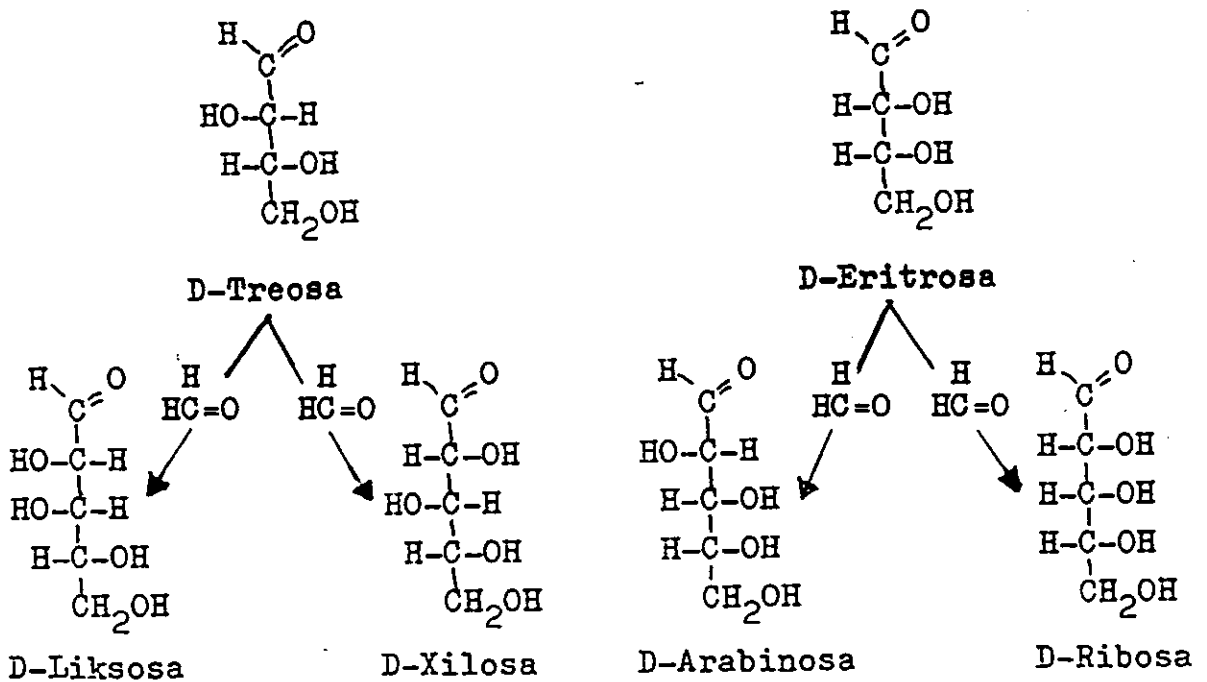
"Rumus bangun monosakarida dianggap merupakan turunan dari gliseraldehid, yaitu gugus karbonil (aldehid) disubstitusi dengan gugus lain, sehingga menjadi D-glukosa, D-fruktosa, atau gula sederhana lainnya".

Selanjutnya, Karlson (1971:270) menyatakan bahwa molekul monosakarida (gula sederhana) yang dalam strukturnya mengandung gugus keto (seperti pada dihidroksiaseton) disebut sebagai ketosa dan monosakarida yang dalam struktur molekulnya terdapat gugus aldehid (seperti pada gliseraldehid) disebut sebagai aldosa.

Rantai karbon gliseraldehid pada dasarnya dapat diperpanjang secara mudah melalui reaksi kondensasi dengan formaldehid. Dengan cara ini, dua jenis senyawa dapat terbentuk melalui reaksi sebagai berikut:



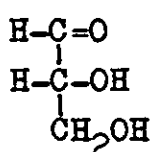
Kedua senyawa yang terbentuk tersebut adalah D-Threosa dan D-Erithrosa, suatu senyawa monosakarida dengan jumlah rantai C empat buah. Pengulangan kondensasi selanjutnya akan menghasilkan empat macam senyawa pentosa, yakni D-Liksosa, D-Xilosa, D-Arabinosa, dan D-Ribosa, dimana dua molekulnya dihasilkan dari kondensasi formaldehid D-Threosa dan dua molekul lagi dihasilkan dari kondensasi formaldehid D-Erithrosa. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



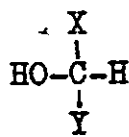
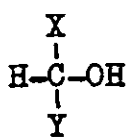
Selama reaksi kondensasi formaldehid tersebut dimulai dengan senyawa D-Gliseraldehid, serangkaian perpanjangan rantai seri D akan terbentuk. Perpanjangan rantai D-gliseraldehid hanya akan menghasilkan D-gula dan perpanjangan rantai yang dimulai dari L-gliseraldehid akan menghasilkan L-gula.

Apa yang dimaksud dengan notasi D- dan L-gula? Dalam menuliskan rumus bangun molekul-molekul gula ada beberapa cara yang digunakan orang. Cara penulisan yang paling sederhana dan

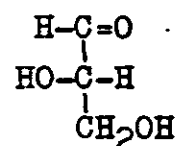
banyak digunakan orang adalah menurut Fischer yang lazim disebut sebagai Fischer projection formula, seperti terlihat di bawah ini.



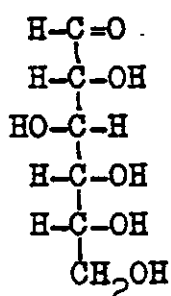
D-Gliseraldehid



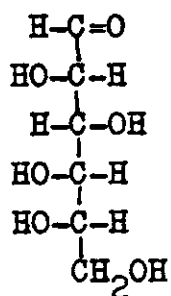
L-Gliseraldehid



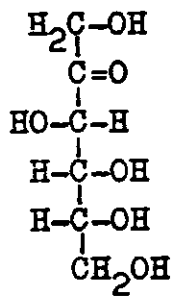
Dengan demikian rumus bangun molekul D- dan L-glukosa serta D- dan L-fruktosa dapat pula ditulis sebagai berikut:



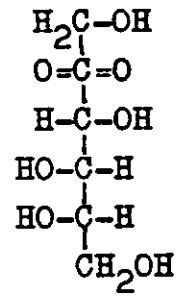
D-Glukosa



L-Glukosa



D-Fruktosa



L-Fruktosa

Huruf D yang terlihat pada nama gula, seperti D-glukosa, merupakan singkatan dari kata dekstro dan L dari kata levo. Biasanya huruf D atau L ditulis di depan nama gula sederhana. Ben-L merupakan bayangan cermin dari bentuk D. Pemberian nama D atau L didasarkan kepada cara penulisan rumus bangun gliseraldehid menurut Fischer projection formula. Bila gugus hidroksil pada atom C nomor 2 (ditengah) pada sebuah molekul gliseraldehid terletak di sebelah kanan, maka dinamakan dengan bentuk D, dan bila berada di sebelah kiri, maka dinamakan bentuk L.

Beberapa monosakarida seperti D-glukosa, D-galaktosa, dan D-fruktosa dengan cepat dan mudah terserap oleh darah melalui

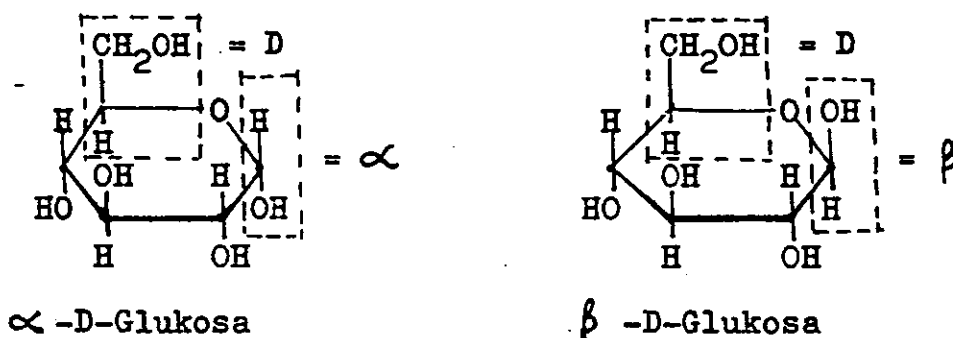
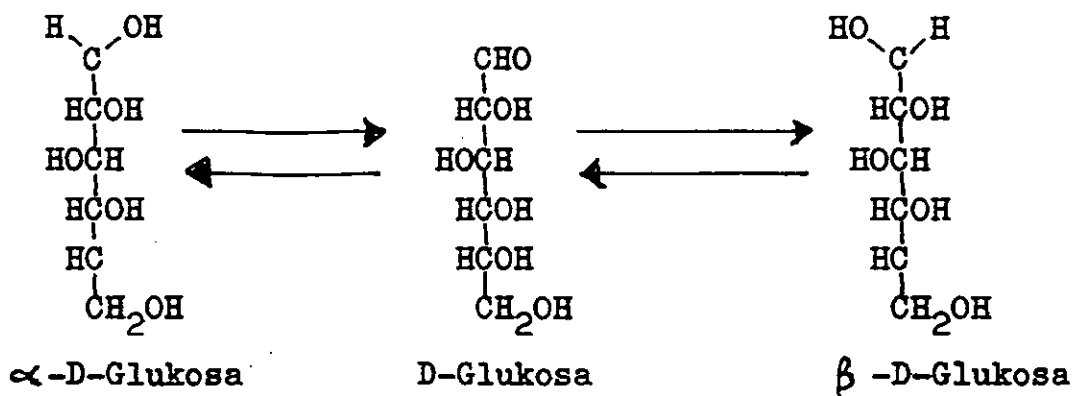
dinding usus halus manusia, sedangkan monosakarida lain yang mempunyai berat molekul (BM) sama atau lebih kecil dari BM D-glukosa, seperti D-mannosa, L-arabinosa, dan L-sorbose, hanya sebahagian kecil saja yang dapat terserap oleh darah.

Meskipun ada bentuk D dan L, tetapi monosakarida-monosakarida yang terdapat di alam pada umumnya berbentuk D, dan jarang sekali terdapat dalam bentuk L, kecuali L-fukosa, yang terdapat dalam mukopolisakarida dan mukoprotein. Beberapa senyawa pentosa yang secara alamiah terdapat dalam bentuk L ialah L-arabinosa dan L-xilosa, yang terdapat dalam urin penderita penyakit pentosuria (Winarno, 1988:19)

Walaupun D-glukosa dan D-fruktosa sama-sama mempunyai bentuk yang sama, yaitu bentuk D, tetapi terhadap cahaya yang terpolarisasi D-fruktosa bersifat memutar bidang cahaya terpolarisasi ke kiri, sedangkan D-glukosa memutar ke kanan. Karena itu untuk menggambarkan lebih lengkap nama kedua jenis senyawa tersebut dapat ditulis sebagai D(+)-glukosa dan D(-)-fruktosa.

Dalam kenyataannya, molekul heksosa tidak merupakan rantai lurus seperti tertera pada rumus bangunnya di atas oleh karena antara atom C nomor 1 dan atom C nomor 5 terbentuk suatu jembatan oksigen sehingga dapat membentuk cincin yang melibatkan hidroksil dari karbon nomor 5. Cincin segi lima disebut sebagai cincin furanosa dan segi enam disebut sebagai cincin piranosa. Atom C nomor 1 dapat tersusun lagi dalam dua cara, yakni membentuk α -D-glukosa dan β -D-glukosa. Atom C ini disebut atom karbon anomerik. Proses pembentukan cincin terse-

but dapat dilukiskan sebagai berikut:



Posisi H dan OH pada karbon anomerik disebut α atau β ditentukan dengan mereaksikannya dengan asam borat. α -Glukosa dengan asam borat bereaksi dengan cepat sedangkan β -glukosa sukar bereaksi dengan asam borat. Haworth berhasil menggambar rumus tersebut dalam bentuk perspektif dengan atom H dan hidroksil (OH) di atas atau di bawah bidang cincin yang letaknya tegak lurus pada permukaan kertas. Ikatan-ikatan yang digambarkan menunjukkan bahwa bahagian yang tebal berarti terletak di depan, sedangkan yang tipis berarti terletak di belakang.

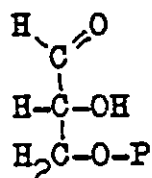
Cara penulisan simbol D dan L pada heksosa didasarkan kepada letak atom C nomor 6. Bila atom C nomor 6 berada di atas bidang cincin maka diberi simbol D, sedangkan bila terletak

di bawah bidang cincin diberi simbol L. Pada D-heksosa, pemberian simbol α dan β ditentukan oleh gugus hidroksil pada atom C nomor 1. Bila letak gugus hidroksil berada di bawah bidang cincin diberi simbol α , dan bila gugus hidroksil tersebut berada di atas bidang cincin diberi simbol β . Oleh karena bentuk D dan L merupakan bayangan cermin, maka pemberian simbol α dan β pada L-heksosa dilakukan secara kebalikannya, yaitu bila gugus hidroksil berada di atas bidang cincin maka diberi simbol α dan bila berada di bawah bidang cincin diberi simbol β .

Pada rumus bangun yang berbentuk cincin seperti di atas, atom C nomor 1 merupakan atom C-asimetrik karena mengikat empat gugus yang berlainan, sehingga menghasilkan dua kemungkinan isomer optik. Hal ini telah terbukti melalui percobaan dengan mengisolasi dua bentuk kristal dari D(+)-glukosa yang berbeda dengan cara pengkristalan dari dua pelarut yang berlainan, yakni air dan piridin. Salah satu bentuk kristal yang diperoleh mempunyai sudut rotasi spesifik $+111^\circ$ (dalam pelarut air) dan dinamakan bentuk α , sedangkan bentuk kristal lainnya mempunyai sudut rotasi spesifik $+19^\circ$ (dalam pelarut piridin) dan disebut bentuk β . Masing-masing bentuk kristal ini bila dibiarkan akan mengalami perubahan rotasi spesifik sampai tercapai keseimbangan, yaitu rotasi spesifiknya menjadi $+52^\circ$. Bentuk β ini akan lebih stabil pada suhu sekitar 100°C . Perubahan rotasi tersebut disebut mutarotasi.

Beberapa struktur gula sederhana (monosakarida) dapat dikemukakan, antara lain: triosa, tetrosa, pentosa, arabinosa,

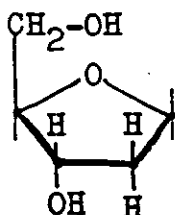
ribulosa, heksosa, deoksiheksosa, heptosa, gula amino, dan asam-asam uronat. Salah satu gula sederhana golongan triosa adalah D-gliseraldehid. D-gliseraldehid adalah produk dehidrogenasi dari gliserol. Dalam hal ini yang lebih penting adalah 3-fosfogliseraldehid, suatu zat intermediet dalam degradasi (pemutusan rantai) karbohidrat, yang berada dalam keseimbangan dengan dihidroksiaseton fosfat. Pencapaian keadaan kesimbangannya ini dikatalisatori oleh enzim triosafosfat isomerase. Struktur dari molekul 3-fosfogliseraldehid dapat dilukiskan sebagai berikut:



3-Fosfogliseraldehid
(Gliseraldehid-3-P)

Dua senyawa tetrosa yang penting adalah threosa dan erithrosa. Struktur kedua macam senyawa ini telah dikemukakan dalam halaman 21. Ketosa erithrulosa perlu dibicarakan karena zat ini muncul sebagai intermediet dalam beberapa reaksi transformasi biokimia dalam bentuk fosfatnya.

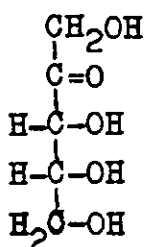
Senyawa pentosa yang penting adalah golongan aldopentosa, seperti ribosa dengan derivatnya ribosafosfat. Ribosa dan ribosafosfat merupakan komponen dari asam-asam nukleat dan koenzim nukleotida. Bentuk furanosa terdapat dalam derivat-derivatnya sedangkan ribosa bebas berada dalam bentuk piranosa. Deoksiribosa dengan struktur:



berfungsi sebagai pembentuk molekul asam deoksiribonukleat (deoxyribonucleic acid = DNA). Senyawa-senyawa pentosa yang bebas berada dalam keadaan kesetimbangan dengan bentuk aldehidnya.

Arabinosa merupakan komponen gum arabic yang banyak terdapat dalam tumbuh-tumbuhan. Struktur senyawa ini dapat dilihat pada halaman 21.

Ribulosa adalah ketosa yang berkaitan dengan ribosa. Pada umumnya, ketosa ditandai dengan akhiran - ulosa (kecuali pada zat yang mempunyai nama trivial, seperti fruktosa). Xylulosa adalah suatu epimer dari ribulosa pada C-3. Fosfat dari ketopentosa memegang peranan penting dalam perubahan-perubahan biologis dari gula dan dalam proses fotosintesis. Struktur dari ribulosa dapat ditulis sebagai berikut:

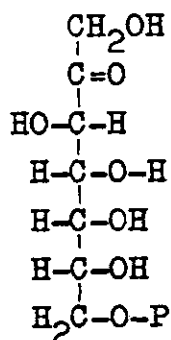


Karbohidrat golongan heksosa yang paling penting dan paling banyak tersebar adalah D-glukosa (juga disebut sebagai gula anggur atau dektrosa). Struktur molekulnya telah diperlihatkan dalam halaman 24. Senyawa ini dalam keadaan bebas terdapat dalam buah-buahan manis dan dalam darah manusia (antara 0,06 - 0,10%).

Esterfosfat dari glukosa yang penting adalah glukosa-1-fosfat, yang senantiasa terdapat dalam keseimbangan dengan glikogen simpanan tubuh dan glukosa-6-fosfat yang terbentuk secara enzimatis dari glukosa dan ATP. Glukosa-1-fosfat dapat dirobah menjadi glukosa-6-fosfat melalui intermediet koenzim glukosa-1,6-difosfat.

Deoksiheksosa merupakan suatu komponen dari beberapa oligosakarida susu dan zat-zat komponen darah seperti L-fukosa (6-deoksi-L-galaktosa). Rhamnosa (6-deoksi-L-mannosa) terjadi dalam senyawa glikosida, seperti dalam strophantin. Kedua senyawa deoksiheksosa ini tergolong ke dalam seri L.

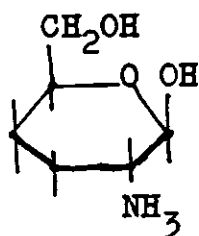
Senyawa golongan heptosa yang banyak dipelajari orang adalah sedoheptulosa. Zat ini merupakan senyawa ketosa dengan struktur yang mirip dengan ribosa, yaitu antara C-4 dan C-6. Senyawa sedoheptulosafosfat terjadi dari ribosa-5-fosfat selama interkonvensi dari glukosa terjadi. Struktur kimia sedoheptulosafosfat dapat dituliskan sebagai berikut:



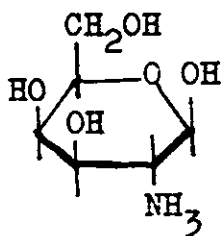
Sedoheptulosa-7-P

Gula amino terbentuk secara formal melalui penggantian sebuah gugus hidroksi dengan sebuah gugus amino. Dalam Biokimia, tiga jenis senyawa gula amino yang penting adalah glukosamin,

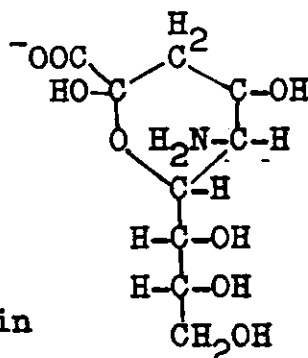
galaktosamin, dan asam neuraminat. Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut:



β -D-Glukosamin



β -D-Galaktosamin



Asam neuraminat

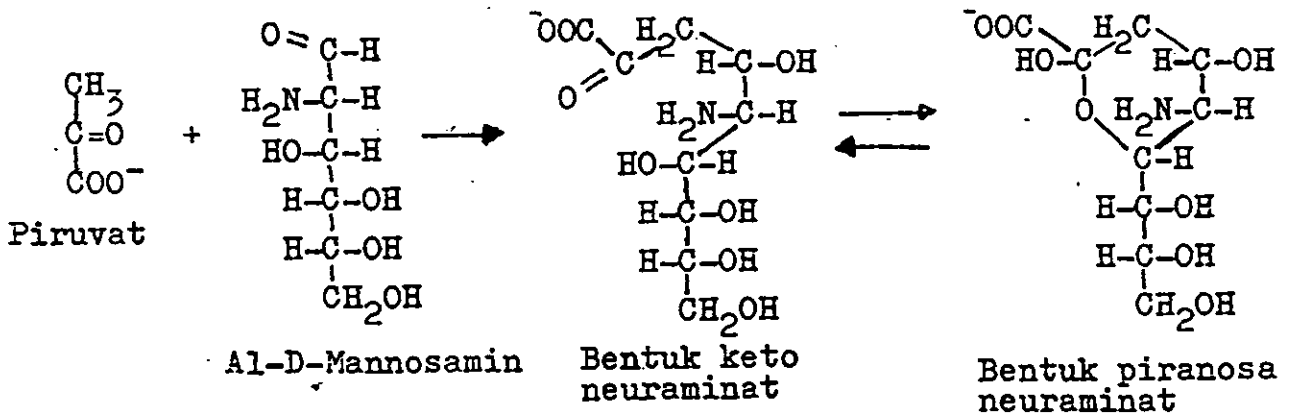
Glukosamin dalam strukturnya beranggotakan D-glukosa dengan gugus amino pada C-2 (2-amino-2-deoksi-D-glukosa). Senyawa ini hanya terjadi sebagai pembatas, seperti dalam khitin (khitosamin), dalam glikolipid, dalam darah, dan dalam polisakarida kompleks lainnya. Gugus aminonya sering terasilasi.

