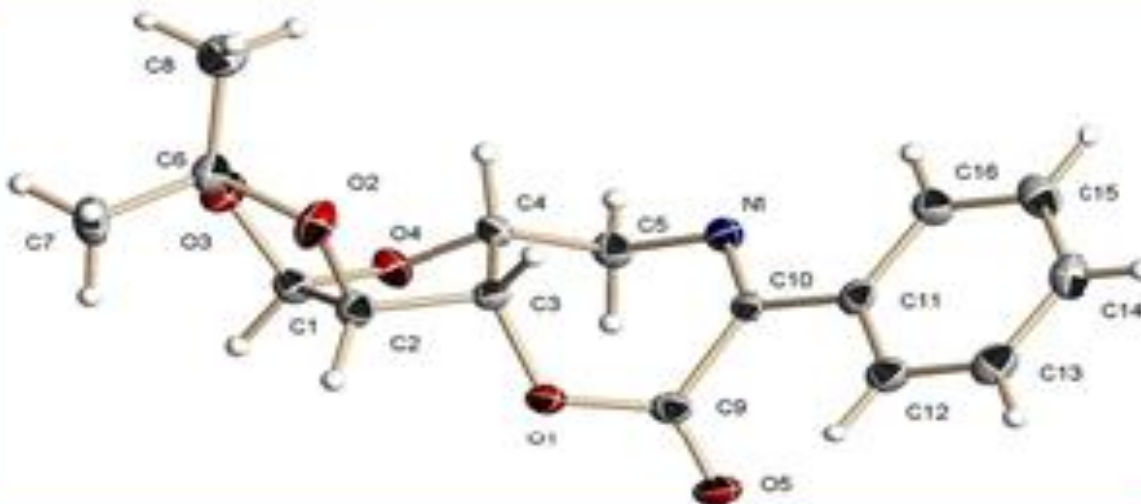


BIOKIMIA

Disusun Oleh : dr. Astry & Salsalina
Y.G., S.ST., M.K.M



Biokimia

Penulis : dr. Astri
Salsalina Y.G., S.ST., M.K.M
ISBN : 978-623-92014-9-4
Editor : Normalisari, S.Kom
Penyunting : Deta Puspasari, S.Tr.Keb
Penerbit : AKBID Wijaya Husada Bogor
Redaksi : Jl. Letjend Ibrahim Adjie No. 180, Sindang Barang, Bogor
Telp. (0251) 8327396
Email : wijayahusadaakd@gmail.com

Cetakan Pertama, 2020

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Rasa syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan kasih dan berkat karunia-Nya sehingga buku ini dapat diselesaikan.

Penyusunan buku ajar ini merupakan salah satu upaya AKBID Wijaya Husada Bogor dalam meningkatkan kualitas proses pembelajaran sehingga lebih baik, sehingga mudah dipahami untuk melengkapi materi yang berkaitan dengan promosi kesehatan.

Dalam penyusunan buku ini, kami banyak dibantu oleh teman seprofesi baik dalam lingkungan kampus AKBID Wijaya Husada Bogor maupun dari pihak luar. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur AKBID Wijaya Husada Bogor beserta seluruh karyawan dan staf dosen AKBID Wijaya Husada Bogor, yang telah memberikan dukungan sehingga buku ini dapat tersusun.

Penyusun menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran yang membangun sangat kami harapkan guna perbaikan buku ini..

Akhir kata, berbagai saran dan kritik yang membangun akan selalu penulis harapkan.

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
HALAMAN JUDUL	ii
KATA PENGANTAR	ii
BAB I KARBOHIDRAT	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Klasifikasi Karbohidrat	2
1.3 Fungsi Karbohidrat	14
1.4 Metabolisme Karbohidrat	14
1.5 Identifikasi Karbohidrat	33
1.6 Korelasi Klinis	38
BAB II PROTEIN	39
2.1 Pendahuluan	39
2.2 Fungsi Protein	39
2.3 Komponen Penyusun Protein	40
2.4 Ikatan Peptida	49
2.5 Tingkat Struktur Protein	50
2.6 Denaturasi	52
2.7 Pencernaan Protein	52
2.8 Metabolisme Asam Amino	53
2.9 Uji Kualitatif, Uji Kelarutan dan Penentuan Titik Isoelektrik Protein	54
BAB III LEMAK	57
3.1 Pendahuluan	57
3.2 Golongan Lipid, Struktur Lipid, Sifat Lipid	57
3.3 Metabolisme Lipid	59
3.4 Oksidasi Asam Lemak	61
3.5 Sintesis Asam Lemak	64
BAB IV ENZIM DAN KOENZIM	66
4.1 Pendahuluan	66

4.2 Daya Katalik Enzim	66
4.3 Spesifitas Enzim	66
4.4 Klasifikasi Enzim	68
4.5 Cara Kerja Enzim	71
4.6 Struktur Enzim	73
4.7 Aktivitas Enzim	74
4.8 Koenzim	75
4.9 Enzim-enzim Indikator Kesehatan	76
BAB V VITAMIN	80
5.1 Pendahuluan	80
5.2 Klasifikasi Vitamin	80
5.3 Vitamin A	81
5.4 Vitamin D	84
5.5 Vitamin E	86
5.6 Vitamin K	88
5.7 Vitamin C	91
BAB VI MINERAL	100
6.1 Pendahuluan	100
6.2 Fungsi Mineral	102
6.3 Mineral-mineral Esensial	103
6.3.1 Kalsium (Calcium = Ca)	103
6.3.2 Magnesium (Mg)	107
6.3.3 Natrium Klorida (Sodium chloride = Natrium Chloride = NaCl)	110
6.3.4 Fosfor (Phosphorus = P)	113
6.3.5 Kalium (Potassium = K)	115
6.3.6 Belerang (Sulfur = Sulphur = S)	118
6.3.7 Besi (Ferrum = Fe)	121
6.3.8 Boron (Bo)	125
6.3.9 Kobalt (Cobalt = Co)	125
6.3.10 Tembaga (Copper, Cuprum = Cu)	126
6.3.11 Kromium (Cr)	129

6.3.12 Fluor (Fluoride = F)	130
6.3.13 Iodium (Iodine = I)	132
6.3.14 Mangan (Manganese = Mn)	134
6.3.15 Molibdenum (Molybdenum= Mo)	135
6.3.16 Selenium (Se)	135
6.3.17 Silikon (Silicon = Si)	136
6.3.18 Seng (Zinc = Zn)	137
BAB VII SISTEM HORMON PADA MANUSIA	140
7.1 Pendahuluan	140
7.2 Kelenjar	141
DAFTAR PUSTAKA	169

BAB I

KARBOHIDRAT

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
1	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang karbohidrat, klasifikasi, sifat kimia serta metabolisme karbohidrat dalam tubuh dan kaitannya dengan kehidupan manusia	Karbohidrat dan metabolisme	1.1 Pendahuluan 1.2 Klasifikasi Karbohidrat 1.3 Fungsi Karbohidrat 1.4 Sifat Kimia Karbohidrat 1.5 Metabolisme karbohidrat 1.6 Identifikasi Karbohidrat 1.7 Korelasi Klinis

1.1 Pendahuluan

Karbohidrat adalah senyawa organik yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Contoh : glukosa $C_6H_{12}O_6$, sukrosa $C_{12}H_{22}O_{11}$, selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$. Karena komposisi yang demikian, senyawa ini pernah disangka sebagai hidrat karbon, tetapi sejak 1880, senyawa tersebut bukan hidrat dari karbon. Nama lain dari karbohidrat adalah sakarida, berasal dari bahasa Arab "sakkar" artinya gula. Karbohidrat sederhana mempunyai rasa manis sehingga dikaitkan dengan gula. Melihat struktur molekulnya, karbohidrat lebih tepat didefinisikan sebagai suatu *polihidroksialdehid* atau *polihidroksiketon*. Contoh: glukosa yang merupakan polihidroksi aldehid karena mempunyai satu gugus aldehida dan 5 gugus hidroksil (OH).

Adapun rumus umum dari karbohidrat adalah:

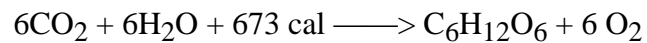


Karbohidrat yang berasal dari makanan di dalam tubuh mengalami perubahan atau metabolisme. Hasil metabolisme karbohidrat antara lain glukosa yang terdapat dalam darah, sedangkan glikogen adalah karbohidrat yang disintesis dalam hati dan digunakan oleh sel-sel pada jaringan otot sebagai sumber energi.

Energi yang terkandung dalam karbohidrat itu pada dasarnya berasal dari energi matahari. Karbohidrat dalam hal ini glukosa dibentuk dari karbon dioksida dan air dengan bantuan sinar matahari dan klorofil dalam daun. Selanjutnya glukosa yang terjadi

diubah menjadi amilum dan disimpan pada bagian lain, misalnya pada buah atau umbi. Zat

tersebut terbentuk oleh proses fotosintesis, yang melibatkan kegiatan sinar matahari terhadap hijauan daun. Hijauan daun merupakan zat fotosintetik aktif pada tumbuh-tumbuhan. Suatu reaksi kimiawi sederhana yang memperlihatkan suatu karbohidrat (glukosa) disintesis oleh fotosintesis dalam tumbuh-tumbuhan adalah sebagai berikut :



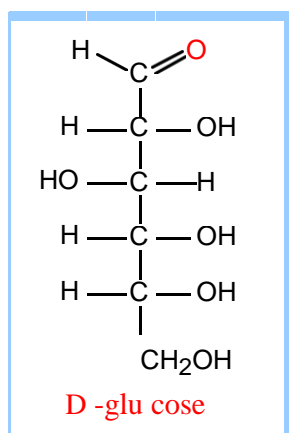
1.2 Klasifikasi Karbohidrat

Karbohidrat dapat dikelompokkan menurut jumlah unit monosakarida, ukuran dari rantai karbon, lokasi gugus karbonil ($-\text{C}=\text{O}$), serta stereokimia.

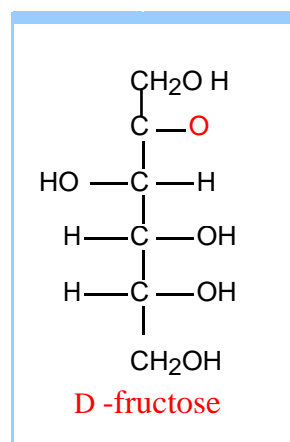
Berdasarkan jumlah unit monosakarida dalam rantai, karbohidrat digolongkan menjadi 4 golongan utama yaitu:

a. Monosakarida (terdiri atas 1 unit gula)

Monosakarida adalah karbohidrat yang tidak dapat dihidrolisis menjadi senyawa yang lebih sederhana karena molekulnya hanya terdiri atas beberapa atom C. Monosakarida dibedakan menjadi aldosa dan ketosa. Contoh dari aldosa yaitu glukosa dan galaktosa dan contoh ketosa yaitu fruktosa.



Gambar 1.1 D-glukosa



Gambar 1.2 D-fruktosa

b. Disakarida (terdiri atas 2 unit gula)

Disakarida adalah karbohidrat yang mengandung dua molekul monosakarida. Mempunyai formula umum $C_{12}H_{22}O_{11}$. Disakarida yang sangat penting adalah sukrosa, maltosa dan laktosa. Ikatan antara dua molekul monosakarida disebut

ikatan glikosidik yang terbentuk dari gugus hidroksil dari atom C nomor 1 yang juga disebut karbon numerik dengan gugus hidroksil pada molekul gula yang lain. Ada tidaknya molekul gula yang bersifat reduktif tergantung dari ada tidaknya gugus hidroksil bebas yang reaktif yang terletak pada atom C nomor 1 sedangkan pada fruktosa terletak pada atom C nomor 2. Sukrosa tidak mempunyai gugus hidroksil yang reaktif karena kedua gugus reaktifnya sudah saling berikatan. Pada laktosa karena mempunyai gugus hidroksil bebas pada molekul glukosanya maka laktosa bersifat reduktif (Winarno, 1992).

c. Oligosakarida (terdiri atas 3-10 unit monosakarida)

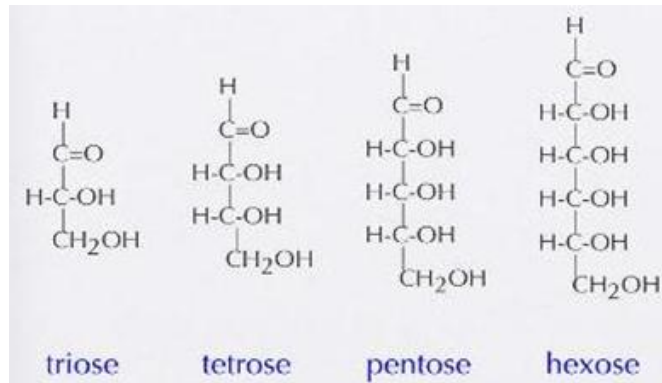
Kelompok ini terdiri dari banyak jenis, seperti disakarida, trisakarida, tetrasakarida, dan lainnya. Namun paling banyak dipelajari ialah kelompok disakarida yang terdiri dari maltosa, laktosa dan sukrosa (*dekstroso*). Dua dari jenis disakarida ini termasuk gula reduksi (laktosa dan maltosa) sedangkan sukrosa tidak termasuk gula reduksi (*nonreducing*).

d. Polisakarida (terdiri atas lebih dari 10 unit monosakarida)

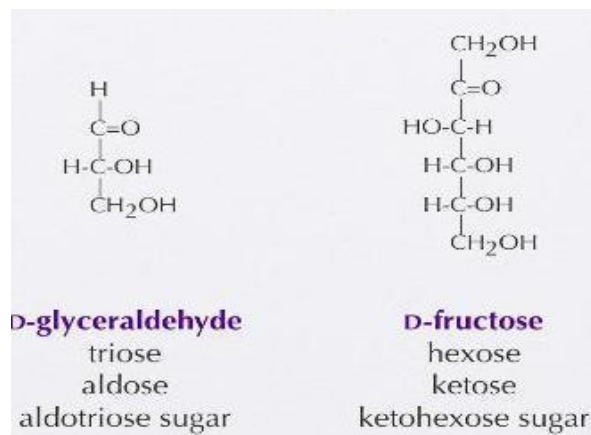
Pembentukan rantai karbohidrat menggunakan ikatan glikosida.

Berdasarkan jumlah atom C pada rantai, monosakarida digolongkan menjadi:

1. Triosa (tersusun atas 3 atom C)
2. Tetrosa (tersusun atas 4 atom C)
3. Pentosa (tersusun atas 5 atom C)
4. Heksosa (tersusun atas 6 atom C)
5. Heptosa (tersusun atas 7 atom C)
6. Oktosa (tersusun atas 3 atom C)



Gambar 1.3 Klasifikasi karbohidrat menurut jumlah atom C



Gambar 1.4 Contoh monosakarida

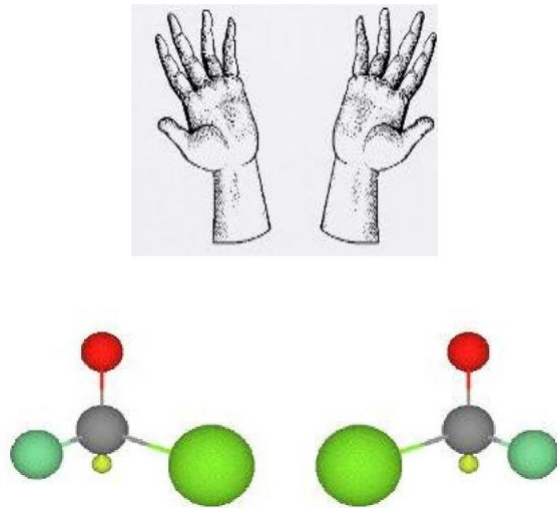
Berdasarkan stereokimia, monosakarida terbagi menjadi beberapa golongan. Stereokimia adalah studi mengenai susunan spasial dari molekul. Salah satu bagian dari stereokimia adalah stereoisomer. Stereoisomer mengandung pengertian:

1. memiliki kesamaan order dan jenis ikatan
2. memiliki perbedaan susunan spasial
3. memiliki perbedaan properti (sifat).

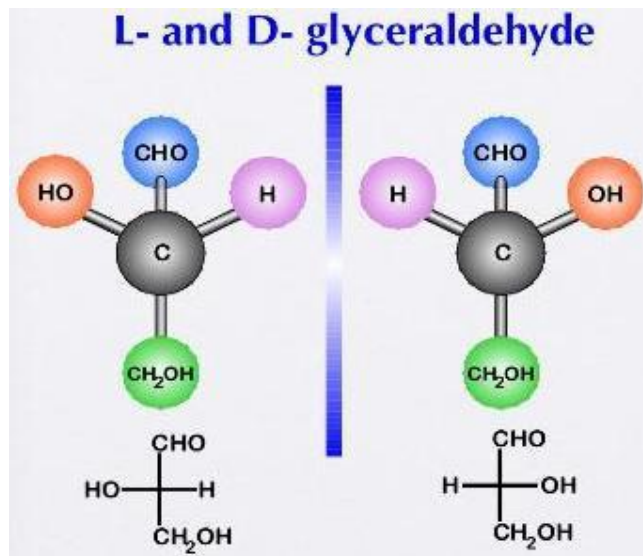
Enantiomer merupakan pasangan dari stereoisomer. Dalam hal ini terdapat aturan yaitu:

1. Diberi awalan D dan L
2. Keduanya merupakan gambar cermin yang tak mungkin saling tumpang tindih

Gambar-gambar berikut memberikan penjelasan mengenai perbedaan susunan spasial dalam enantiomer.



Gambar 1.5 Ilustrasi untuk enantiomer
(perhatikan perbedaan susunan spasial yang ada)



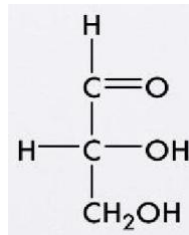
Gambar 1.6 Contoh enantiomer dari gula triosa
(perhatikan perbedaan susunan spasial yang ada)

Monosakarida - monosakarida penting

Beberapa monosakarida penting bagi tubuh kita di antaranya adalah D-gliserinaldehid, D-glukosa, D-fruktosa, D-galaktosa serta D-ribosa. Pada umumnya monosakarida dan disakarida mempunyai rasa manis. Fruktosa dapat dibedakan dari glukosa dengan pereaksi seliwanooff dalam asam (HCl).

1. D-gliseraldehid (karbohidrat paling sederhana)

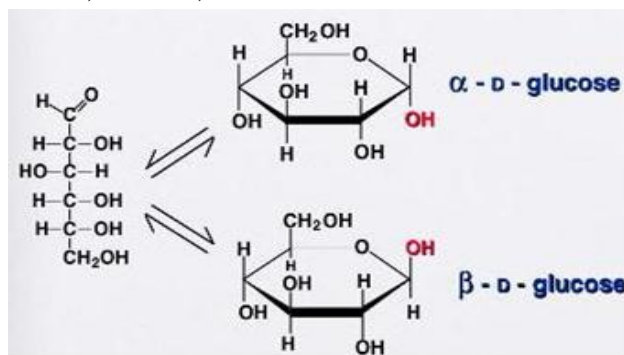
Karbohidrat ini hanya memiliki 3 atom C (triosa), berupa aldehyd (aldosa) sehingga dinamakan aldotriosa.



Gambar 1.7 D-gliseraldehid

2. D-glukosa (karbohidrat terpenting dalam diet)

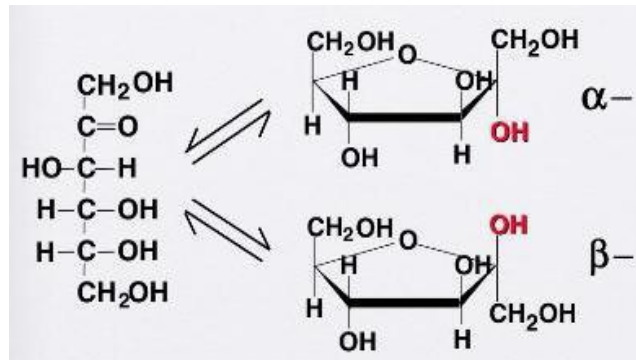
Glukosa merupakan aldohexosa, yang sering kita sebut sebagai dekstrosa, gula anggur atau pun gula darah. Gula ini terbanyak ditemukan di alam. Glukosa disebut juga gula anggur karena terdapat dalam buah anggur, gula darah karena terdapat dalam darah atau dekstrosa karena memutar bidang polarisasi kekanan. Glukosa merupakan monomer dari polisakarida terpenting yaitu amilum, selulosa dan glikogen. Glukosa merupakan senyawa organik terbanyak. terdapat pada hidrolisis amilum, sukrosa, maltosa, dan laktosa.



Gambar 1.8 D-glukosa

3. D-fruktosa (termanis dari semua gula)

Fruktosa terdapat dalam buah-buahan, merupakan gula yang paling manis. Bersama-sama dengan glukosa merupakan komponen utama dari madu. Larutannya merupakan pemutar kiri sehingga fruktosa disebut juga levulosa.



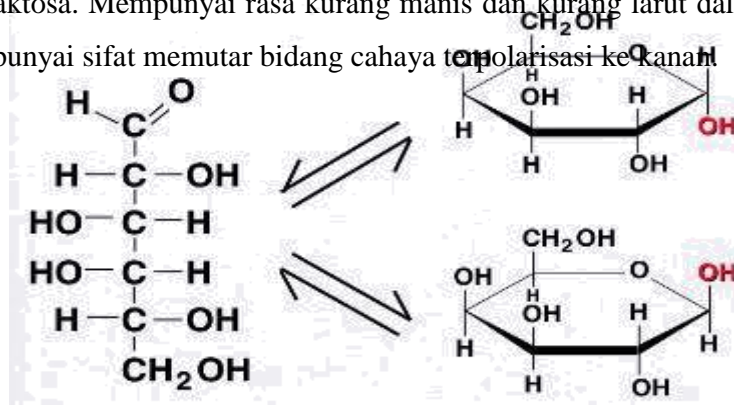
Gambar 1.9 D-fruktosa
(perhatikan bahwa fruktosa mengalami siklisasi membentuk struktur cincin)

4. Ribosa dan 2-deoksiribosa

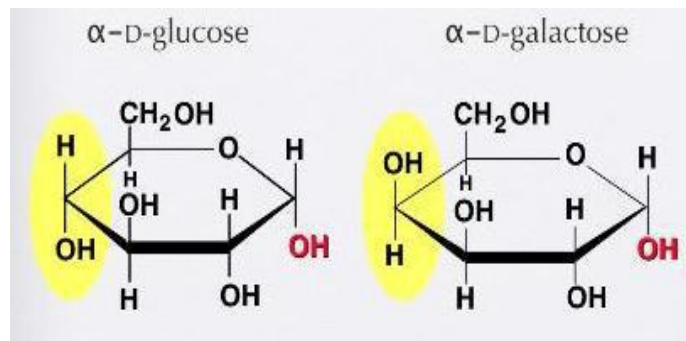
Ribosa dan 2-deoksiribosa adalah gula pentosa yang membentuk RNA dan DNA. Gula ini berbeda dengan gula yang lain karena merupakan ketoheksosa.

5. D-galaktosa (bagian dari susu)

Gula ini tidak ditemukan tersendiri pada sistem biologis, namun merupakan bagian dari disakarida laktosa. Galaktosa jarang terdapat bebas di alam dan biasanya terdapat dalam bentuk laktosa. Mempunyai rasa kurang manis dan kurang larut dalam air dan galaktosa mempunyai sifat memutar bidang cahaya terpolarisasi ke kanan.



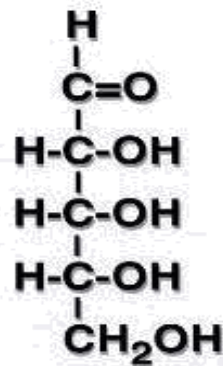
Gambar 1.10 D-galaktosa
(perhatikan bahwa galaktosa mengalami siklisasi membentuk struktur cincin)



Gambar 1.11 Perbedaan pokok antara D-glukosa dan D-galaktosa (perhatikan daerah berarsis lingkaran)

6. D-ribosa (digunakan dalam pembentukan RNA)

Karena merupakan penyusun kerangka RNA maka ribosa penting artinya bagi genetika bukan merupakan sumber energi. Jika atom C nomor 2 dari ribosa kehilangan atom O, maka akan menjadi deoksiribosa yang merupakan penyusun kerangka DNA.



Gambar 1.12 D-ribosa

Disakarida-disakarida penting

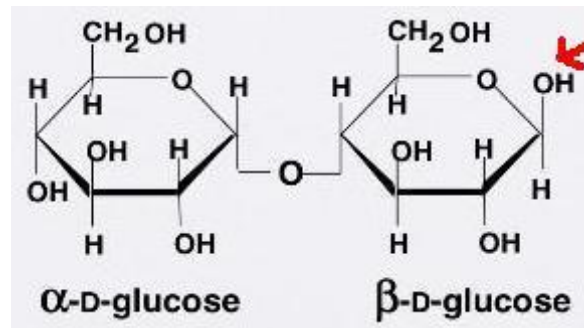
Beberapa disakarida penting bagi tubuh kita di antaranya adalah β -maltosa, β -laktosa serta sukrosa.

1. β -maltosa

Disakarida ini tak ditemukan di alam kecuali pada kecambah padi-padian. Maltosa

merupakan gabungan dari 2 molekul glukosa. Maltosa larut dalam air dan mempunyai rasa

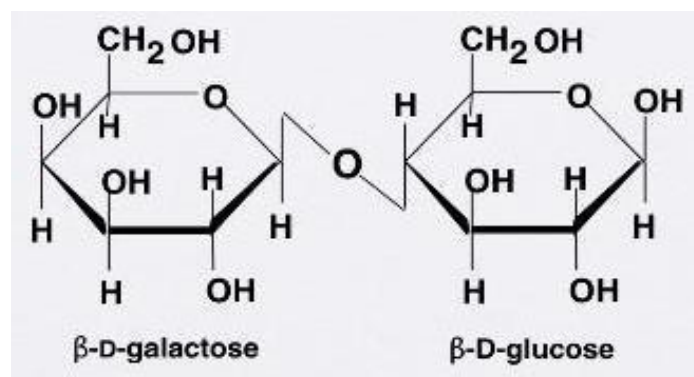
yang lebih manis dari pada laktosa, tetapi tetap kurang manis dari pada sukrosa. Maltosa merupakan hasil antara dalam proses hidrolisis amilum dengan asam maupun dengan enzim.



Gambar 1.13 β -maltosa

(ikatan antara kedua monosakarida merupakan ikatan C1-4; atom C nomor 1 yang tak berikatan dengan glukosa lain dalam posisi beta)

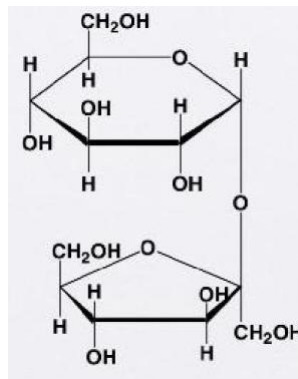
Laktosa sering disebut sebagai gula susu. Disakarida ini tersusun atas glukosa dan galaktosa. Kita tidak dapat menggunakan galaktosa secara langsung, tetapi harus diubah menjadi glukosa. Dalam susu terdapat laktosa yang sering disebut gula susu. Dibandingkan terhadap glukosa, laktosa mempunyai rasa yang kurang manis.



Gambar 1.14 β -laktosa (ikatan antara kedua monosakarida merupakan ikatan C1-4)

3. Sukrosa

Sukrosa ialah gula yang kita kenal sehari-hari, baik yang berasal dari tebu maupun dari bit. Sukrosa juga terdapat pada tumbuhan lain, misalnya buah nanas dan wortel. Dengan hidrolisis, sukrosa akan terpecah dan menghasilkan glukosa dan fruktosa. Molekul sukrosa tidak mempunyai gugus aldehida atau keton bebas, atau tidak mempunyai gugus $-OH$ glikosidik. Sukrosa mempunyai sifat memutar cahaya terpolarisasi ke kanan.