Galaktosamin beranggotakan galaktosa dimana gugus OH nya pada posisi C-2 digantikan oleh gugus amino yang terasilasi. Asetil galaktosamin terjadi dalam glikolipid dan polisakarida kompleks.

Neuraminat mempunyai struktur yang lebih rumit. Strukturnya dapat berasal dari hasil konsensasi aldol antara mannosamin (suatu epimer terhadap glukosamin pada C-2) dan piruvat. Gugus hidroksi yang baru terbentuk berorientasi trans terhadap gugus amino, dan gugus keto dari piruvatnya membentuk cincin piranosa hemiasetal.

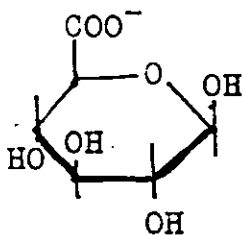
Asam neuraminat dewasa ini banyak dipelajari orang. N-Asetil-neuraminat atau N-glikolil-neuraminat merupakan suatu komponen pembentuk membran glikolipid, glikoprotein, dan zat-zat

dalam darah. Reaksi pembentukan asam neuraminat dari hasil gabungan piruvat dan mannosamin dapat ditulis sebagai berikut:

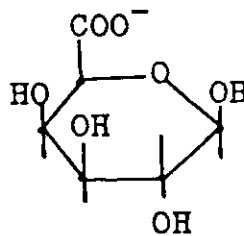


(Sumber: Karlson.P. 1971. Introduction to Modern Biochemistry. hal. 279).

Asam-asam uronat terjadi dari oksidasi gula pada gugus $-\text{CH}_2\text{OH}$, bukan pada gugus aldehyd. Reaksi ini dapat dilakukan secara kimia hanya dengan sistem reaksi tak langsung; tetapi organisme hidup dapat melakukan reaksi secara langsung bertahap. Glukuronat, suatu bentuk dasar dari uronat, merupakan senyawa penting karena zat ini mudah membentuk glikosida yang disebut glukuronida. Banyak zat-zat yang dikeluarkan melalui urin setelah melakukan penggabungan dengan glukuronat. Galakturonat dijumpai dalam pektin. Struktur molekul dari glukuronat dan galakturonat dapat dilukiskan sebagai berikut:



β -D-glukuronat

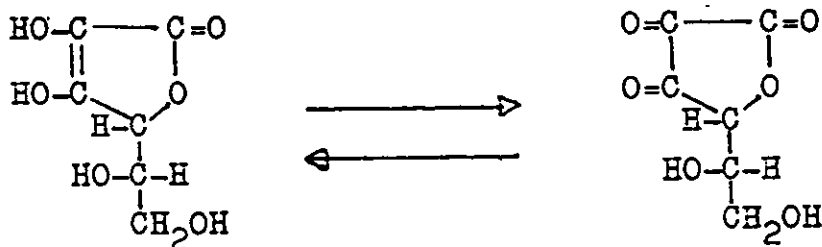


β -D-galakturonat

MILIK LIT. PERPUSTAKAAN

IKIP PADANG

Asam askorbat (vitamin C) ditemukan dan diisolasi sebagai vitamin anti kudis. Asam askorbat adalah suatu senyawa lakton dari 2-keto-L-gulonat. Zat ini mengandung gugus ene-diol (sebuah ikatan rangkap antara dua gugus hidroksil yang berdekatan) dan merupakan zat pereduksi yang kuat karena adanya gugus ene-diol. Dengan lepasnya hidrogen, zat ini dirobah menjadi asam dehidroaskorbat. Reaksinya adalah setimbang dan askorbat beraksi sebagai suatu katalis redoks dalam sel. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



L-Askorbat

L-Dehidroaskorbat

Askorbat banyak tersebar terutama sekali dalam tumbuh-tumbuhan, dimana askorbat oksidase, senyawa yang mengandung tembaga, oksidase transfer empat elektron, juga didapatkan. Tikus dan beberapa jenis hewan lainnya sangat mudah mensintesis askorbat ini; oleh karena itu hewan ini tidak bergantung kepada pemberian vitamin.

Kebanyakan organisme hidup dapat merobah gula (monosakarida) menjadi molekul bentuk lain jika diperlukan, misalnya membentuk ribosa dari glukosa bilamana ribosa diperlukan tubuh untuk mensintesis asam-asam nukleat. Perubahan ini disebut sebagai interkonversi gula. Beberapa tipe reaksi interkonversi dapat dikemukakan sebagai berikut:

1. Reaksi epimerisasi (perubahan konfigurasi sterik pada satu atom C) dan isomerisasi (perubahan aldosa \rightleftharpoons ketosa). Jumlah atom Cnya tidak berubah.
2. Reaksi pemindahan fragmen C-3 atau C-2 dari gula yang satu ke gula yang lain. Dalam hal ini, heksosa dapat dirobah menjadi triosa, tetrosa, pentosa dan heptosa. Biasanya sebagai donor dari fragmen C-3 atau C-2 adalah ketosa dan sebagai aseptornya adalah aldosa. Jumlah atom C karbohidratnya tetap.
3. Reaksi perubahan oksidatif dari satu atom C melalui dehidrogenasi aldehyd untuk membentuk asam dan selanjutnya terjadi dekarboksilasi. Dalam hal ini, heksosa dirobah menjadi pentosa dengan memperpendek rantai atom Cnya satu buah.

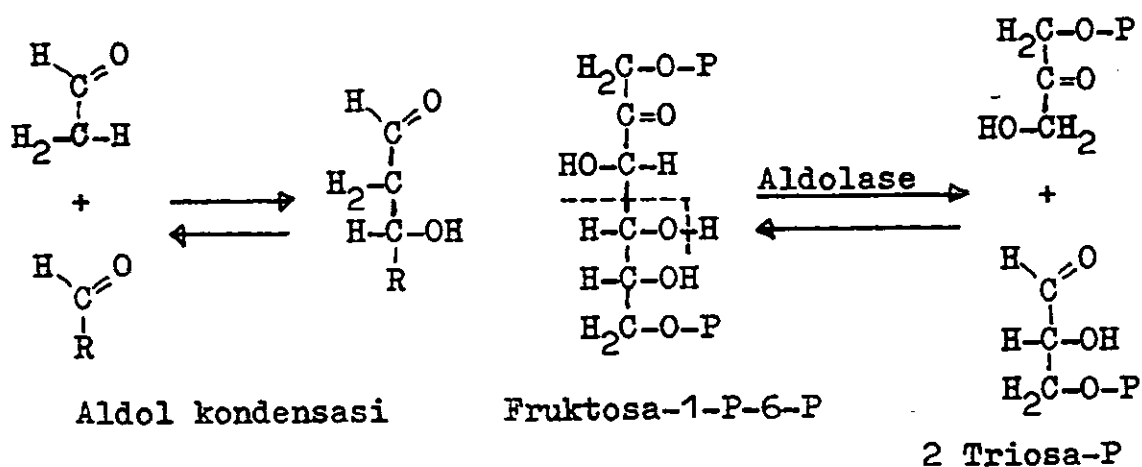
Epimerisasi biokimia pada pusat asimetris tertentu telah diketahuai dewasa ini. Sebagai contoh, glukosa \rightleftharpoons galaktosa, koenzimnya adalah uridin difosfat. Reaksi epimerisasi C-3 terjadi di antara pentosa, dimana disini terjadi perubahan ribulosa-5-fosfat menjadi xylulosa-5-fosfat.

Pada proses isomerisasi, pergeseran dari satu gugus fungsi kepada atom C yang berdekatan dapat dicapai *in vitro* dalam suatu larutan basa. Contoh yang paling sederhana dari isomerisasi enzimatis ini adalah pembentukan triosa-fosfat. Perubahan glukosa menjadi fruktosa atau sebaliknya juga dikatalisatori enzim isomerase.

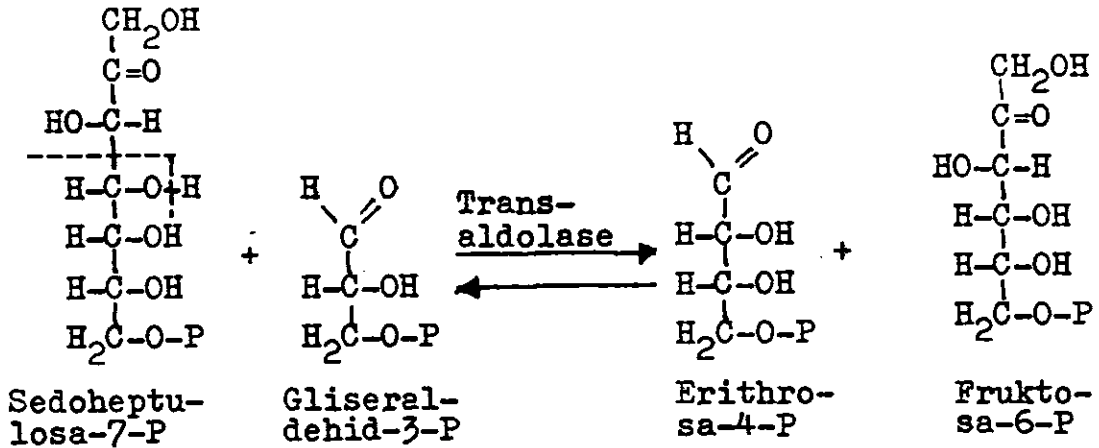
Fragmen C-3 dapat terjadi secara sangat sederhana dari pemutusan rantai suatu ketosa. Fruktosa 1,6-difosfat berada dalam kesetimbangan dengan dua molekul triosa dihidroksiase-

ton fosfat dan gliseraldehid 3-fosfat. Dalam hal ini, bentuk ketonya (bentuk rantai terbuka) mengalami reaksi.

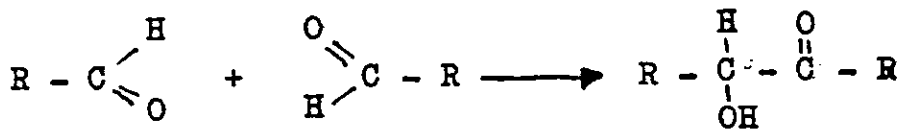
Reaksi aldolase merupakan versi biokimia dari suatu reaksi yang telah dikenal dalam kimia organik, yakni reaksi aldol kondensasi. Dalam hal ini, suatu aldehid terikat kepada gugus CH_2 aktif, sedangkan ikatan C-C baru akan terbentuk dan atom hidrogen (H) ditangkap oleh oksigen aldehid. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Selagi reaksi aldosa hanya menghasilkan triosa dari hekso-
sa atau sebaliknya, enzim transaldolase mentransfer residu di-
hidroksiaseton ke dalam aldosa. Enzim ini bekerja sangat spesi-
fik dimana enzim ini hanya menguraikan fruktosa dan sedoheptu-
losa (kebalikan dari reaksi aldol kondensasi) dan mentransfer
residu C-3 menjadi aldehid, misalnya menjadi gliseraldehid 3-
fosfat atau erithrosa 4-fosfat, atau mungkin juga menjadi ribo-
sa 5-fosfat. Reaksi transaldolase tidak memerlukan koenzim. En-
zim transaldolase ini ditemukan dalam ragi, tumbuh-tumbuhan dan
hewan mamalia. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



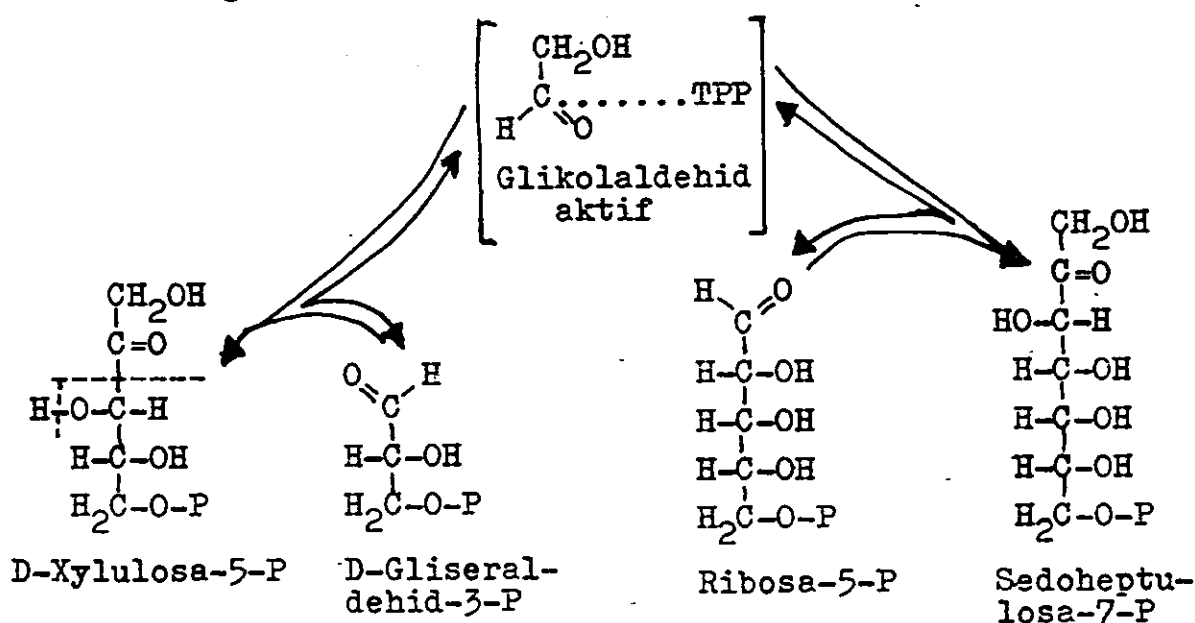
Suatu fragmen C-2, glikoaldehid aktif, ditransfer selama reaksi transketolasa. Reaksi ini merupakan suatu reaksi keseimbangan yang mirip dengan reaksi kondensasi asiloin dalam kimia organik, dimana 2 mol aldehid akan menghasilkan sebuah molekul hidrosiketone. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Reaksi kondensasi asiloin

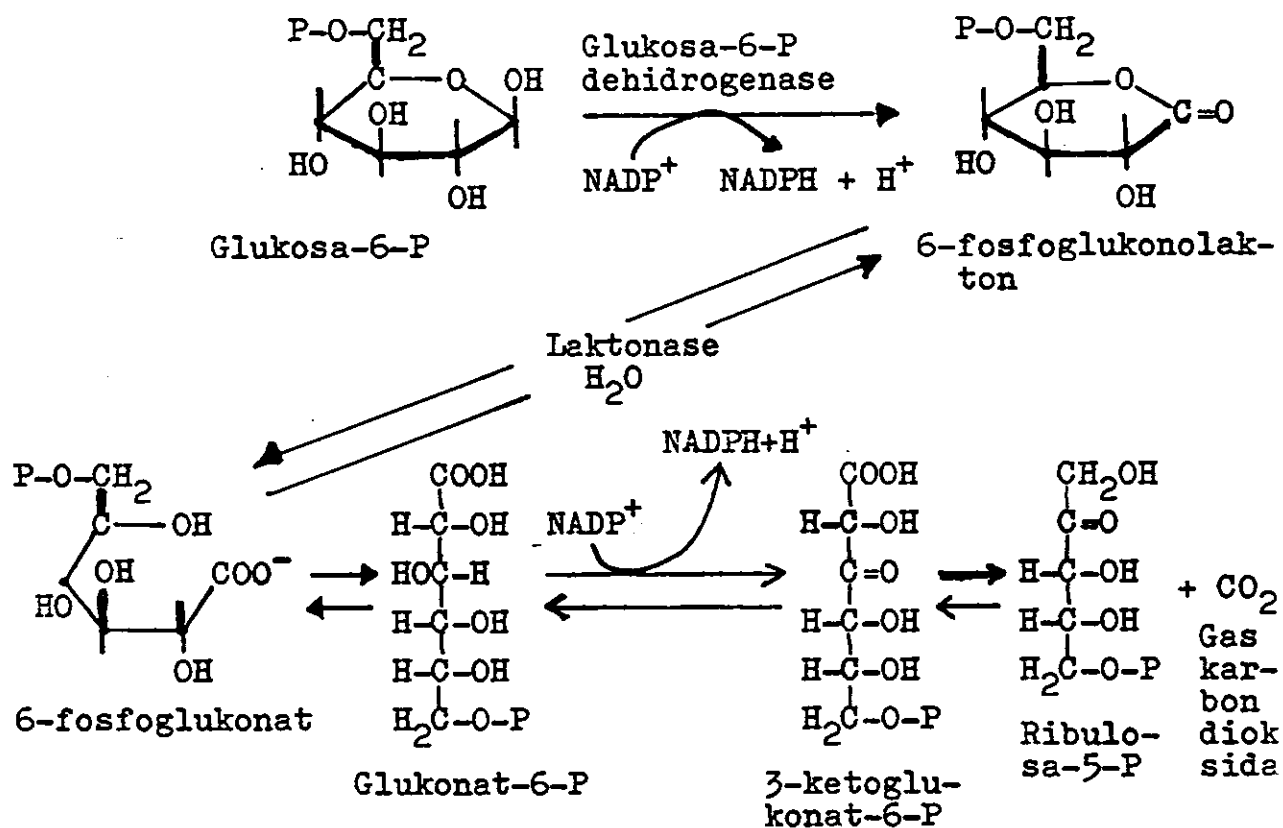
Dalam biokimia, reaksi transketolasa dijumpai sebagai mekanisme pemutusan ketopentosa. Dalam hal ini, Xylulosa-5-fosfat diuraikan menjadi fragmen C-3 (gliseraldehid fosfat) dan fragmen C-2. Glikoaldehid aktif tidak terbentuk dalam keadaan bebas, tetapi terdapat dalam keadaan terikat pada koenzim thiamin pirofosfat (TPP), kemungkinan dalam cara yang sama seperti yang dilakukan asetaldehid selama dekarboksilasi piruvat. Dalam keadaan ini, glikoaldehid mudah bereaksi dengan gula lainnya, seperti ribosa atau erithrosa. Dalam reaksinya dengan ribosa, sedoheptulosa terbentuk. Sebagai donor dari fragmen C-2 adalah suatu ketosa fosfat, atau lebih tepatnya suatu ketosa

fosfat yang susunan steriknya pada C-3 berhubungan dengan susunan sterik fruktosa. Ribulosa 5-fosfat, dalam hal ini, dapat menjadi donor C-2 hanya setelah berepimerisasi menjadi xylulosa 5-fosfat. Lebih lanjut ada kemungkinan untuk mendapatkan glikolaldehid aktif melalui dekarboksilasi (dibantu oleh thiamin pirofosfat) senyawa hidropiruvat. Molekul aseptornya selalu suatu senyawa aldosa. Kombinasi dari proses transaldolasa dan transketolasa akan menghasilkan sejumlah variasi interkonversi di antara gula. Reaksi transketolasa dapat dituliskan sebagai berikut:



Pada reaksi oksidasi dan dekarboksilasi glukosa terdapat dua kemungkinan, yaitu C-1 atau C-6 dari glukosa dioksidasi dan dikarboksilasi. Pengoksidasian pada C-1 mempunyai arti penting bagi degradasi glukosa. Sebagai substratnya adalah glukosa-6-fosfat. Enzim glukosa 6-fosfat dehidrogenase mentransfer hidrogen kepada nikotinamida-adenin dinukleotida fosfat dan menghasilkan 6-fosfoglukonolakton. Reaksi oksidasi dan dekarboksila-

si glukosa dapat dilukiskan sebagai berikut:



Glukonolakton dengan mudah dapat terhidrolisis menjadi glukonat (reaksi ini dikatalisatori oleh enzim laktonase, tetapi dapat juga terjadi secara spontan). Glukosa 6-fosfat dapat di-dehidrogenasi oleh enzim lain dan membebaskan CO_2). Pentosa ribulosa 5-fosfat berasal dari glukonat 6-fosfat melalui intermediet 3-ketoglukonat-6-fosfat. Produk ribulosa-5-fosfat berada dalam keadaan kesetimbangan dengan aldosa ribosa-5-fosfat (reaksi kesetimbangan ini dikatalisatori oleh enzim ribosa-5-fosfat isomerase). Melalui reaksi ini, beberapa pentosa dapat dihasilkan dari glukosa.

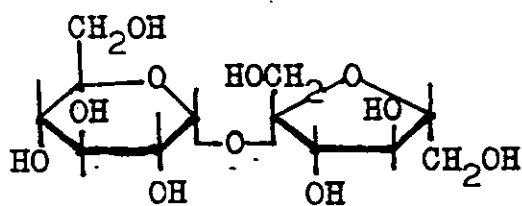
Oligosakarida merupakan polimer yang terdiri dari 2 sampai 10 unit monomer monosakarida. Zat ini pada umumnya mudah

larut dalam air. Oligosakarida yang terdiri dari unit monosakarida disebut disakarida dan bila terdiri dari 3 unit disebut trisakarida. Sebagai contoh dari disakarida adalah sukrosa (sakarosa atau gula tebu) terdiri dari molekul glukosa dan fruktosa, dan laktosa terdiri dari molekul glukosa dan galaktosa.

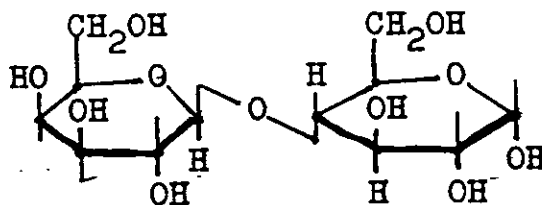
Ikatan antara dua molekul monosakarida disebut sebagai ikatan glikosida. Ikatan ini terbentuk antara gugus hidroksil dari atom C no.1 yang juga disebut sebagai karbon anomerik dengan dengan gugus hidroksil dari atom C pada unit monosakarida yang lain. Ikatan glikosida biasanya terjadi antara atom C no.4 dengan melepaskan 1 mol air. Ikatan-ikatan glikosida jarang terjadi antara karbon anomerik dengan karbon yang ganjil, seperti antara atom C-1 dengan atom C-3, antara atom C-1 dengan atom C-5, dan antara atom C-1 dengan atom C-7, tetapi biasanya terjadi antara atom C-1 dengan atom C-2, antara atom C-1 dengan atom C-4, dan antara atom C-1 dengan atom C-6.

Ada tidaknya sifat pereduksi dari suatu molekul gula ditentukan oleh ada tidaknya gugus hidroksil (-OH) bebas yang reaktif. Gugus hidroksil yang reaktif pada glukosa (aldosa) biasanya terletak pada karbon nomor 1 (anomerik), sedangkan pada fruktosa (ketosa) gugus hidroksil reaktifnya terletak pada karbon nomor 2. Sebagai contoh, sukrosa tidak mempunyai gugus OH bebas yang reaktif karena keduanya sudah saling terikat, sedangkan laktosa mempunyai gugus OH bebas yang reaktif pada atom C nomor 1 dari glukosanya. Karena itu, laktosa bersifat pereduksi sedangkan sukrosa bersifat nonpereduksi. Struktur molekul di-

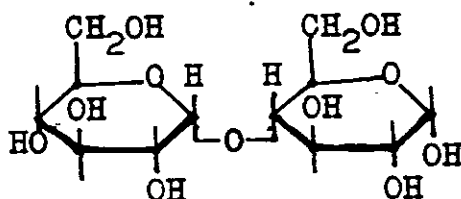
sakarida dapat dikemukakan seperti berikut.



Sukrosa



Laktosa



Maltosa

Sukrosa juga diberi nama:

α -D-Glukopiranosida- β -D-fruktofuranosida
 β -D-Fruktofuranosida- α -D-glukopiranosida
 β -D-Fruktofuranosil- α -D-glukopiranosil
 α -D-Glukopiranosil- β -D-fruktofuranosil

Laktosa juga diberi nama:

4- α -D-Glukopiranosida- β -D-galaktopiranosida
 β -D-Galaktopiranosil-4- α -D-glukopiranosida

Maltosa juga diberi nama:

4- α -D-Glukopiranosida- α -D-glukopiranosida
 α -D-Glukopiranosil-4- α -D-glukopiranosida

Sukrosa adalah oligosakarida yang mempunyai peran penting dalam pengolahan bahan makanan. Zat ini banyak terdapat pada tebu, bit, siwalan, dan kelapa kopyor. Dalam industri bahan makanan biasanya digunakan sukrosa dalam bentuk kristal halus atau kasar dan dalam jumlah yang banyak dipergunakan dalam bencairan sukrosa (sirup). Pada pembuatan sirup, gula pasir (sukrosa) dilarutkan dalam air dan dipanaskan, sebagai sukrosa zat ini akan terurai menjadi glukosa dan fruktosa, yang disebut se-

bagai gula invert.

Inversi gula terjadi dalam suasana asam. Gula invert ini tidak dapat berbentuk kristal karena kelarutan fruktosa dan glukosa sangat besar. Kelarutan gula ini sangat dipengaruhi oleh suhu, semakin tinggi suhu semakin tinggi pula persentase gula invert yang dapat terbentuk. Pada suhu 20°C misalnya, dapat terbentuk 72% gula invert dan pada suhu 30% dapat terbentuk hampir 80% gula invert (Winarno.1988:26).

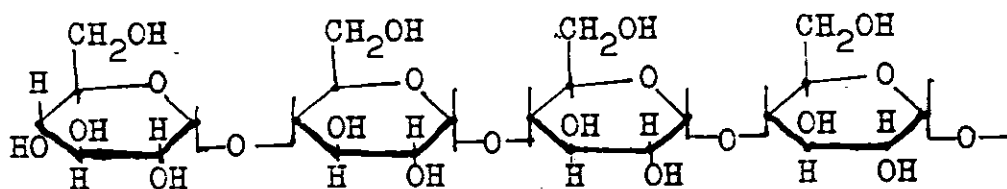
Oligosakarida dapat diperoleh dari hasil hidrolisis polisakarida dengan bantuan enzim tertentu atau hidrolisis dengan asam. Pati (starch) dapat dihidrolisis dengan bantuan enzim amilase menghasilkan maltosa, maltotriosa, dan isomaltosa. Bila pati dihidrolisis dengan enzim transglukosidase akan menghasilkan suatu oligosakarida dengan derajat polimerisasi lebih besar daripada 6 dan berbentuk siklis. Senyawa tersebut disebut sebagai dekstrin Schardinger. Zat ini sangat mudah larut dalam air dan dapat mengikat zat-zat hidropobik. Oleh karena itu, zat ini sering digunakan orang sebagai bahan makanan tambahan (food additive) untuk memperbaiki rasa (tekstur) dari bahan makanan tersebut.

Polisakarida merupakan senyawa karbohidrat yang tersusun dari unit-unit monosakarida lebih dari 10 buah. Zat ini dalam bahan makanan berfungsi sebagai penguat rasa (tekstur), seperti selulosa, hemiselulosa, pektin dan lignin, dan sebagai sumber energi, seperti pati, dekstrin, glikogen dan fruktan. Polisakarida penguat tekstur ini tidak dapat dicerna oleh tubuh, tetapi merupakan serat-serat makanan (dietary fiber) yang da-

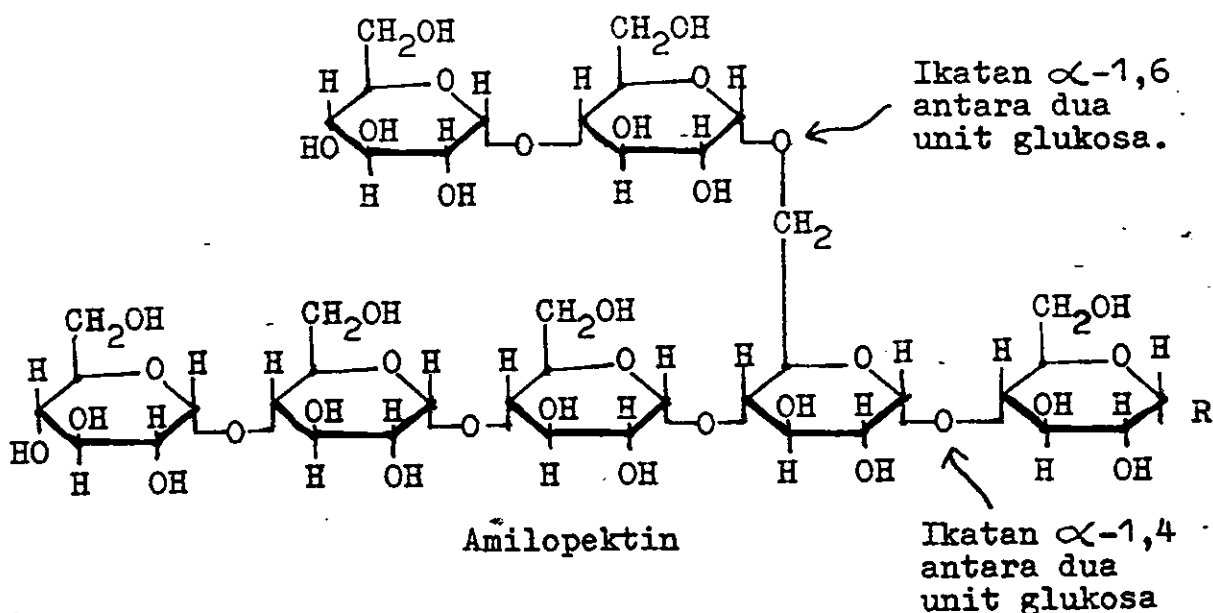
pat menstimulasi enzim-enzim pencernaan.

Polisakarida ini pada dasarnya merupakan polimer dari molekul-molekul monosakarida yang dapat berantai lurus atau bercabang dan dapat dihidrolisis dengan enzim-enzim yang spesifik kerjanya. Hasil hidrolisisnya sebahagian menghasilkan oligosakarida dan dapat dipakai untuk menentukan struktur molekul polisakaridanya.

Pati merupakan homopolimer dari glukosa dengan ikatan α -glikosida. Berbagai macam zat pati tidak sama sifatnya, tergantung kepada panjang rantai atom karbonnya, serta apakah rantai karbonnya lurus atau bercabang. Pati ini terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi yang terlarut disebut amilosa dan fraksi yang tidak larut disebut amilopektin. Amilosa mempunyai struktur lurus (tidak bercabang) dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa, sedangkan amilopektin mempunyai cabang dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa sebanyak 4-5% dari berat totalnya. Struktur amilosa dan amilopektin dapat dilukiskan sebagai berikut:



Amylisa



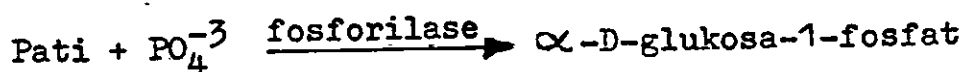
Peranan perbandingan amilosa dan amilopektin terlihat pada sereal, seperti pada beras. Semakin kecil kandungan amilosa (semakin tinggi kandungan amilopektin), semakin lekat nasi yang dihasilkan oleh beras tersebut. Beras ketan, misalnya, sedikit sekali mengandung amilosa (hanya 1-2%), oleh karena itu beras ketan ini menghasilkan nasi yang lekat. Beras yang mengandung amilosa lebih besar dari 2% disebut sebagai beras biasa atau beras bukan ketan. Berdasarkan kandungan amilosanya, beras (nasi) dapat dikelompokkan atas empat golongan, yaitu:

1. Beras dengan kadar amilosanya tinggi (25 - 33%).
2. Beras dengan kadar amilosanya menengah (20 - 25%).
3. Beras dengan kadar amilosanya rendah (9 - 20%).
4. Beras dengan kadar amilosanya sangat rendah (kecil dari 9%).

Secara umum penduduk di negara-negara Asean, khususnya Indonesia, Malaysia, Pilipina, dan Thailan menyenangi rasa nasi dari beras dengan kandungan amilosa medium (20 - 25%), sedang-

kan Jepang dan Korea menyenangi beras dengan kadar amilosa rendah (13-20%). Meskipun nasi Jepang dan Korea lebih lekat dan mengkilat, kedua jenis nasi tersebut mempunyai kepulenan yang sama dan tidak cepat mengeras meskipun dibiarkan semalam.

Zat pati dapat dihidrolisis oleh enzim-enzim yang terdapat dalam tanaman, antara lain: α -amilase, β -amilase, dan fosforilase. Enzim α -amilase dapat menghidrolisis pati menjadi fraksi-fraksi molekul yang terdiri dari 6 sampai 7 unit glukosa. Enzim β -amilase mampu memecah pati menjadi fraksi-fraksi yang kecil-kecil, seperti pemecahan amilosa menjadi fraksi-fraksi kecil yang disebut maltosa, suatu disakarida dari glukosa. Bila β -amilase direaksikan terhadap pati biasa akan diperoleh sekitar 60 - 70% maltosa. Enzim fosforilase mampu memecah ikatan 1,4-glukosidat pati dengan bantuan asam atau ion fosfat sehingga pati terurai menjadi unit-unit glukosa-fosfat.



Proses tersebut di atas disebut sebagai fosforilasi, dan biasanya tidak disebut sebagai proses hidrolisis. Enzim fosforilase dapat memecah amilosa secara tuntas. Akan tetapi bila substrat fosforilase adalah amilopektin maka disamping terbentuknya glukosa juga terbentuk dekstrin yang lazim disebut sebagai dektrin tahan fosforilase dengan struktur molekulnya mempunyai cabang-cabang dengan ikatan α -1,6.

Selulosa adalah senyawa polisakarida yang berupa serat-serat panjang yang bersama-sama dengan hemiselulosa, pektin, dan protein membentuk struktur jaringan yang memperkuat di-

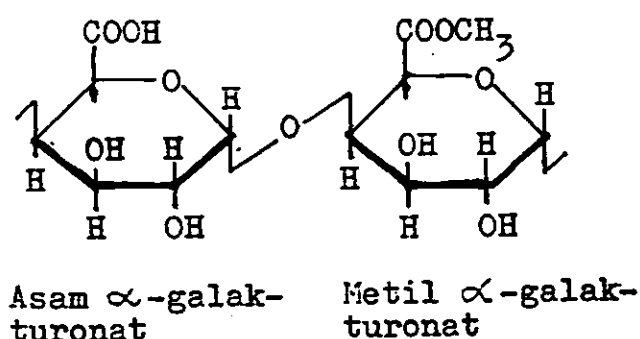
ding sel tanaman. Pada proses pematangan, penyimpanan, atau pengolahan, komponen selulosa dan hemiselulosa mengalami perubahan sehingga terjadi perubahan tekstur.

Struktur molekul selulosa mirip dengan struktur zat pati, bedanya hanya terletak pada jenis ikatan glikosidanya. Pada selulosa, monomer-monomernya adalah glukosa dalam bentuk β , yang satu sama lainnya dihubungkan oleh ikatan β -glikosida, sedangkan pada pati, monomer-monomernya adalah glukosa dalam bentuk α , yang satu sama lainnya dihubungkan oleh ikatan α -glikosida. Karena jenis ikatannya berbeda, enzim yang bekerja pada penguraian pati tidak dapat bekerja pada penguraian selulosa. Enzim yang bekerja pada penguraian selulosa adalah selobiase, suatu enzim yang berfungsi memutuskan ikatan β -glikosida. Bila selulosa dihidrolisis oleh enzim selobiase akan menghasilkan selobiosa dengan ikatan β -1,4-glukosa-glukosa. Enzim selobiase ini tidak terdapat dalam saluran pencernaan manusia, oleh karena itu selulosa tidak dapat dicerna oleh tubuh manusia.

Hemiselulosa adalah selulosa yang disusun oleh unit-unit yang tidak sejenis (heteromer). Unit pembentuk hemiselulosa terutama adalah D-xilosa, pentosa, dan heksosa lain. Beda antara hemiselulosa dan selulosa adalah bahwa hemiselulosa mempunyai derajat polimerisasi rendah dan mudah larut dalam alkali tetapi sukar larut dalam asam, sedangkan selulosa bersifat sebaliknya. Hemiselulosa tidak merupakan serat-serat yang panjang seperti selulosa, dan juga suhu bakarnya tidak setinggi selulosa. Hasil-hasil hidrolisis selulosa akan menghasilkan D-glukosa, se-

dangkan hemiselulosa terutama akan menghasilkan D-xilosa dan monosakarida lainnya.

Pektin merupakan polimer dari asam D-galakturonat yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4-glikosida; asam galakturonat merupakan turunan dari galaktosa. Struktur molekul pektin dapat dituliskan sebagai berikut.



Pektin (pektinat)

Pektin ini secara umum terdapat di dalam dinding sel primer tanaman, khususnya di sela-sela antara selulosa dan hemiselulosa. Senyawa-senyawa pektin juga berfungsi sebagai bahan perekat antara dinding sel yang satu dengan dinding sel yang lain. Bagian antara dua dinding sel yang berdekatan disebut sebagai lamela tengah (middle lamella).

Senyawa-senyawa pektin pada umumnya dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu asam pektat, asam pektinat (pektin) dan protopektin. Pada asam pektat, gugus karboksil asam galakturonat dalam ikatan polimernya tidak dapat teridentifikasi. Asam pektat dapat membentuk garam seperti halnya asam-asam lain. Asam ini terdapat dalam jaringan tanaman sebagai kalsium atau magnesium pektat.

Asam pektinat, disebut juga pektin, dalam molekulnya ter-

dapat ester metil pada beberapa gugus karboksil sepanjang rantai polimer dari galakturonat. Dalam hal ini, bila asam pektinat mengandung metil ester cukup, yaitu lebih dari 50% dari seluruh karboksil, disebut sebagai pektin. Pektin mempunyai sifat dapat berdispersi dalam air dan dapat membentuk garam pektinat. Dalam bentuk garam inilah pektin tersebut berfungsi sebagai pembentuk jeli dengan gula dan asam.

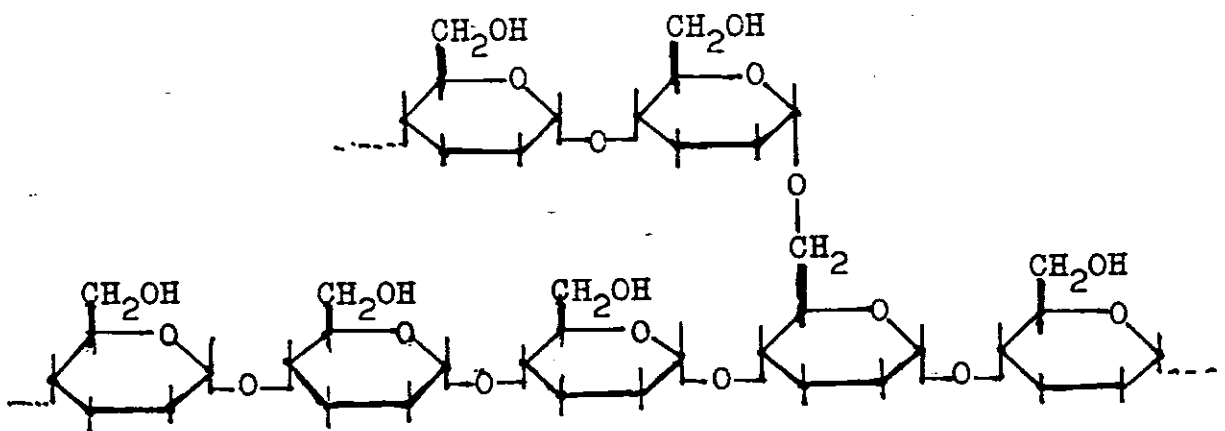
Protopektin adalah senyawa-senyawa pektin yang tidak larut dan banyak terdapat pada jaringan tanaman yang muda. Bila jaringan-jaringan tanaman muda ini dipanaskan di dalam air yang juga mengandung asam, protopektin dapat berubah menjadi pektin yang dapat terdispersi dalam air. Karena itu, jaringan-jaringan dalam sayuran dan buah-buahan menjadi lunak dan empuk bila dimasak dalam air panas. Buah apel dan jeruk biasanya banyak mengandung pektin dan digunakan secara komersial sebagai sumber pektin.

Komposisi kandungan protopektin, pektin, dan asam pektat di dalam buah-buahan sangat bervariasi dan tergantung kepada derajat kematangan buah. Pada umumnya, protopektin yang tidak larut itu lebih banyak terdapat pada buah-buahan yang belum matang.

Kemampuan membentuk gel (granula pati yang telah membengkak karena mengandung air) suatu senyawa akan lebih tinggi bila residu asam galakturonatnya dalam molekul juga lebih besar. Potensi pembentukan jeli dari pektin menjadi berkurang dalam buah yang terlalu matang. Selama proses pematangan terjadi proses demetilasi pektin dan hal ini menguntungkan untuk tujuan

pembuatan gel, tetapi sebaliknya demetilasi yang terlalu lanjut atau sempurna akan menghasilkan asam pektat yang tidak lagi mudah membentuk gel.