Gambar 1.15 Sukrosa

(ikatan yang menghubungkan kedua monosakarida adalah ikatan C1-2)

Polisakarida-polisakarida penting

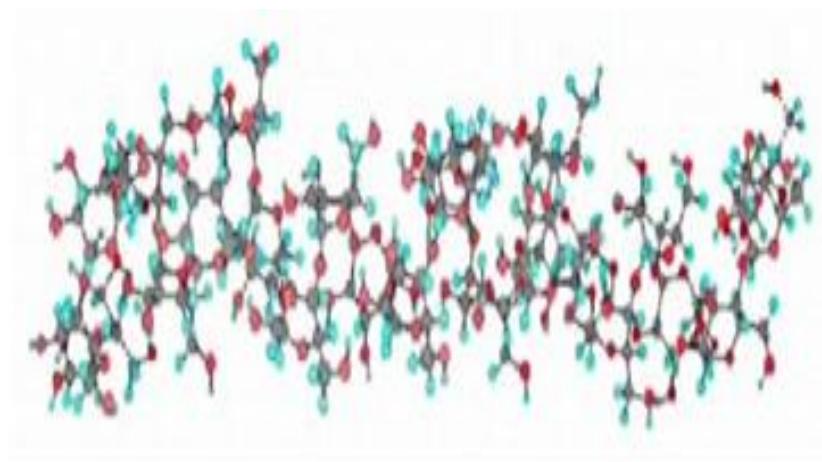
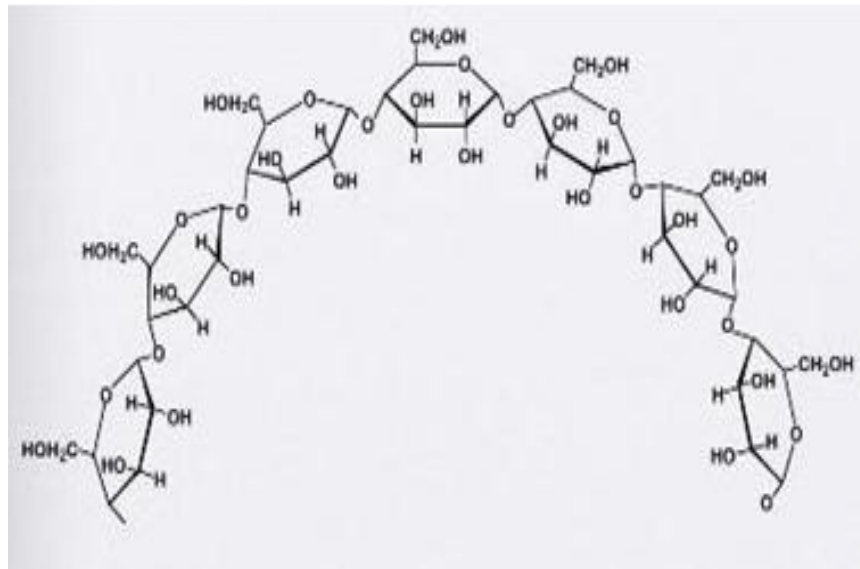
Beberapa polisakarida penting bagi tubuh kita di antaranya adalah amilum (pati), glikogen dan selulosa.

1. Amilum

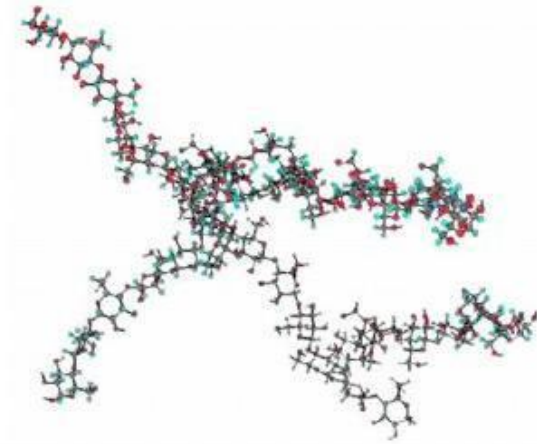
Pati merupakan polisakarida yang berfungsi sebagai cadangan energi bagi tumbuhan. Pati merupakan polimer α -D-glukosa dengan ikatan α (1-4). Kandungan glukosa pada pati bisa mencapai 4000 unit. Ada 2 macam amilum yaitu amilosa (pati berpolimer lurus) dan amilopektin (pati berpolimer bercabang-cabang). Sebagian besar pati merupakan amilopektin.

Amilum merupakan salah satu jenis polisakarida yang banyak terdapat di alam, yaitu pada sebagian besar tumbuhan. Amilum atau dalam bahasa sehari-hari sering disebut pati terdapat pada umbi, daun, batang dan biji-bijian. Batang pohon sagu mengandung pati yang setelah dikeluarkan dapat dijadikan bahan makanan. Butir-butir pati apabila diamati dengan menggunakan mikroskop, ternyata berbeda-beda

bentuknya, tergantung dari tumbuhan apa pati tersebut diperoleh. Bentuk butir pati pada kentang berbeda dengan yang berasal dari terigu atau beras. Banyak cara yang dapat digunakan untuk menentukan banyaknya karbohidrat dalam suatu bahan yaitu antara lain dengan cara kimiawi, cara fisik, cara enzimatik dan cara kromatografi. Penentuan karbohidrat polisakarida maupun oligosakarida memerlukan perlakuan pendahuluan yaitu hidrolisa terlebih dahulu sehingga diperoleh monosakarida. Untuk keperluan ini maka bahan dihidrolisa dengan asam atau enzim pada suatu keadaan yang tertentu



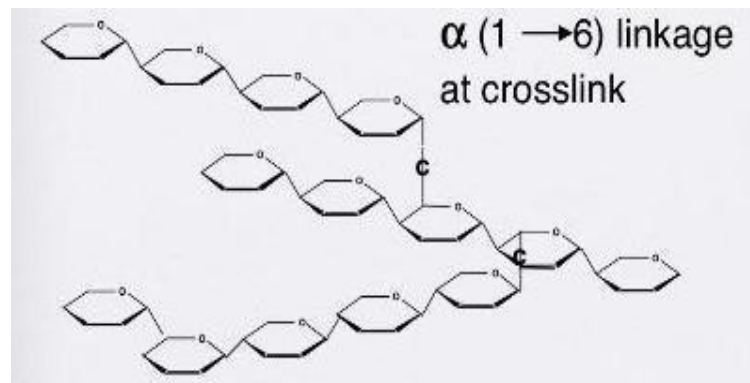
Gambar 1.16 Struktur amilosa



Gambar 1.17 Struktur amilopektin

2. Glikogen

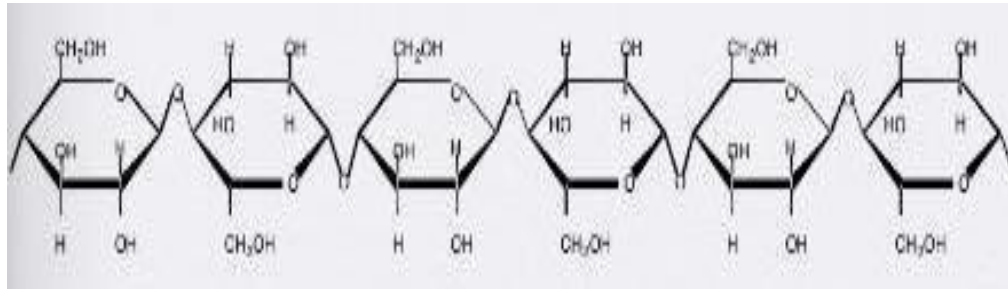
Glikogen merupakan polimer glukosa dengan ikatan α (1-6). Polisakarida ini merupakan cadangan energi pada hewan dan manusia yang disimpan di hati dan otot sebagai granula. Glikogen serupa dengan amilopektin.



Gambar 1.18 Struktur glikogen

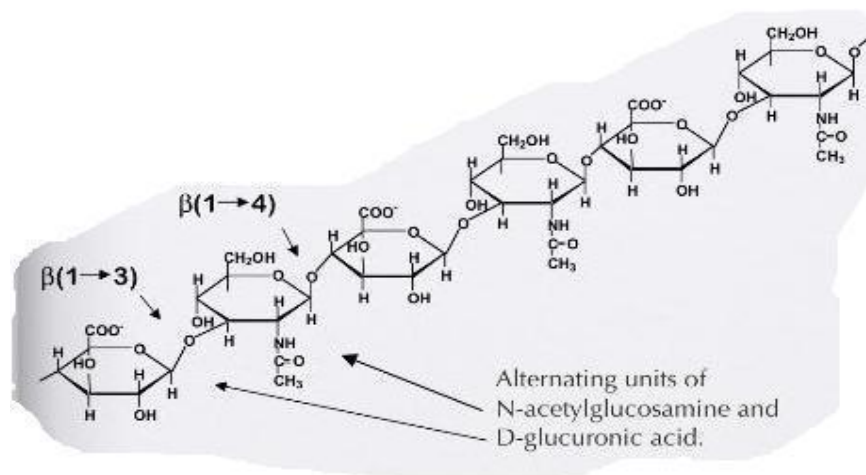
3. Selulosa

Selulosa tersusun atas rantai glukosa dengan ikatan β (1-4). Selulosa lazim disebut sebagai serat dan merupakan polisakarida terbanyak.



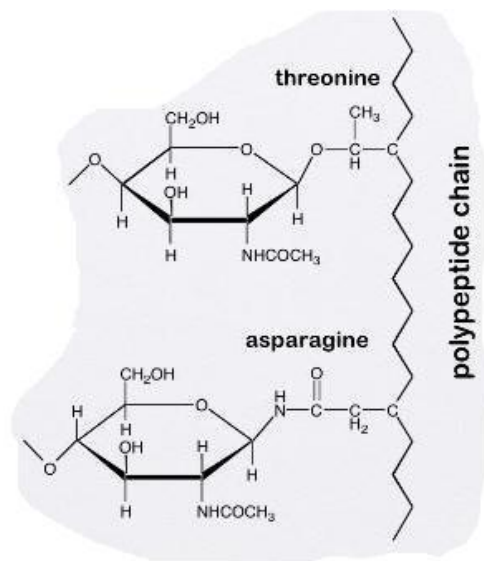
Gambar 1.19 Struktur selulosa yang merupakan polimer dari glukosa

Beberapa karbohidrat bergabung dengan komponen lain. Sebagai contoh adalah mukopolisakarida, suatu materi tipis, kental, menyerupai jelly dan melapisi sel.



Gambar 1.20 Struktur dari mukopolisakarida

Contoh yang lain adalah glikoprotein, suatu protein yang mengikat unit karbohidrat dengan ikatan kovalen. Struktur ini memainkan beberapa peran penting di antaranya dalam proses proteksi imunologis, pembekuan darah, pengenalan sel-sel, serta interaksi dengan bahan kimia lain



Gambar 1.21 Struktur glikoprotein

1.3 Fungsi Karbohidrat

Karbohidrat merupakan komponen pangan yang menjadi sumber energi utama dan sumber serat makanan. Berdasarkan nilai gizi dan kemampuan saluran pencernaan manusia untuk mencernanya, karbohidrat dapat dikelompokkan menjadi karbohidrat yang dapat dicerna dan karbohidrat yang tidak dapat dicerna. Karbohidrat dari kelompok yang dapat dicerna, bisa dipecah oleh enzim α -amilase untuk menghasilkan energi. Monosakarida, disakarida, dekstrin dan pati adalah kelompok karbohidrat yang dapat dicerna. Karbohidrat yang tidak dapat dicerna (juga dikelompokkan sebagai serat makanan/dietary fiber) tidak bisa dipecah oleh enzim α -amilase. Contohnya adalah selulosa, hemiselulosa, lignin dan substansi pektat. Disamping sebagai sumber pemanis, fungsi penting karbohidrat dalam proses pengolahan pangan adalah sebagai bahan pengisi, pengental, penstabil emulsi, pengikat air, pembentuk flavor dan aroma, pembentuk tekstur dan berperan dalam reaksi pencoklatan. Komponen ini juga digunakan sebagai bahan baku proses fermentasi.

1.4 Metabolisme karbohidrat

Karbohidrat siap dikatabolisir/ diuraikan menjadi energi jika berbentuk monosakarida. Energi yang dihasilkan berupa Adenosin trifosfat (ATP).

Glukosa merupakan karbohidrat terpenting. Dalam bentuk glukosa karbohidrat makanan diserap ke dalam aliran darah, atau ke dalam bentuk glukosa karbohidrat dikonversi dalam hati, serta dari glukosa semua bentuk karbohidrat lain dalam tubuh dapat dibentuk. Glukosa merupakan bahan bakar metabolik utama bagi jaringan mamalia (kecuali hewan pemamah biak) dan bahan bakar universal bagi janin. Unsur ini diubah menjadi karbohidrat lain dengan fungsi sangat spesifik, misalnya glikogen untuk simpanan, ribose dalam bentuk asam nukleat, galaktosa dalam laktosa susu, dalam senyawa lipid kompleks tertentu dan dalam bentuk gabungan dengan protein, yaitu glikoprotein serta proteoglikan.

Peristiwa yang dialami unsur-unsur makanan setelah dicerna dan diserap adalah *metabolisme intermediat*. Jadi metabolisme intermediat mencakup suatu bidang luas yang berupaya memahami bukan saja lintasan metabolik yang dialami oleh masing-masing molekul, tetapi juga interelasi dan mekanisme yang mengatur arus metabolit melewati lintasan tersebut.

Lintasan metabolisme dapat digolongkan menjadi 3 kategori:

1. Lintasan anabolik (penyatuan/pembentukan)

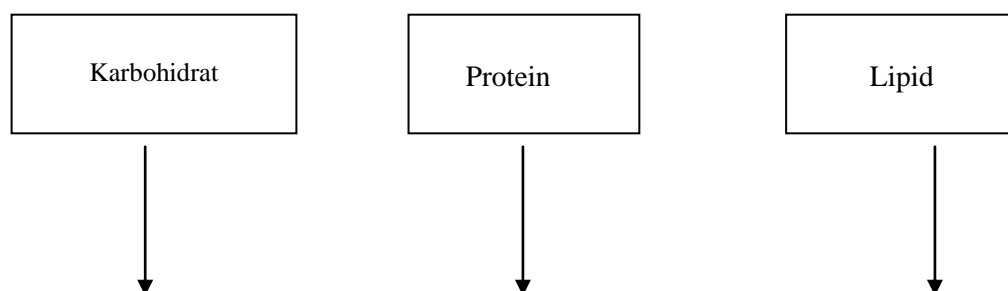
Ini merupakan lintasan yang digunakan pada sintesis senyawa pembentuk struktur dan mesin tubuh. Salah satu contoh dari kategori ini adalah sintesis protein.

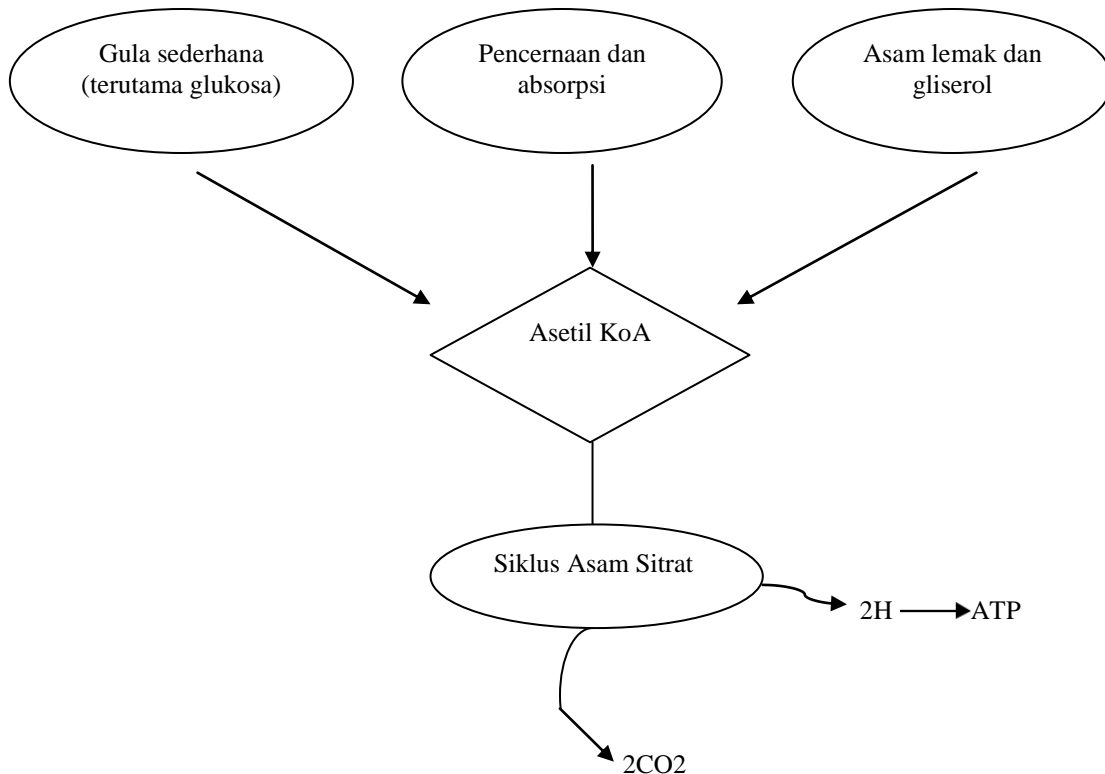
2. Lintasan katabolik (pemecahan)

Lintasan ini meliputi berbagai proses oksidasi yang melepaskan energi bebas, biasanya dalam bentuk fosfat energi tinggi atau unsur ekuivalen pereduksi, seperti rantai respirasi dan fosforilasi oksidatif.

3. Lintasan amfibolik (persimpangan)

Lintasan ini memiliki lebih dari satu fungsi dan terdapat pada persimpangan metabolisme sehingga bekerja sebagai penghubung antara lintasan anabolik dan lintasan katabolik. Contoh dari lintasan ini adalah siklus asam sitrat.





Gambar 1.22 Ilustrasi skematis dari lintasan metabolik dasar

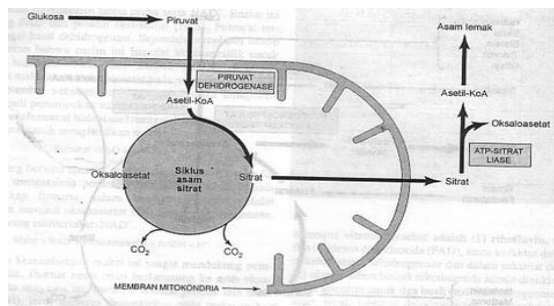
Sifat diet atau makanan menentukan pola dasar metabolisme di dalam tubuh. Mamalia, termasuk manusia harus memproses hasil penyerapan produk-produk pencernaan karbohidrat, lipid dan protein dari makanan. Secara berurutan, produk-produk ini terutama adalah glukosa, asam lemak serta gliserol dan asam amino. Semua produk hasil pencernaan diproses melalui lintasan metaboliknya masing-masing menjadi suatu produk umum yaitu Asetil KoA, yang kemudian akan dioksidasi secara sempurna melalui siklus asam sitrat.

Terdapat beberapa jalur metabolisme karbohidrat baik yang tergolong sebagai katabolisme maupun anabolisme, yaitu glikolisis, oksidasi piruvat, siklus asam sitrat, glikogenesis, glikogenolisis serta glukoneogenesis.

Secara ringkas, jalur-jalur metabolisme karbohidrat dijelaskan sebagai berikut:

1. Glukosa sebagai bahan bakar utama akan mengalami glikolisis (dipecah) menjadi 2 piruvat jika tersedia oksigen. Dalam tahap ini dihasilkan energi berupa ATP.

2. Selanjutnya masing-masing piruvat dioksidasi menjadi asetil KoA. Dalam tahap ini dihasilkan energi berupa ATP.
3. Asetil KoA akan masuk ke jalur persimpangan yaitu siklus asam sitrat. Dalam tahap ini dihasilkan energi berupa ATP.
4. Jika sumber glukosa berlebihan, melebihi kebutuhan energi kita maka glukosa tidak dipecah, melainkan akan dirangkai menjadi polimer glukosa (disebut glikogen). Glikogen ini disimpan di hati dan otot sebagai cadangan energi jangka pendek. Jika kapasitas penyimpanan glikogen sudah penuh, maka karbohidrat harus dikonversi menjadi jaringan lipid sebagai cadangan energi jangka panjang.
5. Jika terjadi kekurangan glukosa dari diet sebagai sumber energi, maka glikogen dipecah menjadi glukosa. Selanjutnya glukosa mengalami glikolisis, diikuti dengan oksidasi piruvat sampai dengan siklus asam sitrat.
6. Jika glukosa dari diet tak tersedia dan cadangan glikogenpun juga habis, maka sumber energi non karbohidrat yaitu lipid dan protein harus digunakan. Jalur ini dinamakan glukoneogenesis (pembentukan glukosa baru) karena dianggap lipid dan protein harus diubah menjadi glukosa baru yang selanjutnya mengalami katabolisme untuk memperoleh energi.



Gambar 1.23 Beberapa jalur metabolisme karbohidrat

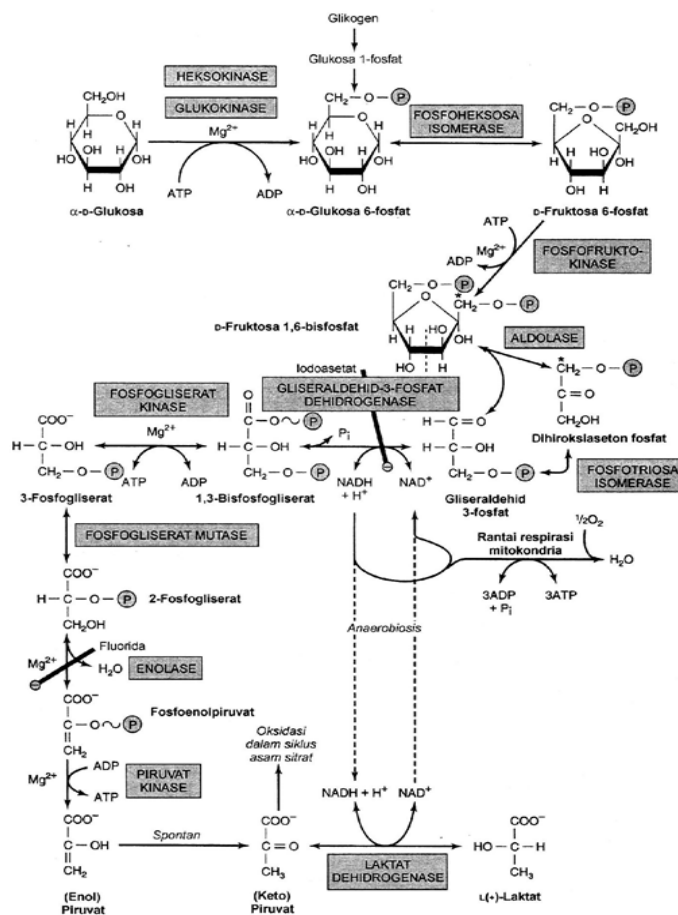
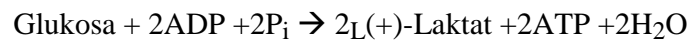
a. Glikolisis

Glikolisis berlangsung di dalam sitosol semua sel. Lintasan katabolisme ini adalah proses pemecahan glukosa menjadi:

1. Asam piruvat, pada suasana aerob (tersedia oksigen)
2. Asam laktat, pada suasana anaerob (tidak tersedia oksigen)

Glikolisis merupakan jalur utama metabolisme glukosa agar terbentuk asam piruvat, dan selanjutnya asetil-KoA untuk dioksidasi dalam siklus asam sitrat (Siklus Kreb's). Selain itu glikolisis juga menjadi lintasan utama metabolisme fruktosa dan galaktosa.

Keseluruhan persamaan reaksi untuk glikolisis yang menghasilkan laktat adalah:



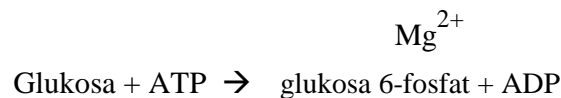
Gambar 1.24 Lintasan Glikolisis

Secara rinci, tahap-tahap dalam lintasan glikolisis adalah sebagai berikut (*pada setiap tahap, lihat dan hubungkan dengan Gambar Lintasan detail metabolisme karbohidrat*):

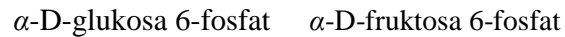
1. Glukosa masuk lintasan glikolisis melalui fosforilasi menjadi glukosa-6 fosfat dengan dikatalisir oleh enzim heksokinase atau glukokinase pada sel parenkim hati dan sel Pulau Langerhans pancreas. Proses ini memerlukan ATP sebagai donor

fosfat. ATP bereaksi sebagai kompleks Mg-ATP. Terminal fosfat berenergi tinggi pada ATP digunakan, sehingga hasilnya adalah ADP. (-1P)

Reaksi ini disertai kehilangan energi bebas dalam jumlah besar berupa kalor, sehingga dalam kondisi fisiologis dianggap irreversibel. Heksokinase dihambat secara alosterik oleh produk reaksi glukosa 6-fosfat.



2. Glukosa 6-fosfat diubah menjadi Fruktosa 6-fosfat dengan bantuan enzim fosfoheksosa isomerase dalam suatu reaksi isomerisasi aldosa-ketosa. Enzim ini hanya bekerja pada anomer α -glukosa 6-fosfat.



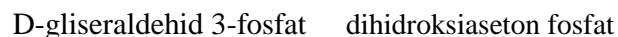
3. Fruktosa 6-fosfat diubah menjadi Fruktosa 1,6-bifosfat dengan bantuan enzim fosfofruktokinase. Fosfofruktokinase merupakan enzim yang bersifat alosterik sekaligus bisa diinduksi, sehingga berperan penting dalam laju glikolisis. Dalam kondisi fisiologis tahap ini bisa dianggap irreversible. Reaksi ini memerlukan ATP sebagai donor fosfat, sehingga hasilnya adalah ADP. (-1P)



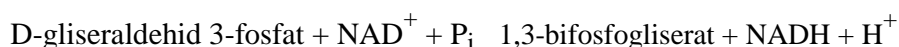
4. Fruktosa 1,6-bifosfat dipecah menjadi 2 senyawa triosa fosfat yaitu gliseraldehid 3-fosfat dan dihidroksi aseton fosfat. Reaksi ini dikatalisir oleh enzim aldolase (fruktosa 1,6-bifosfat aldolase).



5. Gliseraldehid 3-fosfat dapat berubah menjadi dihidroksi aseton fosfat dan sebaliknya (reaksi interkonversi). Reaksi bolak-balik ini mendapatkan katalisator enzim fosfotriosa isomerase.



6. Glikolisis berlangsung melalui oksidasi Gliseraldehid 3 fosfat menjadi 1,3 bifosfoglisarat, dan karena aktivitas enzim fosfotriosa isomerase, senyawa dihidroksi aseton fosfat juga dioksidasi menjadi 1,3-bifosfoglisarat melewati gliseraldehid 3 fosfat.



Enzim yang bertanggung jawab terhadap oksidasi di atas adalah gliseraldehid 3-fosfat dehidrogenase, suatu enzim yang bergantung kepada NAD.

Atom-atom hydrogen yang dikeluarkan dari proses oksidasi ini dipindahkan kepada NAD^+ yang terikat pada enzim. Pada rantai respirasi mitokondria akan dihasilkan tiga fosfat berenergi tinggi. (+3P)

Catatan:

Karena fruktosa 1,6-bifosfat yang memiliki 6 atom C dipecah menjadi Gliseraldehid 3-fosfat dan dihidroksi aseton fosfat yang masing-masing memiliki 3 atom C, dengan demikian terbentuk 2 molekul gula yang masing-masing beratom C tiga (triosa). Jika molekul dihidroksiaseton fosfat juga berubah menjadi 1,3-bifosfoglisarat, maka dari 1 molekul glukosa pada bagian awal, sampai dengan tahap ini akan menghasilkan $2 \times 3\text{P} = 6\text{P}$. (+6P)

7. Energi yang dihasilkan dalam proses oksidasi disimpan melalui pembentukan ikatan sulfur berenergi tinggi, setelah fosforolisis, sebuah gugus fosfat berenergi tinggi dalam posisi 1 senyawa 1,3 bifosfoglisarat. Fosfat berenergi tinggi ini ditangkap menjadi ATP dalam reaksi lebih lanjut dengan ADP, yang dikatalisir oleh enzim fosfoglisarat kinase. Senyawa sisa yang dihasilkan adalah 3-fosfoglisarat.



Catatan:

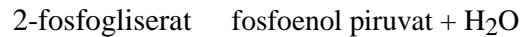
Karena ada dua molekul 1,3-bifosfoglisarat, maka energi yang dihasilkan adalah $2 \times 1\text{P} = 2\text{P}$. (+2P)

8. 3-fosfoglisarat diubah menjadi 2-fosfoglisarat dengan dikatalisir oleh enzim fosfoglisarat mutase. Senyawa 2,3-bifosfoglisarat (difosfoglisarat, DPG) merupakan intermediate dalam reaksi ini.



9. 2-fosfoglisarat diubah menjadi fosfoenol piruvat (PEP) dengan bantuan enzim enolase. Reaksi ini melibatkan dehidrasi serta pendistribusian kembali energi di dalam molekul, menaikkan valensi fosfat dari posisi 2 ke status berenergi tinggi.

Enolase dihambat oleh fluoride, suatu unsure yang dapat digunakan jika glikolisis di dalam darah perlu dicegah sebelum kadar glukosa darah diperiksa. Enzim ini bergantung pada keberadaan Mg^{2+} atau Mn^{2+} .



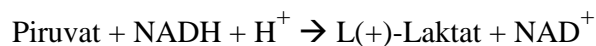
10. Fosfat berenergi tinggi PEP dipindahkan pada ADP oleh enzim piruvat kinase sehingga menghasilkan ATP. Enol piruvat yang terbentuk dalam reaksi ini mengalami konversi spontan menjadi keto piruvat. Reaksi ini disertai kehilangan energi bebas dalam jumlah besar sebagai panas dan secara fisiologis adalah irreversible.



Catatan:

Karena ada 2 molekul PEP maka terbentuk 2 molekul enol piruvat sehingga total hasil energi pada tahap ini adalah $2 \times 1P = 2P$. (+2P)

11. Jika keadaan bersifat anaerob (tak tersedia oksigen), reoksidasi NADH melalui pemindahan sejumlah unsure ekuivalen pereduksi akan dicegah. Piruvat akan direduksi oleh NADH menjadi laktat. Reaksi ini dikatalisir oleh enzim laktat dehidrogenase.



Dalam keadaan aerob, piruvat diambil oleh mitokondria, dan setelah konversi menjadi asetil-KoA, akan dioksidasi menjadi CO_2 melalui siklus asam sitrat (Siklus Krebs).

Ekuivalen pereduksi dari reaksi $\text{NADH} + H^+$ yang terbentuk dalam glikolisis akan diambil oleh mitokondria untuk oksidasi melalui salah satu dari reaksi ulang alik (shuttle).

b. Oksidasi piruvat

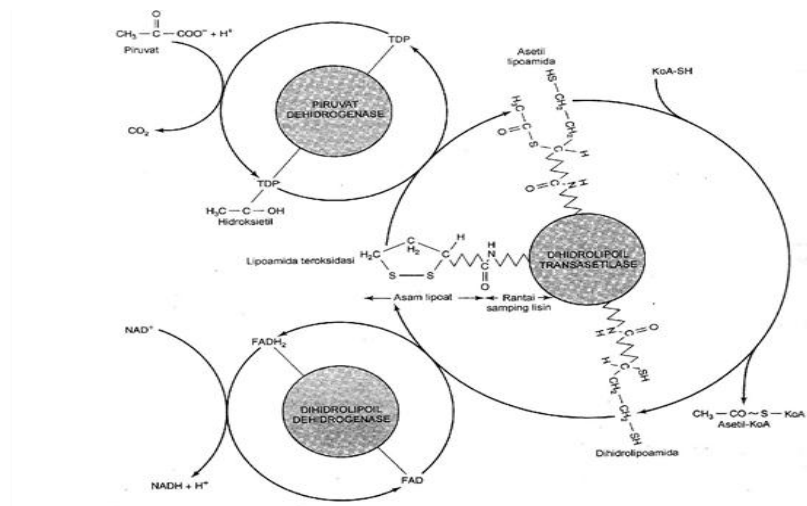
Dalam jalur ini, piruvat dioksidasi (dekarboksilasi oksidatif) menjadi Asetil-KoA, yang terjadi di dalam mitokondria sel. Reaksi ini dikatalisir oleh berbagai enzim yang berbeda yang bekerja secara berurutan di dalam suatu kompleks multienzim yang berkaitan dengan membran interna mitokondria.

Secara kolektif, enzim tersebut diberi nama kompleks piruvat dehidrogenase dan analog dengan kompleks -keto glutarat dehidrogenase pada siklus asam sitrat.

Jalur ini merupakan penghubung antara glikolisis dengan siklus Kreb's. Jalur ini juga merupakan konversi glukosa menjadi asam lemak dan lemak dan sebaliknya dari senyawa non karbohidrat menjadi karbohidrat.

Rangkaian reaksi kimia yang terjadi dalam lintasan oksidasi piruvat adalah sebagai berikut:

1. Dengan adanya TDP (thiamine diphosphate), piruvat didekarboksilasi menjadi derivat hidroksietil tiamin difosfat terikat enzim oleh komponen kompleks enzim piruvat dehidrogenase. Produk sisa yang dihasilkan adalah CO_2 .
2. Hidroksietil tiamin difosfat akan bertemu dengan lipoamid teroksidasi, suatu kelompok prostetik dihidroksilipoil transasetilase untuk membentuk asetil lipoamid, selanjutnya TDP lepas.
3. Selanjutnya dengan adanya KoA-SH, asetil lipoamid akan diubah menjadi asetil KoA, dengan hasil sampingan berupa lipoamid tereduksi.
4. Siklus ini selesai jika lipoamid tereduksi direoksidasi oleh flavoprotein, yang mengandung FAD, pada kehadiran dihidrolipoil dehidrogenase. Akhirnya flavoprotein tereduksi ini dioksidasi oleh NAD^+ , yang akhirnya memindahkan ekuivalen pereduksi kepada rantai respirasi.



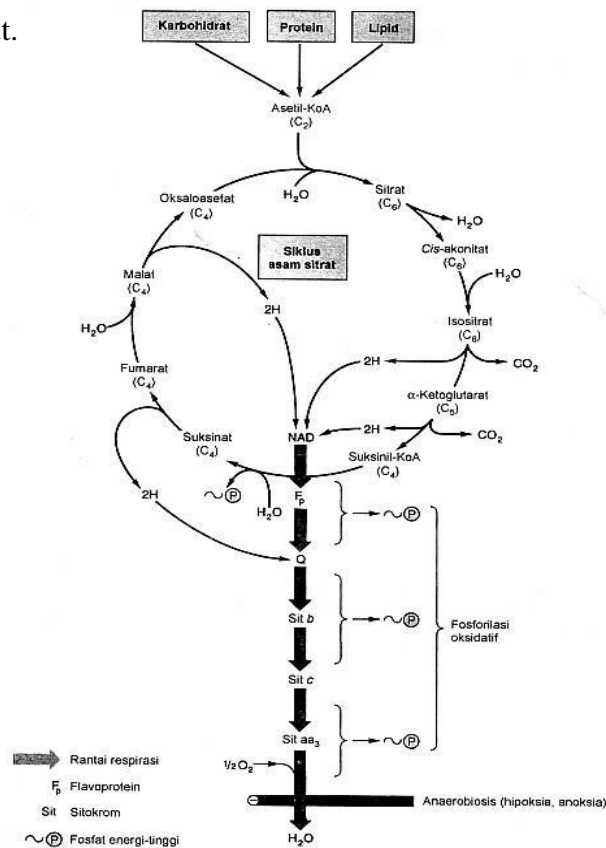
Gambar 1.25 Lintasan oksidasi piruvat

c. Siklus asam sitrat

Siklus ini juga sering disebut sebagai siklus Kreb's dan siklus asam trikarboksilat dan berlangsung di dalam mitokondria. Siklus asam sitrat merupakan jalur bersama oksidasi karbohidrat, lipid dan protein.

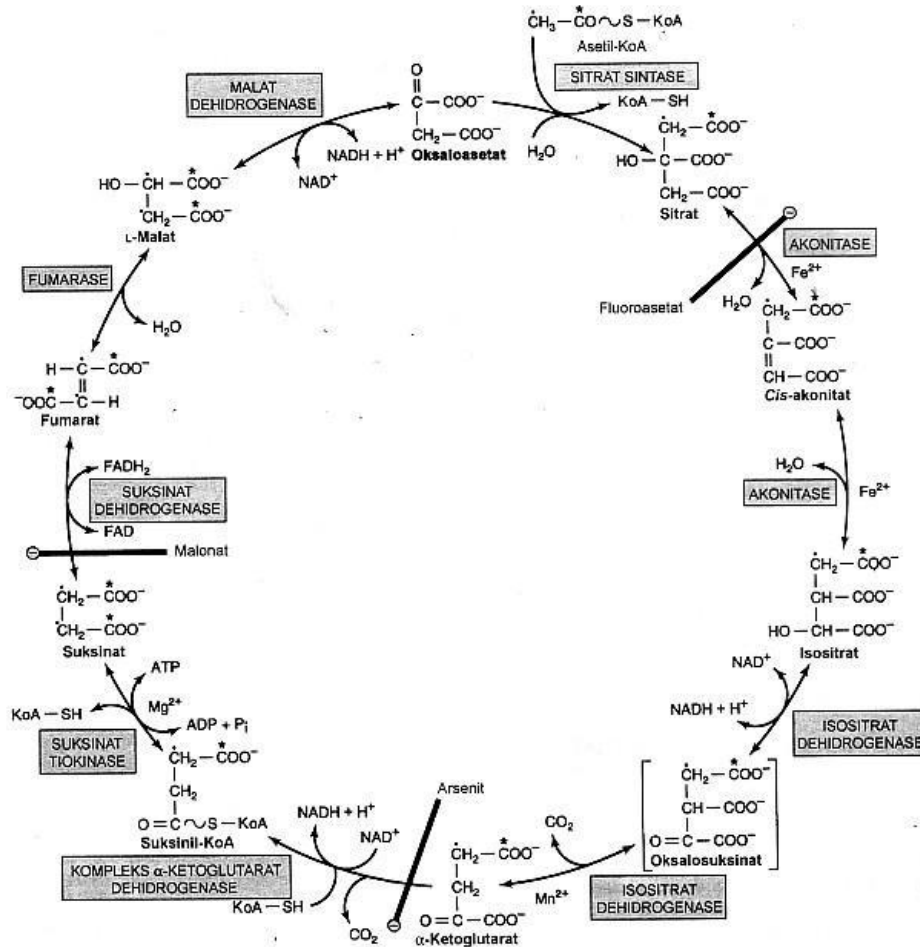
Siklus asam sitrat merupakan rangkaian reaksi yang menyebabkan katabolisme asetil KoA, dengan membebaskan sejumlah ekuivalen hidrogen yang pada oksidasi menyebabkan pelepasan dan penangkapan sebagian besar energi yang tersedia dari bahan bakar jaringan, dalam bentuk ATP. Residu asetil ini berada dalam bentuk asetil-KoA ($\text{CH}_3\text{-CO KoA}$, asetat aktif), suatu ester koenzim A. Ko-A mengandung vitamin asam pantotenat.

Fungsi utama siklus asam sitrat adalah sebagai lintasan akhir bersama untuk oksidasi karbohidrat, lipid dan protein. Hal ini terjadi karena glukosa, asam lemak dan banyak asam amino dimetabolisir menjadi asetil KoA atau intermediat yang ada dalam siklus tersebut.



Gambar 1.26 Siklus asam sitrat sebagai jalur bersama metabolisme karbohidrat, lipid dan protein

Enzim-enzim siklus asam sitrat terletak di dalam matriks mitokondria, baik dalam bentuk bebas ataupun melekat pada permukaan dalam membran interna mitokondria sehingga memfasilitasi pemindahan unsur ekuivalen pereduksi ke enzim terdekat pada rantai respirasi, yang bertempat di dalam membran interna mitokondria.

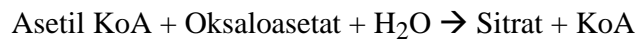


Gambar 1.27 Lintasan detail Siklus Krebs

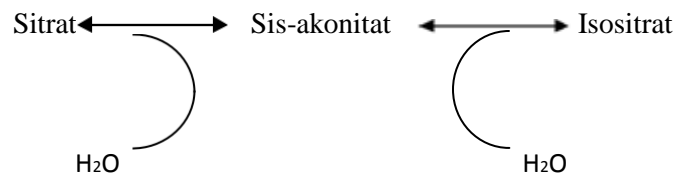
Reaksi-reaksi pada siklus asam sitrat diuraikan sebagai berikut:

1. Kondensasi awal asetil KoA dengan oksaloasetat membentuk sitrat, dikatalisir oleh enzim sitrat sintase menyebabkan sintesis ikatan karbon ke karbon di antara atom karbon metil pada asetil KoA dengan atom karbon karbonil pada oksaloasetat. Reaksi kondensasi, yang membentuk sitril KoA, diikuti oleh hidrolisis ikatan tioester KoA yang disertai dengan hilangnya energi bebas

dalam bentuk panas dalam jumlah besar, memastikan reaksi tersebut selesai dengan sempurna.

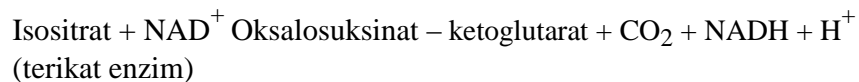


2. Sitrat dikonversi menjadi isositrat oleh enzim akonitase (akonitat hidratase) yang mengandung besi Fe^{2+} dalam bentuk protein besi-sulfur (Fe:S). Konversi ini berlangsung dalam 2 tahap, yaitu: dehidrasi menjadi sis-akonitat, yang sebagian di antaranya terikat pada enzim dan rehidrasi menjadi isositrat.



Reaksi tersebut dihambat oleh fluoroasetat yang dalam bentuk fluoroasetil KoA mengadakan kondensasi dengan oksaloasetat untuk membentuk fluorositrat. Senyawa terakhir ini menghambat akonitase sehingga menimbulkan penumpukan sitrat.

3. Isositrat mengalami dehidrogenasi membentuk oksalosuksinat dengan adanya enzim isositrat dehidrogenase. Di antara enzim ini ada yang spesifik NAD^+ , hanya ditemukan di dalam mitokondria. Dua enzim lainnya bersifat spesifik NADP^+ dan masing-masing secara berurutan dijumpai di dalam mitokondria serta sitosol. Oksidasi terkait rantai respirasi terhadap isositrat berlangsung hampir sempurna melalui enzim yang bergantung NAD^+ .



Kemudian terjadi dekarboksilasi menjadi α -ketoglutarat yang juga dikatalisir oleh enzim isositrat dehidrogenase. Mn^{2+} atau Mg^{2+} merupakan komponen penting reaksi dekarboksilasi. Oksalosuksinat tampaknya akan tetap terikat pada enzim sebagai intermediate dalam keseluruhan reaksi.

4. Selanjutnya α -ketoglutarat mengalami dekarboksilasi oksidatif melalui cara yang sama dengan dekarboksilasi oksidatif piruvat, dengan kedua substrat berupa asam α -keto.



Reaksi tersebut yang dikatalisir oleh kompleks α -ketoglutarat dehidrogenase, juga memerlukan kofaktor yang identik dengan kompleks piruvat dehidrogenase, contohnya TDP, lipoat, NAD^+ , FAD serta KoA, dan menghasilkan pembentukan suksinil KoA (tioester berenergi tinggi). Arsenit menghambat reaksi di atas sehingga menyebabkan penumpukan α -ketoglutarat.

5. Tahap selanjutnya terjadi perubahan suksinil KoA menjadi suksinat dengan adanya peran enzim suksinat tiokinase (suksinil KoA sintetase).



Dalam siklus asam sitrat, reaksi ini adalah satu-satunya contoh pembentukan fosfat berenergi tinggi pada tingkatan substrat dan terjadi karena pelepasan energi bebas dari dekarboksilasi oksidatif α -ketoglutarat cukup memadai untuk menghasilkan ikatan berenergi tinggi disamping pembentukan NADH (setara dengan 3 P).

6. Suksinat dimetabolisir lebih lanjut melalui reaksi dehidrogenasi yang diikuti oleh penambahan air dan kemudian oleh dehidrogenasi lebih lanjut yang menghasilkan kembali oksaloasetat.

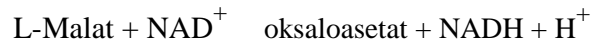


Reaksi dehidrogenasi pertama dikatalisir oleh enzim suksinat dehidrogenase yang terikat pada permukaan dalam membrane interna mitokondria, berbeda dengan enzim-enzim lain yang ditemukan pada matriks. Reaksi ini adalah satu-satunya reaksi dehidrogenasi dalam siklus asam sitrat yang melibatkan pemindahan langsung atom hydrogen dari substrat kepada flavoprotein tanpa peran NAD^+ . Enzim ini mengandung FAD dan protein besi-sulfur (Fe:S). Fumarat terbentuk sebagai hasil dehidrogenasi. Fumarase (fumarat hidratase) mengkatalisir penambahan air pada fumarat untuk menghasilkan malat.



Enzim fumarase juga mengkatalisir penambahan unsure-unsur air kepada ikatan rangkap fumarat dalam konfigurasi trans.

Malat dikonversikan menjadi oksaloasetat dengan katalisator berupa enzim malat dehidrogenase, suatu reaksi yang memerlukan NAD^+ .



Enzim-enzim dalam siklus asam sitrat, kecuali alfa ketoglutarat dan suksinat dehidrogenase juga ditemukan di luar mitokondria. Meskipun dapat mengkatalisir reaksi serupa, sebagian enzim tersebut, misalnya malat dehidrogenase pada kenyataannya mungkin bukan merupakan protein yang sama seperti enzim mitokondria yang mempunyai nama sama (dengan kata lain enzim tersebut merupakan isoenzim).

Energi yang dihasilkan dalam siklus asam sitrat

Pada proses oksidasi yang dikatalisir enzim dehidrogenase, 3 molekul NADH dan 1 FADH_2 akan dihasilkan untuk setiap molekul asetil-KoA yang dikatabolisir dalam siklus asam sitrat. Dalam hal ini sejumlah ekuivalen pereduksi akan dipindahkan ke rantai respirasi dalam membrane interna mitokondria. Selama melintasi rantai respirasi tersebut, ekuivalen pereduksi NADH menghasilkan 3 ikatan fosfat berenergi tinggi melalui esterifikasi ADP menjadi ATP dalam proses fosforilasi oksidatif. Namun demikian FADH_2 hanya menghasilkan 2 ikatan fosfat berenergi tinggi. Fosfat berenergi tinggi selanjutnya akan dihasilkan pada tingkat siklus itu sendiri (pada tingkat substrat) pada saat suksinil KoA diubah menjadi suksinat.

Dengan demikian rincian energi yang dihasilkan dalam siklus asam sitrat adalah:

1. Tiga molekul NADH , menghasilkan	: 3X3P	= 9P
2. Satu molekul FADH_2 , menghasilkan	: 1 x 2P	= 2P
3. Pada tingkat substrat		= 1P
<hr/>		
Jumlah		= 12P

Satu siklus Kreb's akan menghasilkan energi $3\text{P} + 3\text{P} + 1\text{P} + 2\text{P} + 3\text{P} = 12\text{P}$.

Apabila jalur glikolisis, oksidasi piruvat dan siklus Kreb's saling dihubungkan, maka akan diperoleh perhitungan bahwa 1 mol glukosa jika dibakar sempurna (aerob) akan menghasilkan energi dengan rincian sebagai berikut:

1. Glikolisis	: 8P
2. Oksidasi piruvat (2 x 3P)	: 6P
3. <u>Siklus Kreb's (2 x 12P)</u>	: 24P
Jumlah	: 38P

d. Glikogenesis

Tahap pertama metabolisme karbohidrat adalah pemecahan glukosa (glikolisis) menjadi piruvat. Selanjutnya piruvat dioksidasi menjadi asetil KoA. Akhirnya asetil KoA masuk ke dalam rangkaian siklus asam sitrat untuk dikatabolisir menjadi energi.

Proses di atas terjadi jika kita membutuhkan energi untuk aktifitas, misalnya berpikir, mencerna makanan, bekerja dan sebagainya. Jika kita memiliki glukosa melampaui kebutuhan energi, maka kelebihan glukosa yang ada akan disimpan dalam bentuk glikogen. Proses anabolisme ini dinamakan glikogenesis.

Glikogen merupakan bentuk simpanan karbohidrat yang utama di dalam tubuh dan analog dengan amilum pada tumbuhan. Unsur ini terutama terdapat didalam hati (sampai 6%), otot jarang melampaui jumlah 1%. Akan tetapi karena massa otot jauh lebih besar daripada hati, maka besarnya simpanan glikogen di otot bisa mencapai tiga sampai empat kali lebih banyak. Seperti amilum, glikogen merupakan polimer -D-Glukosa yang bercabang.

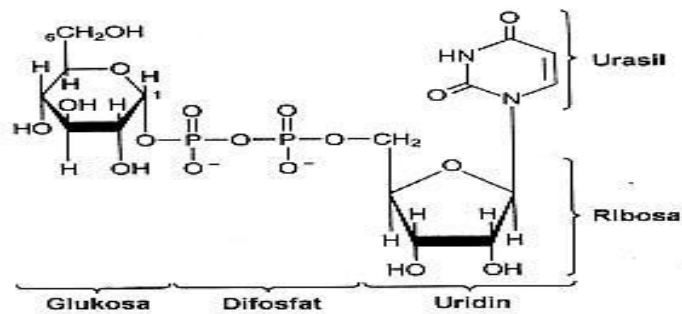
Glikogen otot berfungsi sebagai sumber heksosa yang tersedia dengan mudah untuk proses glikolisis di dalam otot itu sendiri. Sedangkan glikogen hati sangat berhubungan dengan simpanan dan pengiriman heksosa keluar untuk mempertahankan kadar glukosa darah, khususnya pada saat di antara waktu makan. Setelah 12-18 jam puasa, hampir semua simpanan glikogen hati terkuras habis. Tetapi glikogen otot hanya terkuras secara bermakna setelah seseorang melakukan olahraga yang berat dan lama.

Rangkaian proses terjadinya glikogenesis digambarkan sebagai berikut:

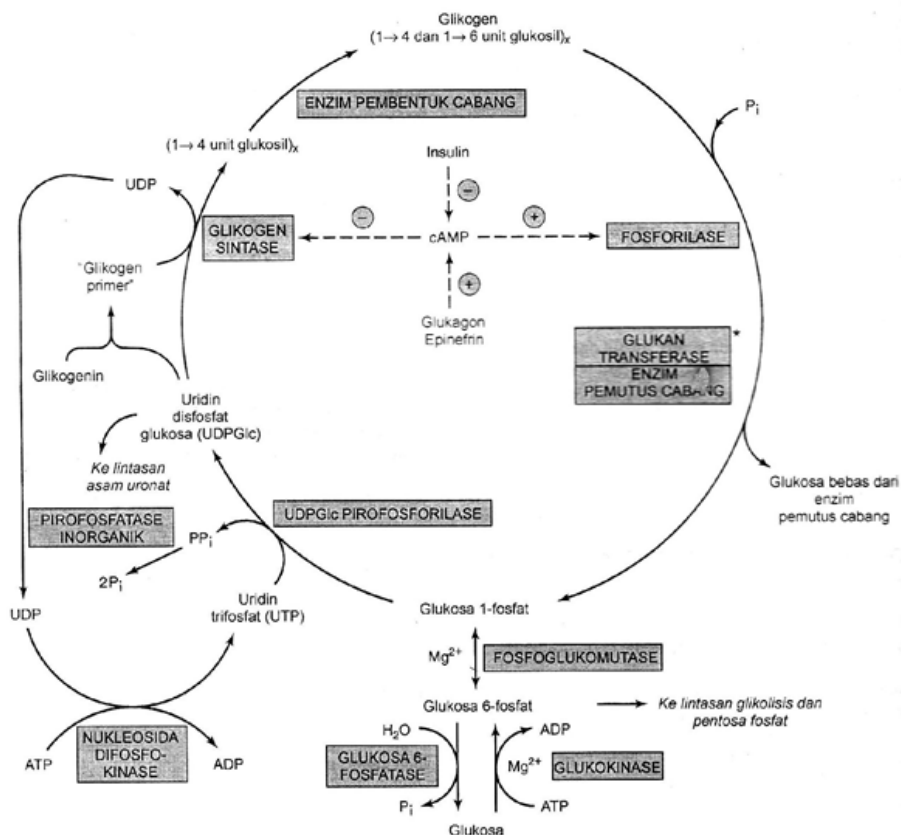
1. Glukosa mengalami fosforilasi menjadi glukosa 6-fosfat (reaksi yang lazim terjadi juga pada lintasan glikolisis). Di otot reaksi ini dikatalisir oleh heksokinase sedangkan di hati oleh glukokinase.
2. Glukosa 6-fosfat diubah menjadi glukosa 1-fosfat dalam reaksi dengan bantuan katalisator enzim fosfoglukomutase. Enzim itu sendiri akan mengalami fosforilasi dan gugus fosfo akan mengambil bagian di dalam reaksi reversible yang intermediatnya adalah glukosa 1,6-bifosfat.

Enz-P + Glukosa 6-fosfat Enz + Glukosa 1,6-bifosfat Enz-P + Glukosa 1-fosfat

- Selanjutnya glukosa 1-fosfat bereaksi dengan uridin trifosfat (UTP) untuk membentuk uridin difosfat glukosa (UDPGlc). Reaksi ini dikatalisir oleh enzim UDPGlc pirofosforilase.

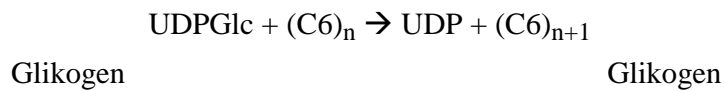


Gambar 1.29 Struktur Uridin difosfat glukosa (UDPGlc)



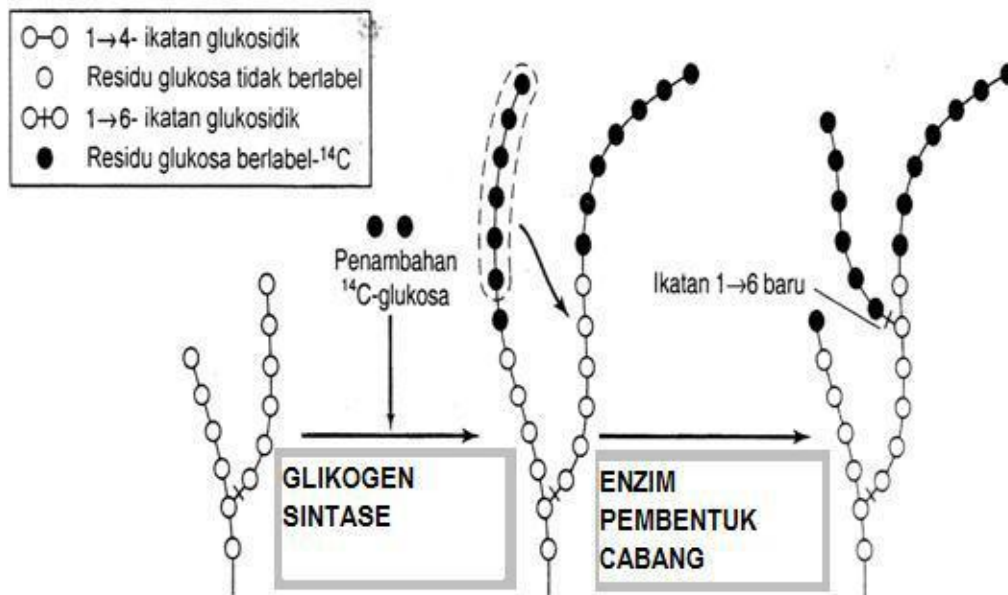
Gambar 1.29 Lintasan glikogenesis dan glikogenolisis

4. Hidrolisis pirofosfat anorganik berikutnya oleh enzim pirofosfatase inorganik akan menarik reaksi ke arah kanan persamaan reaksi
5. Atom C₁ pada glukosa yang diaktifkan oleh UDPGlc membentuk ikatan glikosidik dengan atom C₄ pada residu glukosa terminal glikogen, sehingga membebaskan uridin difosfat. Reaksi ini dikatalisir oleh enzim glikogen sintase. Molekul glikogen yang sudah ada sebelumnya (disebut glikogen primer) harus ada untuk memulai reaksi ini. Glikogen primer selanjutnya dapat terbentuk pada primer protein yang dikenal sebagai glikogenin.



Residu glukosa yang lebih lanjut melekat pada posisi 1→4 untuk membentuk rantai pendek yang diaktifkan oleh glikogen sintase. Pada otot rangka glikogenin tetap melekat pada pusat molekul glikogen, sedangkan di hati terdapat jumlah molekul glikogen yang melebihi jumlah molekul glikogenin.

6. Setelah rantai dari glikogen primer diperpanjang dengan penambahan glukosa tersebut hingga mencapai minimal 11 residu glukosa, maka enzim pembentuk cabang memindahkan bagian dari rantai 1→4 (panjang minimal 6 residu glukosa) pada rantai yang berdekatan untuk membentuk rangkaian 1→6 sehingga membuat titik cabang pada molekul tersebut. Cabang-cabang ini akan tumbuh dengan penambahan lebih lanjut 1→glukosil dan pembentukan cabang selanjutnya. Setelah jumlah residu terminal yang non reduktif bertambah, jumlah total tapak reaktif dalam molekul akan meningkat sehingga akan mempercepat glikogenesis maupun glikogenolisis.
- Tahap-tahap perangkaian glukosa demi glukosa digambarkan pada bagan berikut.

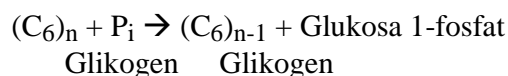


Gambar 1.30 Biosintesis glikogen

Tampak bahwa setiap penambahan 1 glukosa pada glikogen dikatalisir oleh enzim glikogen sintase. Sekelompok glukosa dalam rangkaian linier dapat putus dari glikogen induknya dan berpindah tempat untuk membentuk cabang. Enzim yang berperan dalam tahap ini adalah enzim pembentuk cabang (branching enzyme).

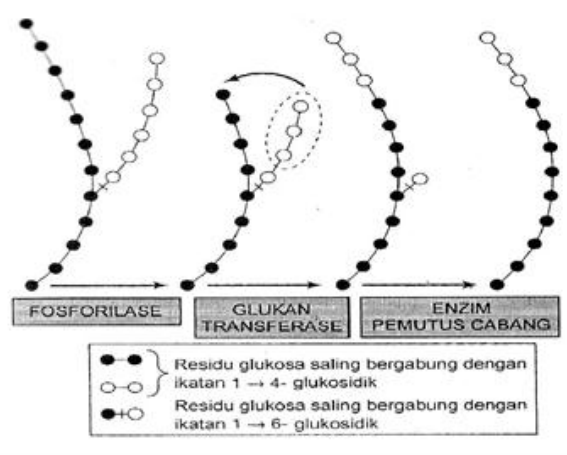
e. Glikogenolisis

Jika glukosa dari diet tidak dapat mencukupi kebutuhan, maka glikogen harus dipecah untuk mendapatkan glukosa sebagai sumber energi. Proses ini dinamakan glikogenolisis. Glikogenolisis seakan-akan kebalikan dari glikogenesis, akan tetapi sebenarnya tidak demikian. Untuk memutuskan ikatan glukosa satu demi satu dari glikogen diperlukan enzim fosforilase. Enzim ini spesifik untuk proses fosforolisis rangkaian 1→4 glikogen untuk menghasilkan glukosa 1-fosfat. Residu glukosil terminal pada rantai paling luar molekul glikogen dibuang secara berurutan sampai kurang lebih ada 4 buah residu glukosa yang tersisa pada tiap sisi cabang 1→6.