Glikogen adalah suatu polimer dari glukosa yang terjadi di dalam tubuh hewan. Senyawa ini kadang-kadang disebut orang sebagai "pati hewan" dan terdapat pada hati, otot dan berbagai sel lainnya sebagai zat makanan cadangan. Struktur kimia dari glikogen sangat mirip dengan struktur kimia amilopektin, hanya saja glikogen mempunyai lebih banyak cabang dan berat molekul yang lebih tinggi dari amilopektin. Untuk glikogen otot, berat molekulnya mencapai sekitar 10^6 (1 juta) dan untuk glikogen hati, berat molekulnya mencapai kira-kira 6×10^6 (6 juta) dan memuat sekitar 30.000 unit glukosa dalam setiap molekulnya. Dalam hati, zat ini bertindak sebagai simpanan cadangan glukosa dan membantu dalam mempertahankan tingkat glukosa yang normal dalam darah, dan dalam otot zat ini berfungsi sebagai sumber energi langsung yang digunakan untuk gerakan-gerakan otot. Secara sederhana struktur molekul glikogen dapat dilukiskan sebagai berikut:

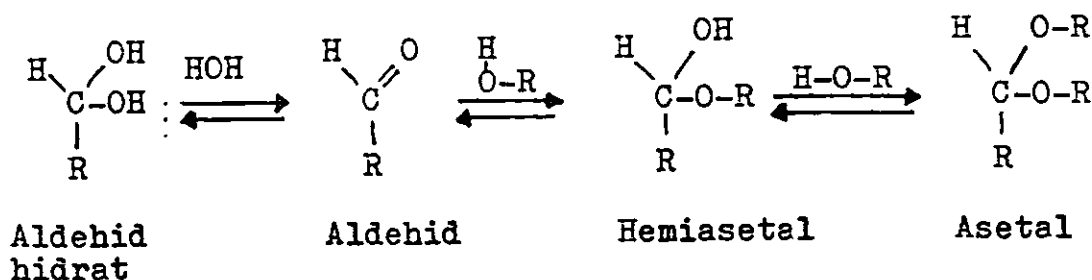


Glikogen

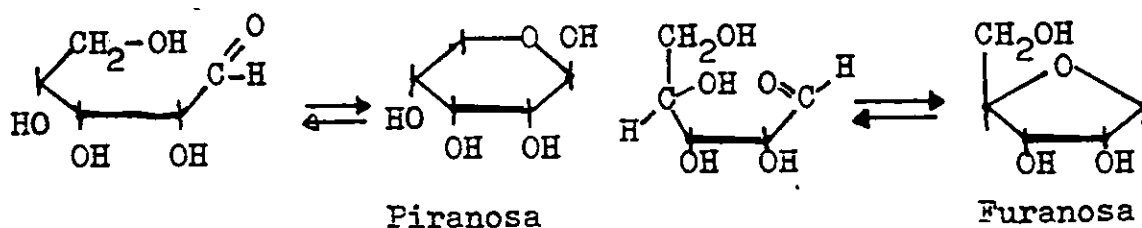
Meskipun glikogen memiliki rantai panjang dan bercabang-cabang dengan berat molekul tinggi, zat ini dapat larut dalam air. Molekulnya berbentuk elip yang berlapis-lapis. Bahagian glikogen yang tidak larut dalam air masih mempunyai berat molekul tinggi dan sering terikat kepada molekul protein. Molekul-molekul ini dibangun secara tidak teratur. Panjang rantai antara dua titik cabang biasanya 10 - 14 unit glukosa dan pada pusat molekulnya cabang dijumpai pada setiap ketiga sampai kelima dari unit glukosanya. Pembentukan glikogen dari sumber yang berbeda akan menghasilkan tingkat cabang yang berbeda pula.

C. Bentuk-Bentuk Siklis dari Mono dan Disakarida.

Struktur molekul senyawa karbohidrat, baik mono maupun disakarida, yang banyak dijumpai di alam adalah dalam bentuk siklis. Pada molekul glukosa, misalnya, gugus aldehid pada atom C nomor 1 dan gugus hidroksil pada atom C nomor 2 dapat saling berdekatan satu sama lain sehingga terbentuk molekul hemiasetal. Gugus aldehid pada umumnya dapat mengikat senyawa-senyawa hidroksil melalui gugus karbonylnya. Bilamana molekul H-O-H yang diikatnya maka akan terbentuk suatu hidrat dari aldehid dan bila suatu senyawa alkohol yang diikatnya maka akan terbentuk suatu molekul hemiasetal. Molekul asetal sendiri akan terbentuk dari hasil reaksi hemiasetal dengan alkohol setelah terjadi eliminasi air. Reaksi ini merupakan dasar bagi pembentukan ikatan glikosidat pada karbohidrat. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut.

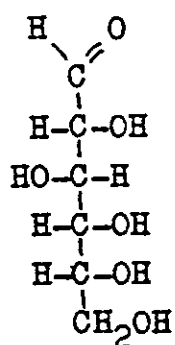


Bilamana pembentukan hemiasetal terjadi secara intramolekuler, suatu cincin akan terbentuk, baik cincin yang terdiri dari 5 atom C dengan satu atom O maupun cincin yang beranggotakan 6 atom C dengan satu atom O. Dengan memperhatikan model senyawa furan dan piran, bentuk seperti itu juga terjadi pada gula yang disebut sebagai furanosa dan piranosa. Gula yang biasa kita kenal sehari-hari pada umumnya berada dalam bentuk piranosa, akan tetapi dalam beberapa senyawa polisakarida, bentuk furanosa juga terdapat (sukrosa dan asam nukleat). Reaksinya dapat dilukiskan sebagai berikut:

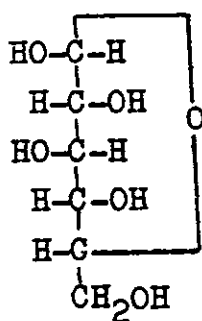


Dengan menggunakan formula proyeksi Fischer cincin dapat ditunjukkan dengan sebuah garis panjang antara C-1 dan C-5 (seperti terlihat pada rumus b untuk β -D-glukosa dalam rumus molekul glukosa di bawah ini). Rantai cincin yang saling mendekat hanya mungkin terjadi setelah gugus OH pada C-5 diputar ke arah posisi yang tepat (perpindahan dari d \rightarrow e \rightarrow f pada rumus di bawah ini), berdasarkan rumus proyeksi seperti seperti tertera pada rumus c. Sesuai dengan formula proyeksi Fischer, atom

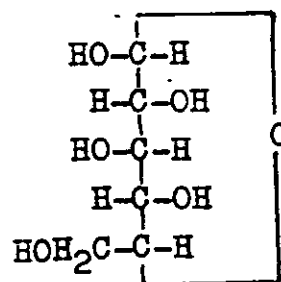
hidrogen merobah posisinya sehingga terbentuk rumus f. Rumus molekul glukosa dalam notasi a, b, c, d, e, dan f ditulis sebagai berikut.



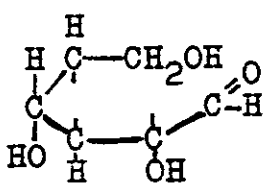
(a)



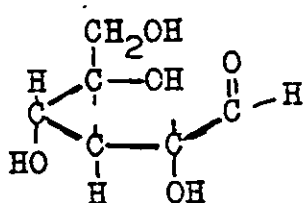
(b)



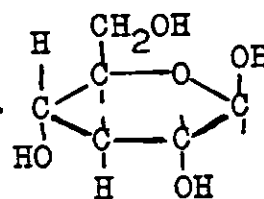
(c)



(d)



(e)



(f)

Haworth mengemukakan penulisan struktur cincin dari gula seperti rumus yang tertera pada (f), dengan membayangkan model molekul terhampar di atas meja dan menggambarkan modelnya menghadap ke depan dengan atom oksigen di bahagian belakang dan gugus CH_2OH tegak menjulang ke atas sebagai rantai samping. Atom C pada setiap sudut cincin biasanya tidak dituliskan.

Dalam menggunakan formula Haworth ada dua aturan yang perlu diingat, yaitu:

1. Bilamana atom Oksigen berada di belakang dan atom C-1 di sebelah kanan maka bentuk yang paling umum dari D-gula adalah gugus CH_2OH nya berada di sebelah atas.

2. Pada β -D-glukosa, semua hidrogennya berada dalam bentuk susunan trans, yakni atom hidrogennya tersusun secara atas dan bawah berseling-seling.

D. Reaksi-Reaksi Pengenal Karbohidrat.

Sifat-sifat dari karbohidrat pada umumnya ditentukan oleh banyaknya gugus hidroksil yang terdapat pada rumus molekulnya. Sebagai senyawa polihidroksi, gula sangat mudah larut dalam air tetapi tidak larut dalam pelarut lemak atau lemak itu sendiri, dan berasa manis (bahkan gliserolpun berasa manis). Gugus aldehid pada aldosa dan gugus keton pada ketosa tidak nyata dalam struktur molekulnya.

Reaksi-reaksi berwarna terjadi bila gula direaksikan dengan senyawa phenol, seperti α -naphthol, anthron, resorsinol, dan orsinol. Dalam hal ini, gula direaksikan dengan asam untuk menarik molekul airnya sehingga menghasilkan senyawa furfural. Beberapa di antara molekulnya terputus membentuk aldehid-aldehid yang lebih rendah. Aldehid-aldehid ini kemudian bereaksi dengan phenol menghasilkan zat-zat berwarna. Mekanisme reaksinya secara lengkap belum dimengerti (Karlson. 1971:276).

Semua senyawa monosakarida dan beberapa oligosakarida merupakan gula yang bersifat mereduksi. Sifat ini disebabkan karena penggabungan gugus α -keto (pengelompokan gugus karbonil yang berdekatan dengan sebuah gugus hidroksil). Meskipun tes untuk gula mereduksi tidak begitu spesifik, tes ini sering digunakan untuk mendeteksi gula. Reduksi ion Cu^{2+} dalam larutan alkali (basa) merupakan dasar bagi reaksi Benedict dan Fehling.

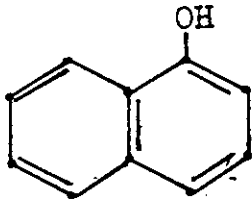
Aldosa pertama sekali dioksidasi menjadi asam karboksilat dan selanjutnya melakukan pemutusan rantai dalam larutan alkali yang lebih pekat. Ketosa membelah menjadi senyawa glikolaldehid dan selanjutnya suatu tetrosa dapat teroksidasi.

Adanya zat pati dalam suatu bahan makanan dapat dikenal melalui reaksinya dengan iodium. Pati yang telah berikatan dengan iodium (I_2) akan menghasilkan warna biru. Hal ini disebabkan oleh struktur pati yang berbentuk spiral sehingga dapat mengikat molekul iodium dan membentuk warna biru. Bila pati dipanaskan, spiral akan merenggang dan molekul-molekul iodium terlepas dan warna biru hilang. Dari hasil-hasil percobaan diketahui bahwa pati akan merefleksikan warna biru bila molekulnya berupa polimer glukosa dengan unit yang lebih besar dari dua puluh, seperti molekul amilosa. Bila polimernya kurang dari dua puluh, seperti amilopektin, maka akan dihasilkan warna merah. Sedangkan dekstrin dengan polimer 6,7 dan 8, akan membentuk warna coklat bila direaksikan dengan iodium. Polimer yang lebih kecil dari lima tidak akan memberikan warna bila direaksikan dengan iodium.

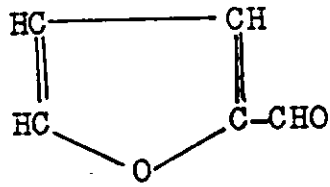
Karbohidrat secara umum dapat dikenal dengan menggunakan reaksi Molisch. Bila karbohidrat direaksikan dengan naphtol dalam alkohol, kemudian ditambahkan H_2SO_4 pekat secara hati-hati, maka pada batas cairan akan terbentuk furfural yang berwarna ungu. Reaksi ini disebut sebagai reaksi Molisch yang merupakan reaksi umum bagi karbohidrat.

Struktur molekul dari naphtol dan furfural dapat dilukis-

kan sebagai berikut:

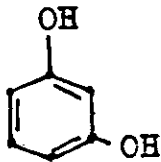


α -Naphtol

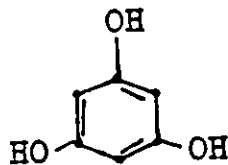


Furfural

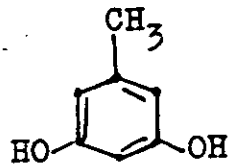
Beberapa reaksi yang lebih spesifik dapat digunakan untuk membedakan golongan senyawa karbohidrat. Misalnya ketosa, pentosa, dan asam uronat dapat dibedakan dari aldohexosa karena reaksinya dengan golongan fenol akan menghasilkan warna yang berbeda. Fenol yang sering digunakan adalah resorsinol (pereaksi Seliwanoff), floroglusinol, dan orsinol. Struktur molekul dari senyawa fenol tersebut di atas dapat ditulis sebagai berikut.



Resorsinol



Floroglusinol



Orsinol

Selain itu, karbohidrat dapat pula diidentifikasi melalui uji antron. Dalam hal ini larutan karbohidrat ditambah dengan larutan antron (0,2% antron dalam H_2SO_4 pekat) sehingga terbentuk warna hijau atau hijau kebiruan. Uji antron ini sangat sensitif sehingga dapat juga memberikan hasil positif jika dilakukan pada kertas saring yang mengandung selulosa. Uji ini telah dikembangkan untuk uji kuantitatif secara kolorimetri terhadap senyawa glikogen, inulin, dan gula dalam darah.

Adanya senyawa monosakarida dalam sesuatu sampel dapat di-

identifikasi dengan teknik uji Barfoed dengan pereaksinya terdiri dari kupri asetat dan asam asetat. Kedalam 5 ml larutan pereaksi dalam sebuah tabung reaksi ditambahkan 1 ml larutan larutan contoh, kemudian tabung reaksi ditempatkan dalam air mendidih selama 1 menit. Jika larutan contoh mengandung senyawa monosakarida maka akan terbentuk endapan yang berwarna merah orange.

Adanya gula pereduksi dalam contoh dapat diidentifikasi dengan menggunakan teknik uji Benedict, dengan pereaksinya terdiri dari kupri sulfat, natrium sulfat, dan natrium karbonat. Ke dalam 5 ml pereaksi dalam tabung reaksi ditambahkan 8 tetes larutan contoh, kemudian tabung reaksi tersebut ditempatkan dalam air mendidih selama 5 menit. Jika larutan contoh mengandung gula pereduksi maka akan terjadi endapan berwarna hijau, kuning, atau merah orange.

Adanya senyawa pentosa dalam contoh dapat diidentifikasi dengan menggunakan teknik uji Orsinol Bial-HCl. Ke dalam 5 ml pereaksi ini ditambahkan 2-3 ml larutan contoh, kemudian dipanaskan sampai timbul gelembung-gelembung gas ke permukaan larutan. Jika larutan contoh mengandung molekul golongan pentosa maka akan terjadi endapan dan larutan berwarna hijau.

Di samping itu, adanya pentosa dalam larutan contoh dapat diketahui melalui teknik uji Tauber. Sebanyak 2 tetes larutan contoh ditambahkan ke dalam 1 ml larutan benzydina, kemudian dididihkan dan didinginkan cepat-cepat. Bila larutan contoh mengandung pentosa maka akan terjadi warna ungu.

Adanya senyawa fruktosa dalam contoh dapat diketahui de-

ngan teknik uji Seliwanoff, dengan pereaksi campuran dari 3,5 ml resorsinol 0,5% dengan 12 ml HCl pekat yang diencerkan menjadi 35 ml dengan air suling. Uji ini dilakukan dengan menambahkan 1 ml larutan contoh ke dalam 5 ml pereaksi, kemudian ditempatkan dalam air mendidih selama 10 menit. Bila terjadi warna merah cherry menandakan adanya senyawa fruktosa dalam contoh.

SOAL-SOAL

1. Karbohidrat merupakan senyawa hidrokarbon yang paling banyak dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan. Jelaskan kenapa demikian!
2. Jelaskan klasifikasi karbohidrat! Beri contoh masing-masingnya sebanyak 5 buah!
3. Jelaskan ciri-ciri karbohidrat yang anda ketahui!
4. Jelaskan tentang struktur senyawa karbohidrat!
5. Jelaskan tentang konsep dekstro (D) dan levo serta konsep alpha (α) dan beta (β) dalam struktur molekul karbohidrat! Jelaskan pula konsep tentang putaran optis karbohidrat!
6. Tuliskan struktur molekul-molekul gula sederhana (monosakarida)!
7. Apa yang dimaksud dengan interkonversi gula!
8. Tuliskan reaksi pembentukan senyawa neuraminat dari hasil kondensasi piruvat dengan mannosamin!
9. Apa yang dimaksud dengan gula invert?
10. Jelaskan beda antara pati, glikogen, dan selulosa!
11. Apa yang dimaksud dengan hemiselulosa?
12. Apa peranan amilosa dan amilopektin dalam bahan makanan?
13. Jelaskan klasifikasi beras berdasarkan kandungan amilosanya!
14. Apa peranan enzim α -amilase, β -amilase, dan fosforilase dalam penguraian karbohidrat?
15. Apa peranan pektin dalam sistem organisme hidup?
16. Jelaskan struktur siklis dari senyawa monosakarida dan disakarida!
17. Apa yang dimaksud dengan rumus proyeksi Fischer (Fischer projection formula)?
18. Apa yang dimaksud dengan formula Haworth? Jelaskan 2 aturan yang perlu diperhatikan dalam menggunakan formula Haworth!
19. Jelaskan beberapa reaksi pengenal senyawa-senyawa karbohidrat!
20. Jelaskan dengan ringkas beda antara gula mereduksi dan gula nonmereduksi ditinjau dari segi struktur, sifat fisika, dan kimianya!

III. LEMAK

Lemak atau minyak merupakan zat makanan yang penting untuk menjaga kesehatan tubuh manusia. Zat ini tergolong sumber energi yang tinggi dibandingkan dengan karbohidrat dan protein. Dimana 1 gram lemak dalam proses metabolisme tubuh manusia dapat menghasilkan 9 kkal sedangkan karbohidrat dan protein hanya dapat menghasilkan energi sekitar 4 kkal.

Lemak atau minyak terdapat pada hampir semua bahan makanan, baik berasal dari hewan maupun tumbuh-tumbuhan, dengan kadar yang berbeda-beda. Lemak atau minyak yang terdapat pada hewan disebut sebagai lemak hewani dan yang terdapat pada tumbuh-tumbuhan disebut sebagai lemak nabati. Lemak hewani banyak mengandung senyawa sterol yang disebut sebagai kolesterol, sedangkan lemak nabati mengandung fitosterol dan asam-asam lemak tak jenuh seperti asam linoleat, linolenat dan arakhidonat. Asam-asam lemak ini disebut sebagai asam lemak esensial yang dalam tubuh dapat berfungsi sebagai pencegah penyempitan pembuluh darah akibat penumpukan kolesterol. Lemak hewani ada yang berbentuk padat (disebut sebagai lemak) dan ada pula yang berbentuk cair (disebut sebagai minyak) pada suhu kamar. Lemak hewani berbentuk padat terdapat pada bahan makanan berupa hewan darat, seperti lemak sapi, babi, kambing, dan susu, sedangkan lemak berbentuk cair terdapat pada bahan makanan berupa hewan laut, seperti minyak ikan paus, ikan hiyu, dan ikan tuna. Lemak nabati pada umumnya berupa cair dapat digolongkan atas tiga macam, yaitu:

1. Minyak kering (drying oil), yang dapat membentuk lapisan ke-

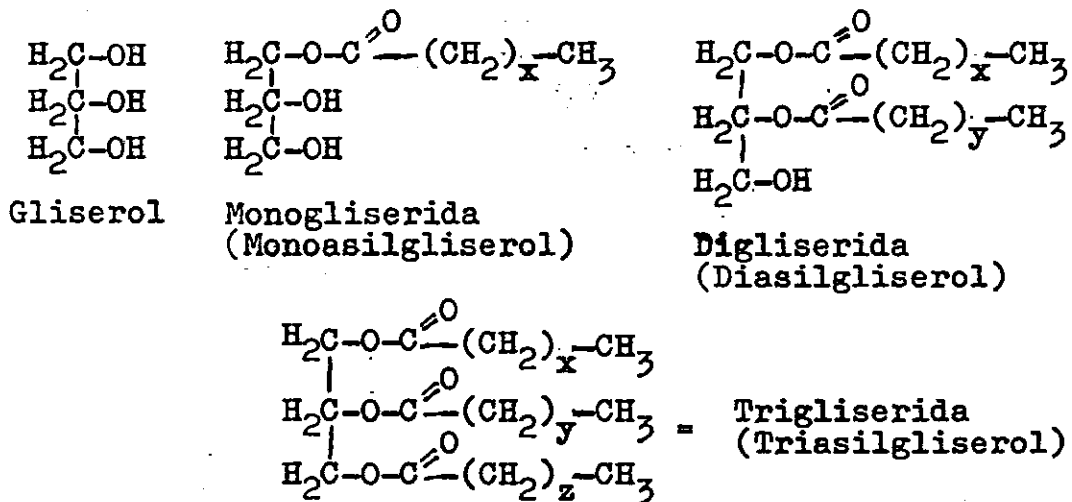
ras bila mengering di udara, seperti minyak yang digunakan orang untuk cat dan pernis.