Glukan transferase dibutuhkan sebagai katalisator pemindahan unit trisakarida dari satu cabang ke cabang lainnya sehingga membuat titik cabang 1→6 terpajan. Hidrolisis ikatan 1→6 memerlukan kerja enzim enzim pemutus cabang

(debranching enzyme) yang spesifik. Dengan pemutusan cabang tersebut, maka kerja enzim fosforilase selanjutnya dapat berlangsung.



Gambar 1.31 Tahap-tahap glikogenolisis

f. Glukoneogenesis

Glukoneogenesis terjadi jika sumber energi dari karbohidrat tidak tersedia lagi. Maka tubuh adalah menggunakan lemak sebagai sumber energi. Jika lemak juga tak tersedia, barulah memecah protein untuk energi yang sesungguhnya protein berperan pokok sebagai pembangun tubuh.

Jadi bisa disimpulkan bahwa glukoneogenesis adalah proses pembentukan glukosa dari senyawa-senyawa non karbohidrat, bisa dari lipid maupun protein. Secara ringkas, jalur glukoneogenesis dari bahan lipid maupun protein dijelaskan sebagai berikut:

1. Lipid terpecah menjadi komponen penyusunnya yaitu asam lemak dan gliserol. Asam lemak dapat dioksidasi menjadi asetil KoA. Selanjutnya asetil KoA masuk dalam siklus Kreb's. Sementara itu gliserol masuk dalam jalur glikolisis.
2. Untuk protein, asam-asam amino penyusunnya akan masuk ke dalam siklus Kreb's.

Reaksi positif apabila terbentuk warna merah. HCl akan mengubah heksosa menjadi hidroksi metal furfural yang kemudian akan bereaksi dengan resorsinol membentuk kompleks yang berwarna merah.

Kereaktifan aldosa dan ketosa sangatlah berbeda. Aldosa untuk terhidrolisis membutuhkan asam pekat sedangkan ketosa membutuhkan asam encer sehingga hidroksi metal furfural dari aldosa sedikit. Sedangkan untuk ketosa hidroksi metal furfural yang terbentuk banyak. Karena itulah reaksi ini spesifik untuk fruktosa yang termasuk ketoheksosa.

Reaksi Selliwanof untuk Sakarida

Pada sukrosa, HCl akan menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. Akan tetapi karena kereaktifan antara glukosa dan fruktosa. Akan tetapi karena kereaktifan antara glukosa dan fruktosa terhadap HCl encer berbeda maka fruktosa akan lebih dahulu membentuk suatu senyawa hidroksimetil furfural yang kemudian akan bereaksi dengan resorsinol membentuk kompleks berwarna merah.

Sedangkan maltosa bila dihidrolisis akan menghasilkan 2 molekul glukosa yang kurang reaktif terhadap HCl encer, sehingga memberi efek yang negative terhadap resorsinol.

3. Percobaan Iod

Amilum termasuk polisakarida. Polisakarida memiliki struktur yang spiral (menutup) yang apabila polisakarida ini (amilum) ditetesi Iod, maka molekul Iod akan terperangkap di dalamnya. Akibatnya larutan ini akan berwarna biru.

Ketika dipanaskan, amilum akan terhidrolisis menjadi monosakarida sehingga Iod bias terlepas. Selanjutnya ditambahkan NaOH maka I^- akan bereaksi dengan Na^+ membentuk NaI, akibatnya larutan akan menjadi bening.

Hal ini tidak berlaku untuk jenis-jenis sakarida yang lain seperti monosakarida, disakarida, dan oligosakarida karena struktur mereka masih sederhana.

Apabila dipanaskan maka ikatan antara Na dan I kembali renggang sehingga apabila dididamkan bias balik lagi dan terbentuk warna biru kembali.

4. Hidrolisis Amilum

Pada percobaan ini amilum + HCl kemudian dipanaskan maka akan terjadi hidrolisis amilum secara bertahap:

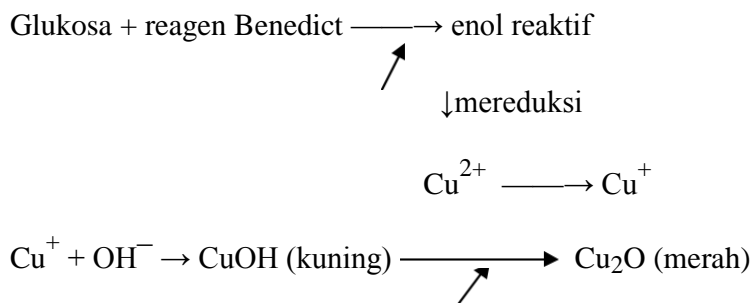
Amilum + HCl	→	Amilo dekstrin	→	Eritro dekstrin	→	Akroo dekstrin	→	Maltosa	→	Glukosa
(+ Iod)		(+ Iod)		(+ Iod)		(+ Iod)		(+ Iod)		(+ Iod)
Biru		Ungu		Merah		Tidak Berwarna		Berwarna - - - -		Tidak Berwarna

5. Reaksi Benedict

Reaksi ini spesifik untuk karbohidrat yang mempunyai gugus karbonil bebas, yaitu semua monosakarida dan disakarida kecuali sukrosa dan trehalosa. Reaksi yang terjadi adalah reduksi-oksidasi. Reagen yang digunakan dalam reaksi benedict antara lain :

1. CuSO_4 berfungsi sebagai penyedia ion Cu^{2+}
2. Na-sitrat berfungsi sebagai penghambat terjadinya endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ atau CuCO_3
3. Na_2CO_3 berfungsi sebagai alkali yang mengubah gugus karbonil bebas dari gula menjadi bentuk enol yang reaktif. Enol yang reaktif mereduksi Cu^{2+} dari senyawa kompleks dengan sitrat menjadi Cu^+ . Cu^+ bersama OH membentuk CuOH (berwarna kuning), yang dengan pemanasan akan berubah menjadi endapan Cu_2O yang berwarna merah. Warna yang terbentuk bervariasi mulai dari hijau, kuning, orange, merah sampai endapan merah bata, tergantung jumlah Cu_2O yang terbentuk, sehingga reaksi ini dapat digunakan untuk menentukan adanya gula baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Reaksi:



6. Reaksi Fenilhidrazin (pembentukan osazon)

Fenilhidrazin bereaksi dengan monosakarida dan beberapa disakarida membentuk hidrazon dan osazon. Hidrazon merupakan substansi yang mudah larut (*soluble*) dan sulit diisolasi. Sedang osazon kebalikannya, ia relatif tidak melarut dan membentuk kristal yang bentuknya spesifik untuk setiap jenis sakarida. Itulah sebabnya mengapa osazon menjadi begitu penting dalam membantu mengidentifikasi konfigurasi struktural dari sakarida. Reaksi pembentukan osazon adalah sebagai berikut:

Aldosa + fenilhidrazin \longrightarrow fenilhidrazon

Fenilhidrazon + 2 fenilhidrazin \longrightarrow Osazon + aniline + NH_3 + H_2O Sukrosa tidak membentuk osazon.

7. Reaksi Tauber

Reaksi Tauber dapat digunakan untuk mengidentifikasi pentosa, tetapi tidak berlaku terhadap heksosa. Reagen tauber berisi larutan 4% benzidin dalam asam asetat glasial. Reaksi yang terjadi adalah pentosa dihidrolisis oleh asam asetat glasial menjadi furfural. Furfural yang terbentuk akan bereaksi dengan 4% benzidin membentuk kompleks senyawa berwarna merah anggur.

Arabinosa + asam asetat glasial \longrightarrow furfural + 3 H_2O

Furfural + benzidin \longrightarrow warna merah anggur

Arabinosa termasuk pentosa (aldopentosa) sehingga memberi reaksi positif terhadap reagen Tauber, sedang glukosa dan fruktosa termasuk heksosa sehingga reaksinya negatif.

8. Reaksi Hidrolisis Sukrosa

Dasar reaksi: disakarida jika diberi asam lalu dipanaskan akan terhidrolisis menjadi 2 molekul-molekul monosakarida. Percobaan hidrolisis sukrosa ini menggunakan bahan HCl, timol biru, Na-karbonat, dan reagen Benedict.

Fungsi masing-masing reagen:

- HCl: sebagai asam yang menghidrolisis disakarida
- Na-karbonat: menetralkan suasana asam, sehingga reaksi hidrolisis berhenti
- Benedict: untuk mendeteksi apakah disakarida sudah terhidrolisis atau belum
- Timol biru: indikator pH

Penambahan HCl akan mempengaruhi pH larutan, hal ini ditunjukkan dengan perubahan warna dari timol biru. Setelah terjadi proses hidrolisis sukrosa oleh HCl, larutan harus ditambah Na-karbonat agar suasana menjadi netral sehingga reaksi hidrolisis berhenti.

Pada tabung I terlihat hasil reaksi positif karena dilakukan pemanasan sehingga terjadi pemutusan ikatan antara fruktosa dan glukosa, glukosa bereaksi positif dengan benedict karena mempunyai gugus karbonil bebas.

Pada tabung II yang tidak dipanaskan, warna larutan tetap biru yang berarti tidak terjadi hidrolisis sukrosa yang menghasilkan glukosa dan fruktosa.

9. Reaksi Pengendapan

Pada reaksi pengendapan ini, amilum mengendap dengan penambahan ammonium sulfat jenuh. Ammonium sulfat jenuh mempunyai kemampuan mengikat air dari gugus pengikat air, sehingga kelarutan amilum berkurang dan akhirnya mengendap. Larutan amilum dan ammonium sulfat yang dipanaskan akan membentuk endapan putih.

Amilum banyak terdapat dalam endapan yang dihasilkan, sedang kandungannya dalam filtrate sangat sedikit, sehingga bila dilakukan penyaringan terus-menerus, maka filtrate yang dihasilkan tidak mengandung amilum lagi. Hal ini ditunjukkan dengan uji iod yang negatif.

10. Reaksi Hidrolisis Gummi Arabikum

- Hidrolisis gummi arabikum oleh asam menghasilkan arabinosa. Arabinosa termasuk gula pentosa.
- Pada percobaan ini gummi arabikum dicampur HCl dan dilakukan pemanasan.
- HCl berfungsi sebagai asam yang akan menghidrolisis gummi arabikum.
- Pemanasan bertujuan untuk memecah molekul menjadi lebih kecil sehingga mudah dihidrolisis menjadi arabinosa.
- Pendinginan dengan air ledeng dan penetralan dengan NaOH bertujuan untuk menghentikan proses hidrolisis, sehingga campuran tersebut tidak kehilangan sifat gulanya.
- Pentosa bila ditambah dengan asam dan dipanaskan akan terbentuk furfural, sehingga bila diberi reagen tauber akan bereaksi positif, yaitu timbulnya

warna merah karena terjadi kondensasi antara furfural dengan benzidin yang ada dalam reagen tauber.

- Hasil hidrolisis gummi arabikum ini juga menunjukkan reaksi positif terhadap reagen benedict, sebab arabinosa memiliki gugus karbonil bebas.

1.6 Korelasi Klinis

Glukosa merupakan gula yang terdapat dalam darah dan cairan tubuh yang lain. Normalnya darah mengandung 60-90 mg glukosa dalam setiap 100 ml, tapi dalam keadaan diabetes kadar gula darah bisa mencapai 1000 mg%.

Gula darah memiliki beberapa fungsi penting. Hepar menggabungkan beberapa molekul menjadi glikogen. Glikogen hati membantu menjaga kadar gula darah dengan memecahnya lagi menjadi glukosa ketika absorpsi gula turun. Otot dan jaringan lain memindahkan glukosa dari darah untuk membentuk glikogen, dengan reaksi kompleks yang membutuhkan energi. Gula darah sebagai nutrisi bagi jaringan otak. Glukosa dioksidasi oleh jaringan tubuh untuk menghasilkan sejumlah energi. Lebih dari separuh energi yang dibutuhkan tubuh berasal dari oksidasi glukosa. Kelebihan glukosa akan diubah menjadi lemak. Sebagian besar dari reaksi kimia yang berlangsung dalam tubuh melibatkan glukosa atau senyawa-senyawa turunannya.

Kadar gula darah yang tinggi pada kasus diabetes mellitus sebagian besar disebabkan oleh berkurangnya sekresi insulin oleh sel-sel beta pulau Langerhans. Faktor herediter biasanya memainkan peranan besar dalam menentukan pada siapa diabetes akan berkembang. Obesitas juga memainkan peranan dalam perkembangan diabetes. Salah satu alasan adalah bahwa obesitas menurunkan jumlah reseptor insulin di dalam sel target insulin diseluruh tubuh, sehingga membuat insulin yang tersedia kurang efektif dalam meningkatkan efek metabolik.

BAB II PROTEIN

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
2	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang protein dan asam amino yang meliputi klasifikasi, struktur, sifat kimia serta metabolisme dalam tubuh dan kaitannya dengan kehidupan manusia	Protein dan Analisis Asam Amino	2.1. Pendahuluan 2.2. Fungsi protein 2.3. Komponen penyusun Protein 2.4. Ikatan peptida 2.5. Tingkat Struktur Protein 2.6. Denaturasi 2.7. Pencernaan Protein 2.8. Metabolisme Asam Amino 2.9. Uji Kualitatif, Uji Kelarutan dan Penentuan Titik Isoelektrik Protein

2.1. Pendahuluan

Protein berasal dari kata Yunani yaitu *proteios* yang berarti barisan pertama atau yang paling utama, kata ini diciptakan oleh J.J. Barzelius tahun 1938 untuk menyatakan pentingnya golongan ini dalam sel hidup. Protein adalah senyawa organik kompleks yang mempunyai bobot molekul tinggi yang merupakan polimer dari monomer-monomer asam amino yang dihubungkan satu sama lain dengan ikatan peptida. Protein merupakan makromolekul yang paling berlimpah dalam sel hidup. Semua organisme menggunakan protein untuk melakukan sejumlah fungsi penting metabolisme kehidupan. Sebagai makromolekul protein berperan sebagai katalisator, molekul karier, reseptor sinyal biologis dan sebagai komponen struktural.

2.2. Fungsi protein

Protein memegang peranan penting dalam berbagai proses biologi. Peran-peran tersebut antara lain:

1. Katalisis enzimatik

Hampir semua reaksi kimia dalam sistem biologi dikatalisis oleh enzim dan hampir semua enzim adalah protein.

2. Transportasi dan penyimpanan

Berbagai molekul kecil dan ion-ion ditanspor oleh protein spesifik. Misalnya transportasi oksigen di dalam eritrosit oleh hemoglobin dan transportasi oksigen di dalam otot oleh mioglobin.

3. Koordinasi gerak

Kontraksi otot dapat terjadi karena pergeseran dua filamen protein. Contohnya pergerakan kromosom saat proses mitosis dan pergerakan sperma oleh flagela.

4. Penunjang mekanis

Ketegangan kulit dan tulang disebabkan oleh kolagen yang merupakan protein fibrosa

5. Proteksi imun

Antibodi merupakan protein yang sangat spesifik dan dapat mengenal serta berkombinasi dengan benda asing seperti virus, bakteri dan sel dari organisme lain.

6. Membangkitkan dan menghantarkan impuls saraf

Respon sel saraf terhadap rangsang spesifik diperantarai oleh protein reseptor. Misalnya rodopsin adalah protein yang sensitif terhadap cahaya ditemukan pada sel batang retina. Contoh lainnya adalah protein reseptor pada sinapsis

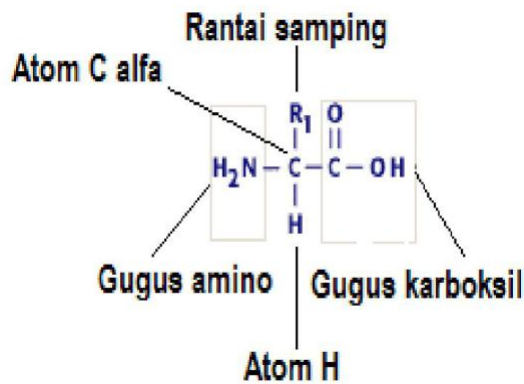
7. Pengaturan pertumbuhan dan diferensiasi

Pada organisme tingkat tinggi, pertumbuhan dan diferensiasi diatur oleh protein faktor pertumbuhan. Misalnya faktor pertumbuhan saraf mengendalikan pertumbuhan jaringan saraf. Selain itu, banyak hormon merupakan protein.

2.3. Komponen penyusun protein

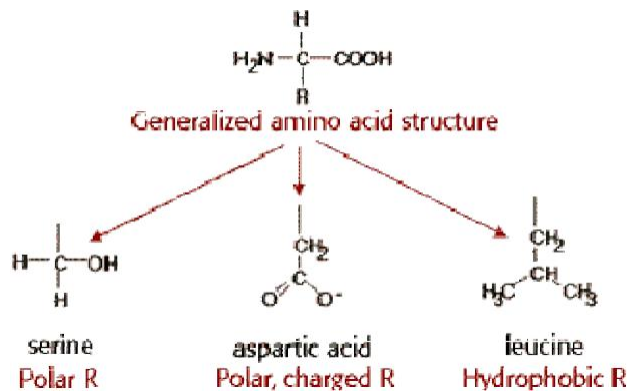
Unit dasar penyusun struktur protein adalah asam amino. Protein merupakan polimer asam L- α -amino, yaitu protein tersusun atas asam-asam amino yang saling berikatan. Asam amino adalah suatu senyawa yang mengandung gugus amino dan gugus karboksil pada atom C yang sama yaitu C- α .

Struktur asam amino :



Gambar 2.1 Struktur asam amino α

Dalam makhluk hidup ditemukan 20 macam asam amino yang lazim membentuk protein. Masing-masing asam amino ditentukan oleh jenis gugus R atau rantai samping yang terikat. Jika gugus R berbeda maka jenis asam amino berbeda. Contohnya ada pada Gambar 2.2. Dari gambar tersebut tampak bahwa asam amino serin, asam aspartat dan leusin memiliki perbedaan hanya pada jenis gugus R.



Gambar 2. 2 Contoh struktur dari beberapa asam amino

Gugus R dari asam amino bervariasi dalam hal ukuran, bentuk, muatan, kapasitas pengikatan hidrogen serta reaktivitas kimia. Kedua puluh macam asam amino ini tidak

pernah berubah. Asam amino yang paling sederhana adalah glisin dengan atom H sebagai rantai samping (gugus R), kemudian alanin dengan gugus R adalah metil ($-\text{CH}_3$) sebagai rantai samping. Untuk selanjutnya, dapat di lihat nama dan struktur dari 20 macam asam amino pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.3.

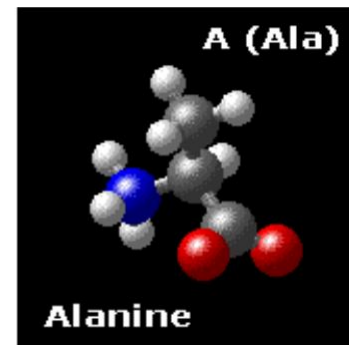
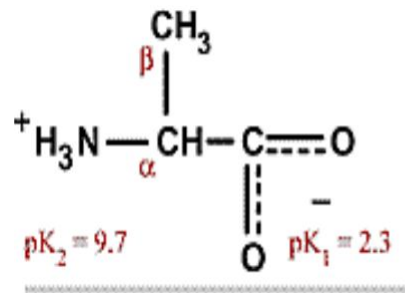
Tabel 2.1

Nama-nama asam amino

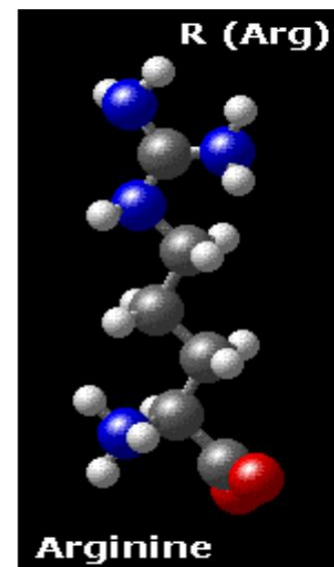
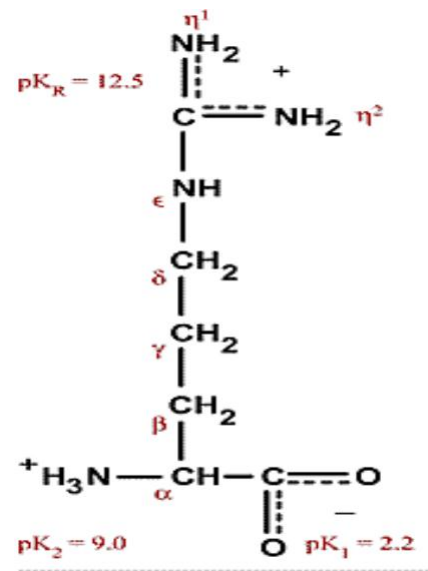
No	Nama	Singkatan
1	Alanin (alanine)	Ala
2	Arginin (arginine)	Arg
3	Asparagin (asparagine)	Asn
4	Asam aspartat (aspartic acid)	Asp
5	Sistein (cystine)	Cys
6	Glutamin (Glutamine)	Gln
7	Asam glutamat (glutamic acid)	Glu
8	Glisin (Glycine)	Gly
9	Histidin (histidine)	His
10	Isoleusin (isoleucine)	Ile
11	Leusin (leucine)	Leu
12	Lisin (Lysine)	Lys
13	Metionin (methionine)	Met
14	Fenilalanin (phenilalanine)	Phe
15	Prolin (proline)	Pro
16	Serin (Serine)	Ser
17	Treonin (Threonine)	Thr
18	Triptofan (Tryptophan)	Trp
19	Tirosin (tyrosine)	Tyr
20	Valin (valine)	Val

STRUKTUR ASAM AMINO

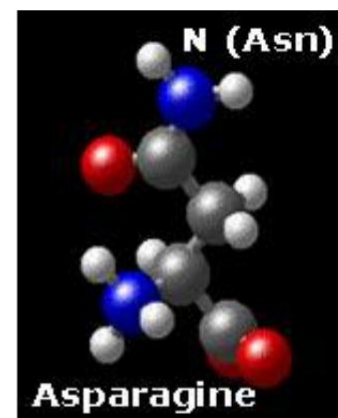
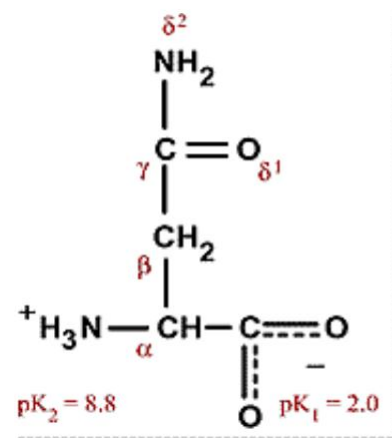
1. Alanin



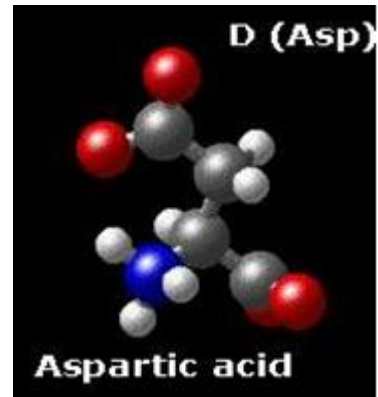
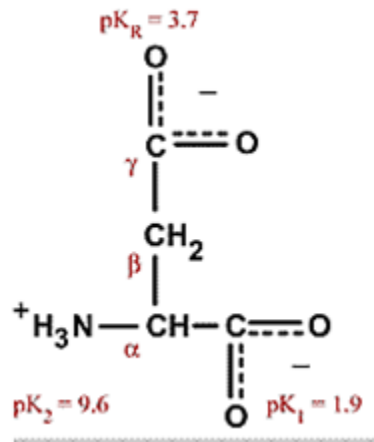
2. Arginin



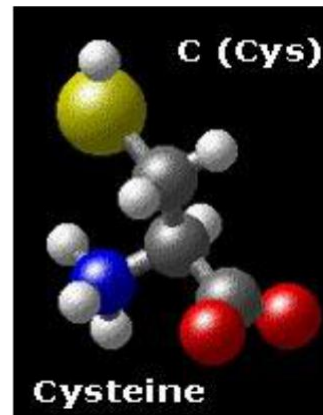
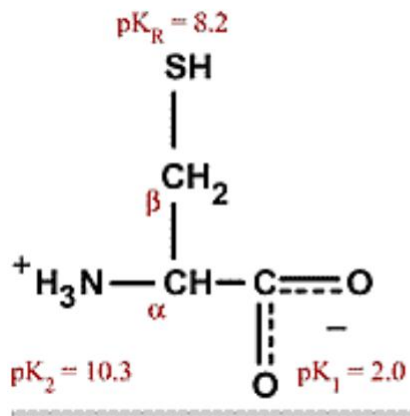
3. Asparagin (asparagine)



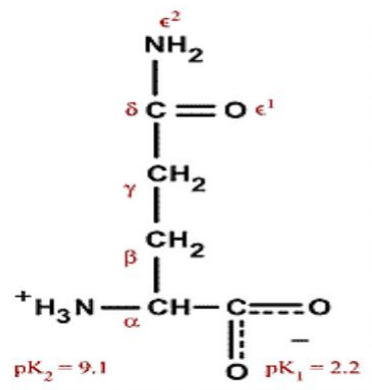
4. Asam aspartat (aspartic acid)



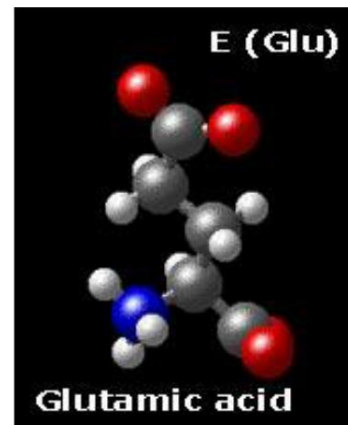
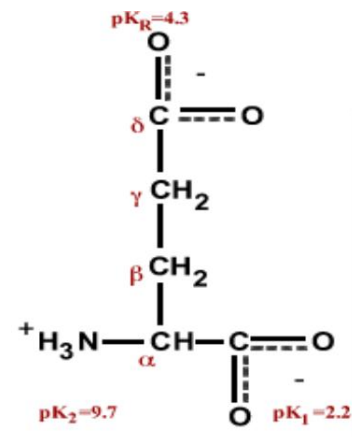
5. Sistein (cystine)



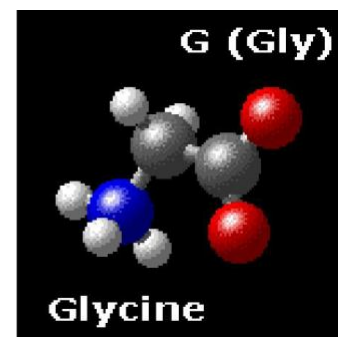
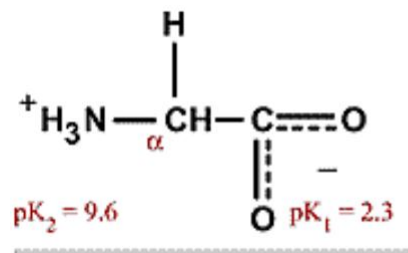
6. Glutamin (Glutamine)



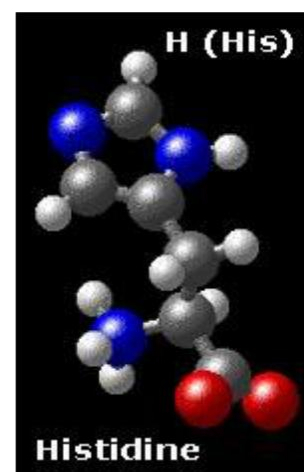
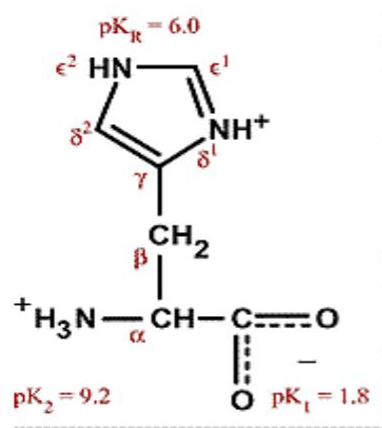
7. Asam glutamat (glutamic acid)



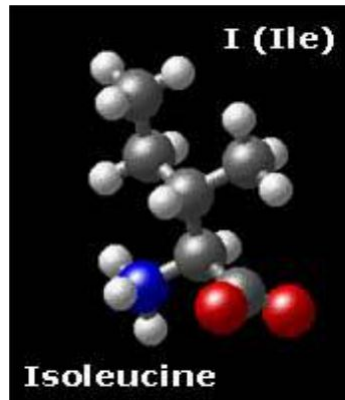
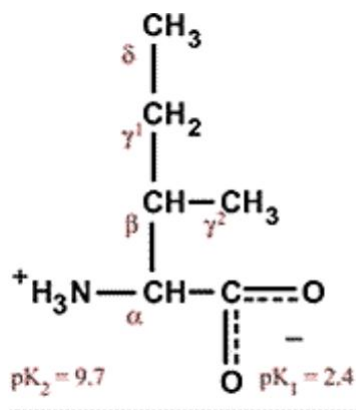
8. Glisin (Glycine)



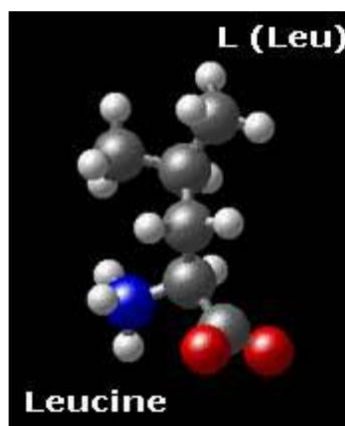
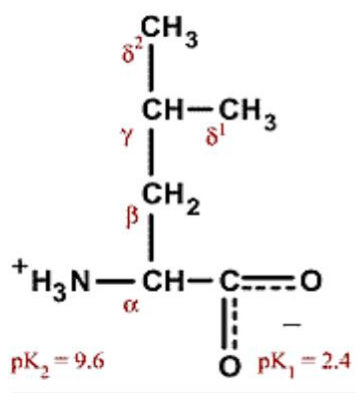
9. Histidin (histidine)



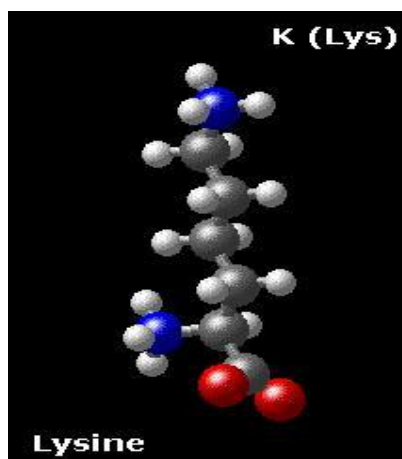
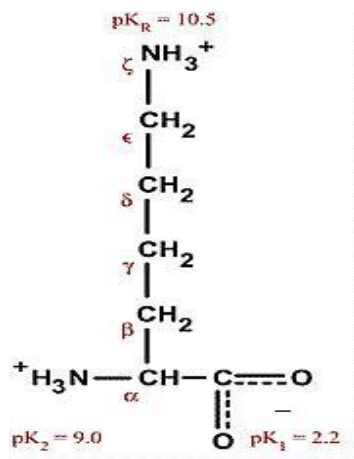
10. Isoleusin (isoleucine)



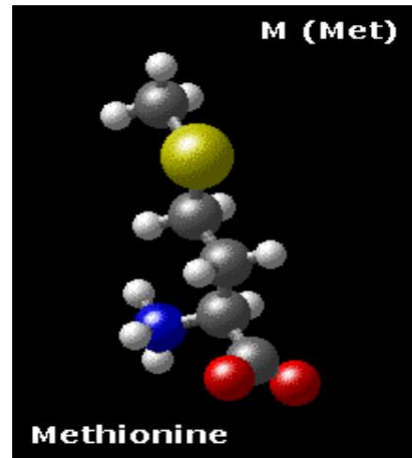
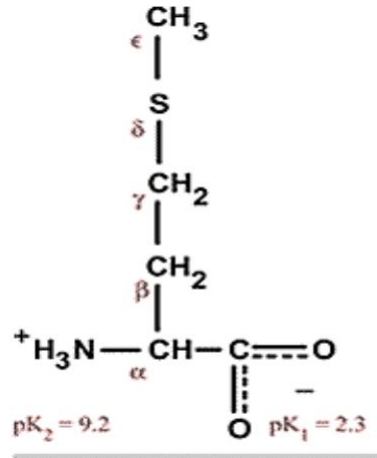
11. Leusin (leucine)



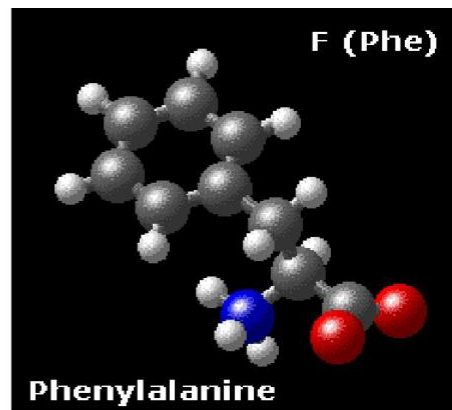
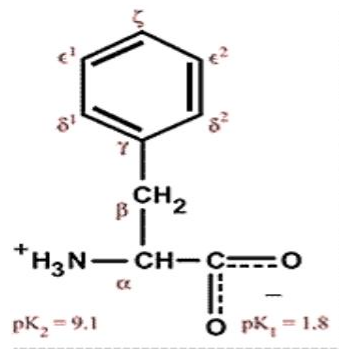
12. Lysin (Lysine)



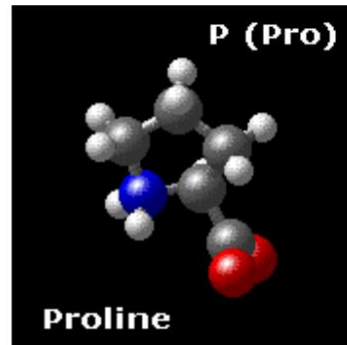
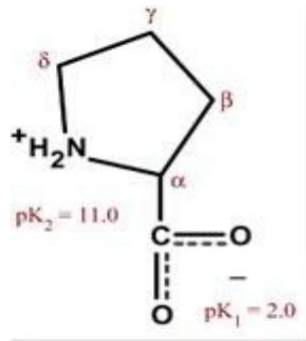
13. Metionin (methionine)



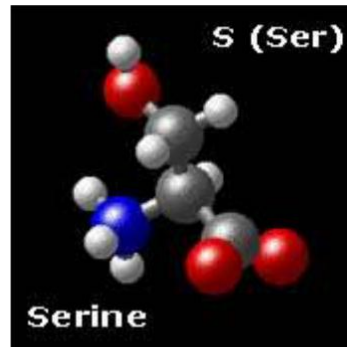
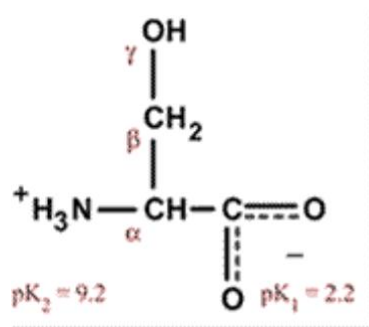
14. Fenilalanin (phenylalanine)



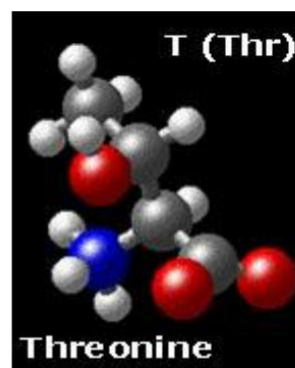
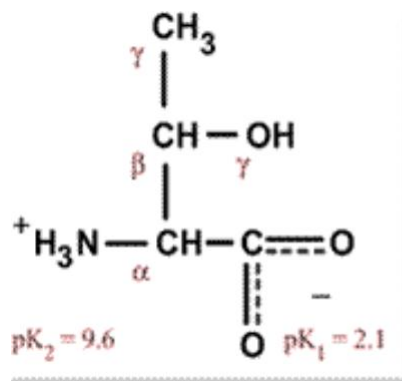
15. Prolin (proline)



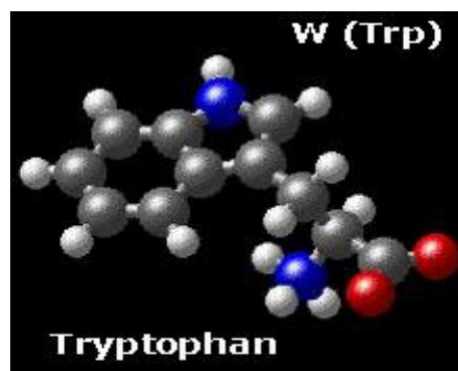
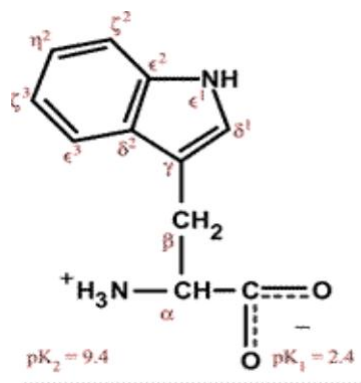
16. Serin (Serine)



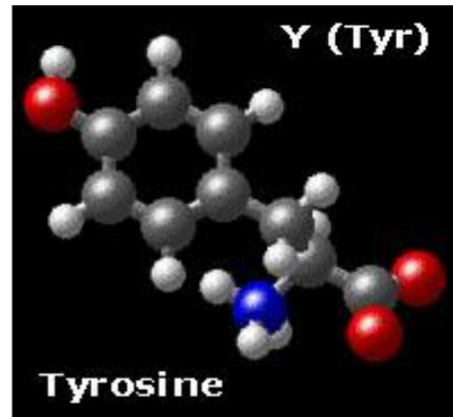
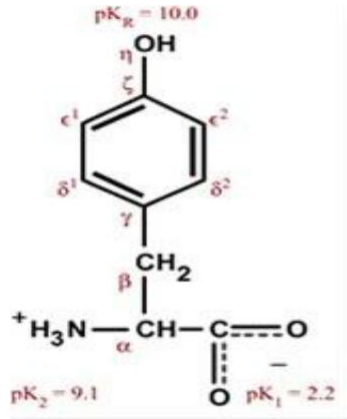
17. Treonin (Threonine)



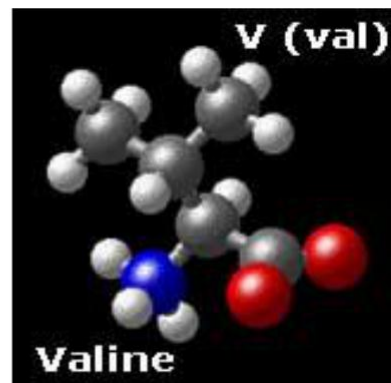
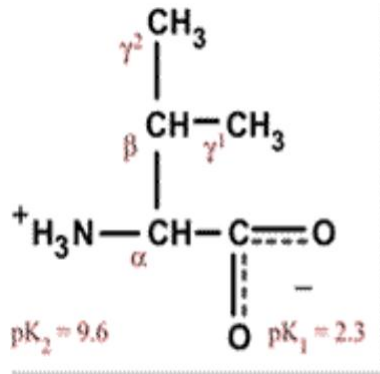
18. Triptofan (Tryptophan)



19. Tirosin (tyrosine)



20. Valin(valine)

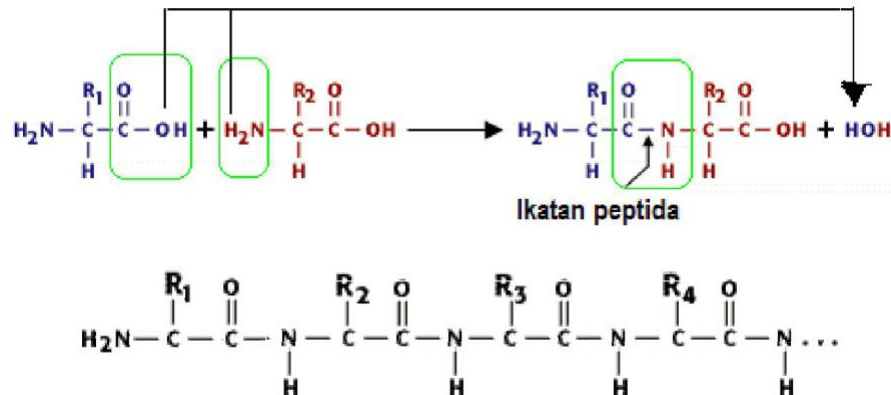


Gambar 2.3 Struktur 20 macam asam amino

2.4. Ikatan peptida

Kedua puluh macam asam amino saling berikatan, dengan urutan yang beraneka ragam untuk membentuk protein. Proses pembentukan protein dari asam-asam amino ini dinamakan sintesis protein. Ikatan antara asam amino yang satu dengan lainnya disebut ikatan peptida. Ikatan peptida ini dapat disebut juga sebagai ikatan amida. Peptida dan protein merupakan polimer kondensasi asam amino dengan penghilangan unsur air dari gugus amino dan gugus karboksil. Jika bobot molekul senyawa lebih kecil dari 6.000, biasanya digolongkan sebagai polipeptida.

Mari kita pelajari ke mbali struktur dasar asam amino. Pada prote in atau rantai asam amino, gugus karboks il (-COOH) berikatan dengan gugus amino (- NH₂). Setiap terbentuk satu ikatan peptid a, dikeluarkan 1 molekul air (H₂O). Agar lebih jelas, lihat Gambar 2.4.



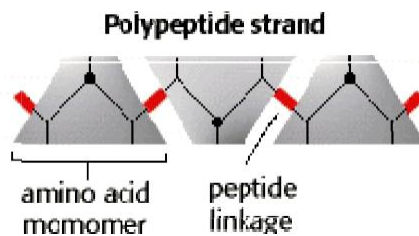
Gambar 2.4 Pembentukan ikatan peptida

2.5. Tingkat Struktur Protein

Ada 4 tingkat struktu r protein yaitu struktur primer, struktur sekunder, struktur tersier dan struktur kuartener.

a. Struktur primer

Struktur primer adalah urutan linier asam-asam amino yang mem bentuk rantai polipeptida (Gambar 2.5).



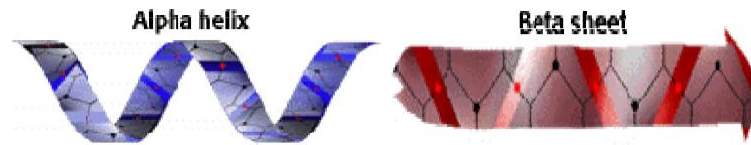
Gambar 2.5 Struktur primer protein

b. Struktur sekunder

Struktur sekunder protein bersifat reguler, pola lipatan berulang dari rangka protein.

Suatu polipeptida cenderung membentuk struktur sekunder karena regularitas rangka.

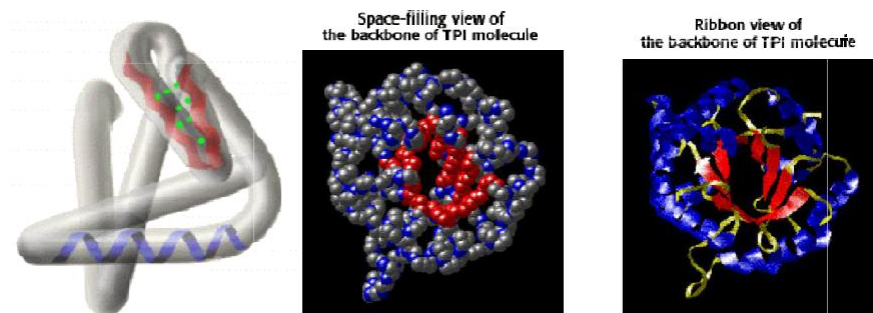
Dua pola terbanyak adalah α helix dan beta sheet. Lihat Gambar 2.6



Gambar 2.6 α helix dan beta sheet sebagai struktur sekunder protein

c. Struktur tersier

Struktur tersier protein adalah lipatan secara keseluruhan dari rantai polipeptida sehingga membentuk struktur 3 dimensi tertentu. Sebagai contoh, struktur tersier enzim sering padat, berbentuk globuler. Lihat contoh Gambar 2.7.

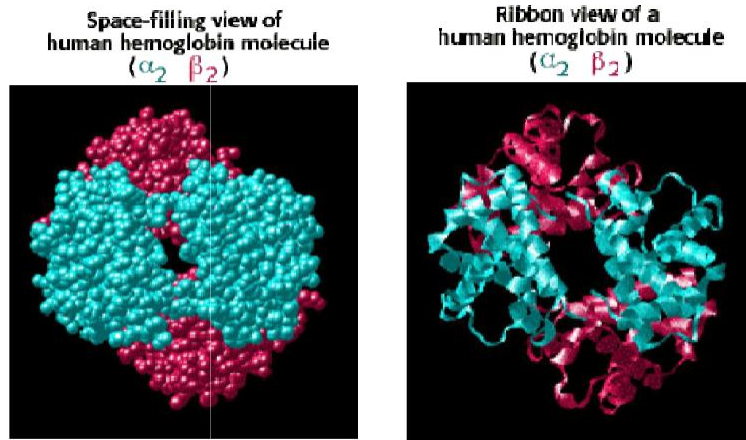


Gambar 2.7 Struktur tersier dari protein enzim triosa fosfat isomerase (TPI)

d. Struktur kuarterner

Beberapa protein tersusun atas lebih dari satu rantai polipeptida. Struktur kuarterner menggambarkan subunit-subunit yang berbeda dipak bersama-sama membentuk

struktur protein yang kompleks rantai multiple (multichain). Sebagai contoh adalah molekul hemoglobin manusia yang tersusun atas 4 subunit, yang dipaparkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur h emoglobin yang merupakan struktur kuartener protein

2.6. Denaturasi

Aktivitas biologis protein tergantung pada susunan 3 dimensi yang tepat dari gugus fungsionalnya. Jadi protein dapat berfungsi hanya bila melipat pada konformasi asli. Struktur protein dapat terganggu oleh keadaan suhu yang tinggi, pH yang ekstrim, adanya pelarut organik yang dapat memperlemah interaksi non kovalen. Denaturasi mengganggu aktivitas biologik protein dan struktur sekunder, tersier, dan kuartener. Pada struktur primer tetap utuh. Namun adanya ikatan sulfida pada protein membuat protein lebih tahan terhadap perlakuan-perlakuan yang membuat protein rusak.

2.7. Pencernaan Protein

Protein dalam makanan dicerna menjadi peptosa kemudian diubah menjadi pepton dan diubah menjadi polipeptida, polipeptida di hidrolisis oleh enzim menjadi asam amino. Dengan adanya HCl lambung berfungsi untuk :

1. Mengaktifkan proenzim
2. Denaturasi protein
3. pH optimum pepsin akan menghidrolisis protein dalam lambung selanjutnya pencernaan diteruskan dalam usus oleh enzim-enzim endopeptidase lainnya dan enzim-enzim eksopeptidase . Dipeptida dicerna oleh dipeptidase. Asam amino yang terbentuk akan diserap masuk ke dalam darah.

Beberapa sifat pada absorpsi asam amino :

- a. Bersifat selektif
- b. Absorpsi l-asam amino lebih cepat dari pada d-asam amino
- c. Perlu energi (transpor aktif)
- d. Dapat dari kadar rendah ke tinggi
- e. Pada keadaan normal tak terjadi absorpsi protein atau polipeptida
- f. Pada keadaan tertentu dapat terjadi absorpsi protein/ polipeptida (sedikit)
misalnya pada keadaan alergi
- g. Bayi dapat mengabsorpsi antibodi dalam air susu ibu (colostrums) melalui pinocytosis.

2.8. Metabolisme Asam Amino

Asam amino yang terbentuk di usus akan diabsorpsi dan dibawa oleh peredaran darah ke dalam sel-sel tubuh. Metabolisme asam amino berlangsung di dalam sel. Proses katabolisme berlangsung :

- a. Katabolisme nitrogen asam amino membentuk urea
- b. Katabolime kerangka karbon asam amino membentuk senyawa amfibolik

Pada proses anabolisme terjadi sintesis protein, dari 20 macam asam amino dasar yang 10 macam adalah asam amino esensial akan membentuk produk khusus. Jika asam amino dari makanan berlebihan (melebihi kebutuhan tubuh untuk sintesis protein) maka kelebihan/sisanya tak dapat ditimbun tetapi diubah menjadi lemak sebagai cadangan kalori tubuh.

Pada keadaan berlebihan dari makanan asam amino digunakan untuk :

- a. Sintesis protein
- b. Untuk sintesis produk khusus (serotonin) dan lain-lain
- c. Senyawa sisa maka dikatabolisme, nitrogen diubah menjadi urea, senyawa dengan kerangka C diubah menjadi senyawa amfibolik (misalnya anggota siklus asam sitrat) kemudian disintesis lemak dan sintesis glikogen

Pada keadaan kelaparan maka penguraian (katabolisme) asam amino meningkat, nitrogen di ubah menjadi urea, kerangka C diubah menjadi senyawa amfibolik yang kemudian dibentuk energi dan di sintesis glukosa.

Keadaan tubuh pada keseimbangan nitrogen

- a. Protein dalam tubuh bersifat dinamis, selalu ada sintesis dan degradasi
- b. Dengan mengukur jumlah nitrogen yg masuk dan keluar kita dapat memperkirakan kondisi metabolisme protein tubuh, oleh karena nitrogen dalam tubuh terutama terdapat pada protein
- c. Senyawa nitrogen masuk tubuh lewat makanan
- d. Senyawa nitrogen yang keluar tubuh lewat urin, keringat dan feces

Keseimbangan nitrogen tubuh dikatakan positif bila N masuk tubuh lebih besar dari N yang keluar dari tubuh ini berarti sintesis protein lebih besar dari penguraiannya, hal ini terjadi pada masa penyembuhan, masa pertumbuhan, masa hamil, keseimbangan nitrogen yang kurang berarti penguraian (katabolisme) protein lebih besar, terjadi misalnya pada waktu kelaparan dan sakit. Keseimbangan nitrogen yang setimbang terdapat pada orang dewasa normal dan sehat

2.9. Uji Kualitatif, Uji Kelarutan dan Penentuan Titik Isoelektrik Protein

Protein banyak terkandung di dalam makanan yang sering dikonsumsi oleh manusia, seperti pada tempe, tahu, ikan dan lain sebagainya. Secara umum, sumber dari protein adalah dari sumber nabati dan hewani.

Analisa protein secara kualitatif bertujuan untuk mengetahui adanya ikatan peptida dari suatu protein, membuktikan adanya asam amino bebas dalam suatu protein, membuktikan adanya asam amino yang berinti benzena, mengetahui kelarutan protein terhadap suatu pelarut tertentu, dan mengetahui titik isoelektrik dari suatu protein secara kualitatif.

Buiuret adalah senyawa dengan dua ikatan peptida yang terbentuk pada pemanasan dua molekul urea. Ion Cu^{2+} dari preaksi Biuret dalam suasana basa akan bereaksi dengan polipeptida atau ikatan-ikatan peptida yang menyusun protein

membentuk senyawa kompleks berwarna ungu atau violet. Reaksi ini positif terhadap dua buah ikatan peptida atau lebih, tetapi negatif untuk asam amino bebas atau dipeptida.

Semua asam amino, atau peptida yang mengandung asam- α amino bebas akan bereaksi dengan ninhidrin membentuk senyawa kompleks berwarna biru-ungu. Namun, prolin dan hidroksiprolin menghasilkan senyawa berwarna kuning.

Protein mengandung asam amino berinti benzen, jika ditambahkan asam nitrat pekat akan mengendap dengan endapan berwarna putih yang dapat berubah menjadi kuning sewaktu dipanaskan. Senyawa nitro yang terbentuk dalam suasana basa akan terionisasi dan warnanya akan berubah menjadi lebih tua atau jingga. Reaksi ini didasarkan pada uji nitration inti benzena yang terdapat pada molekul protein menjadi senyawa nitro yang berwarna kuning

Protein bersifat amfoter, yaitu dapat bereaksi dengan larutan asam dan basa. Daya larut protein berbeda di dalam air, asam, dan basa; ada yang mudah larut dan ada yang sukar larut. Namun, semua protein tidak larut dalam pelarut lemak seperti eter dan kloroform. Apabila protein dipanaskan atau ditambah etanol absolut, maka protein akan menggumpal (terkoagulasi). Hal ini disebabkan etanol menarik mantel air yang melingkupi molekul-molekul protein.

Kelarutan protein di dalam suatu cairan, sesungguhnya sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, pH, suhu, kekuatan ionik dan konstanta dielektrik pelarutnya. Protein seperti asam amino bebas memiliki titik isoelektrik yang berbeda-beda. Titik Isoelektrik (TI) adalah daerah pH tertentu dimana protein tidak mempunyai selisih muatan atau jumlah muatan positif dan negatifnya sama, sehingga tidak bergerak ketika diletakkan dalam medan listrik. Pada pH isoelektrik (pI), suatu protein sangat mudah diendapkan karena pada saat itu muatan listriknya nol.

Poliipeptida mempunyai perbedaan dengan protein. Poliipeptida mempunyai residu asam amino ≤ 100 dan bobot molekul ≤ 6.000 . Sedangkan, pada protein residu asam aminonya ≥ 100 dan bobot molekulnya ≥ 6.000 . Pada praktikum ini, zat uji Glisin menunjukkan hasil negatif dengan indikasi terbentuknya warna biru adalah karena tidak adanya ikatan peptida. Glisin adalah salah satu asam amino esensial dengan rumus bangun $\text{NH}_2\text{—CH}_2\text{CO}_2\text{H}$. Sedangkan pada Albumin, Gelatin dan Kasein rumus

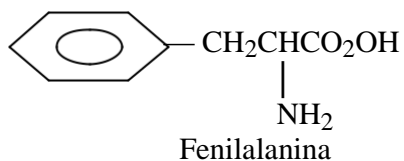
bangunnya lebih kompleks dan mengikat dua atau lebih asam amino esensial, sehingga terbentuk ikatan peptida.

Asam amino bebas adalah asam amino dimana gugus aminonya tidak terikat. Pada praktikum di atas, albumin, gelatin, dan fenilalanina membentuk warna ungu karena dapat bereaksi dengan Ninhidrin. Hal ini menandakan ketiga zat uji tersebut mempunyai gugus asam amino bebas.

Sebaliknya, pada kasein dan pepton tidak diperoleh indikasi terbentuk atau adanya asam amino bebas, karena reaksi dengan ninhidrin tidak berwarna sampai membentuk warna merah muda. Semakin banyak ninhidrin pada zat uji yang dapat bereaksi, semakin pekat warnanya. Hal ini juga mendasari bahwa uji Ninhidrin dapat digunakan untuk menentukan asam amino secara kuantitatif.

Ada sebagian peptida dan protein yang mempunyai gugus asam amino berinti benzena. Seperti fenilalanina, tirosin, albumin, triptofan dan lain sebagainya. Pada praktikum di atas, hasil positif pada zat uji albumin dan triptofan mengindikasikan keduanya terdapat inti benzena, yaitu dengan indikasi terbentuknya lapisan jingga atau kuning jingga.

Sedangkan, pada kasein dan gelatin menghasilkan lapisan merah dan bening mengindikasikan negatif. Berikut contoh struktur protein yang berinti benzena :



Protein mempunyai kemampuan untuk larut pada beberapa zat pelarut, karena pada dasarnya protein bersifat amfoter. Pada analisa protein di atas, protein (albumin dan gelatin) tidak larut hanya pada NaOH 40 % dan kloroform. Karena, keduanya adalah pelarut lemak.

BAB III

LEMAK

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
3	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang lipid, struktur lipid, penggolongan lipid, metabolisme lipid.	Lipid	3.1 Pendahuluan 3.2 Golongan lipid, struktur lipid, sifat lipid 3.3 Metabolisme Lipid 3.4 Oksidasi Asam Lemak 3.5 Sintesis Asam Lemak.

3.1 Pendahuluan

Lipid atau yang biasa kita kenal lemak adalah senyawa kimia yang amat penting bagi tubuh kita selain karbohidrat. Atau disebut juga senyawa biologis yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari gugus nonpolar. Fungsi struktur lipid yaitu mengisi struktur tubuh dibawah kulit, seperti di sekitar organ-organ tubuh yang halus, lunak dan vital, mengisi rongga-rongga yang kosong dan memperindah bentuk tubuh terutama pada wanita. Selain itu berfungsi juga sebagai isolator tubuh, baik terhadap perubahan suhu maupun terhadap benturan-benturan. Lipid banyak terdapat pada jaringan syaraf dan otak.

3.2 Golongan lipid, struktur lipid, sifat lipid

Lipid terdiri dari beberapa golongan senyawa, namun mempunyai sifat umum yang sama dalam hal kelarutannya. Umumnya lipid tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik. Identifikasi untuk mengenali hasil-hasil hidrolisisnya, dan dari hasil hidrolisis lipid dapat digolongkan.

a. Lipid sederhana

Yang termasuk lipid sederhana adalah ester asam-asam lemak dengan berbagai jenis alkohol. Lipid sederhana terbagi lemak dan minyak yang merupakan ester-ester asam lemak dengan gliserol. Dan yang kedua wax yaitu ester asam-asam lemak dengan alkohol monohidroksi berantai panjang.

b. Lipid majemuk

Adalah ester-ester asam lemak yang mengandung gugus lain selain alkohol dan asam lemak, terbagi menjadi tiga golongan.

- a) Fosfolipid
- b) Selebrisida (glikolipid)
- c) Lipid majemuk.

c. Turunan lipid

Adalah senyawa-senyawa hasil hidrolisis kedua kelas diatas. Kelarutannya secara umum merupai lipid namun tidak dapat dihidrolisis lagi.

Struktur dan tata nama

a. Lemak, minyak dan malam

Molekul lemak adalah suatu gliserol yakni ester dengan asam lemaknya. Asam lemaknya adalah asam karboksilat jenuh dengan jumlah atom karbon genap antara 4 – 24 atom C. Berdasarkan jumlah gugus OH dari gliserol yang teresterkan oleh asam lemak, gliserida-gliserida dinamai monoasilgliserol, diasilgliserol dan triasilgliserol, begitu juga penamaan pada gliserida.

b. Fosfolipid.