2. Minyak setengah kering (semi drying oil), seperti minyak jagung, minyak biji kapas, dan minyak bunga matahari.
3. Minyak yang tidak kering (non drying oil), seperti minyak kelapa, minyak kelapa sawit, dan minyak kacang tanah.

Lemak atau lemak adalah senyawa yang tidak (sukar) larut dalam air, tetapi mudah larut dalam pelarut-pelarut organik, seperti benzen, eter, kloroform, aseton, dan campuran kloroform dengan metanol. Oleh karena kesamaan sifat kelarutannya maka senyawa lemak atau minyak digolongkan ke dalam senyawa lipid.

A. Struktur Kimia Lemak.

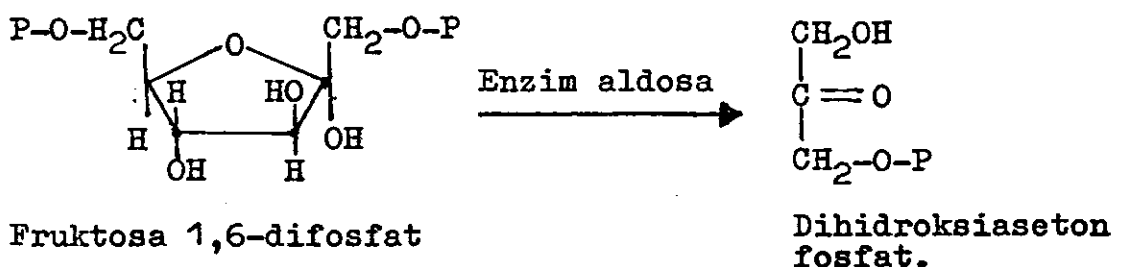
Lemak yang terdapat di alam, baik lemak hewani maupun lemak nabati, tersusun dari beberapa senyawa yang lebih sederhana. Secara kimia, struktur lemak ini berbentuk senyawa ester, dimana komponen asamnya terdiri dari asam-asam monokarboksilat yang lazim disebut sebagai asam lemak dan komponen alkoholnya adalah gliserol yang mempunyai tiga gugus hidroksil. Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut.



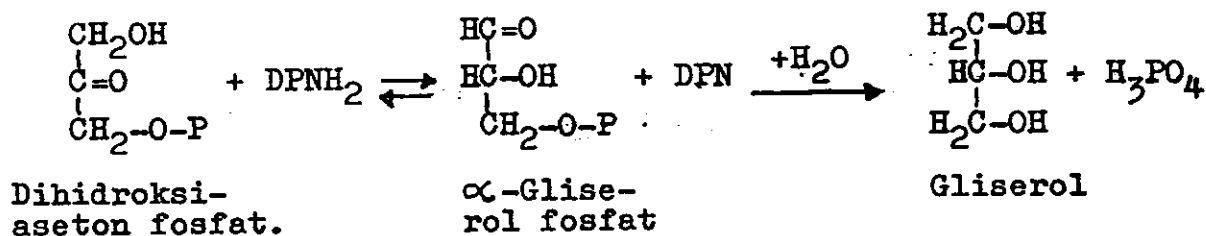
Karena alkohol terhidrat, gliserol dapat membentuk mono, di, atau triester. Ester-ester ini disebut sebagai monogliserida, digliserida, dan trigliserida (triasilgliserol). Senyawa triasilgliserol ini pada umumnya mengandung dua atau tiga jenis asam lemak yang berbeda. Bila molekul senyawa lemak mengandung jenis asam lemak yang berbeda maka disebut sebagai triasilgliserol campuran dan bila mengandung jenis asam lemak yang sama maka disebut sebagai triasilgliserol sederhana.

Lemak yang terjadi secara alamiah selalu merupakan campuran dari berbagai macam triasilgliserol. Oleh karena itu, mengisolasi suatu senyawa triasilgliserol murni dari berbagai macam campuran triasilgliserol merupakan suatu pekerjaan yang sangat rumit.

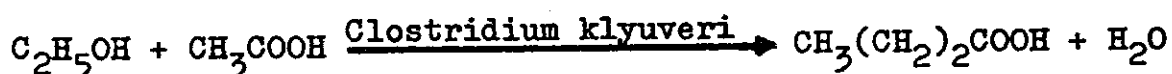
Sintesis senyawa lemak dalam tumbuh-tumbuhan terjadi melalui tiga proses, yakni proses pembentukan gliserol, pembentukan asam lemak, dan kondensasi asam lemak dengan gliserol membentuk lemak. Pada sintesis gliserol, fruktosa difosfat diuraikan oleh enzim aldosa menjadi dihidroksiaseton fosfat, kemudian direduksi menjadi α -gliserofosfat. Gugus fosfat dihilangkan melalui proses hidrolisis sehingga terbentuk molekul gliserol. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



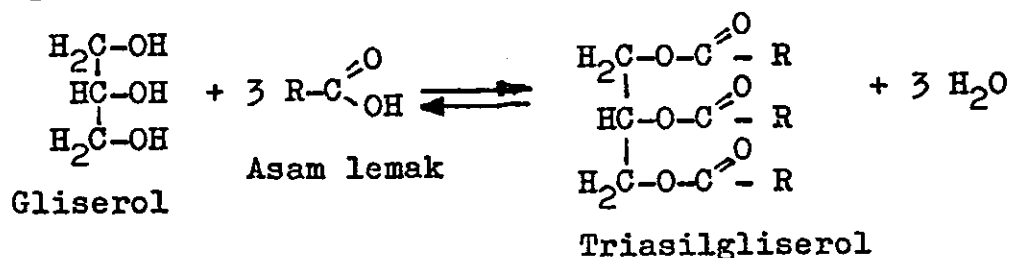
Dari senyawa dihidroksiaseton fosfat dapat disintesis molekul gliserol dengan reaksi sebagai berikut:



Asam lemak disintesis dari senyawa-senyawa yang mengandung karbon, seperti asam asetat, asetaldehid, dan etanol yang merupakan hasil respirasi tumbuh-tumbuhan. Sintesis asam lemak ini terjadi dalam kondisi anaerob dengan bantuan bakteri tertentu. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:

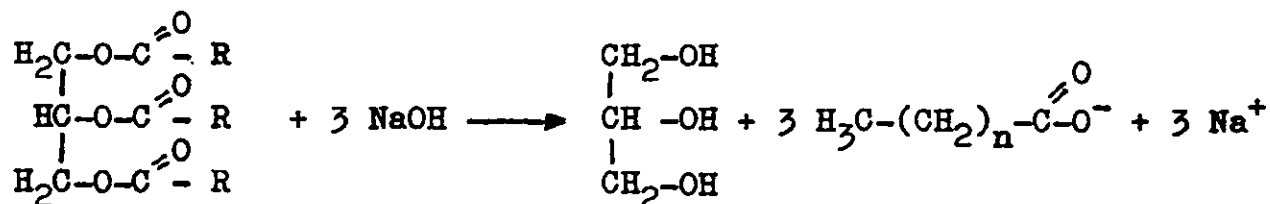


Molekul lemak terjadi dari hasil reaksi esterifikasi antara gliserol dengan asam lemak dengan dikatalisatori oleh enzim lipase. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Ikatan ester dari senyawa lemak dapat dipisahkan kembali menjadi molekul-molekul asam lemak dan gliserol melalui suatu proses yang disebut sebagai saponifikasi. Dalam proses ini, lemak direaksikan dengan larutan alkali (basa) kuat sehingga terbentuk garam alkali yang disebut sebagai sabun dan gliserol. Sabun merupakan molekul yang dapat larut dalam air dengan mem-

bebaskan asam lemak. Reaksi saponifikasi dapat ditulis sebagai berikut:



Dalam reaksi saponifikasi ini, 1 mol lemak akan memerlukan 3 mol NaOH dan menghasilkan 1 mol gliserol dan 3 mol garam natrium yang dengan mudah dapat terurai menjadi ion asam lemak dan natrium dalam pelarut air.

B. Klasifikasi Lipid.

Mengingat banyaknya jenis senyawa lipid yang terdapat di alam maka untuk lebih memudahkan mempelajarinya, Bloor mengklasifikasikan senyawa lipid ke dalam tiga kelompok (disebutkan oleh Martin, et al. 1985:194), yakni sebagai berikut:

1. Lipid sederhana, yaitu senyawa lipid yang terjadi dari ester asam lemak dengan berbagai macam alkohol. Senyawa ini terdiri dari lemak (ester dari asam lemak dengan gliserol) dan waxes (ester dari asam lemak dengan alkohol mono hidroksi dengan berat molekul tinggi).
2. Senyawa lipid, yaitu lipid yang terjadi dari ester asam lemak yang mengandung gugus lain dengan alkohol. Lipid jenis ini terdiri dari fosfolipid (lipid yang mengandung unit asam fosfat selain dari asam lemak dan gliserol) seperti gliserofosfolipid dan spingofosfolipid, gli-

kolipid (suatu ester dari asam lemak dengan karbohidrat, mengandung nitrogen tetapi tidak mengandung asam fosfat), dan senyawa-senyawa lipid lainnya seperti sulfolipid, aminolipid, dan lipoprotein.

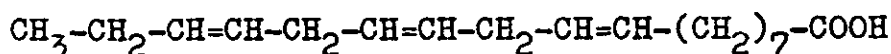
3. Lipid turunan, yaitu zat-zat yang berasal dari senyawa-senyawa golongan lipid tersebut di atas melalui proses hidrolisis. Zat-zat ini terdiri dari asam-asam lemak (baik jenuh maupun tak jenuh), gliserol, steroid, alkohol selain dari gliserol dan sterol, aldehid lemak, dan keton-keton bodi. Gliserida (asilgliserol), kolesterol, dan ester kolesterol tergolong ke dalam senyawa lipid netral karena molekulnya tidak bermuatan.

Senyawa-senyawa lipid yang akan dibicarakan pada bahagian ini meliputi asam-asam lemak, triasilgliserol, fosfolipid, dan steroid.

1. Asam-asam lemak.

Asam lemak adalah asam karboksilat rantai panjang yang diperoleh dari hasil hidrolisis ester gliserol dan kolesterol. Asam-asam lemak yang terdapat dalam lemak alam pada umumnya mengandung jumlah atom C genap (karena merupakan hasil sintesis dari dua unit rantai C-2) dan mempunyai rantai lurus. Rantai C pada senyawa ini dapat mempunyai ikatan rangkap (senyawa tak jenuh) dan dapat pula tidak mempunyai ikatan rangkap (senyawa

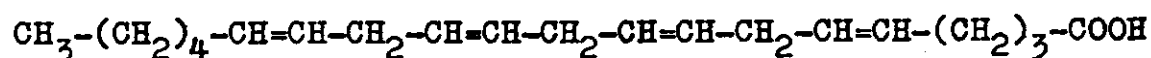
kut:



Asam linolenat.

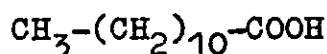
Asam arakhidonat adalah asam lemak tak jenuh yang mempunyai jumlah atom C sebanyak 20 buah, ikatan rangkap 4 buah yang terletak pada atom C nomor 5,8,11,14 (disimbulkan 20:4;5,8,11,14).

Asam ini didapatkan dalam minyak kacang tanah dan merupakan komponen penting dari fosfolipid pada hewan. Struktur molekulnya dapat dituliskan sebagai berikut:



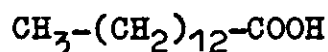
Asam arakhidonat.

Asam lemak jenuh (saturated fatty acid) dalam struktur molekulnya tidak terdapat ikatan rangkap, seperti asam laurat, miristat, palmitat, stearat, dan arakhidat. Asam laurat adalah asam lemak jenuh dengan jumlah atom C sebanyak 12 buah dan banyak terdapat pada minyak kelapa, kayumanis, biji palem, dan daun salam. Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut:



Asam laurat

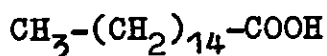
Asam miristat adalah asam lemak jenuh yang mempunyai jumlah atom C sebanyak 14 buah dan banyak terdapat pada minyak pala, biji palem, dan minyak kelapa. Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut:



Asam miristat.

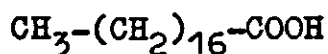
Asam palmitat adalah asam lemak jenuh yang mempunyai jumlah

atom C sebanyak 16 buah dan banyak terdapat pada kebanyakan lemak hewani dan nabati. Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut:



Asam palmitat.

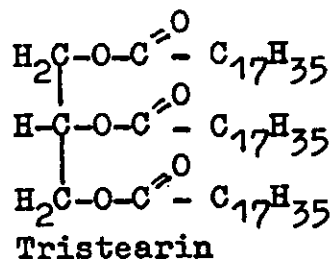
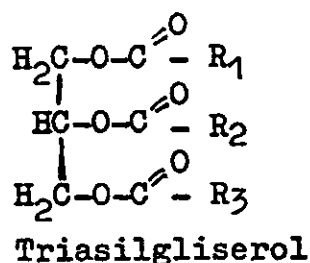
Asam stearat adalah asam lemak jenuh yang mempunyai jumlah karbon sebanyak 18 buah dan banyak terdapat pada kebanyakan lemak hewani dan nabati. Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut:



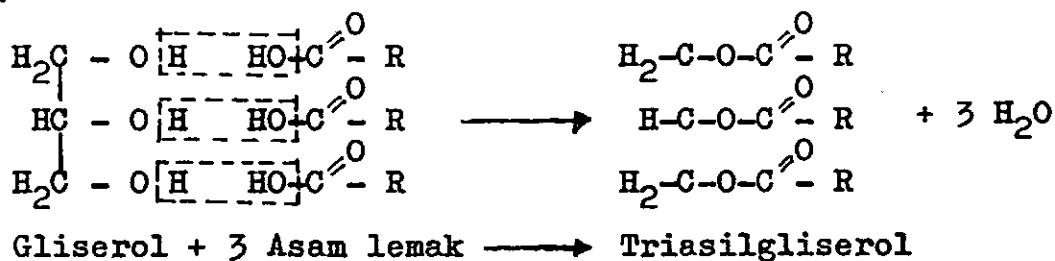
Asam stearat

2. Triasilgliserol (trigliserida).

Triasilgliserol atau disebut juga lemak netral adalah suatu senyawa ester dari gliserol dan asam lemak. Triasilgliserol yang terjadi secara alamiah pada umumnya mengandung unit asam-asam lemak yang tidak sama pada tiga posisi ester. Senyawa ini disebut sebagai asilgliserol campuran (mixed acylglycerol). Bilamana dalam suatu molekul triasilgliserol terdapat 3 unit asam lemak yang sama pada ketiga posisi esternya dengan rantai alkilnya misalnya $\text{C}_{17}\text{H}_{35}$ maka disebut sebagai tristearin dan bila dalam molekulnya terdapat unit-unit asam lemak yang berbeda pada posisi esternya maka disebut sebagai triasilgliserol campuran. Struktur dari triasilgliserol dapat dilukiskan sebagai berikut:



Proses pembentukan triasilgliserol dapat dilukiskan sebagai berikut:



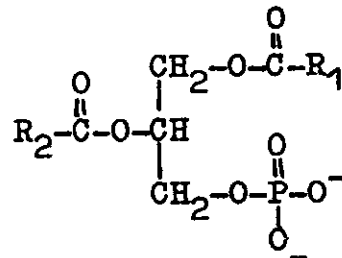
Reaksi pembentukan asilgliserol tersebut di atas dapat terjadi secara bertahap. Bila satu gugus hidroksil dari gliserol teresterifikasi dengan asam lemak maka akan terbentuk molekul monoasilgliserol, bila dua gugus hidroksil dari gliserol teresterifikasi dengan asam lemak maka akan terjadi molekul diasilgliserol, dan bila ketiga gugus hidroksil dari gliserol teresterifikasi dengan asam lemak maka akan terbentuk molekul triasilgliserol.

3. Fosfolipid.

Fosfolipid adalah lipid yang mengandung fosfat di samping gugus alkohol dan asam lemak. Pada senyawa ini, asam fosfat terikat sebagai ester dari asam fosfat dan gliserol. Senyawa-senyawa yang termasuk golongan fosfolipid ini meliputi:

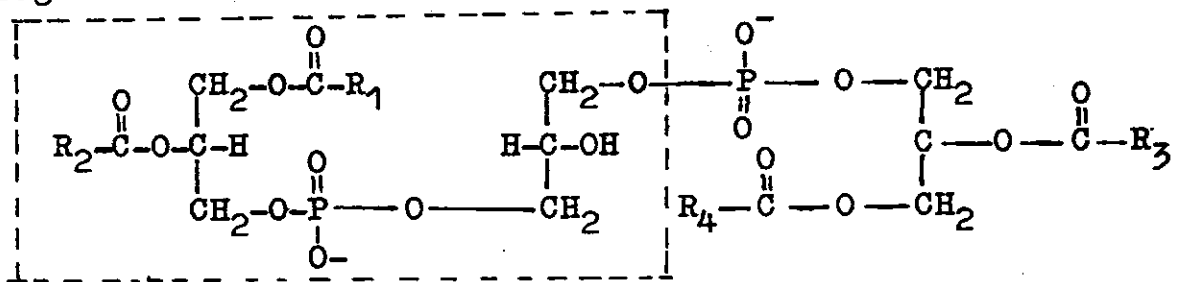
- a. asam fosfatidat dan fosfatidilgliserol
- b. fosfatidilkholin.
- c. fosfatidiletanolamin
- d. fosfatidilinositol
- e. fosfatidilserin
- f. lisofosfolipid
- h. plasmalogen
- i. spingomielin.

Asam fosfatidat merupakan senyawa yang memegang peranan penting sebagai zat intermediet dalam sintesis triasilgliserol dan fosfolipid tetapi zat ini tidak dijumpai dalam jumlah besar dalam jaringan tubuh. Struktur molekulnya dapat dituliskan sebagai berikut:



Asam fosfatidat .

Fosfatidilgliserol adalah zat pembentuk senyawa kardiolipin , suatu senyawa fosfolipid yang terdapat dalam membran mitokhondria (salah satu organ sel). Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut:

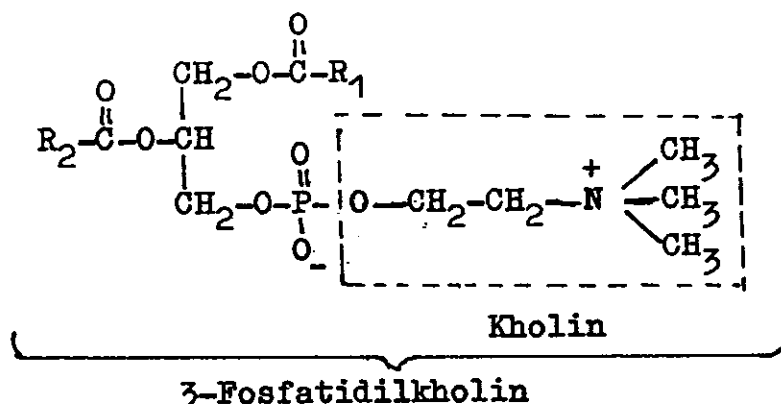


Fosfatidilgliserol

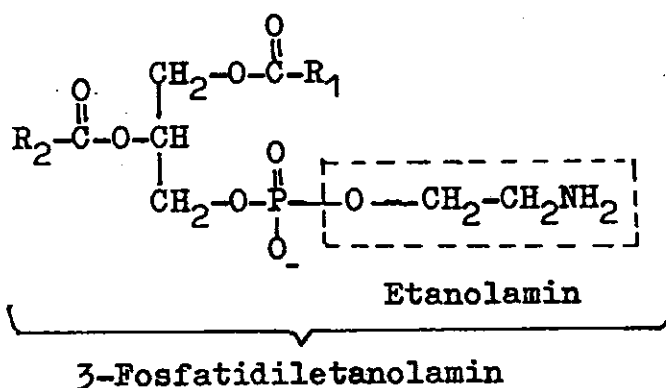
Difosfatidilgliserol
(kardiolipin)

Fosfatidilkholin (lesitin) merupakan senyawa lipid yang mengandung gliserol dan asam lemak (seperti lemak sederhana), tetapi zat ini juga mengandung asam fosfat dan kholin. Senyawa lesitin banyak terdapat pada sel-sel tubuh dan mempunyai fungsi metabolik dan struktural dalam membran sel. Struktur mo-

lekul lesitin dapat dilukiskan sebagai berikut:

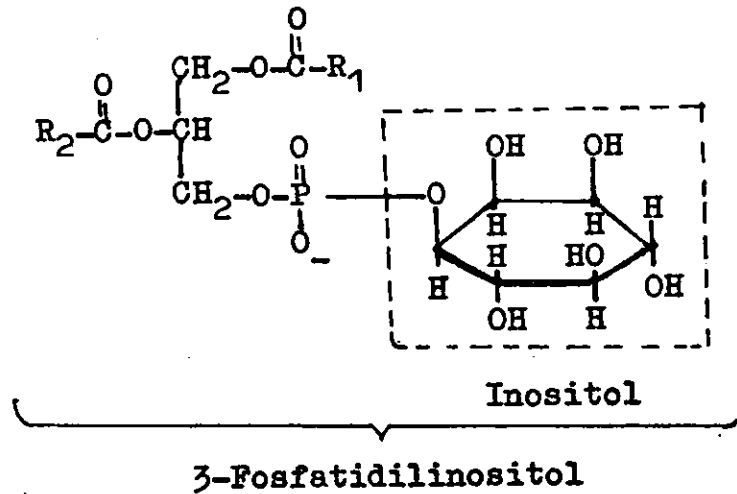


Fosfatidiletanolamin (Sepalin) merupakan senyawa lipid dengan struktur molekul mirip dengan lesitin hanya saja pada sepalin, etanolamin menggantikan kedudukan kholin. Struktur molekulnya ditulis sebagai berikut:

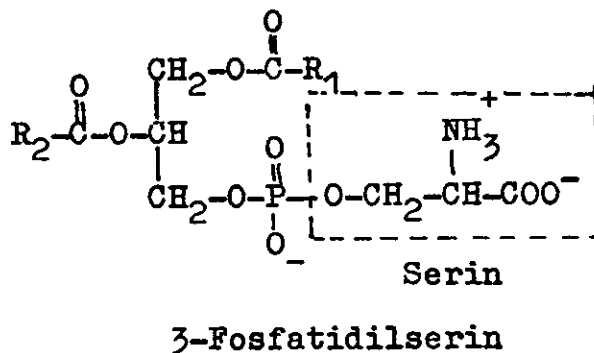


Fosfatidilinositol merupakan senyawa lipid yang struktur molekulnya juga mirip dengan lesitin, hanya saja pada fosfatidilinositol, inositol menggantikan kedudukan kholin. Inositol adalah komponen lipid yang pertama kali ditemukan dalam bakteri. Akhir-akhir ini, inositol dijumpai pula dalam senyawa fosfolipid jaringan otak, kacang kedelai, dan fosfolipid tumbuhan lainnya. Fosfatidilinositol merupakan komponen yang penting dari fosfolipid membran sel dan dengan rangsangan hormon tertentu,

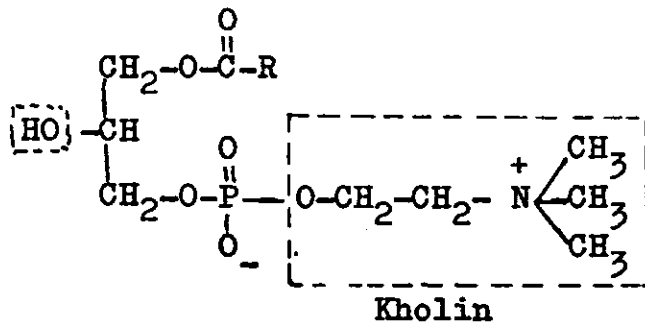
zat ini dapat terpecah menjadi diasilgliserol dan inositol trifosfat yang keduanya berfungsi sebagai sinyal dalam (internal signal) atau penyalur kedua (second messenger). Struktur molekulnya dapat dituliskan sebagai berikut:



Fosfatidilserin merupakan senyawa lipid yang mengandung asam amino serin. Zat ini didapatkan dalam jaringan-jaringan tubuh. Struktur molekulnya juga mirip dengan lesitin, hanya saja pada fosfatidilserin, kedudukan kholin digantikan oleh serin. Rumusnya dapat dilukiskan sebagai berikut:

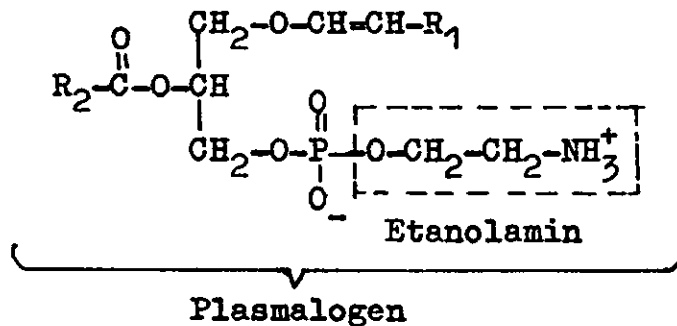


Lisofosfolipid merupakan senyawa fosfoasilgliserol yang hanya mengandung 1 gugus asil, seperti lisolesitin. Struktur molekulnya dapat ditulis sebagai berikut:

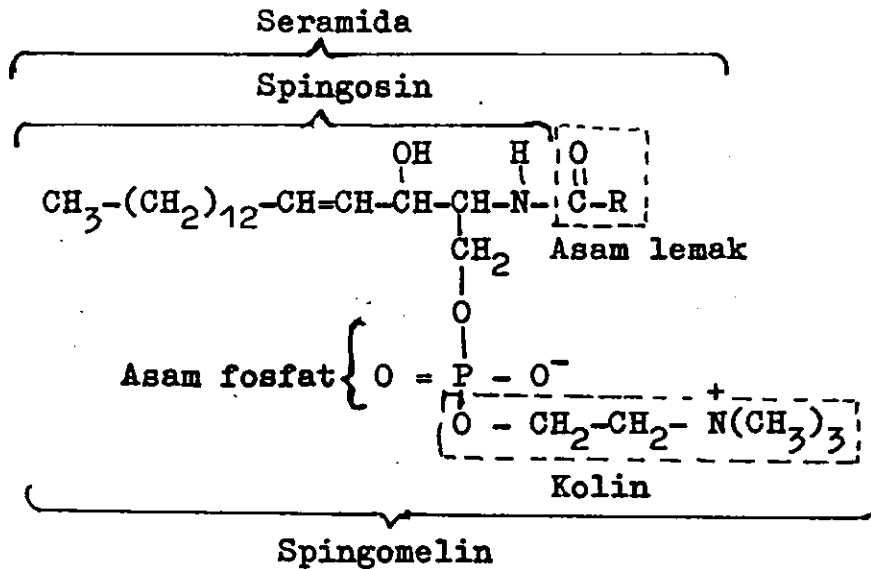


Isolesitin

Plasmalogen merupakan senyawa fosfolipid yang terdapat dalam otak dan otot (sekitar 10%). Strukturnya mirip dengan fosfatidiletanolamin, hanya saja ikatan ester pada atom C-1 terdiri dari alkohol tak jenuh. Rumus bangunnya dapat dilukiskan sebagai berikut:

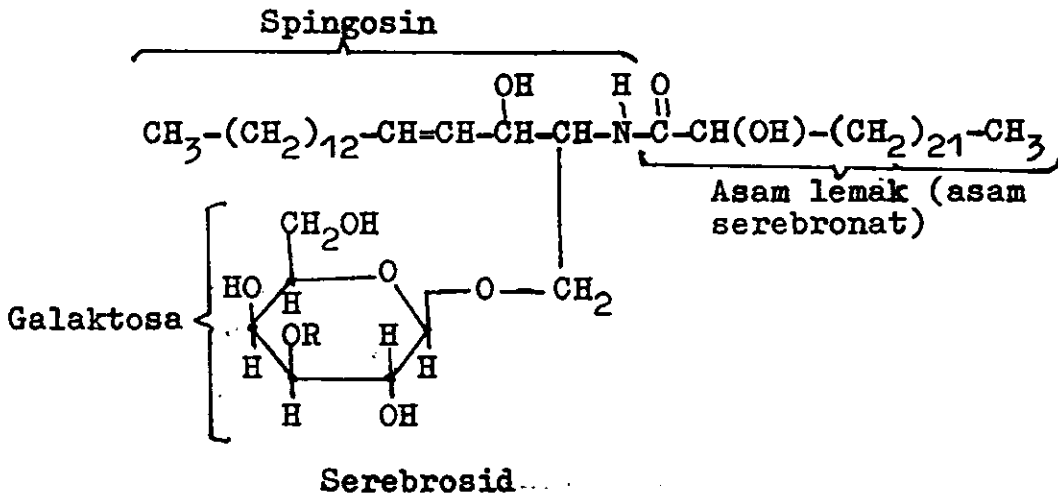


Spingomelin dalam jumlah besar terdapat pada otak dan jaringan syaraf. Bila dihidrolisis, zat ini akan menghasilkan asam lemak, asam fosfat, kholin, dan spingosin (suatu alkohol amino yang kompleks). Gabungan antara spingosin dan asam lemak disebut sebagai seramida, suatu molekul yang didapatkan dalam senyawa glikolipid. Spingomelin tidak mengandung gliserol. Rumus bangunnya dapat dilukiskan sebagai berikut:



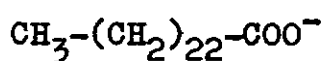
4. Glikolipid.

Glikolipid adalah suatu senyawa lipid yang dalam struktur molekulnya terdapat galaktosa dan seramida. Suatu glikolipid yang sederhana hanya mengandung galaktosa, asam lemak dengan berat molekul tinggi, dan spingosin. Zat ini disebut sebagai serebrosid. Strukturnya dapat ditulis sebagai berikut:

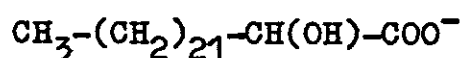


Serebrosid dibedakan berdasarkan jenis asam lemak yang terikat kepada molekulnya. Kerasin adalah serebrosid yang mengandung asam lemak lignoserat; serebron mengandung asam lemak je-

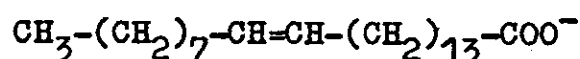
nis hidrosilignoserat; nevron mengandung asam lemak nervonat; dan oksinervon mengandung asam lemak oksinervonat. Asam stearat merupakan komponen utama dari asam-asam lemak yang terdapat pada serebrosid otak tikus. Serebrosid-serebrosid ini dijumpai dalam berbagai jaringan tubuh di samping dalam otak dan serat-serat syaraf. Struktur kimia dari asam-asam lemak pembentuk molekul serebrovid dapat ditulis sebagai berikut:



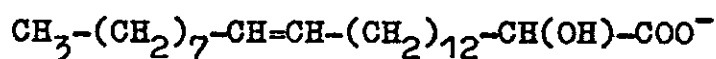
Lignoserat



Serebronat



Nervonat

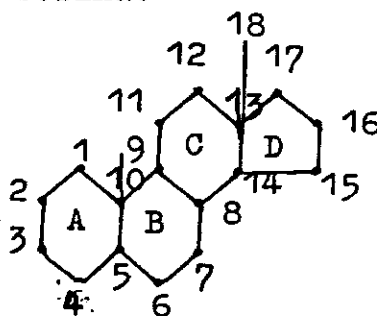


Oksinervonat

5. Steroid.

Steroid adalah senyawa lipid yang mempunyai kerangka inti sterol, yaitu suatu inti siklis penanthrena. Struktur inti steroid dapat ditulis sebagai berikut:

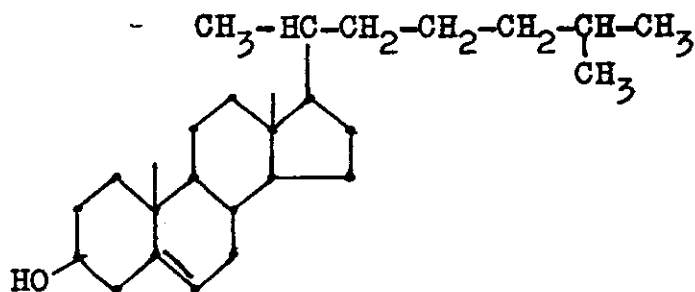
Struktur inti steroid



Steroid di alam sering dijumpai dalam keadaan bergabung dengan

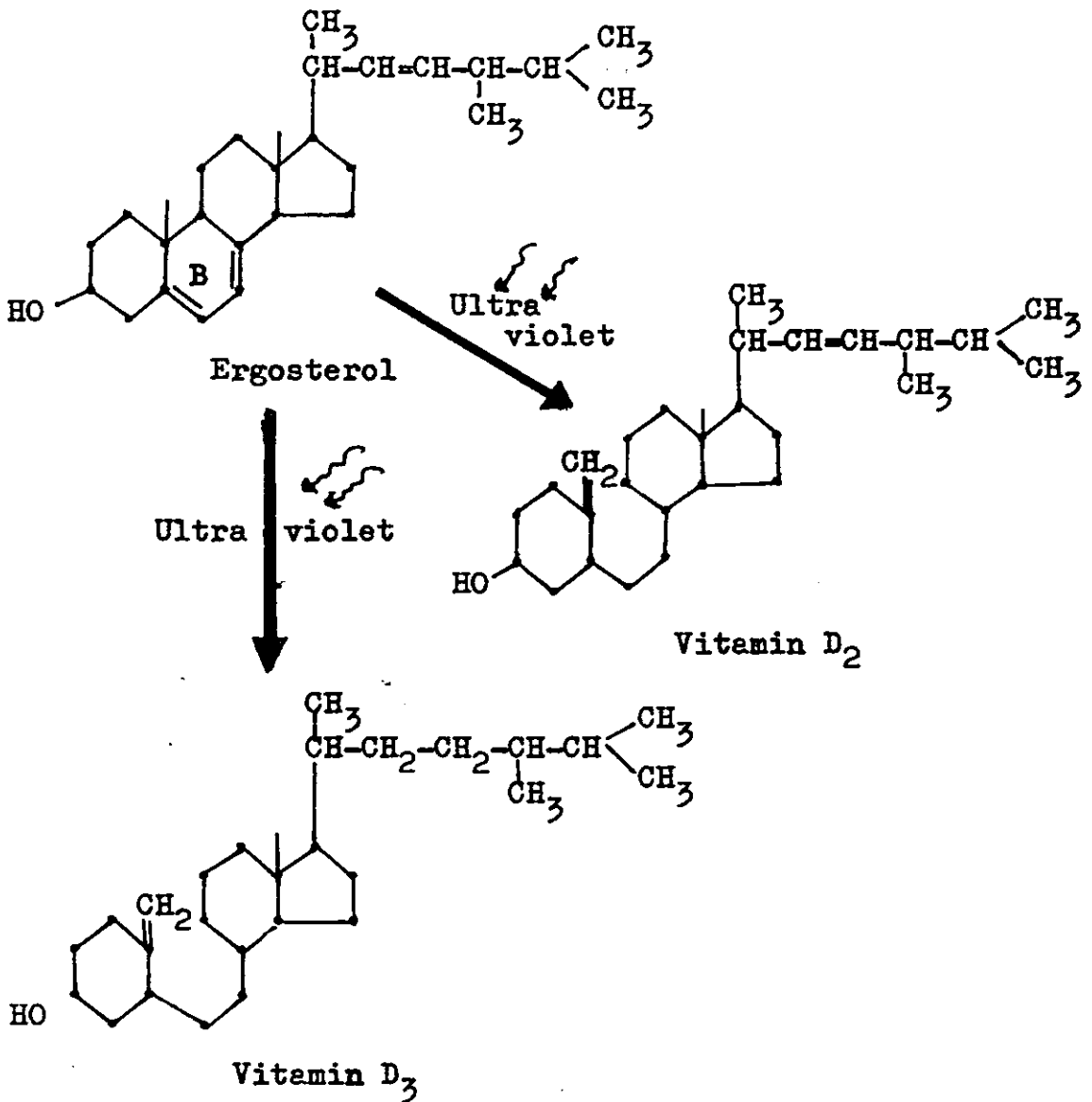
lemak. Steroid dapat dipisahkan dari lemaknya bila disafonifikasi. Semua steroid pada umumnya mengandung inti lingkaran yang sama, yaitu suatu rantai penanthrena (cincin A, B, dan C) dan kepadanya terikat cincin siklopentana (D).

Senyawa-senyawa yang termasuk golongan steroid antara lain adalah kolesterol, ergosterol, koprosterol, dan steroid penting lainnya. Kolesterol adalah steroid yang banyak terdapat dalam sel-sel tubuh, terutama sekali pada jaringan syaraf. Zat ini merupakan senyawa hasil sintesis terbanyak dari semua steroid yang disintesis dalam tubuh. Senyawa ini terdapat pada lemak hewan dan tidak terdapat dalam lemak tumbuh-tumbuhan. Struktur kolesterol ini dinyatakan sebagai 3-hidroksi-5,6-kolestin, dengan rumus bangun sebagai berikut:



Kolesterol

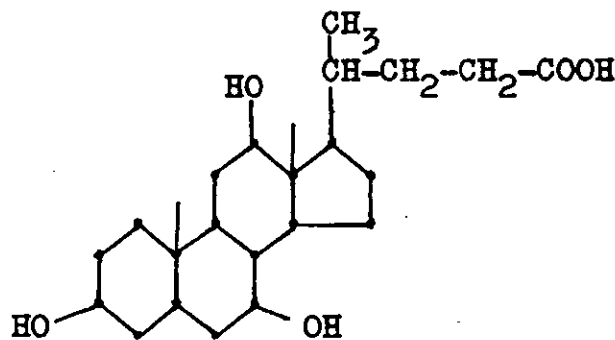
Ergosterol adalah steroid yang banyak terdapat pada tumbuh-tumbuhan dan ragi. Zat ini berfungsi penting untuk pembentuk vitamin D. Bila disinari dengan sinar ultraviolet, zat ini akan memperoleh sifat antirakhitis yang menyebabkan terbukanya rantai (cincin) B dari kerangka inti steroidnya. Struktur molekul ergosterol dapat dilukiskan sebagai berikut:



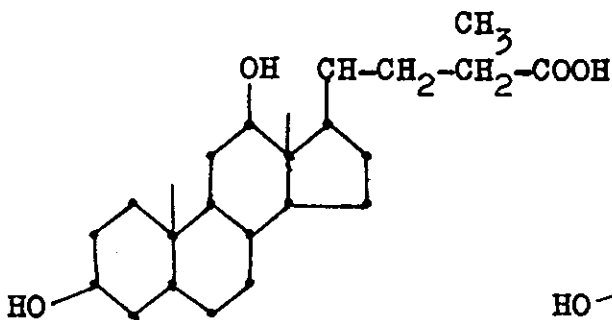
Koprosterol adalah steroid yang terdapat dalam feces manusia sebagai hasil dari pereduksian ikatan rangkap kolesterol antara atom C-5 dan C-6 oleh bakteri yang ada dalam usus halus. Pada struktur senyawa ini terdapat hubungan cis antara cincin A dan cincin B, sedangkan pada kolesterol terdapat hubungan trans antara cincin A dan cincin B dari struktur inti steroidnya. Dengan demikian struktur molekul koprosterol mirip dengan struktur molekul kolesterol, hanya saja pada senyawa ini tidak ter-

dapat ikatan rangkap dan antara cincin A dan B terdapat hubungan cis.

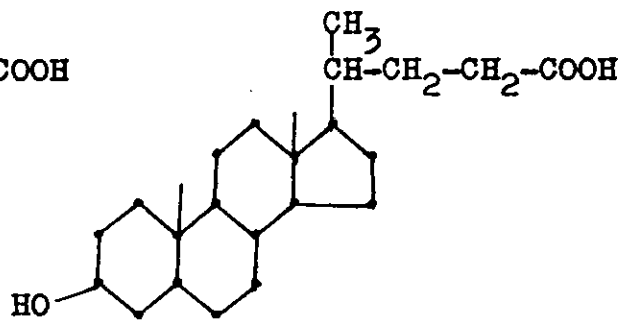
Senyawa-senyawa steroid lainnya yang terpenting meliputi: asam-asam empedu dan hormon sex. Asam-asam empedu yang penting adalah: asam kholat, asam deoksikholat, dan asam litokholat. Garam dari asam-asam empedu tersebut di atas berfungsi sebagai zat emulgator serta memegang peranan penting dalam penyerapan asam-asam lemak dalam usus halus. Struktur ketiga macam asam empedu tersebut di atas dapat dituliskan sebagai berikut:



Asam kholat



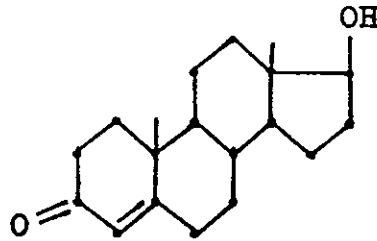
Asam deoksikholat



Asam litokholat

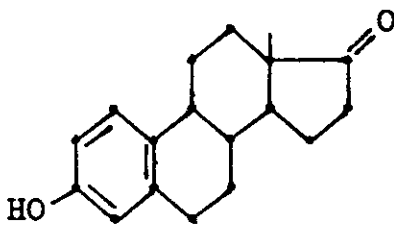
Hormon sex terdiri dari dua golongan, yakni hormon sex laki-laki (hormon androgen) dan hormon sex wanita (estrogen). Hormon androgen yang terpenting adalah testosteron yang dibentuk oleh sel kelamin dalam jaringan testes. Struktur molekulnya da-

dapat dilukiskan sebagai berikut:

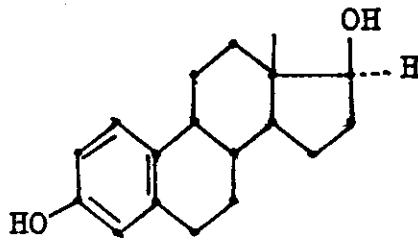


Testosteron

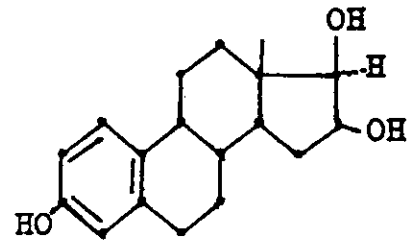
Hormon estrogen secara kimia ditandai dengan cincin aromatis yang terdapat dalam struktur molekulnya. Dalam hal ini, hanya ada satu substituen yang dapat terikat kepada setiap atom C yang terdapat pada cincin aromatisnya; gugus metil pada atom C nomor 10 dari inti steroidnya tidak ada. Fungsi oksigen pada C nomor 3 hanyalah sebagai gugus OH penol saja selama cincin A berupa cincin aromatis. Hormon estrogen yang terjadi secara alamiah terdiri dari: estron, estradiol, dan estriol, dengan struktur molekul sebagai berikut:



Estron



Estradiol



Estriol

C. Identifikasi Lipid (Lemak).

Sifat-sifat fisika dari lipid (lemak) sangat tergantung kepada panjang rantai karbon dan derajat ketidakteraturan dari konstituen asam-asam lemaknya. Titik lebur dari asam-asam lemak dengan jumlah atom karbon genap akan meningkat dengan semakin pan-

jangnya rantai karbon dan menurun dengan semakin banyaknya jumlah ikatan rangkap yang dikandungnya. Suatu senyawa triasilgliserol yang ketiga jenis asam lemaknya jenuh dengan jumlah atom karbon 12 atau lebih akan berwujud padat pada suhu tubuh, tetapi bila ketiga jenis asam lemaknya mempunyai 2 buah ikatan rangkap dengan 18 buah atom karbon akan berwujud cair sampai suhu di bawah 0°C . Lipid membran, yang berupa cair, lebih tidak jenuh dibandingkan dengan lipid (lemak) cadangan. Lipid pada jaringan-jaringan tubuh pada umumnya terdiri dari triasilgliserol yang mengandung asam-asam lemak tak jenuh.

Karakteristik dari senyawa lipid (lemak) dapat diidentifikasi dengan berbagai macam reaksi, antara lain: hidrolisis, saponifikasi, unsaponifikasi (unsaponifiable matter), hidrogenasi, peroksidasi, dan oksidasi spontan.

Hidrolisis suatu lipid sebagai suatu triasilgliserol dapat terjadi secara enzimatis melalui aktivitas enzim lipase, menghasilkan asam-asam lemak dan gliserol. Dalam hal ini, enzim lipase pankreas menyerang ikatan ester pada posisi 1 dan 3 setelah terlebih dahulu menyerang ikatan ester pada posisi 2 dari senyawa triasilgliserol. Enzim fosfolipase menyerang berbagai macam ikatan dalam senyawa fosfolipid; enzim ini dapat dipakai untuk menganalisis komponen-komponen dari senyawa fosfolipid.

Saponifikasi merupakan suatu proses hidrolisis lemak oleh alkali. Hasilnya adalah gliserol dan garam-garam alkali dari asam lemak, yang disebut sebagai sabun. Hidrolisis asam dari suatu lemak akan menghasilkan asam-asam lemak bebas dan gliserol. Sabun berfungsi sebagai zat pembersih karena sifat emulsi-

nya dalam air. Beberapa jenis sabun yang mempunyai berat molekul tinggi dan tidak jenuh berfungsi sebagai bahan pembunuh hama yang selektif. Beberapa jenis sabun lainnya, seperti senyawa natrium risinoleat, bersifat sebagai antitoxin yang dapat menyerang toxin dipteri dan tetanus.

Bahan unsafonifikasi (unsaponifiable matter) meliputi zat-zat dalam lemak alam yang tidak dapat disafonifikasi (disabunkan) oleh alkali, tetapi zat-zat ini mudah larut dalam eter dan petroleum eter. Selama tidak larut dalam eter, sabun dapat dipisahkan dari campuran lipidnya melalui ekstraksi dengan pelarut tertentu. Senyawa-senyawa keton, hidrokarbon, alkohol berat molekul tinggi, dan steroid merupakan contoh bahan yang tidak tersafonifikasi dari lemak alam.

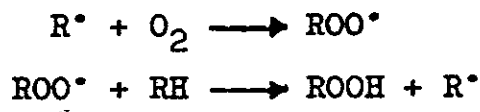
Hidrogenasi dari lemak tak jenuh dengan katalis nikel (Ni) disebut sebagai hardening (pengerasan). Teknik ini, secara komersial, sangat berguna sebagai suatu cara untuk merubah lemak-lemak cair (lemak-lemak dari tumbuh-tumbuhan) menjadi lemak padat sebagai margarin. Melalui proses hidrogenasi, asam-asam lemak tak jenuh dari lemak dirobah menjadi asam-asam lemak jenuh sehingga titik leburnya menjadi tinggi.

Peroksidasi (auto-oksidasi) dari lipid atau lemak yang dilakukan oleh oksigen bukan saja dapat mengurangi kualitas bahan makanan tetapi juga dapat merusak jaringan in vivo, dimana bahan makanan ini dapat menjadi penyebab suatu penyakit kanker. Efeknya yang merusak kesehatan diawali oleh adanya radikal bebas (ROO, RO, dan OH) yang terjadi selama proses pembentukan peroksida dari asam-asam lemak yang mengandung ikatan rangkap,

asam-asam lemak berikatan rangkap banyak (polyunsaturated fatty acid) yang terjadi secara alamiah. Peroksidasian lipid merupakan suatu reaksi berantai yang dapat memberikan suplai radikal bebas secara terus menerus sehingga memungkinkan terjadinya reaksi peroksidasian lebih lanjut. Keseluruhan proses peroksidasian lemak meliputi tiga tahap reaksi, yakni sebagai berikut:

Tahap awal : Pembentukan radikal R^\bullet dari suatu bahan.

Tahap propagasi (perkembangan):



dan seterusnya.

Tahap terminasi (akhir):



Selama proses awal menghasilkan hidrosiperoksida, ROOH, peroksidasi lipid akan merupakan suatu reaksi berantai yang secara potensial memberikan efek yang menghancurkan. Untuk mengontrol dan mengurangi peroksidasian lipid baik pada manusia maupun di alam perlu digunakan zat antioksidant. Propil gallat, butil hidroksianisol (BHA), dan butil hidroksitoluen (BHT) merupakan zat antioksidant yang ditambahkan ke dalam bahan makanan.

Oksidasi spontan terjadi pada minyak yang mengandung asam-asam lemak tak jenuh yang tinggi (seperti minyak biji rami). Oksidasi spontan ini dilakukan oleh oksigen di udara pada suhu biasa dan membentuk suatu produk yang keras dan tahan air. Beberapa jenis minyak sengaja ditambahkan untuk tujuan mencat dan melak. Minyak tersebut dikenal sebagai minyak kering (drying oil).

D. Metoda Pemisahan Lipid dalam Bahan Biologis.

Metoda lama yang digunakan untuk pemisahan dan pengidentifikasian lipid didasarkan kepada prosedur kimia yang klasik, seperti kristalisasi, distilasi, dan ekstraksi pelarut, secara luas telah digantikan oleh teknik kromatografi. Teknik kromatografi yang khusus berguna bagi pemisahan berbagai jenis lipid adalah thin layer chromatography (TLC) dan untuk pemisahan asam-asam lemak secara individual adalah gas-liquid chromatography (GLC). Sebelum teknik-teknik kromatografi ini diterapkan, terlebih dahulu lipid diekstraksi dengan sistem pelarut yang merupakan suatu campuran dari kloroform dan metanol dengan perbandingan volume 2 : 1.

Kromatografi gas cair (GLC) meliputi pemisahan fisik dari suatu fasa gas yang bergerak oleh penyerapan terhadap fasa diam yang terdiri dari padatan murni, seperti silika gel dan minyak silikon. Dalam prakteknya, tabung gelas atau logam diisi dengan padatan murni, dan suatu campuran metil ester dari asam lemak diuapkan pada salah satu ujung dari tabungnya, suhu dijaga antara 170 - 225° C. Suatu aliran yang konstan dari gas mulia seperti argon dan helium akan menjaga ester bergerak melalui tabung. Seperti tipe kromatografi lainnya, pemisahan dari ester asam-asam lemak yang mudah menguap bergantung kepada afinitas yang berbeda dari komponen-komponen campuran gas untuk fasa diam. Gas yang secara kuat atraktif kepada fasa diam akan bergerak melalui tabung pada kecepatan yang lebih rendah dan muncul pada ujung tabung lebih lambat dari gas-gas yang secara relatif kurang atraktif. Karena ester dari asam lemak

muncul dari tabung, zat-zat ini dapat ditentukan secara fisika dan kimia dan dicatat secara otomatis sebagai serangkaian puncak yang muncul pada waktu yang berbeda sesuai dengan kecenderungan setiap ester asam lemak untuk ditahan oleh fasa diam. Daerah di bawah setiap puncak sebanding dengan konsentrasi komponen tertentu dalam campuran. Identitas setiap komponen ditentukan dengan cara membandingkannya dengan pola kromatografi gas dari suatu campuran standar yang berhubungan dalam komposisi yang telah diketahui. Sebuah alat detektor radioaktif dapat pula digunakan pada aliran gas ini, dengan dilengkapi detektor massanya. Jadi, suatu pengukuran radioaktivitas dari setiap komponen yang terpisah telah dapat diperoleh.

Keuntungan dari kromatografi gas cair (gas-liquid chromatography) adalah sifat kesensitifannya yang tinggi, yang memungkinkan campuran dalam jumlah yang sangat kecil dapat dipisahkan dan tabung (column)nya dapat dipakai berulang-ulang.

Kromatografi lapis tipis (thin layer chromatography, TLC) dilakukan dengan menggunakan lempeng gelas yang dilapisi dengan kream penyerap, biasanya menggunakan silika gel. Lempeng kaca yang telah dilapisi dengan silika gel ini dibiarkan kering dan selanjutnya dipanaskan dalam oven pada suhu dan waktu yang ditentukan (standar). Setelah dingin, lempeng kaca yang telah diaktifkan ini dinodai dengan campuran lipid yang dilarutkan dalam pelarut tertentu. Pelarutnya diuapkan, pinggir dari lempeng yang paling dekat dengan noda (spot) dimasukkan ke dalam suatu campuran pelarut yang tepat, dan lempengnya membuat pela-

rut naik sampai tepi puncak atas dari lempeng. Kemudian, lempeng dikeringkan dari pelarut, dan posisi noda (spot) ditentukan dengan cara menyemprot lempeng dengan asam sulfat yang dilanjutkan dengan pemanasan atau dengan cara fluoresensi (dengan diklorofluoressein) atau dapat juga dengan mereaksikannya dengan uap iodin. Posisi spot akan menunjukkan komponen-komponen lemak dari campuran yang dianalisis.

Di samping digunakan untuk tujuan analisis, kromatografi lapis tipis dapat pula dipakai untuk pemurnian senyawa lipid. Dalam hal ini, sejumlah mgram senyawa lipid dapat digunakan sebagai pelapis sebuah lempeng gelas. Pemakaian yang mendetail dari kromatografi lapis tipis ini dapat dilihat dalam kimia analisis instrumen.

SOAL-SOAL

1. Jelaskan secara ringkas:
 - a. apa yang dimaksud dengan lemak atau minyak!
 - b. fungsi lemak dalam tubuh manusia!
 - c. klasifikasi lemak berdasarkan sumber, sifat mengeras, dan struktur molekulnya, beri contoh-contoh!
2. Jelaskan proses sintesis lemak dalam tumbuh-tumbuhan!
3. Jelaskan klasifikasi lipid menurut Bloor! Beri contoh!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan fosfolipid dan senyawa-senyawa yang tergolong ke dalam fosfolipid!
5. Apa yang dimaksud dengan glikolipid dan jelaskan senyawa-senyawa yang termasuk golongan glikolipid ini!
6. Apa yang dimaksud dengan steroid? Jelaskan senyawa-senyawa yang tergolong ke dalam steroid!
7. Jelaskan proses pembentukan vitamin D_2 dan D_3 dari ergosterol dengan bantuan sinar ultra violet dari matahari!
8. Jelaskan apa yang dimaksud dengan hormon androgen dan estrogen! Kemukakan contoh-contohnya!
9. Jelaskan berbagai teknik identifikasi lipid yang anda ketahui! Jelaskan tentang apa yang dimaksud dengan:
 - a. reaksi hidrolisis lipid.
 - b. reaksi safonifikasi lipid.
 - c. materi unsafonifikasi dari lipid.
 - d. reaksi hidrogenasi asam lemak atau lemak.
 - e. reaksi peroksidasi (auto-oksidasi).
 - f. reaksi oksidasi spontan.
10. Jelaskan teknik pemisahan senyawa lipid secara:
 - a. gas-liquid chromatography (GLC)
 - b. thin layer chromatography (TLC).

IV. PROTEIN

Protein merupakan zat makanan yang sangat penting bagi tubuh manusia. Dalam tubuh, zat ini memegang berbagai macam fungsi antara lain : sebagai bahan bakar, zat pembangun, zat pengatur, enzim, plasma sel, dan antibodi. Kekurangan protein dalam waktu lama akan dapat mengganggu berbagai proses dalam tubuh dan menurunkan daya tahan tubuh terhadap berbagai macam penyakit.

Sebagai bahan bakar, protein berperan dalam menghasilkan kalori tubuh apabila kebutuhan energi tubuh tidak terpenuhi oleh karbohidrat dan lemak. Dalam proses metabolisme zat makanan, 1 gram protein dapat menghasilkan kurang lebih 4 kkal (hampir sama dengan jumlah kalori yang dihasilkan oleh metabolisme 1 gram karbohidrat dalam tubuh).

Sebagai zat pembangun, protein berfungsi sebagai bahan pembentuk jaringan-jaringan baru yang selalu terjadi di dalam tubuh. Pada masa pertumbuhan, proses pembentukan jaringan terjadi secara besar-besaran. Pada masa kehamilan, misalnya, protein secara besar-besaran membentuk jaringan janin dan pertumbuhan embrio. Di samping itu, protein juga berperan dalam mengganti jaringan-jaringan yang telah rusak dan yang perlu dirombak. Dalam hal ini, protein berfungsi sebagai pembentuk jaringan baru dan mempertahankan jaringan yang sudah ada.

Sebagai zat pengatur, protein berfungsi sebagai pengatur berbagai proses dalam tubuh, baik secara langsung maupun ti-

dak langsung, dengan membentuk zat-zat pengatur proses tubuh. Dalam kaitan ini, protein mengatur keseimbangan cairan dalam jaringan dan dalam pembuluh darah dengan menimbulkan tekanan osmotik koloid yang dapat menarik cairan dari jaringan ke dalam pembuluh darah. Di samping itu, sifat amfoter dari protein yang dapat bereaksi baik sebagai asam maupun sebagai basa akan dapat pula mengatur keseimbangan asam-basa dalam tubuh.

Protein juga merupakan bahan utama pembentuk molukul enzim. Enzim adalah suatu biokatalis yang berfungsi mempertinggi kecepatan reaksi dalam sistem biologis. Zat ini mempercepat reaksi-reaksi biologis sampai jutaan kali lebih cepat dari reaksi-reaksi biologis yang sama tanpa adanya enzim sebagai katalis. Bahkan proses-proses kimia dalam sistem biologis biasanya tidak dapat terjadi tanpa dikatalisatori oleh enzim.

Plasma sel terdiri dari berbagai macam zat, terutama sekali mengandung protein. Jenis protein yang terdapat dalam plasma sel pada umumnya adalah albumin.

Antibodi, sebagai zat pelindung kekebalan tubuh, pada umumnya terdiri dari protein tertentu yang dapat bertemu dan bergabung dengan berbagai macam zat asing, seperti virus, bakteri, dan sel-sel dari organisme lain. Dalam hal ini, protein memegang peranan penting dalam membedakan antara dirinya sebagai protein dengan benda lain yang juga kebanyakan terdiri dari protein.

Dengan demikian, protein dalam tubuh manusia memainkan banyak peranan, baik sebagai bahan bakar dalam proses metabolisme zat-zat makanan maupun sebagai enzim, transport, penga-

tur, penyokong, pelindung tubuh, pengatur pertumbuhan tubuh, dan penyalur impul-impul syaraf. Hal ini sesuai dengan pendapat Stryer (1981:11-12) sebagai berikut:

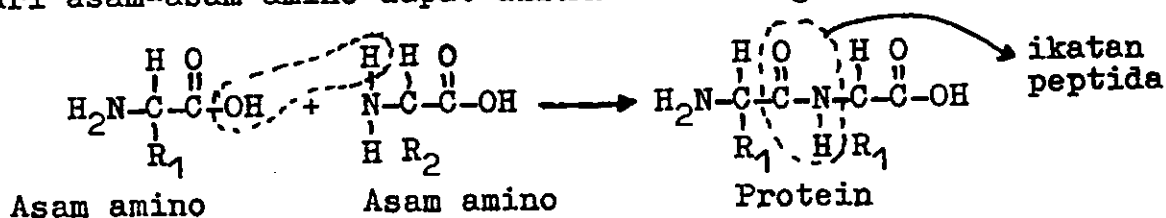
"Proteins play crucial roles in virtually all biological processes. The significance and remarkable scope of their functions are exemplified in: enzymatic catalysis, transport and storage, coordinated motion, mechanical support, immune protection, generation and transmission of nerve impulses, and control of growth and differentiation".

Mengingat banyaknya peranan protein dalam tubuh, kekurangan jumlah protein dari yang normal sudah barang tentu akan dapat menyebabkan terganggunya berbagai macam proses biologis yang pada gilirannya akan dapat menimbulkan berbagai macam penyakit.

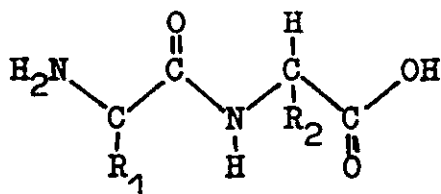
A. Struktur Kimia Protein.

Protein merupakan polimer alam yang terbentuk dari unit-unit asam amino yang terikat satu sama lain dengan ikatan peptida (amida). Senyawa ini pada umumnya memiliki berat molekul tinggi (8.000 - 10.000) dengan 20 unit asam amino. Asam amino adalah asam karboksilat yang pada atom karbon α nya terikat gugus amino

Ikatan peptida pada molekul protein terjadi bila gugus amino dari asam amino yang satu berikatan dengan gugus karboksilat dari asam amino yang lainnya dengan membebaskan 1 molekul air. Sebagai contoh, proses pembentukan molekul protein dari asam-asam amino dapat dilukiskan sebagai berikut:



Struktur molekul protein yang dituliskan di atas secara sederhana dapat pula dilukiskan sebagai berikut:

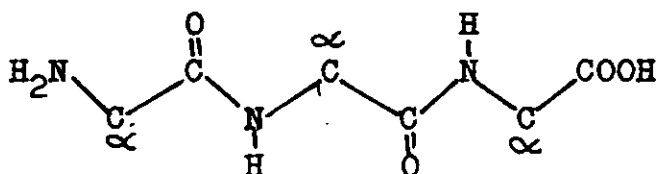


Rumus bangun protein di atas dapat dibuat dengan terlebih dahulu menggambarkan kerangka dasar ikatan α -NH₂, α -COOH, dan atom C- α . Kemudian isikan rantai samping yang sesuai pada atom C- α tersebut. Caranya adalah sebagai berikut:

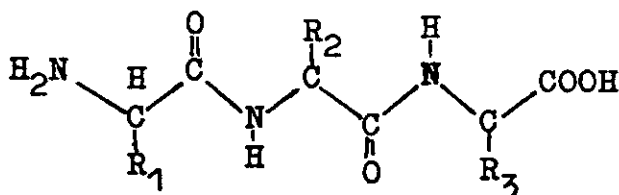
1. Tulis bentuk garis zig-zag dengan panjang yang sama dan masukkan gugus amino pada salah satu ujungnya (gugus amino terminal) seperti tertera di bawah ini.