Adalah golongan senyawa turunan ester gliserol monofosfat yakni asam fospatidat. Berdasar ester fosfatnya fosfolipid dibedakan atas :

1. Asam fosfatidat
2. Fosfatidilkolin
3. Fosfatidiletanolamin
4. Fosfatidilinositol
5. Fosfatidilserin
6. Liso fosfolipid
7. Fosfoliserasetal
8. Sfingomielin.

c. Serebrosida

d. Steroid

e. Senyawa-senyawa poliprenoid

Sifat-sifat lipid sederhana

a. Sifat fisik

Molekul lemak, minyak dan malam mengandung atom C antara 15-60 buah. Sifat senyawa ini serupa dengan parafin, yakni non polar, titik lelehnya rendah, tidak larut dalam air dan larut dalam pelarut-pelarut organik. Berat jenisnya lebih kecil dari air (0,86-0,93). Bila minyak digosok dengan air akan terbentuk emulsi yang tidak stabil.

b. Reaksi – reaksi kimia

Reaksi- reaksi kimia yang lazim dijumpai :

1. Hidrolisis
2. Saponifikasi
3. Hidrogenasi
4. Ketengikan
5. Pirolisis
6. Oksidasi spontan

Sabun dan deterjen

Jika minyak dan air dikocok dalam tabung reaksi maka terjadi emulsi yang tidak stabil. Minyak dan air akan bersatu kembali. Jika dalam pengocokan diberikan sabun maka akan terjadi emulsi minyak dalam air yang stabil. Bagi molekul sabun yang non polar masuk ke dalam butiran emulsi minyak dan bagian molekulnya yang polar berada di luar permukaan butiran minyak (dalam medium air).

Begitu juga halnya jika menggunakan deterjen struktur zat aktif permukaan dalam deterjen terdiri dari bagian non polar sebagai gugus hidrofobiknya dan bagian polar sebagai gugus hidrofiliknya.

3.3. Metabolisme lipid

a. Asam lemak

Asam lemak merupakan sekelompok senyawa hidrokarbon yang berantai panjang dengan gugus karboksilat pada ujungnya.

Asam lemak memiliki empat peranan utama.

- a.1. Asam lemak merupakan unit penyusun fosfolipid dan glikolipid. Molekul-molekul amfipatik ini merupakan komponen penting bagi membran biologi.
- a.2. Banyak protein dimodifikasi oleh ikatan kovalen asam lemak, yang menempatkan protein-protein tersebut ke lokasi-lokasinya pada membran.
- a.3. Asam lemak merupakan molekul bahan bakar. Asam lemak disimpan dalam bentuk triasilgliserol, yang merupakan ester gliserol yang tidak bermuatan. Triasilgliserol disebut juga lemak netral atau trigliserida.
- a.4. Derivat asam lemak berperan sebagai hormon dan cakra intrasel.

Nama asam lemak secara sistematis berasal dari nama hidrokarbon induknya dengan mensubstitusikan *-oat* untuk akhiran terakhir. Misalnya, asam lemak jenuh C_{18} disebut asam oktadekanoat sebab hidrokarbon induknya adalah oktadekana. Suatu asam lemak C_{18} dengan satu ikatan rangkap disebut asam okta desinoat, dengan dua ikatan rangkap disebut okta dienoat, dengan tiga ikatan rangkap, okta trinoat. Simbol 18:0 menyatakan suatu asam lemak C_{18} tanpa ikatan rangkap, sedangkan 18:2 menandakan adanya dua ikatan rangkap. Pada asam lemak dimulai dari ujung karboksil.

Nomor atom Karbon $H_3C - (CH_2)_n - CH_2 - CH_2 - C$

Atom karbon kedua dan ketiga sering disebut sebagai α dan β . Gugus metil pada ujung distal rantai disebut karbon ω . Posisi ikatan rangkap diperlihatkan oleh symbol diikuti oleh nomer superskrip. Misalnya *sis* - 9 berarti terdapat ikatan rangkap *sis* antara atom karbon 9 dan 10; *trans*- 2 berarti terdapat ikatan rangkap *trans* antara atom karbon 2 dan 3. Sebaliknya posisi ikatan rangkap dapat dinyatakan dengan cara menghitung dari ujung distal, dengan atom karbon ω (karbon metil) sebagai atom karbon nomer 1. struktur asam lemak ω - 3 misalnya, diperlihatkan di sebelah kiri. Asam lemak terionisasi pada pH fisiologis, jadi lebih tepat bila asam lemak disebut menurut bentuk karboksilatnya misalnya palmitat atau heksadekanoat.

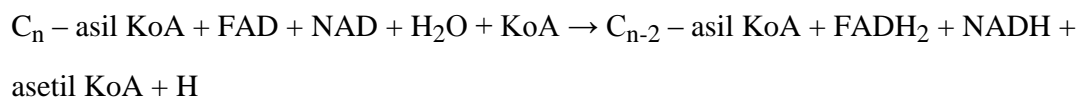
Triasilgliserol merupakan cadangan energi yang sangat besar karena dalam bentuk tereduksi dan bentuk anhidrat. Oksidasi sempurna asam lemak menghasilkan energi sebesar 9 kkal/g dibandingkan karbohidrat dan protein yang menghasilkan energi sebesar 4 kkal/g. Ini disebabkan karena asam lemak jauh lebih tereduksi. Lagi pula triasilgliserol sangat non polar sehingga tersimpan dalam keadaan anhidrat, sedangkan protein dan karbohidrat lebih polar, sehingga bersifat terhidratasi. Satu gram glikogen kering akan mengikat sekitar dua gram air maka satu gram lemak anhidrat menyimpan energi enam kali lebih banyak dari pada energi yang dapat disimpan oleh satu gram glikogen yang terhidratasi. Ini menyebabkan triasilgliserol dijadikan simpanan energi yang lebih utama dibanding glikogen. Sel adipose dikhususkan untuk sintesis dan penyimpanan triasilgliserol serta untuk mobilisasi triasilgliserol menjadi molekul bahan bakar yang akan dipindahkan ke jaringan lain oleh darah.

3.4 Oksidasi Asam Lemak

Pada tahun 1904, Franz Knoop menerangkan bahwa asam lemak itu dipecah melalui oksidasi pada karbon $-\beta$. terjadinya oksidasi asam lemak di mitokondria. Di mana asam lemak sebelum memasuki mitokondria mengalami aktivasi adenosin trifosfat (ATP) memacu pembentukan ikatan tioester antara gugus karboksil asam lemak dengan gugus sulfhidril pada KoA. Reaksi pengaktifan ini berlangsung di luar mitokondria dan dikatalisis oleh enzim asil KoA sintetase (tiokinase asam lemak).

Oksidasi sempurna asam palmitat

Kita dapat menghitung energi yang dihasilkan dari oksidasi suatu asam lemak. Pada tiap daur reaksi, asil KoA diperpendek dua karbon dan satu FADH_2 , NADH dan asetil KoA terbentuk.



Pemecahan palmitoil KoA (C_{16} - asil KoA) memerlukan tujuh daur reaksi. Pada daur ketujuh, C_4 - ketoasil KoA mengalami tiolisis menjadi dua molekul asetil KoA. Dengan demikian stoikiometri oksidasi palmitoil KoA menjadi.



Dua setengah ATP akan terbentuk per NADH yang dioksidasi pada rantai pernafasan, sedangkan 1,5 ATP akan terbentuk untuk tiap FADH_2 . Jika diingat bahwa oksidasi asetil KoA oleh daur asam sitrat menghasilkan 10 ATP, maka jumlah ATP yang terbentuk pada oksidasi palmitoil KoA adalah 10,5 dari 7 FADH_2 , 17,5 dari 7 NADH dan 80 dari 8 molekul asetil KoA, sehingga jumlah keseluruhannya adalah 108. Dua ikatan fosfat energi tinggi dipakai untuk mengaktifkan palmitat, saat ATP terpecah menjadi AMP dan 2 P_i . Jadi oksidasi sempurna satu molekul asam palmitat menghasilkan 106 ATP.

Oksidasi asam lemak tak jenuh.

Oksidasi asam lemak tak jenuh reaksinya sama seperti reaksi oksidasi asam lemak jenuh. Hanya diperlukan tambahan dua enzim lagi yaitu isomerase dan reduktase untuk memecah asam-asam lemak tak jenuh.

Oksidasi asam palmitoleat atau asam lemak C_{16} yang memiliki ikatan rangkap antara C- 9 dan C –10 ini diaktifkan dan diangkut melintasi membran dalam mitokondria dengan cara yang sama dengan asam lemak jenuh. Selanjutnya palmitoleil KoA mengalami tiga kali pemecahan dengan enzim-enzim yang sama seperti oksidasi asam lemak jenuh. Enoil KoA – sis - Δ^3 yang terbentuk pada ketiga kali jalur oksidasi bukanlah substrat bagi asil KoA dehidrogenase. Adanya ikatan rangkap antara C-3 dan C-4 menghalangi pembentukan ikatan rangkap lainnya antar C – 2 dan C – 3. Kendala ini dapat diatasi oleh suatu reaksi yang mengubah posisi dan konfigurasi dari ikatan rangkap sis - Δ^3 . Suatu isomerase mengubah ikatan rangkap ini menjadi ikatan rangkap trans - Δ^2 . Reaksi- reaksi berikutnya mengikuti reaksi oksidasi asam lemak jenuh saat enoil KoA – trans - Δ^2 merupakan substrat yang reguler.

Satu enzim tambahan lagi diperlukan untuk oksidasi asam lemak tak jenuh jamak. Misalnya asam lemak tak jenuh jamak C_{18} yaitu linoleat , dengan ikatan rangkap sis - Δ^9 dan sis Δ^{12} Ikatan rangkap sis - Δ^3 yang terbentuk setelah tiga daur oksidasi – β , diubah menjadi ikatan rangkap trans - Δ^2 oleh isomerase tersebut di atas, seperti pada oksidasi palmitoleat . Ikatan rangkap sis - Δ^{12} - linoleat menghadapi masalah baru. Asil KoA yang dihasilkan oleh empat daur oksidasi β mengandung ikatan rangkap rangkap sis - Δ^4 . dehidrogenase pada spesies ini oleh asil Koa dehidrogenase menghasilkan zat antara 2,4 – dienoil yang bukan substrat bagi enzim berikutnya pada jalur oksidasi β . Kendala ini dapat diatasi oleh 2,4 - dienoil – KoA reduktase, suatu enzim yang menggunakan NADH

untuk mereduksi zat antara 2,4 – dienoil menjadi enoil KoA – sis - Δ^3 . Isomerase tersebut di atas kemudian mengubah enoil KoA – sis - Δ^3 menjadi bentuk trans, suatu zat antara yang lazim pada oksidasi – β . Jadi ikatan rangkap yang letaknya pada atom C nomer ganjil ditangani oleh isomerase dan ikatan rangkap yang terletak pada atom C nomor genap ditangani oleh reduktase dan isomerase.

Oksidasi asam lemak dengan nomor atom karbon ganjil.

Asam lemak yang memiliki jumlah karbon ganjil merupakan spesies jarang. Asam lemak ini dioksidasi dengan cara yang sama seperti oksidasi asam lemak dengan jumlah atom karbon genap, kecuali pada daur akhir degradasi akan terbentuk propionil KoA dan asetil KoA, bukan dua molekul asetil KoA. Unit – tiga karbon aktif pada propionil KoA memasuki daur asam sitrat setelah diubah menjadi suksinil KoA.

Proses Ketogenesis

Asetil KoA yang terbentuk pada oksidasi asam lemak akan memasuki daur asam sitrat hanya jika pemecahan lemak dan karbohidrat terjadi secara berimbang. Karena masuknya asetil KoA ke dalam daur asam sitrat tergantung pada tersedianya oksaloasetat untuk pembentukan sitrat. Tetapi konsentrasi oksaloasetat akan menurun jika karbohidrat tidak tersedia atau penggunaannya tidak sebagaimana mestinya. Oksaloasetat dalam keadaan normal dibentuk dari piruvat.

Pada puasa atau diabetes, oksaloasetat dipakai untuk membentuk glukosa pada jalur glukoneogenesis dan demikian tidak tersedia untuk kondensasi dengan asetil KoA. Pada keadaan ini asetil KoA dialihkan ke pembentukan asetoasetat dan D-3- hidroksibutirat. Asetoasetat, D- 3- hidroksibutirat dan Aseton disebut dengan zat keton.

Asetoasetat dibentuk dari asetil KoA dalam tiga tahap. Dua molekul asetil KoA berkondensasi membentuk asetoasetil KoA. Reaksi yang dikatalisis oleh tiolase ini merupakan kebalikan dari tahap tiolisis pada oksidasi asam lemak. Selanjutnya asetoasetil KoA bereaksi dengan asetil KoA dan air untuk menghasilkan 3 - hidroksi – 3 – metilglutaril KoA (HMG – KoA) dan KoA . Kondensasi ini mirip dengan kondensasi yang dikatalisis oleh sitrat sintase. Keseimbangan yang tidak menguntungkan bagi pembentukan asetoasetil KoA diimbangi oleh reaksi ini, yang keseimbangannya menguntungkan karena hidrolisis iaktan tioester . 3 – Hidroksi – 3 – metilglutaril KoA kemudian terpecah menjadi asetil KoA dan asetoasetat. Hasil dari keseluruhan reaksi

adalah 2 Asetil KoA + H₂O Asetoasetat + 2 KoA H⁺ 3 – Hidroksibutirat terbentuk melalui reduksi asetoasetat di matriks mitokondria. Rasio hidroksibutirat terhadap asetoasetat tergantung pada rasio NADH / NAD⁺ di dalam mitokondria . Karena merupakan asam keto – β , asetoasetat secara lambat mengalami dekarboksilasi spontan menjadi aseton . bau aseton dapat dideteksi dalam udara pernafasan seseorang yang kadar asetoasetat dalam darahnya tinggi.

Asetoasetat adalah merupakan salah satu bahan bakar yang utama dalam jaringan. Situs utama produksi asetoasetat dan 3 – hidroksibutirat adalah hati. Senyawa- senyawa ini berdifusi dari mitokondria hati ke dalam darah dan diangkut ke jaringan perifer. Asetoasetat dan 3- hidroksibutirat merupakan bahan bakar normal pada metabolisme energi dan secara kuantitatif penting sebagai sumber energi .Otot jantung dan korteks ginjal menggunakan asetoasetat sebagai sumber energi disbanding glukosa. Glukosa merupakan bahan b akar utama bagi otak dan sel darah merah pada orang yang mempunyai gizi baik dengan diet seimbang. Tapi otak dapat beradaptasi dan menggunakan asetoasetat dalam keadaan kelaparan dan diabetes. Pada kelaparan berkepanjangan, 75% bahan bakar yang diperlukan oleh otak didapat dari asetoasetat. Asetoasetat dapat diaktifkan melalui pemindahan KoA dari suksinil KoA dalam suatu reaksi yang dikatalisis oleh suatu koA transferase spesifik. Kemudian, asetoasetil KoA dipecah oleh tiolase menjadi dua molekul asetil KoA, yang selanjutnya memasuki daur asam sitrat. Hati dapat membekali organ-organ lain dengan asetoasetat karena hati tidak memiliki KoA transferase spesifik ini.

Asam lemak dilepaskan oleh jaringan adiposa dan diubah menjadi unit- unit astil oleh hati, yang kemudian mengeluarkannya sebagai asetoasetat .Kadar asetoasetat yang tinggi dalam darah menandakan berlimpahnya unit asetil yang menyebabkan berkurangnya laju lipolisis di jaringan adiposa.

3.5 Sintesis Asam lemak.

Sintesis asam lemak bukan merupakan kebalikan dari jalur pemecahannya. Sintesis asam lemak lebih merupakan seperangkat reaksi, yang menunjukkan prinsip bahwa jalur sintesis dan jalur pemecahan dalam system biologis biasanya berbeda. Beberapa ciri penting jalur biosintesis asam lemak adalah :

1. Sintesis berlangsung di luar mitokondria, oksidasi terjadi di dalam matriks mitokondria.
2. Zat antara pada sintesis asam lemak berikatan kovalen dengan gugus sulfhidril pada protein – pembawa asil (ACP), sedangkan zat antara pada pemecahan asam lemak berikatan dengan koenzim A.
3. Enzim – enzim pada sintesis asam lemak pada organisme yang lebih tinggi tergabung dalam suatu rantai polipeptida tunggal, yang disebut sintase asam lemak. Sebaliknya, enzim – enzim pemecahan tampaknya tidak saling berikatan.
4. Rantai asam lemak yang sedang tumbuh, diperpanjang dengan cara penambahan berturut – turut unit dua karbon yang berasal dari asetil KoA. Donor aktif unit dua karbon pada tahap perpanjangan adalah malonil – ACP. Reaksi perpanjangan dipacu oleh pelepasan CO₂.
5. Reduktor pada sintesis asam lemak adalah NADPH, sedangkan oksidator pada pemecahan asam lemak adalah NAD dan FAD.
6. Perpanjangan rantai oleh kompleks sintase asam lemak terhenti setelah terbentuknya palmitat (C16). Perpanjangan rantai lebih lanjut dan penyisipan ikatan rangkap oleh system enzim yang lain.

BAB IV ENZIM DAN KOENZIM

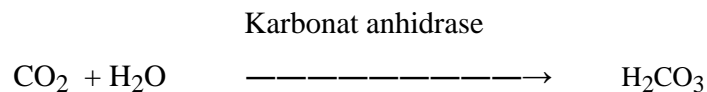
No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
4	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang enzim, struktur enzim, klasifikasi enzim, mekanisme kerja enzim.	Enzim dan Koenzim	4.1 Pendahuluan 4.2 Daya katalitik enzim 4.3 Spesifitas enzim 4.4 Klasifikasi enzim 4.5 Cara kerja Enzim 4.6 Struktur Enzim 4.7 Aktivitas Enzim 4.8 Koenzim 4.9 Enzim-Enzim Indikator Kesehatan

4.1 Pendahuluan

Enzim adalah protein yang dihasilkan oleh sel hidup yang mempengaruhi reaksi kimia. Ditinjau dari fungsinya enzim merupakan katalis dalam sistem biologi. Katalis adalah molekul yang berfungsi mempercepat reaksi kimia. Hampir semua enzim merupakan protein. Dua sifat penting enzim adalah memiliki daya katalitik yang sangat besar dan sangat spesifik.

4.2. Daya katalitik enzim

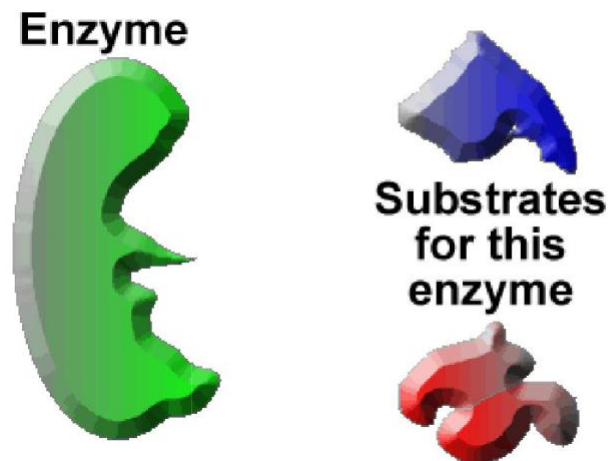
Daya katalitik enzim sangat besar, yaitu mampu mempercepat reaksi kimia minimal sejuta kali. Tanpa enzim, kecepatan sebagian besar reaksi kimia di dalam sistem biologi sangatlah rendah sehingga tak dapat diukur. Bahkan reaksi yang sederhana sekalipun seperti hidrasi CO_2 harus dikatalisis oleh enzim karbonat anhidrase.



4.3. Spesifitas enzim

Enzim sangat spesifik, baik terhadap jenis reaksi yang dikatalisisnya maupun terhadap substrat atau reaktan yang diolahnya. Gambaran spesifitas enzim tercantum pada Gambar di bawah ini. Satu enzim biasanya mengkatalisis satu jenis reaksi

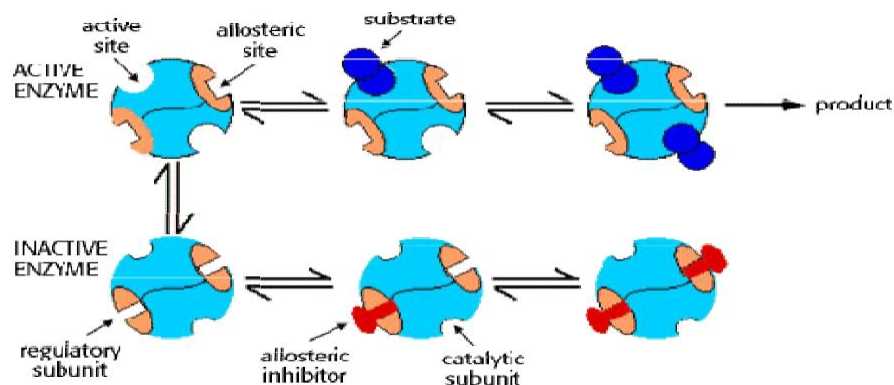
kimia saja, atau seperangkat reaksi yang sejenis. Dalam reaksi enzimatik sangat jarang terjadi reaksi sampingan yang menyebabkan terbentuknya hasil sampingan yang tak berguna.



Gambar 4.1 Model spesifitas enzim terhadap substrat dan reaksi tertentu

Kompleks enzim-substrat

Sebagian besar daya katalitik enzim berasal dari kemampuan enzim menempatkan substrat ke dalam kedudukan yang menguntungkan pada kompleks enzim-substrat. Enzim memiliki situs aktif, yaitu tempat tertentu pada molekul enzim untuk mengikat substrat. Emil Fischer mengumpamakan substrat dan situs aktif sebagai anak kunci dan kunci.



Gambar 4.2 Kompleks enzim-substrat

4.4 Klasifikasi enzim

Enzim diklasifikasikan berdasarkan tipe reaksi dan mekanisme reaksi yang dikatalisis. Pada awalnya hanya ada beberapa enzim yang dikenal, dan kebanyakan mengkatalisis reaksi hidrolisis ikatan kovalen. Semua enzim ini diidentifikasi dengan menambahkan akhiran *-ase* pada nama substansi atau substrat tempat enzim bekerja (dihidrolisis).

Secara ringkas, sistem penamaan enzim menurut *IUB* dijelaskan sebagai berikut:

1. Reaksi dan enzim yang mengkatalisis membentuk 6 kelas, masing-masing mempunyai 4-13 subkelas
2. Nama enzim terdiri atas 2 bagian, pertama menunjukkan substrat dan kedua ditambah dengan *-ase* yang menunjukkan tipe reaksi yang dikatalisis. Contoh: heksosa isomerase (substrat: heksosa dengan reaksi isomerase).
3. Jika diperlukan, ditambah dengan informasi tambahan tentang reaksi dalam tanda kurung di bagian akhir nama. Contoh: 1.1.1.37 L-malat:NAD⁺ oksidoreduktase (dekarboksilasi).
4. Setiap enzim mempunyai nomor kode (EC) yang terdiri atas:
 - Digit pertama : kelas tipe reaksi
 - Digit kedua : subkelas tipe reaksi
 - Digit ketiga : sub-subkelas tipe reaksi
 - Digit keempat : untuk enzim spesifik

Contoh: 2.7.1.1 diuraikan menjadi:

- Kelas 2 : transferase
 - Subkelas 7 : transfer fosfat
 - Subsubkelas 1 : alkohol merupakan akseptor fosfat
 - Enzim spesifik 1 : heksokinase atau ATP:D-heksosa 6-fosfotransferase
- Suatu enzim yang mengkatalisis pemindahan fosfat dari ATP ke gugus hidroksil atom C ke enam molekul glukosa.

Penggolongan (Klasifikasi) enzim

6 kelas utama enzim dengan beberapa contohnya diberikan di bawah.

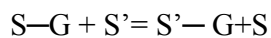
1. Oksidoreduktase.

Enzim-enzim yang mengkatalis oksidoreduksi antara 2 substrat s dan



2. Transferase

Enzim-enzim yang mengkatalis pemindahan suatu gugus, G (lain dari hidrogen), antara sepasang substrat S dan S'.



3. Hidrolase

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

4. Liase

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

5. Isomerase

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

6. Ligase

(ligare = mengikat) enzim yang mengkatalis penggabungan 2 senyawa diikuti oleh pemecahan ikatan pirofosfat pada ATP atau senyawa yang sejenis. Yang termasuk golongan ini adalah enzim-enzim yang mengkatalis reaksi pembentukan ikatan C-O, C-S, C-N dan C-C.

Beberapa contoh enzim berdasarkan reaksinya

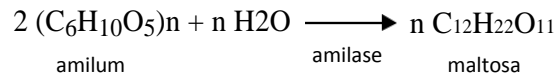
1. Hidrolase

Hidrolase merupakan enzim-enzim yang menguraikan suatu zat dengan pertolongan air. Hidrolase dibagi atas kelompok kecil berdasarkan substratnya yaitu :

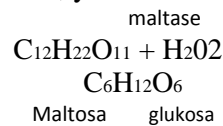
1.1.Karbohidrase, yaitu enzim-enzim yang menguraikan golongan karbohidrat.

Kelompok ini masih dipecah lagi menurut karbohidrat yang diuraikannya, misal :

- a. Amilase, yaitu enzim yang menguraikan amilum (suatu polisakarida) menjadi maltosa (suatu disakarida).



- b. Maltase, yaitu enzim yang menguraikan maltosa menjadi glukosa



- c. Sukrase, yaitu enzim yang mengubah sukrosa (gula tebu) menjadi glukosa dan fruktosa.
- d. Laktase, yaitu enzim yang mengubah laktase menjadi glukosa dan galaktosa.
- e. Selulase, emzim yang menguraikan selulosa (suatu polisakarida) menjadi selobiosa (suatu disakarida)
- f. Pektinase, yaitu enzim yang menguraikan pektin menjadi asam-pektin.

1.2.Esterase, yaitu enzim-enzim yang memecah golongan ester.

Contoh-contohnya :

- a. Lipase, yaitu enzim yang menguraikan lemak menjadi gliserol dan asam lemak.
- b. Fosfatase, yaitu enzim yang menguraikan suatu ester hingga terlepas asam fosfat.

1.3. Proteinase atau Protease, yaitu enzim enzim yang menguraikan golongan protein.

- a. Peptidase, yaitu enzim yang menguraikan peptida menjadi asam amino.
- b. Gelatinase, yaitu enzim yang menguraikan gelatin.
- c. Renin, yaitu enzim yang menguraikan kasein dari susu.

2. Oksidase dan reduktase , yaitu enzyme yang menolong dalam proses oksidasi dan reduksi.

Enzim Oksidase dibagi lagi menjadi;

2.1. Dehidrogenase : enzim ini memegang peranan penting dalam mengubah zat-zat organik menjadi hasil-hasil oksidasi.

2.2. Katalase : enzim yang menguraikan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

3. Desmolase , yaitu enzim-enzim yang memutuskan ikatan-ikatan C-C, C-N dan beberapa ikatan lainnya.

Enzim Desmolase dibagi lagi menjadi :

3.1. Karboksilase : yaitu enzim yang mengubah asam piruvat menjadi asetaldehida.

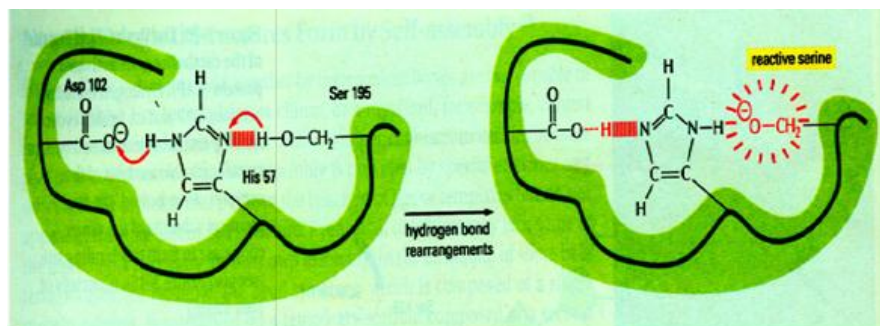
3.2. Transaminase : yaitu enzim yang memindahkan gugusan amine dari suatu asam amino ke suatu asam organik sehingga yang terakhir ini berubah menjadi suatu asam amino.

4.5 Cara kerja Enzim

a. Sisi aktif enzim

Karakteristik sisi aktif enzim

1. Merupakan bagian kecil dari enzim (Mengapa enzim harus memiliki ukuran besar?)
2. Sisi aktif merupakan suatu cekukan yang bersifat 3 dimensi. → memberikan lingkungan mikro yg sesuai untuk terjadinya suatu reaksi kimia
3. Substrat terikat pada sisi aktif dengan interaksi atau ikatan yang lemah.
4. Spesifitas enzim dipengaruhi oleh asam amino yg menyusun sisi aktif suatu enzim



Gambar 4.3 sisi aktif enzim dan asam amino yang terlibat

Sisi aktif mempunyai 2 bagian yang penting:

1. Bagian yang mengenali substrat dan kemudian mengikatnya
2. Bagian yang mengkatalisis reaksi, setelah substrat diikat oleh enzim

Asam amino yang membentuk kedua bagian tersebut tidak harus berdekatan dalam urutan secara linear, tetapi dalam konformasi 3D mereka berdekatan.

b. Mekanisme reaksi enzim

Molekul selalu bergerak dan bertumbukan satu sama lain. Jika suatu molekul substrat menumbuk molekul enzim yang tepat, substrat akan menempel pada enzim. Ada dua teori mengenai kerja enzim, yaitu teori *lock and key* (gembok – anak kunci) dan *induced fit* (kecocokan terinduksi).

1. Teori Gembok - anak kunci

Bentuk substrat sesuai dengan sisi aktif, seperti gembok cocok dengan anak kuncinya. Hal itu menyebabkan enzim bekerja secara spesifik. Substrat yang mempunyai bentuk ruang yang sesuai dengan sisi aktif enzim akan berkaitan dan membentuk kompleks transisi enzim – substrat. Senyawa transisi ini tidak stabil sehingga pembentukan produk berlangsung dengan sendirinya.

3. Teori Induced Fit (Koshland)

Reaksi antara substrat dengan enzim berlangsung karena adanya induksi molekul substrat terhadap molekul enzim. Menurut teori ini, sisi aktif enzim bersifat fleksibel dalam menyesuaikan struktur sesuai dengan struktur substrat.

Ketika substrat memasuki sisi aktif enzim, maka enzim akan terinduksi dan kemudian mengubah bentuknya sedikit sehingga mengakibatkan perubahan sisi aktif yang semula tidak cocok menjadi cocok (fit). Kemudian terjadi pengikatan substrat oleh enzim, yang selanjutnya substrat diubah menjadi produk. Produk kemudian dilepaskan dan enzim kembali pada keadaan semula, siap untuk mengikat substrat baru.

Enzim dapat bekerja dengan beberapa cara, yang kesemuanya menurunkan ΔG^\ddagger :

1. Menurunkan energi aktivasi dengan menciptakan suatu lingkungan yang mana keadaan transisi terstabilisasi (contohnya mengubah bentuk substrat menjadi konformasi keadaan transisi ketika ia terikat dengan enzim.)
2. Menurunkan energi keadaan transisi tanpa mengubah bentuk substrat dengan menciptakan lingkungan yang memiliki distribusi muatan yang berlawanan dengan keadaan transisi.
3. Menyediakan lintasan reaksi alternatif. Contohnya bereaksi dengan substrat sementara waktu untuk membentuk kompleks Enzim-Substrat antara.
4. Menurunkan perubahan entropi reaksi dengan menggiring substrat bersama pada orientasi yang tepat untuk bereaksi. Menariknya, efek entropi ini melibatkan destabilisasi keadaan dasar, dan kontribusinya terhadap katalis relatif kecil.

4.6 Struktur Enzim

Pada mulanya enzim dianggap hanya terdiri dari protein dan memang ada enzim yang ternyata hanya tersusun dari protein saja, misalnya pepsin dan tripsin. Tetapi ada juga enzim-enzim yang selain protein juga memerlukan komponen selain protein. Komponen selain protein pada enzim dinamakan kofaktor. Koenzim dapat merupakan ion logam/ metal, atau molekul organik yang dinamakan koenzim. Gabungan antara bagian protein enzim (apoenzim) dan kofaktor dinamakan holoenzim.

Enzim yang memerlukan ion logam sebagai kofaktornya dinamakan metaloenzim.. Ion logam ini berfungsi untuk menjadi pusat katalis primer, menjadi tempat untuk mengikat substrat, dan sebagai stabilisator supaya enzim tetap aktif.

Tabel 4.1 Beberapa enzim yang mengandung ion logam sebagai kofaktornya

Ion logam	Enzim
Zn^{2+}	Alkohol dehidrogenase Karbonat anhidrasa Karboksipeptidasa
Mg^{2+}	Fosfohidrolasa Fosfotransferasa

$\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$	Sitokrom Peroksida Katalasa Feredoksin
$\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}^{+}$	Tirosina Sitokrom oksidasa
K^{+}	Piruvat kinasa (juga memerlukan Mg^{2+})
Na^{+}	Membrane sel ATPasa (juga memerlukan K^{+} dan Mg^{2+})

4.7 Aktivitas Enzim

Seperti halnya katalisator, enzim dapat mempercepat reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasinya. Enzim tersebut akan bergabung sementara dengan reaktan sehingga mencapai keadaan transisi dengan energi aktivasi yang lebih rendah daripada energi aktivasi yang diperlukan untuk mencapai keadaan transisi tanpa bantuan katalisator atau enzim.

Enzim juga dapat dibedakan menjadi eksoenzim dan endoenzim berdasarkan tempat kerjanya, ditinjau dari sel yang membentuknya. Eksoenzim ialah enzim yang aktivitasnya diluar sel. Endoenzim ialah enzim yang aktivitasnya didalam sel.

Selain eksoenzim dan endoenzim, dikenal juga enzim konstitutif dan enzim induktif. Enzim konstitutif ialah enzim yang dibentuk terus-menerus oleh sel tanpa peduli apakah substratnya ada atau tidak. Enzim induktif (enzim adaptif) ialah enzim yang dibentuk karena adanya rangsangan substrat atau senyawa tertentu yang lain. Misalnya pembentukan enzim beta-galaktosida pada *escherichia coli* yang diinduksi oleh laktosa sebagai substratnya. Tetapi ada senyawa lain juga yang dapat menginduksi enzim tersebut walaupun tidak merupakan substarnya, yaitu melibiosa. Tanpa adanya laktosa atau melibiosa, maka enzim beta-galaktosidasa tidak disintesis, tetapi sintesisnya akan dimulai bila ditambahkan laktosa atau melibiosa.

4.8 Koenzim

Dalam peranannya, enzim sering memerlukan senyawa organik tertentu selain protein. Ditinjau dari fungsinya, dikenal adanya koenzim yang berperan sebagai pemindah hidrogen, pemindah elektron, pemindah gugusan kimia tertentu (“group transferring”) dan koenzim dari isomerasa dan liasa. Koenzim akan memperbesar kemampuan katalitik suatu enzim sehingga jauh melebihi kemampuan yang ditawarkan. Koenzim yang berikatan secara erat dengan enzim melalui ikatan kovalen atau non kovalen sering disebut sebagai gugus prostetik.

Tabel 4.2 Contoh-contoh koenzim dan peranannya

No	Kode	Singkatan dari	Yang dipindahkan
1.	NAD	Nikotinamida-adenina dinukleotida	Hidrogen
2.	NADP	Nikotinamida-adenina dinukleotida fosfat	Hidrogen
3.	FMN	Flavin mononukleotida	Hidrogen
4.	FAD	Flavin-adenina dinukleotida	Hidrogen
5.	Ko-Q	Koenzim Q atau Quinon	Hidrogen
6.	Sit	Sitokrom	Elektron
7.	Fd	Feredoksin	Elektron
8.	ATP	Adenosina trifosfat	Gugus fosfat
9.	PAPS	Fosfoadenil sulfat	Gugus sulfat
10.	UDP	Uridina difosfat	Gula
11.	Biotin	Biotin	Karboksil (CO ₂)
12.	Ko-A	Koenzim A	Asetil
13.	TPP	Tiamin pirofosfat	C ₂ -aldehida

Isoenzim

Isoenzim adalah protein yang dapat mengkatalisis reaksi yang sama dan terjadi pada spesies yang sama, tetapi mempunyai sifat-sifat fisika dan kimia yang berbeda. Dapat berasal dari : beberapa organ yg berbeda, bagian sel yang berbeda, satu bagian yang sama.

4.9 Enzim-Enzim Indikator Kesehatan

Enzim yang berada dalam aliran darah sangat kecil, jadi apabila ada peningkatan kadar suatu enzim di darah, biasanya merupakan indikasi kematian sel, kerusakan sel atau merupakan pertanda penyakit tertentu. Misal : CK, AST, LDH adalah enzim-enzim yang berhubungan dengan fungsi dan penyakit jantung yang terutama Infark miokard.

Pengukuran aktifitas enzim dari :

1. Darah (plasma/serum, RBC)
2. Urine (enzim yang difiltrasi oleh glomerulus)
3. Cairan tubuh lain
4. Jaringan (didapat dari Biopsi)

1. Plasma Spesific Enzyme (Enzim plasma spesifik)
2. Cellular Enzymes (Enzim sel)
3. Secreted Enzyme (Enzim sekresi)

1. Nekrosis/kerusakan sel (ischaemia, bahan toksik)
2. Peningkatan derajat cell turn over (penyakit neoplasma, aktifitas osteoblast meningkat)
3. Obstruksi saluran sekresi (regurgitasi)
4. Non spesifik.

Jumlah total enzim dalam darah < 1 g/L untuk pemeriksaan aktifitas.

banyak cara pemeriksaan :

Misal : Karmen U.....} standarisasi

Bodansky U.....} UI / IU

King-Armstrong U dan lain-lain} unit internasional

Satu UNIT enzim adalah : aktifitas enzim yang dapat merubah 1 mikromol substrat pada keadaan optimal dalam waktu satu menit. Dinyatakan dalam U/L atau mU/mL. Berikut ini enzim-enzim indikator kesehatan, antara lain :

a) Acid Phosphatase

Enzim ini terdapat pada beberapa jaringan seperti tulang, liver, ginjal, erythrocyt, spleen. Jika konsentrasi Prostatic Acid Phosphatase meningkat hal ini menunjukkan adanya kelainan di prostat maka level enzim berhubungan dengan

kelenjar tersebut. Berguna untuk menentukan diagnosa dan penentuan stadium Ca prostate khususnya mengetahui apakah ada metastase ke tulang.

Nilai normal : 0.11 - 0.60 U/L

Peningkatan nilai ini bermakna : Ca Metastase dari prostate

Peningkatan moderate : Ca prostate insitu, Paget's disease, MM, Gagal ginjal, ca tulang metastase. Peningkatan semu disebabkan oleh obat androgen, clofibrate.

b) Prostate Spesific Antigen (PSA)

Merupakan monitor dan identifikasi Ca prostate. PSA & PAP digunakan untuk mendiagnosa tumor rekurens, monitor respon terapi Ca Prostate.

Kadar Normal : laki < 4 ng/mL BPH 4-8 Ca Prostate >8

Intepretasi PSA harus dengan banyak pertimbangan karena BPH, prostatitis juga dapat meningkatkan nilai PSA. Jadi dalam mendiagnosa penting untuk menggabungkan dengan informasi klinis dan pemeriksaan lain. (Biopsi, RT)

c) Alanine Aminotransferase (ALT = SGPT)

Merupakan enzyme katalis fungsi tubuh. Dominan untuk organ hati, konsentrasi lebih rendah di jantung, otot dan ginjal. Variasi dari serum level digunakan untuk diagnosa dari penyakit hati. Merupakan monitor pengobatan hepatitis atau kelainan hati lain. Kadar Nilai normal : adult : 5 – 35 U/L elderly nilainya lebih tinggi.

Jika sel-sel hati rusak ALT akan dilepaskan ke aliran darah. Jika hasil moderate-high maka hepatoseluler disease. Peningkatan ringan : chirosis liver, metast tumor, jaundice karena obstruksi atau penyakit hati, obat-obatan, bahan toxic (acetaminophen, allopurinol, ampicilin, cephalosporin, codein, tetrasiklin dan lain-lain)

d) Aspartate Amino Transferase (AST = SGOT)

Ditemukan di sel dan jaringan yang aktivitas metabolisme tinggi. Konsentrasi sangat tinggi ditemukan pada Otot jantung, sel hati, sel otot rangka. Pelepasan AST ke aliran darah karena adanya injury (jejas) pada sel /kematian sel.

Kadar Nilai normal : 12 -35 U/mL

Peningkatan AST/SGOT lebih sering berhubungan dengan Infark myocard (4-10 x), liver disease (10-100X) Akut / kronik hepatitis, kanker hati primer maupun sekunder, alcoholic, Reye's syndrome.

e) Alkali Phosphatase (ALP)

Terdapat di hati, tulang, epitel dari saluran empedu, mukosa usus dan plasenta.

Kadar Normal adult : 17 -142 U/L

0 – 12 tahun : 145 – 530 U/L

Kadar ALP meningkat : Paget's disease, Sarkoma tulang, Osteomalacia, Penyembuhan tulang, Metastatic bone tumor, Pertumbuhan tulang, Kehamilan.

Kadar ALP menurun : Malnutrisi, Hypotiroidism, Anemia berat, Darah dengan antikoagulan

f) Creatinin Kinase (CK/CPK)

Ditemukan di otot jantung dan otot skeletal. Mempunyai 3 isoenzim :

1. CK-BB : jaringan otak, GI tract, UT
2. CK-MB : sel/otot jantung
3. CK-MM : otot skeletal

Nilai Normal laki-laki >19 th : 25 – 135 U/L, Perempuan >19 th : 15 -130 U/L

Peningkatan nilai creatinin kinase disebabkan oleh obat-obatan (aspirin, ampicilin, antikoagulan, morphine), Exercise, post inj IM dan lain-lain.

Peningkatan enzim CK-MB disebabkan kerusakan sel myocard (infark, myocarditis, ischemia). Derajat peningkatan CK-MB berguna untuk membedakan derajat infark myocard, Onset terjadinya infark.

g) Lactic Acid Dehydrogenase (LD / LDH)

Nilai LDH akan meningkat 3 – 4 hari setelah infark

myocard, Enzim LDH mempunyai 5 isoenzim, yaitu :

LDH 1 = Jantung, RBC

LDH 2 = Jantung, ren, otak

LDH 3 = otak, skeletal, liver

LDH 4 = Liver, otak, skeletal muscle

LDH 5 = skeletal muscle, liver

Kadar enzim LDH meningkat dapat disebabkan oleh Infark myocard, infark paru, anemia hemolitik, Penyakit hati dan ginjal, Neoplasma.

h) Lipase

Lipase merupakan enzim yang diproduksi dan disekresi oleh pankreas, usus halus, lambung. Kadar lipase serum memberi informasi diagnosa khusus untuk pankreas. Kadar Lipase meningkat merupakan indicator kerusakan pankreas, pancreatitis akut, Kanker pankreas, Cholesystitis, Peritonitis, Diabetic ketoacidosis.

BAB V

VITAMIN

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
5.	Mahasiswa menjelaskan pengertian vitamin, klasifikasi vitamin, struktur vitamin , fungsi vitamin, sifat vitamin, metabolisme vitamin dan kelainan/penyakit akibat defisiensi vitamin	Pengolongan Vitamin dan Kelainan Akibat Defisiensinya	5.1 Pendahuluan 5.2 Klasifikasi Vitamin 5.3 Vitamin A 5.4 Vitamin D 5.5 Vitamin E 5.6 Vitamin K 5.7 Vitamin C 5.8 Vitamin B

5.1 Pendahuluan

Vitamin adalah suatu zat senyawa kompleks yang sangat dibutuhkan oleh tubuh kita yang berfungsi untuk membantu pengaturan atau proses kegiatan tubuh. Tanpa vitamin manusia, hewan dan makhluk hidup lainnya tidak akan dapat melakukan aktifitas hidup dan kekurangan vitamin dapat menyebabkan memperbesar peluang terkena penyakit pada tubuh kita.

5.2 Klasifikasi Vitamin

Vitamin dikelompokkan menjadi 2 golongan utama yaitu vitamin yang larut dalam lemak yaitu vitamin A, D, E, dan K serta vitamin yang larut dalam air yaitu vitamin C dan B. Vitamin yang larut dalam lemak banyak terdapat dalam daging, ikan, minyak ikan, dan biji-bijian. Sumber minyak seperti kacang tanah, kacang kedelai dan sebagainya. Vitamin tersebut disimpan dalam hati atau jaringan-jaringan lemak. Karena sifatnya yang tidak larut dalam air, vitamin tersebut tidak dikeluarkan akibatnya ditimbun dalam tubuh bila dikonsumsi terlalu banyak. Kekurangan vitamin yang larut dalam lemak terjadi bila daya serap tubuh terhadap lemak tidak baik atau tubuh terlalu banyak mengkonsumsi minyak mineral. Vitamin2 yg larut dalam air bebas bergerak dalam tubuh, darah, dan limpa. Karena sifatnya yang larut dalam air, vitamin mudah rusak dalam pengolahan dan mudah hilang karena tercuci atau terlarut oleh air keluar dari bahan makanan. Fungsi vitamin adalah sebagai koenzim dan kofaktor untuk membantu kerja enzim-enzim tertentu dalam reaksi biokimia tertentu dalam sel.

5.3 Vitamin A

Definisi Vitamin A

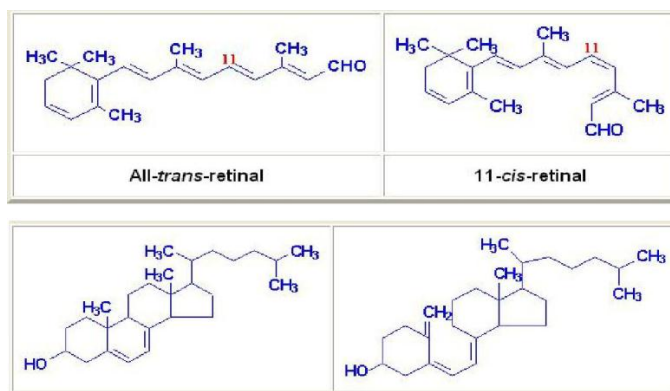
Sebelum ditemukan vitamin yang larut dalam lemak, orang menduga bahwa lemak hanya berfungsi sebagai sumber energi. Vitamin yang larut dalam lemak biasanya ditimbun dalam tubuh dan karenanya tidak perlu disediakan setiap hari dalam makanan.

Absorpsi vitamin larut lemak yang normal ditentukan oleh absorpsi normal dari lemak. Gangguan absorpsi lemak yang disebabkan oleh gangguan sistem empedu akan menyebabkan gangguan absorpsi vitamin—vitamin yang larut lemak. Setelah diabsorpsi, vitamin ini dibawa ke hepar dalam bentuk kilomikron dan disimpan di hepar atau dalam jaringan lemak. Di dalam darah, vitamin larut lemak diangkut oleh lipoprotein atau protein pengikat spesifik (*Specific Binding Protein*), dan karena tidak larut dalam air, maka ekskresinya lewat empedu, yang dikeluarkan bersama-sama feses.

Makanan sumber vitamin A antara lain susu, ikan, sayuran berwarna hijau dan kuning, hati, buah-buahan warna merah dan kuning (cabai merah, wortel, pisang, pepaya, dan lain-lain). Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin A : rabun senja, katarak, infeksi saluran pernapasan, menurunnya daya tahan tubuh, kulit yang tidak sehat, dan lain-lain.

Struktur Vitamin A

Vitamin A terdiri dari 3 biomolekul aktif, yaitu retinol, retinal (retinaldehyde) dan *retinoic acid*



Gambar 5.1 Tiga biomolekul aktif vitamin A

Sifat kimia Vitamin A

Tumbuh-tumbuhan tidak mensintesis vitamin A, akan tetapi manusia dan hewan mempunyai enzim di dalam mukosa usus yang sanggup merubah karotenoid provitamin A menjadi vitamin A. Dikenal bentuk-bentuk vitamin A, yaitu bentuk alkohol, dikenal sebagai retinol, bentuk aldehid disebut retinal, dan berbentuk asam, yaitu asam retinoat.

Retinol dan retinal mudah dirusak oleh oksidasi terutama dalam keadaan panas dan lembab dan bila berhubungan dengan mineral mikro atau dengan lemak/minyak yang tengik. Retinol tidak akan berubah dalam gelap, sehingga bisa disimpan dalam bentuk ampul, di tempat gelap, pada suhu di bawah nol. Retinol juga sukar berubah, jika disimpan dalam tempat tertutup rapat, apalagi disediakan antioksidan yang cocok. Vitamin dalam bentuk ester asetat atau palmitat bersifat lebih stabil dibanding bentuk alkohol maupun aldehid.

Secara kimia, penambahan vitamin E dan antioksidan alami dari tanaman bisa melindungi vitamin A dalam bahan makanan. Leguminosa tertentu, terutama kacang kedele dan alfafa, mengandung enzim lipoksigenase yang bisa merusak karoten, xantofil, bahkan vitamin A, melalui tahapan-tahapan oksidasi dengan asam lemak tidak jenuh. Melalui pemanasan yang sempurna pada kacang kedele dan pengeringan pada alfafa akan merusak enzim tersebut.

Di dalam praktek, terutama dalam penyimpanan, vitamin A bersifat tidak stabil. Guna menciptakan kestabilannya, maka dapat diambil langkah-langkah, yaitu secara kimia, dengan penambahan antioksidan dan secara mekanis dengan melapisi tetesan-

tetes vitamin A dengan lemak stabil, gelatin atau lilin, sehingga merupakan butiran-butiran kecil. Melalui teknik tersebut, maka sebagian besar vitamin A bisa dilindungi dari kontak langsung dengan oksigen.

Fungsi dan Metabolisme Vitamin A

Sumber vitamin A yang baik adalah hati, ginjal; jumlahnya lebih sedikit terdapat pada paru, jantung. Minyak ikan adalah sumber vitamin A dan D yang dipekatkan.

Fungsi Vitamin A

Mencakup tiga macam peran penting :

1. Proses penglihatan pada kurang cahaya
2. Proses metabolisme umum
3. Proses reproduksi

Metabolisme vitamin A

Vitamin A dan β -karoten diserap dari usus halus dan sebagian besar disimpan di dalam hati. Bentuk karoten dalam tumbuhan selain β , adalah α , γ -karoten serta kriptosantin. Setelah dilepaskan dari bahan pangan dalam proses pencernaan, senyawa tersebut diserap oleh usus halus dengan bantuan asam empedu (pembentukan micelle).

Vitamin A dan karoten diserap oleh usus dari micelle secara difusi pasif, kemudian digabungkan dengan kilomikron dan diserap melalui saluran limfatik, kemudian bergabung dengan saluran darah dan ditransportasikan ke hati. Di hati, vitamin A digabungkan dengan asam palmitat dan disimpan dalam bentuk retinil-palmitat. Bila diperlukan oleh sel-sel tubuh, retinil palmitat diikat oleh protein pengikat retinol (PPR) atau *retinol-binding protein (RBP)*, yang disintesis dalam hati. Selanjutnya ditransfer ke protein lain, yaitu “transthyretin” untuk diangkut ke sel-sel jaringan.

Vitamin A yang tidak digunakan oleh sel-sel tubuh diikat oleh protein pengikat retinol seluler (*cellular retinol binding protein*), sebagian diangkut ke hati dan bergabung dengan asam empedu, yang selanjutnya diekskresikan ke usus halus, kemudian dikeluarkan dari tubuh melalui feses. Sebagian lagi diangkut ke ginjal dan diekskresikan melalui urine dalam bentuk asam retinoat.

Karoten diserap oleh usus seperti halnya vitamin A, sebagian dikonversi menjadi retinol dan metabolismenya seperti di atas. Sebagian kecil karoten disimpan dalam jaringan adiposa dan yang tidak digunakan oleh tubuh diekskresikan bersama asam empedu melalui feses.

Pada diet nabati, di lumen usus, oleh enzim β - karoten 15,15-deoksigenase, β -karoten tersebut dipecah menjadi retinal (retinaldehid), yang kemudian direduksi menjadi retinol oleh enzim retinaldehid reduktase. Pada diet hewani, retinol ester dihidrolisis oleh esterase dari pankreas, selanjutnya diabsorpsi dalam bentuk retinol, sehingga diperlukan garam empedu.

Proses di atas sangat terkontrol, sehingga tidak dimungkinkan produksi vitamin A dari karoten secara berlebihan. Tidak seluruh karoten dapat dikonversi menjadi vitamin A, sebagian diserap utuh dan masuk ke dalam sirkulasi, hal ini akan digunakan tubuh sebagai antioksidan. Beberapa hal yang menyebabkan karoten gagal dikonversi menjadi vitamin A, antara lain (1) penyerapan tidak sempurna ; (2) konversi tidak 100%, salah satu sebab adalah diantara karoten lolos ke saluran limfe, dan (3) pemecahan yang kurang efisien.

Identifikasi Kualitatif Vitamin A

Analisis Karoten

Posedur kerja :

Timbang 2 gr daun kubis, haluskan dalam mortar. Tambahkan kira-kira sama banyak pasir dan bubuk Ca (OH)_2 untuk menyerap klorofil dan air. Gerus perlahan dan kemudian tambahkan 10 ml potri-eter, lanjutkan mengerus. Pindahkan ke dalam tabung reaksi yang kering dan kocok beberapa menit. Setelah itu, saring larutan dan uji filtratnya .amati dan catat warna yang timbul

5.4 Vitamin D

Definisi Vitamin D

Vitamin D tergolong vitamin yang mudah larut dalam lemak dan merupakan prahormon jenis sterol. Vitamin D merupakan kelompok senyawa sterol yang terdapat di

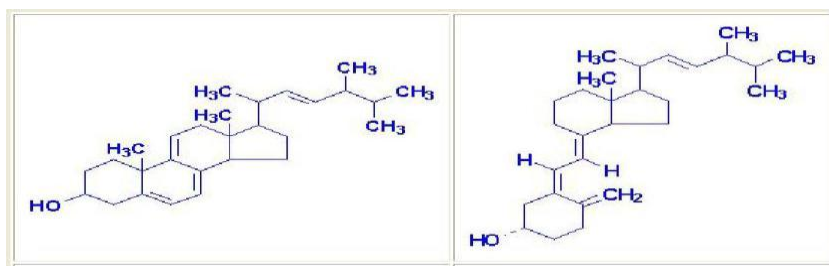
alam, terutama pada hewan, tetapi juga ditemukan di tumbuhan maupun ragi. Vitamin D terdiri dari dua jenis, yaitu vitamin D₂ (ergokalsiferol) dan vitamin D₃ (kholekalsiferol). Ergokalsiferol biasanya terdapat dalam steroid tanaman, sedangkan kholekalsiferol terdapat pada hewan. Kedua jenis vitamin D tersebut memiliki struktur kimia berbeda, namun fungsinya identik.

Sebenarnya, terdapat lebih kurang 10 derivat sterol yang memiliki aktivitas vitamin D, namun ergosterol dan 7 α -dehidrokolesterol, merupakan provitamin D utama yang menghasilkan secara berturut-turut D₂ dan D₃. Pada tumbuhan, iradiasi ergosterol menyebabkan terbentuknya ergokalsiferol (vitamin D₂). Pada hewan, iradiasi 7 α -dehidrokolesterol menghasilkan kholekalsiferol (vitamin D₃).

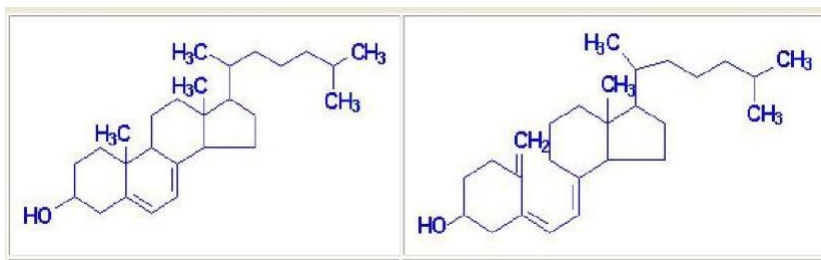
Makanan yang mengandung vitamin D : minyak ikan, susu, telur, keju, dan lain-lain. Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin D :Gigi akan lebih mudah rusak, otak bisa mengalami kejang-kejang, pertumbuhan tulang tidak normal yang biasanya betis kaki akan membentuk huruf O atau X.

Struktur Kimia Vitamin D

Vitamin D termasuk dalam grup sterol. Nama vitamin D adalah nama umum dari semua steroid yang secara kualitatif memperlihatkan aktivitas kholekalsiferol. Gambar 1., menampilkan struktur kimia vitamin D₂ dan vitamin D₃.



Gambar 5.2 ergokalsiferol



Gambar 5.3 kholekalsiferol

Sifat Kimia Vitamin D

Kholekalsiferol tidak larut dalam air, larut dalam larutan organik dan minyak tumbuh-tumbuhan. Cairan aseton akan menyebabkan Kholekalsiferol berbentuk kristal halus putih. Kholekalsiferol dirusak oleh sinar ultraviolet yang berlebihan dan oleh peroksida dengan adanya asam lemak tidak jenuh yang tengik. Bahan pangan campuran yang cukup kandungan vitamin E dan antioksidan bisa melindungi rusaknya vitamin D.

Fungsi Vitamin D

1. Meningkatkan absorpsi Ca dan P di mukosa intestine. Untuk penyerapan Ca yang optimal diperlukan perbandingan Ca:P = 1:1 bila perbandingan Ca:P = 1:4, timbul gangguan klinis dini, nilai ini dinamakan "*Rachitogenik*"
2. Merangsang pembentukan garam-garam Ca di jaringan tertentu
3. Meningkatkan "Clearance Fosfat" di tubuli ginjal.

Identifikasi Kualitatif Vitamin D

Vitamin D tahan terhadap oksidasi, penggunaan reagen Carr-Price pada Vitamin D memberikan warna kuning-jingga. Warna ini juga bisa digunakan pada penentuan kuantitatif vitamin D secara kolorimetri.

Prosedur Kerja :

Masukkan 1 ml H₂O₂ 5% ke dalam minyak ikan (mengandung vitamin A dan D). kocok selama 1 menit, panaskan perlahan jangan sampai mendidih hingga tidak ada gelembung yang keluar. Dinginkan dengan air kran atau dalam beaker yang berisi air dingin. Setelah itu, tambahkan beberapa tetes Carr-Price. Perhatikan warna yang terjadi.