2. Isikan α -C, α -karbonil, dan gugus α -amino, sehingga diperoleh bentuk struktur seperti berikut:

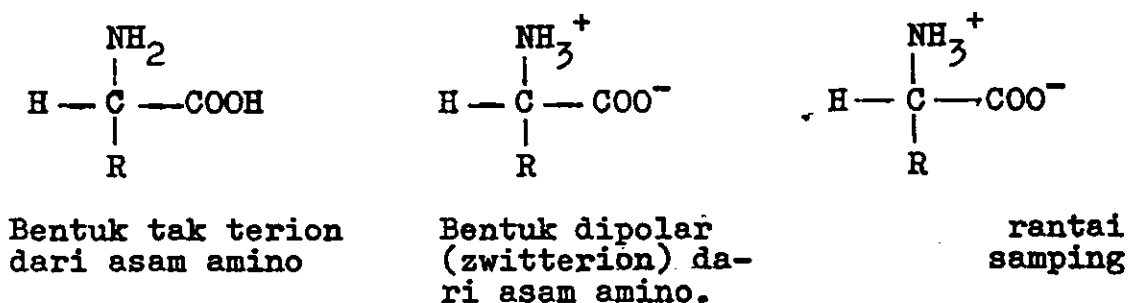


3. Isikan gugus alkil (R) yang sesuai dan hidrogen- α terhadap atom C- α , sehingga diperoleh bentuk struktur sebagai berikut:

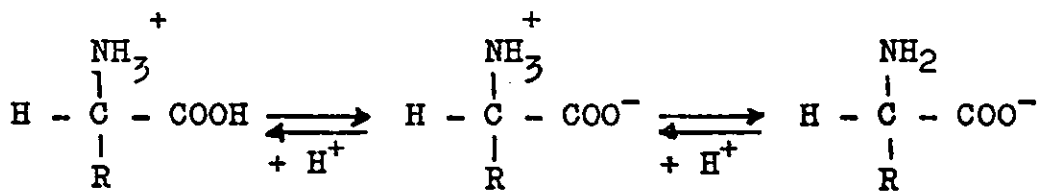


B. Asam-Asam Amino.

Asam amino adalah unit dasar dari molekul protein. Zat ini dapat diperoleh melalui hidrolisis protein. Sebuah molekul asam amino terdiri dari sebuah gugus amino, gugus karboksil, atom hidrogen, dan gugus alkil yang berbeda yang terikat kepada atom karbon, yang disebut sebagai atom karbon- α . Gugus alkil (R) disebut juga sebagai rantai samping. Struktur molekul suatu asam amino dapat ditulis sebagai berikut:



Asam-asam amino dalam larutan pada pH netral pada umumnya berada dalam bentuk ion dipolar (atau zwitterion), tidak dalam bentuk molekul tak terion. Pada asam amino dalam bentuk dipolar, gugus aminonya terprotonasi ($-\text{NH}_3^+$) dan gugus karboksilnya terdisosiasi ($-\text{COO}^-$). Bentuk ionisasi dari asam amino bervariasi sesuai dengan keadaan pH larutan. Dalam larutan asam (misalnya pH=1), gugus karboksil tidak terionisasi ($-\text{COOH}$), dan gugus aminonya terionisasi ($-\text{NH}_3^+$). Dalam larutan alkali (misalnya pH=11), gugus karboksilnya terionisasi ($-\text{COO}^-$) dan gugus aminonya tidak terionisasi ($-\text{NH}_2$). Secara sederhana strukturnya dapat dilukiskan sebagai berikut:



Bentuk yang pre-dominan pada pH=1

Bentuk yang pre-dominan pada pH=7

Bentuk yang pre-dominan pada pH=11

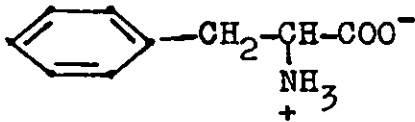
Kedadaan ionisasi asam amino sebagai fungsi pH

(Sumber: Stryer.L. 1981. Biochemistry. hal. 13)

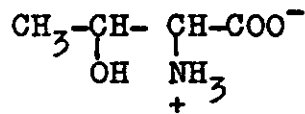
Bentuk tetrahedral dari empat macam gugus yang berbeda pada atom karbon- α menyebabkan asam amino bersifat optis aktif. Dua bentuk bayangan cermin dari molekul asam amino disebut sebagai L-isomer dan D-isomer. Hanya bentuk L-isomer saja yang terdapat dalam molekul protein.

Sebanyak dua puluh macam rantai samping yang berbeda-beda dalam ukuran, bentuk rantai, muatan, kemampuan mengikat hidrogen, kereaktifan kimianya pada umumnya dijumpai dalam molekul protein. Bahkan, semua protein dalam semua organisme hidup, dari bakteri sampai manusia, tersusun dari dua puluh macam asam amino. Bila protein dihidrolisis akan menghasilkan dua puluh macam L- α -asam amino, yakni: alanin, isoleusin, leusin, methionin, phenilalanin, prolin, tryptophan, valin, arginin, asparagin, asam aspartat, sistein, asam glutamat, glutamin, glisin, histidin, lisin, serin, threonin, dan tirosin. Keduapuluh macam asam amino tersebut di atas berada dalam protein yang berasal dari semua bentuk kehidupan, baik hewan maupun tumbuh-tumbuhan.

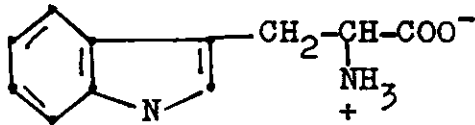
Sesuai dengan jenis asam amino yang terkandung dalam protein maka tubuh manusia membutuhkan paling sedikit dua puluh



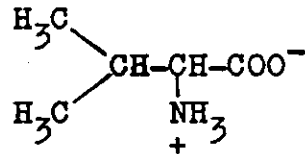
Phenilalanin



Threonin

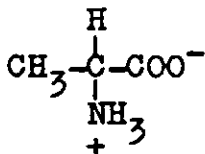


Tryptophan

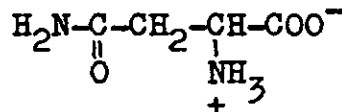


Valin

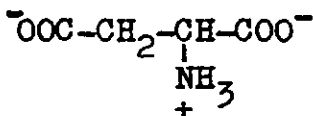
Asam amino nonessensial terdiri dari: alanin, asparagin, aspartat, sistein, glutamat, glutamin, glisin, prolin, serin, dan tirosin, dengan struktur molekul sebagai berikut:



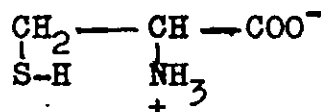
Alanin



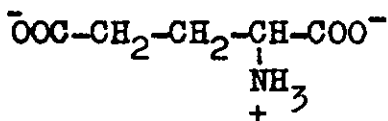
Asparagin



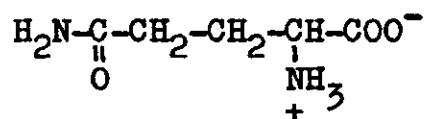
Aspartat



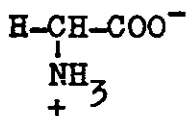
Sistein



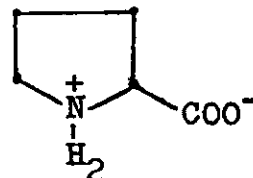
Glutamat



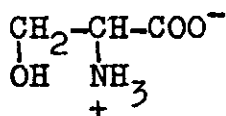
Glutamin



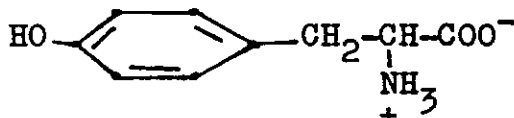
Glisin



Prolin



Serin



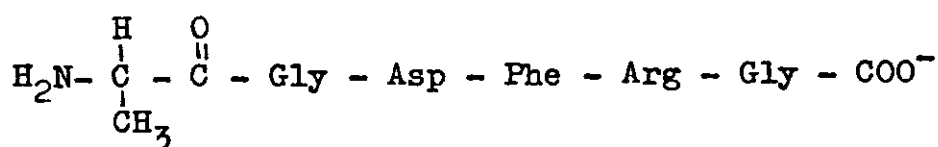
Tirosin

Dilihat dari segi bentuk rantai sampingnya, asam-asam amino tersebut di atas dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Asam-asam amino dengan rantai sampingnya alifatis, seperti: glisin, alanin, valin, leusin, dan isoleusin.
2. Asam-asam amino dengan rantai samping mengandung gugus OH, seperti: serin, threonin, dan tirosin.
3. Asam-asam amino dengan rantai sampingnya mengandung atom sulfur (S), seperti: sistein dan methionin.
4. Asam-asam amino dengan rantai samping mengandung gugus asam atau amidanya, seperti: asam aspartat, asparagin, glutamat, dan glutamin.
5. Asam-asam amino dengan rantai samping mengandung gugus basa, seperti: arginin, lisin, dan histidin.
6. Asam-asam amino dengan rantai samping mengandung cincin aromatis, seperti: histidin, phenilalanin, tirosin, dan triptophan.
7. Asam amino dengan rantai samping gugus imino, seperti: prolin.

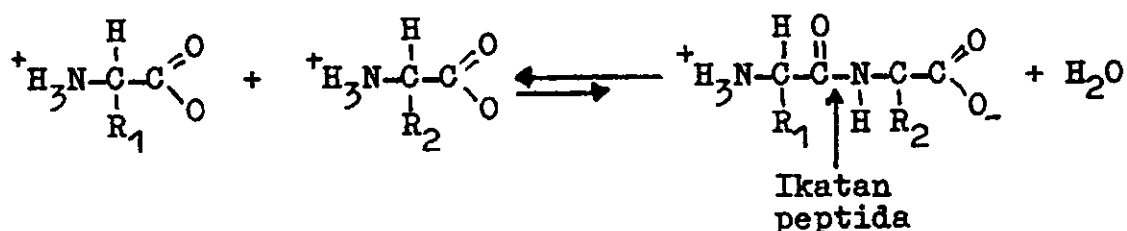
Untuk lebih memudahkan dalam menuliskan struktur suatu protein, nama asam amino biasanya disingkat menjadi tiga huruf. Nama dan singkatan nama asam amino yang dikemukakan di atas adalah sebagai berikut: alanin (Ala), arginin (Arg), As-

paragin (Asn), aspartat (Asp), sistein (Cys), glutamin (Gln), glutamat (Glu), glisin (Gly), histidin (His), isoleusin (Ile), leusin (Leu), lisin (Lys), methionin (Met), phenilalanin (Phe), prolin (Pro), serin (Ser), threonin (Thr), triptophan (Trp), tirosin (Tyr), dan valin (Val). Singkatan-singkatan tersebut sering digunakan untuk menuliskan struktur protein yang terdiri dari berbagai macam asam amino, seperti pada struktur protein sebagai berikut:



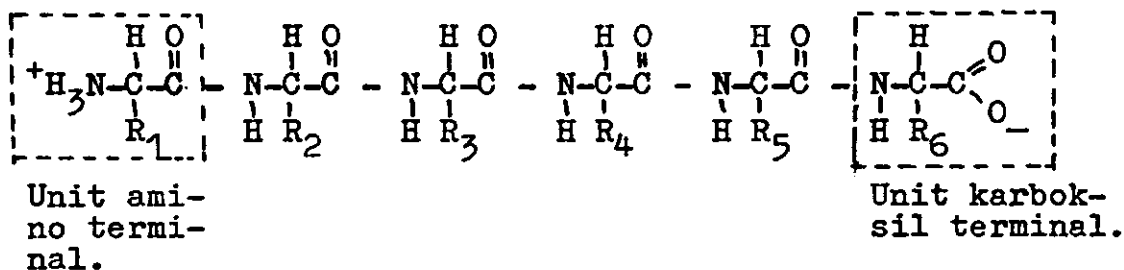
C. Ikatan Peptida

Pada protein, gugus α -karboksil dari asam amino bergabung dengan gugus α -amino dari asam amino yang lain melalui ikatan peptida (disebut juga ikatan amida). Pembentukan peptida dari dua molekul asam amino terjadi dengan membebaskan sebuah molekul air. Sebagai contoh dapat dilihat pada reaksi penggabungan dua molekul asam amino di bawah ini.



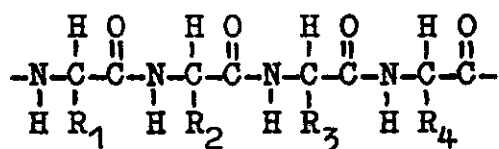
Kebanyakan asam amino, biasanya lebih dari seratus, terikat dengan ikatan peptida untuk membentuk rantai polipeptida, dengan struktur tidak bercabang. Asam amino dalam rantai polipeptida disebut sebagai unit atau residu. Sebuah rantai po-

lipeptida mempunyai keteraturan karena setiap unit rantainya mempunyai ujung-ujung yang berbeda, yakni gugus α -amino dan α -karboksilat. Strukturnya dapat dilukiskan sebagai berikut:



Ujung amino ditetapkan sebagai permulaan rantai polipeptida dan urutan asam-asam amino dalam rantai polipeptida ditulis mulai dari unit amino terminal. Dengan demikian, dalam rantai tripeptida seperti Ala-Gly-Trp, alanin (Ala) adalah unit amino terminal dan triptofan (Trp) adalah unit karboksil terminal.

Rantai polipeptida terdiri dari bagian yang berulang-ulang secara teratur, yang disebut sebagai rantai utama, dan bagian yang bervariasi, yang tersusun dari rantai samping yang berbeda-beda. Rantai utama ini sering juga disebut sebagai kerangka polipeptida, seperti tertera di bawah ini.



Kerangka polipeptida

Pada kebanyakan protein, beberapa rantai samping dikaitkan oleh ikatan disulfida. Ikatan ini terbentuk melalui oksidasi unit sistein dan menghasilkan sistin. Reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut:

melalui pengujian sifat-sifat dari protein yang dipisahkan. Pengujian enzim, misalnya, pada umumnya dilakukan berdasarkan kepada aktivitas katalitiknya yang spesifik. Jumlah protein secara total juga ditentukan sehingga derajat kemurnian yang diperoleh dalam suatu pemisahan dapat ditentukan.

Protein dapat dipisahkan dari molekul-molekul kecil secara dialisis melalui suatu membran semipermeable. Dalam hal ini, molekul-molekul yang massanya lebih besar dari 15 kilodalton (kdal) tertahan dalam kantong dialisis, sedangkan molekul-molekul dan ion-ion yang lebih kecil dapat melewati pori-pori membran dialisis dan berada di luar kantong dialisis. Pemisahan protein secara dialisis ini merupakan teknik pemisahan sederhana yang digunakan untuk pemurnian zat-zat yang berbentuk sol koloid, seperti protein, dengan menggunakan kantong-kantong yang dilapisi dengan membran semipermeable.

Protein dapat pula dipisahkan berdasarkan muatannya melalui kromatografi pertukaran ion (ion-exchange chromatography). Bila suatu protein mempunyai muatan positif pada pH 7, zat ini biasanya akan terikat kepada batang ion-exchange yang mengandung gugus karboksilat, sedangkan protein yang bermuatan negatif tidak. Sebagai protein yang bermuatan positif selanjutnya dapat pula dilepaskan dari batang ion-exchange dengan penambahan garam natrium klorida (NaCl). Dalam hal ini, ion natrium berkompetisi dengan gugus-gugus protein yang bermuatan positif untuk berikatan dengan batang ion-exchange. Protein yang mempunyai berat jenis rendah dan muatan positif

cenderung muncul pertama kali, kemudian diikuti oleh protein-protein yang mempunyai berat jenis lebih tinggi.

Protein dapat pula dipisahkan dan dimurnikan dengan teknik kromatografi afinitas (affinity chromatography). Teknik ini sangat menguntungkan bagi analisis protein yang mempunyai daya afinitas yang tinggi terhadap gugus-gugus kimia tertentu. Sebagai contoh, concanavalin A, suatu protein tumbuh-tumbuhan, dapat dimurnikan dengan cara melewatkan ekstraknya melalui kolom yang mengandung unit glukosa yang terikat secara kovalen. Molekul concanavalin A akan terserap dalam kolom karena zat ini mempunyai afinitas yang tinggi untuk berikatan dengan glukosa, sedangkan kebanyakan protein jenis lainnya tidak terserap. Ikatan senyawa concanavalin A kemudian dapat dilepaskan dari kolom dengan cara penambahan suatu larutan glukosa pekat.

E. Klasifikasi Protein.

Protein dapat diklasifikasikan dalam berbagai hal, antara lain, berdasarkan bentuk dan fungsi biologisnya. Berdasarkan bentuk molekulnya, protein dapat digolongkan atas tiga macam, yaitu:

1. Protein serat (fibrous protein), yakni protein yang berbentuk serat (fiber) panjang atau spiral panjang yang terikat satu dengan yang lainnya. Protein jenis ini terdapat pada hewan, bersifat tidak larut dalam air dan tahan terhadap enzim proteolitik. Yang termasuk ke dalam protein jenis ini antara lain adalah: kolagen (protein pada jaringan tubuh),

- elastin (protein pada urat atau jaringan tubuh yang elastis), dan keratin (protein pada rambut, kuku dan tantuk).
2. Protein globular, yakni protein yang molekulnya berbentuk bundar atau lonjong, bersifat mudah larut dalam air atau dalam larutan garam, asam, basa dan etanol. Yang termasuk ke dalam protein jenis ini adalah: albumin (protein yang terdapat pada kuning telur dan serum darah), globulin (suatu protein yang banyak mengandung glisin dan terdapat pada hewan dan tumbuh-tumbuhan, seperti dalam kuning telur, serum darah, otot, dan kacang-kacangan), histon (suatu protein basa yang mengandung arginin dan lisin, terdapat dalam tubuh dalam keadaan terikat dengan heme membentuk hemoglobin), dan protamin (suatu protein basa dengan berat molekul rendah, banyak mengandung arginin, dan terdapat sel-sel sperma ikan).
 3. Protein gabungan, yakni protein yang bergabung dengan senyawa-senyawa lain, seperti nukleoprotein (suatu protein yang bergabung dengan asam nukleat), glikoprotein (suatu protein yang bergabung dengan karbohidrat), lipoprotein (suatu protein yang bergabung dengan lipid), fosfoprotein (suatu protein yang bergabung dengan asam fosfat), dan kromoprotein (suatu protein yang bergabung dengan gugus berwarna, terdapat pada hemoglobin).

Berdasarkan fungsi biologisnya, protein diklasifikasikan atas delapan macam, yakni:

1. Protein enzim, yakni suatu protein yang membangun molekul

enzim, berbentuk bulat (globular), seperti enzim ribonuklease, sitokrom, tripsin, dan polipeptidase.

2. Protein pembangun, yakni protein yang berfungsi sebagai zat pembangun, seperti: protein pembungkus virus, glikoprotein, α -keratin, sklerotin, fibroin, kolagen, dan mukoprotein.
3. Protein kontraktile, yakni protein yang berperan dalam proses gerak, seperti: miosin, aktin, dan dinein.
4. Protein pengangkut, protein yang berfungsi mengikat molekul-molekul tertentu dan mengangkutnya melalui aliran darah, seperti: hemoglobin, hemosianin, mioglobin, serum albumin, β -lipoprotein, dan seruloplasmin.
5. Protein hormon, yakni protein yang berfungsi untuk membentuk hormon, misalnya: hormon insulin, hormon adrenokortikotrop, dan hormon pertumbuhan.
6. Protein racun, yakni protein yang bersifat racun terhadap hewan kelas tinggi, seperti racun dari *Clostridium botulinum*, racun ular, dan risin.
7. Protein pelindung, yakni protein yang berfungsi untuk membentuk zat pelindung tubuh dan terdapat dalam darah, seperti: zat anti bodi, fibrinogen, dan trombin.
8. Protein cadangan, yakni protein yang disimpan sebagai cadangan untuk berbagai proses metabolisme dalam tubuh, misalnya: ovalbumin, kasein, feritin, dan zein.

SOAL-SOAL

1. Jelaskan fungsi protein dalam tubuh manusia!
2. Kemukakan pendapat anda tentang struktur protein! Jelaskan teknik penulisan struktur protein!
3. Apa yang dimaksud dengan asam amino? Jelaskan klasifikasi asam amino berdasarkan bentuk rantai sampingnya dan berdasarkan sifat keesensialannya dalam tubuh manusia. Tuliskan pula rumus strukturnya!
4. Apa yang dimaksud dengan ikatan peptoda? Jelaskan proses pembentukan ikatan dipeptida dan polipeptida!
5. Jelaskan pembentukan ikatan disulfida pada reaksi penggabungan dua molekul sistein membentuk sistin!
6. Jelaskan beberapa teknik pemurnian protein yang didasarkan kepada ukuran molekulnya, sifat kelarutannya, muatan molekulnya, dan daya affinitas yang spesifik dari molekulnya!
7. Jelaskan dengan ringkas apa yang dimaksud dengan:
 - a. protein fiber
 - b. protein globular
 - c. protein gabungan.
8. Jelaskan tentang pengklasifikasian protein berdasarkan fungsi biologisnya! Masing-masing beri contoh!

DAFTAR PUSTAKA

- Arbianto.P. 1990. Konsep-Konsep Dasar Biokimia. Bandung. ITB Bandung.
- Karlson.P. 1971. Introduction to Modern Biochemistry. New York. Academic Press.
- Martin.D.W. 1985. Harper's Review of Biochemistry. California. Lange Medical Publication.
- Plummer. 1979. Practical Biochemistry. New Delhi. Tata McGraw-Hill.
- Poedjiadi.A. dan Agus.A. 1984. Biokimia. Bandung. Koperasi Setia Budi Keluarga FPMIPA IKIP Bandung.
- Smith.J.E. 1990. Prinsip Bioteknologi. Jakarta. Penerbit PT Gramedia.
- Stryer.L. 1981. Biochemistry. New York. Freeman and Company.
- Winarno.F.G. 1988. Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta. Penerbit PT Gramedia.
- Wirahadikusumah.M. 1977. Biokimia: protein, enzim dan asam nukleat. Bandung. ITB Bandung.