5.5 Vitamin E

Definisi Vitamin E

Asal kata : Tokos = kelainan; pherein = mengandung, sehingga vitamin E dihubungkan dengan fertilitas. Di alam didapatkan enam macam vitamin E, berturut-

turut dinamakan : tokoferol alfa-, beta-, gamma-, delta-, eta- dan zeta. Semuanya berupa minyak, tidak dapat dikristalkan, viskositasnya tinggi; tahan terhadap suhu, alkali dan asam; suatu reduktor alamiah yang sangat kuat (antioksidan), digunakan sebagai pelindung terhadap peroksida di jaringan.

Vitamin E (Tocopherol), adalah vitamin yang larut baik dalam lemak yang melindungi tubuh dari radikal bebas. Vitamin E juga berfungsi mencegah penyakit hati, mengurangi kelelahan dan mengurangi PMS, membantu memperlambat penuaan karena oksidasi; mensuplai oksigen ke darah sampai dengan ke seluruh organ tubuh Vitamin E juga menguatkan dinding pembuluh kapiler darah dan mencegah kerusakan sel darah merah akibat racun. Vitamin ini juga membantu mencegah sterilitas dan destrofi otot. Vitamin E juga dikenal sebagai tokoferol, khususnya pada molekul alfa tokoferol. Vitamin E diserap di saluran pencernaan yaitu oleh silomikron melalui transport silomikron dan kemudian di hati diserap oleh uptake silomikron. hati dapat mengubah vitamin E menjadi VLDL. Tempat penyimpanan utama vitamin E adalah di jaringan adiposa.

Sumber makanan yang mengandung vitamin E : ikan, ayam, kuning telur, kecambah, ragi, minyak tumbuh-tumbuhan, havermut, dsb. Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin E : bisa mandul baik pria maupun wanita, gangguan syaraf dan otot, dan lain-lain.

Sifat kimia Vitamin E

Keaktifan vitamin E pada beberapa senyawa tokoferol berbeda-beda. Dikenal alfa, beta, dan gama-tokoferol. alfa-tokoferol menunjukkan keaktifan vit. E yang paling tinggi.

Vitamin E tahan terhadap suhu tinggi serta asam, karena bersifat antioksidan, vit E mudah teroksidasi terutama bila pada lemak yang tengik, timah, garam besi serta mudah rusak oleh sinar UV. Vit E menjaga kesuburan individu, pada hewan menyebabkan kemandulan.

Metabolisme Vitamin E

Dalam makanan vitamin E berbentuk ester, lipase pancreas membebaskan vitamin E dari ikatan esternya. Penyerapan vitamin E bersama dengan penyerapan lemak. Distransport bersama lipoprotein. Fosfolipid membran sel maupun membrane sub selluler mengandung banyak vitamin E. transfer vitamin E melalui plasenta terbatas jumlahnya, sedangkan melalui asi (Air Susu Ibu), lebih baik. Dalam tinja maupun urin didapatkan metabolit vitamin E berbentuk quinone-tokoferol-x.

5.6 Vitamin K

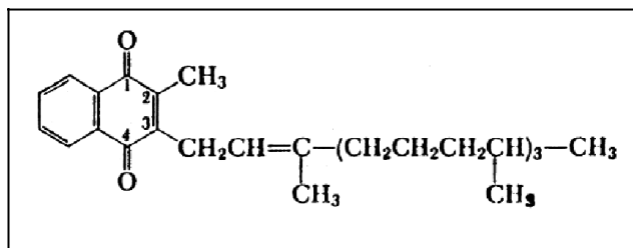
Definisi Vitamin K

Vitamin K ditemukan pertama kali di Denmark (1964), pada saat itu ditemukan anak ayam yang diberi makan ransum bebas lemak, ternyata memperlihatkan gejala hemorhagia. Pada bayi, hemorhagia dapat dicegah dengan memberikan vitamin K pada ibunya sebelum bayi tersebut dilahirkan. Berdasarkan alasan tersebut maka vitamin K disebut juga vitamin koagulasi, karena vitamin ini berperan dalam menjaga konsistensi aliran darah dan membekukannya saat diperlukan. Defisiensi vitamin K menyebabkan waktu pembekuan darah menjadi lebih panjang, sehingga penderita defisiensi vitamin K bisa mati hanya karena perdarahan ringan. Proses pembekuan darah terdiri dari dua tahap, yaitu (1) protrombin, dengan adanya tromboplastin, kalsium dan faktor-faktor lain diubah menjadi trombin dan (2) fibrinogen diubah menjadi gumpalan fibrin.

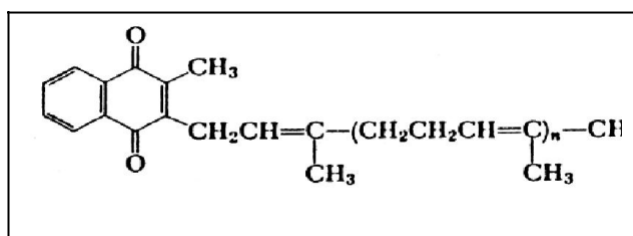
Sumber makanan yang mengandung vitamin K : susu, kuning telur, sayuran segar
Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin K : darah sulit membeku bila terluka/berdarah/luka/pendarahan, pendarahan di dalam tubuh, dan sebagainya.

Struktur kimia Vitamin K

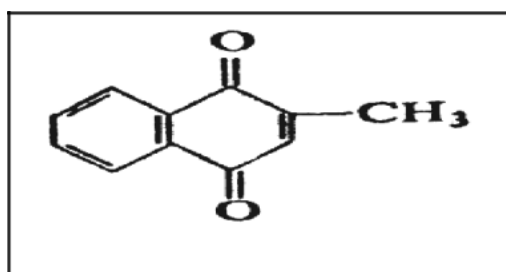
Struktur kimia vitamin K terdapat dalam tiga bentuk berbeda (Gambar 1.), pertama adalah vitamin K₁ atau filoquinon, yaitu jenis yang ditemukan dan dihasilkan tumbuh-tumbuhan dan daun hijau. Kedua, adalah K₂ atau disebut juga dengan menaquinon, yang dihasilkan oleh jaringan hewan dan bakteri menguntungkan dalam sistem pencernaan. Dan yang ketiga adalah K₃ atau menadion, yang merupakan vitamin sintetik, bersifat larut dalam air, digunakan untuk penderita yang mengalami gangguan penyerapan vitamin K dari makanan.



Gambar 5.4 Vitamin K₁



Gambar 5.5 Vitamin K₂



Gambar 5.6 Vitamin K₃

Sifat-sifat Kimia vitamin K

Vitamin K yang terdapat di alam larut dalam lemak, namun beberapa preparat sintis larut dalam air. 2-Metil-1,4-nafrakuinon, yang disebut juga menadion, adalah suatu produk sintetis vitamin K, yang bersifat lebih aktif dibanding vitamin K₁.

Fungsi Vitamin K

Fungsi vitamin K antara lain (1) memelihara kadar normal faktor-faktor pembeku darah, yaitu faktor II, VII, IX, dan X, yang disintesis di hati; (2) berperan dalam sintesis faktor II, yaitu protrombin; (3) sebagai komponen koenzim dalam proses fosforilasi.

Vitamin K digunakan untuk mata lebih bersinar, hal ini banyak ditemukan di krim mata yang juga mengandung retinol. Vitamin K dipercaya bisa membantu mengatasi lingkaran mata hitam. Pembuluh kapiler yang rentan dan bocor di sekitar daerah mata sering diakui sebagai penyebab hitamnya daerah di sekitar mata. Vitamin K, yang dikenal juga sebagai phytonadione, bisa membantu mengontrol aliran darah. Penggunaan vitamin K teratur bisa membuat bagian lingkaran mata yang menghitam terlihat lebih cerah. Biasanya digunakan 2-3 hari seminggu, setiap sebelum tidur untuk mencegah iritasi. Vitamin K juga berperan penting dalam pembentukan tulang dan pemeliharaan ginjal.

Seluruh vitamin K dalam tubuh diproses dalam liver di mana nantinya akan digunakan untuk memproduksi zat pembuat darah bisa membeku. Selain berperan dalam pembekuan, vitamin ini juga penting untuk pembentukan tulang terutama jenis K_1 . Vitamin K_1 diperlukan supaya penyerapan kalsium bagi tulang menjadi maksimal dan memastikan tidak salah sasaran.

Metabolisme Vitamin K

Vitamin K, tidak disintesis dalam tubuh. Suplai vitamin K tubuh berasal dari vitamin K makanan dan produk mikro-organisme kolon. Defisiensi vitamin K bisa diakibatkan oleh antibiotik, karena bakteri kolon binasa, hal serupa terdapat pada bayi yang baru lahir. Penyerapan vitamin K memerlukan empedu dan lemak; vitamin K makanan kira-kira 20% ditemukan kembali di dalam tinja; tetapi bila terjadi gangguan absorpsi lemak, bisa ditemukan 80% vitamin K makanan dalam tinja. Umumnya, vitamin K diserap secara aktif di mukosa intestine proksimal; dan ditranspor bersama lemak berbentuk kilomikron. Di hati, vitamin K dikonjugasi oleh asam glukuronat dan asam sulfat sebelum diekskresi ke ginjal.

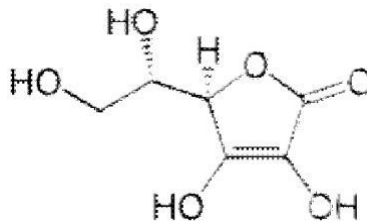
5.7 Vitamin C

Definisi Vitamin C

Dinamakan pula sebagai vitamin C, berupa Kristal putih, mempunyai rasa asam, tidak berbau. Dalam larutan, vitamin C mudah rusak, karena dioksidasi oksigen udara; lebih stabil dalam bentuk Kristal kering.

Sumber makanan yang mengandung vitamin C antara lain jambu klutuk, jeruk, tomat, nanas, sayur segar, dan lain sebagainya. Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin C adalah mudah infeksi pada luka, gusi berdarah, rasa nyeri pada persediaan, dan lain-lain.

Struktur Vitamin C



Gambar 5.7 Asam L-askorbat

Fungsi Vitamin C

Asam askorbat bersifat reduktor; maka dapat digunakan sebagai antioksidan.

Disamping sebagai antioksidan, vitamin C diperlukan untuk :

1. Kesehatan substansi matriks jaringan ikat
2. Integritas epitel melalui zat perekat antar sel
3. Pertumbuhan tulang dan gigi
4. Kesehatan epitel pembuluh darah
5. Menurunkan kadar kolesterol

Sifat kimia Vitamin C

Sifat reduksi asam askorbat dapat mereduksi $\frac{1}{2} O_2$, nitrat, sitokrom a, sitokrom c, krotonil-SKoA dan met-Hb; tetapi tidak sanggup mereduksi NAD^+ atau $NADP^+$. Diduga bahwa vitamin C berlaku sebagai ko-faktor untuk dopamine-betahidroksilase,

sehubungan dengan peran vitamin C sebagai donor electron di korteks adrenal. Hal ini terbukti bahwa korteks adrenal mengandung banyak vitamin C.

Metabolisme Vitamin C

Tubuh manusia dan binatang golongan primate tidak dapat mensintesis vitamin C, sehingga vitamin C harus disuplai makanan sehari-hari. Adanya asam askorbat makanan, membantu penyerapan besi dalam intestine, karena besi makanan umumnya berbentuk ion ferri sedangkan besi diserap berbentuk ion ferro. Dalam tubuh asam askorbat diubah menjadi asam oksalat, asam oksalat diekskresi ginjal, oksalat tersebut dinamakan “oksalat endogen” garam Ca-oksalat sangat sukar larut, sehingga memungkinkan dibentuknya “batu ginjal”.

Identifikasi Kualitatif Vitamin C

Uji sifat reduksi vitamin C terhadap reagen benedict

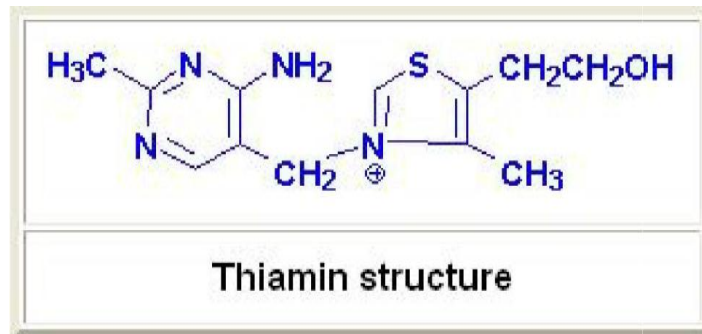
Prosedur Kerja :

Sediakan dua tabung reaksi. Masukkan masing-masing 2,5 ml reagen benedict. Tambahkan pada tabung pertama 4 tetes larutan vitamin C dan pada tabung kedua tambahkan 4 tetes larutan glukosa. Didihkan dalam penangas air selama 5 menit atau dengan api spiritus dan tunggu selama 3 menit. Perhatikan endapan merah bata pada kedua tabung.

5.8 Vitamin B

Sumber makanan yang mengandung vitamin B1 antara lain gandum, susu, kacang hijau, ragi, beras, telur, dan sebagainya. Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin B1 antara lain kulit kering/busuk/kusik, kulit bersisik, daya tahan tubuh berkurang.

Struktur Thiamin (Vitamin B1)



Gambar 5.8 Struktur vitamin B1

Struktur thiamin merupakan gabungan antara pirimidin dan thiazole yang dihubungkan dengan jembatan metilene.

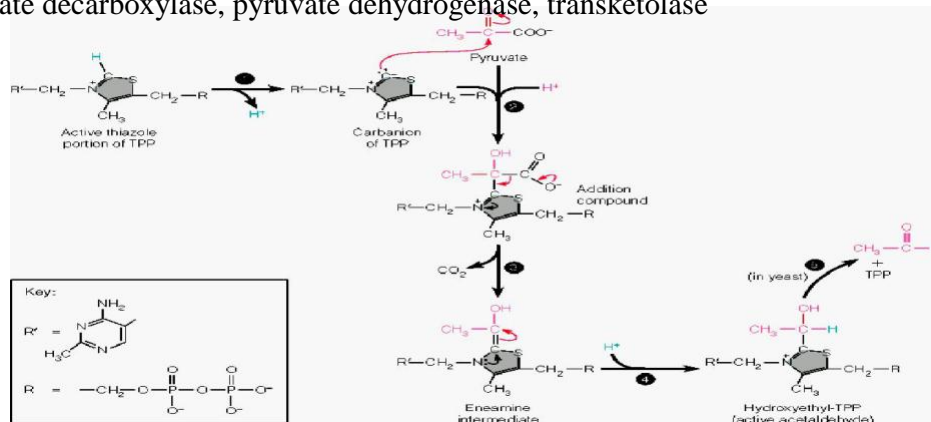
Di dalam otak dan hati, vitamin B1 segera diubah menjadi TPP (thiamin pyrophosphat) oleh enzim thiamin difosfotransferase, reaksi membutuhkan ATP.

Fungsi Vitamin B

Berperan penting sebagai koenzim dalam reaksi dekarboksilasi senyawa asam -keto.

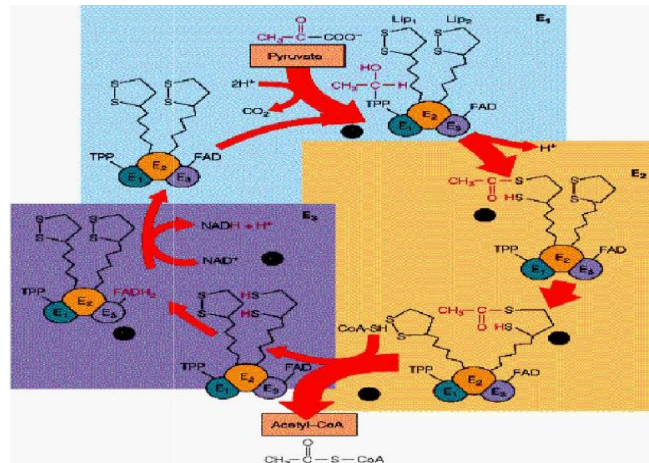
Beberapa enzim yang menggunakan TPP sebagai koenzim:

pyruvate decarboxylase, pyruvate dehydrogenase, transketolase



Gambar 5. 9 Reaksi dekarboksilasi senyawa asam-keto

1. Penting sebagai koenzim pyruvate and α -ketoglutarate dehydrogenase
2. Juga diperlukan untuk reaksi fermentasi glukosa menjadi etanol, di dalam yeast



Gambar 5.10 Reaksi perubahan Pyruvate → Acetyl CoA + CO₂

Fungsinya :

1. Meningkatkan sirkulasi dan pembentukan darah
2. Memelihara sistem saraf
3. Berperan dalam biosintesis neurotransmitter
4. Berperan dalam produksi HCl dalam perut → penting untuk pencernaan

Riboflavin (vitamin B2)

Sumber makanan yang mengandung vitamin B2 antara lain sayur-sayuran segar, kacang kedelai, kuning telur, susu dan lain sebagainya. Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin B2 adalah turunnya daya tahan tubuh, kulit kering berisik, mulut kering, bibir pecah-pecah, sariawan dan lain sebagainya.

Vitamin B2 merupakan prekursor kofaktor/koenzim flavin yang terdiri dari komponen :

- flavin mononukleotida (FMN)
- flavin adenine dinukleotida (FAD)

Enzim yang bekerja pada reaksi reduksi – oksidasi (redoks)

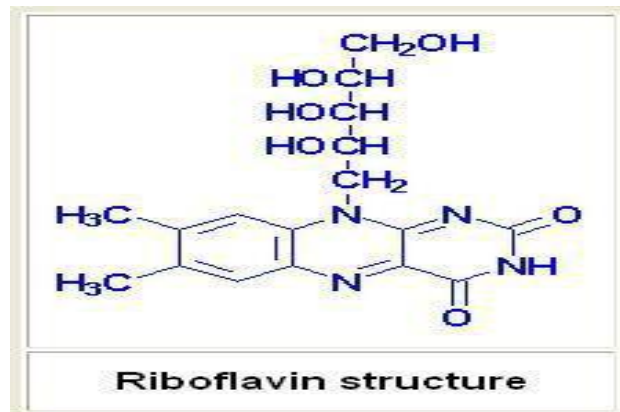
Memiliki fungsi sentral dalam produksi energi dan pernapasan seluler.

Enzim yang memerlukan kofaktor tersebut → flavoprotein

Riboflavin + ATP = FMN

FMN + ATP = FAD

Struktur riboflavin



Gambar 5.11 Struktur riboflavin Niasin (vitamin B3)

Sumber makanan yang mengandung vitamin B3 : buah-buahan, gandum, ragi, ikan, kentang manis, daging unggas dan sebagainya. Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin B3 antara lain terganggunya sistem pencernaan, otot mudah kram dan kejang, insomnia, badan lemas, mudah muntah-muntah dan mual-mual, dan lain-lain.

Berikut struktur vitamin B3 (Niasin)

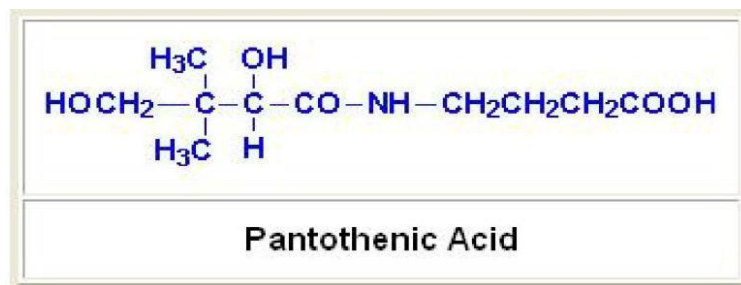


Gambar 5.13 Struktur Vitamin B3 (Niasin)

- Niasin dapat merupakan nikotinamid atau asam nikotinat
- Nikotinamid dan asam nikotinat = sebagai sumber vitamin B3
- Niasin dibutuhkan untuk sintesis vitamin B3, NAD (nicotinamida adenine dinucleotida), dan NADP⁺ (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)

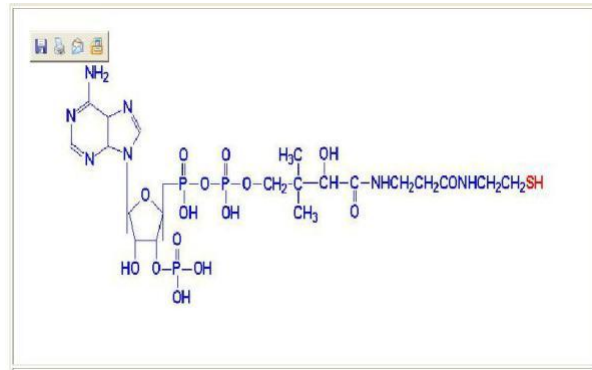
- NAD dan NADP = kofaktor pada enzim dehidrogenase, yang berfungsi dalam reaksi redoks → donor dan akseptor elektron
- NAD
 - banyak digunakan pada glikolisis, oksidasi asam lemak, metabolisme badan keton
 - Cenderung berperan sebagai akseptor elektron pada reaksi katabolisme
- NADP → sintesa asam lemak dan PPP
- Contoh laktat atau malat dehidrogenase

Asam pantotenat (vitamin B5)



Gambar 5.14 Struktur Vitamin B5 (Asam Pantotenat)

- Berasal dari β-alanin dan asam pantoat
- Diperlukan untuk
 - Sintesis koenzim A,
 - komponen asil carrier protein (ACP) berperan pada sintesis asam lemak
 - Sekitar 70 enzim = membutuhkan Co A atau derivat ACP untuk melakukan fungsinya
 - Co A diperlukan pada siklus kreb, sintesis dan oksidasi asam lemak, metabolisme asam amino, sintesis kolesterol
- Sumber makanan yang mengandung vitamin B5 :
Daging, susu, sayur mayur hijau, ginjal, hati, kacang ijo, dan banyak lagi yang lain. Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin B5 :
Otot mudah menjadi kram, sulit tidur, kulit pecah-pecah dan bersisik, dan lain-lain.



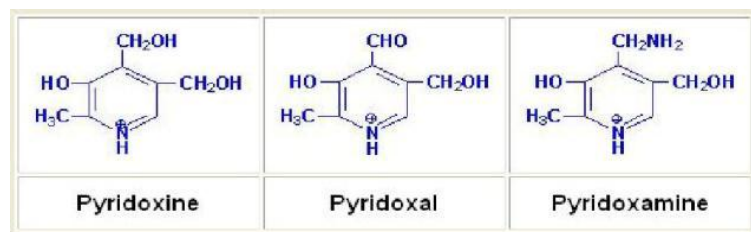
Gambar 5.15 Vitamin B5 berperan dalam sintesis koenzim

Vitamin B6

Sumber makanan yang mengandung vitamin B6 antara lain kacang-kacangan, jagung, beras, hati, ikan, beras tumbuk, ragi, daging, dan lain-lain.

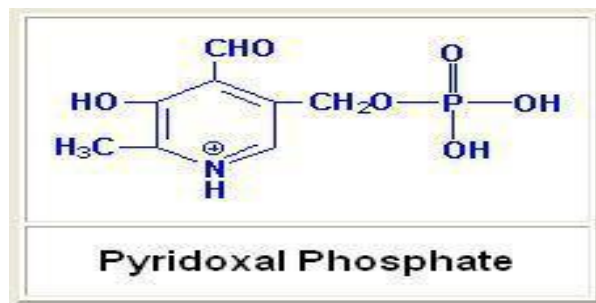
Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin B6 adalah pelagra alias kulit pecah-pecah, kram pada otot, insomnia, dan lain sebagainya.

Berikut struktur dari vitamin B6



Gambar 5.16 Struktur Vitamin B6

Di dalam tubuh vitamin B6 diubah menjadi bentuk aktif vitamin B6 yaitu PLP (piridoksal fosfat).



Gambar 5.17 Piridoksal fosfat

Pengubahan dari vitamin B6 menjadi bentuk Piridoksal fosfat ini membutuhkan ATP dengan katalis enzim piridoksal kinase.

PLP merupakan koenzim pada reaksi transaminasi, sintesis dan katabolisme asam amino, glikogenolisis (glikogen fosforilase).

Kobalamin (B12)

- Lebih sering dikenal sebagai vitamin B12
 - Struktur terdiri dari cincin tetrapirrol membentuk kompleks dan ditengahnya terdapat Cobalt
 - Disintesis secara eksklusif oleh mikroorganisme dan ditemukan dalam hati hewan dalam bentuk : terikat protein
 - Methycobalamin or 5'-deoxyadenosylcobalamin.
 - Untuk menjadi aktif → harus dihidrolisis terlebih dahulu di dalam perut oleh asam lambung atau oleh trypsin setelah konsumsi daging hewan. → diikat oleh intrinsik faktor → dibawa ke usus halus → diserap. Setelah diserap = dibawa ke hati → transcobalamin II
 - Terdapat di dalam daging, susu, dan ikan, tidak pada produk tumbuhan atau yeast
 - Penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin B12 antara lain anemia, gampang capek/lelah/lesu/lemes/lemas, penyakit pada kulit, dan sebagainya
- Vitamin dengan struktur paling besar dan paling kompleks mengandung ion metal → Co bentuk kofaktor : metil kobalamin tidak mempunyai fungsi vital dalam metabolisme, melainkan berperan dalam metabolisme leusine.

RANGKUMAN

Vitamin adalah suatu zat senyawa kompleks yang sangat dibutuhkan oleh tubuh kita yang berfungsi untuk membantu pengaturan atau proses kegiatan tubuh.

Vitamin dibedakan berdasarkan kelarutannya di dalam air :

- Vitamin yang larut di dalam air : Vitamin B dan Vitamin C
- Vitamin yang tidak larut di dalam air : Vitamin A, D, E, dan K atau disingkat Vitamin ADEK.

LATIHAN

1. Jelaskan pengklasifikasian vitamin!
2. Sebutkan struktur vitamin-vitamin A, D, E, K, C dan B!

TUGAS

Jelaskan sumber dan penyakit yang ditimbulkan akibat kekurangan vitamin A, D, E, K, C, dan B!

Daftar Rujukan

th

Murray R K, et al. Harper's Biochemistry 25 ed. Appleton & Lange. America 2000 :

Panil, Zulbadar . 2007. *Memahami Teori dan Praktik Biokimia Dasar Medis untuk Mahasiswa Kedokteran, Keperawatan, Gizi dan Analis Kesehatan*. Jakarta: EGC.

BAB VI

MINERAL

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
6	Mahasiswa menjelaskan pengertian mineral, penggolongan mineral, jenis-jenis mineral, fungsi, dan penyakit/kelainan akibat defisiensi mineral.	MINERAL	6.1. Pendahuluan 6.2. Fungsi mineral 6.3. Mineral-mineral esensial 6.4. Kalsium 6.5. Magnesium 6.6. Natrium klorida 6.7. Fosfor 6.8. Kalium 6.9. Belerang 6.10. Kobalt 6.11. Tembaga 6.12. Flour 6.13. Iodium 6.14. Mangan 6.15. Molibdenum 6.16. Silikon 6.17. Seng

6.1 Pendahuluan

Mineral menempati 4% bagian dari penyusun tubuh manusia. Menurut salah satu referensi, mineral dibedakan atas 2 golongan besar yaitu makroelemen yang berjumlah relatif besar di dalam tubuh, serta mikroelemen yang berjumlah relatif lebih sedikit. Selain 2 kelompok tersebut masih ada lagi kelompok unsur kelumit (*trace elements*), yang dibutuhkan dalam jumlah sangat sedikit. *Trace elements* ini sebenarnya dapat dimasukkan ke dalam kelompok mikroelemen.

Pada bahasan ini kita merujuk pada referensi lain yang membagi mineral atas (1) *essential minerals* (mineral esensial) dan (2) *trace elements* (unsur kelumit).

Mineral adalah unsur-unsur yang berada dalam bentuk sederhana. Dalam ilmu gizi biasanya disebut unsur- unsur mineral atau *nutrient/ zat gizi anorganik / nutrien (zat gizi) esensial* yang dibutuhkan oleh manusia dalam jumlah kecil, supaya tubuh dapat

menjalankan fungsinya dengan baik. Mineral yang kita butuhkan dapat ditemukan dalam makanan. Dalam berbagai macam makanan, seperti daging, sereal, ikan, susu, sayur mayur, buah-buahan dan kacang-kacangan dapat kita temukan mineral dalam berbagai jumlah.

Berikut ini adalah mineral-mineral esensial yang diperlukan oleh tubuh:

1. Kalsium (Calcium = Ca)
2. Magnesium (Mg)
3. Fosfor (Phosphorus = P)
4. Kalium (K) = Potassium
5. Natrium (Na) = Sodium
6. Belerang (Sulphur = S)
7. Klorin (Chlorine = Cl)
8. Besi (Ferrum = Fe)

Trace elements juga merupakan nutrisi esensial yang penting bagi kelancaran fungsi tubuh, tetapi dibutuhkan dalam jumlah lebih kecil dibandingkan dengan vitamin dan mineral. *Trace elements* ditemukan dalam jumlah kecil pada berbagai macam makanan seperti daging, ikan, sereal, susu, sayur dan kacang-kacangan.

Berikut ini adalah *trace element* yang diperlukan oleh tubuh:

1. Boron (Bo)
2. Kobalt (Cobalt = Co)
3. Tembaga (Copper = Cu)
4. Kromium (Chromium = Cr)
5. Fluor (Fluoride = F)
6. Iodium (Iodine = I)
7. Mangan (Manganese = Mn)

8. Molibdenum (Molybdenum = Mo)
9. Selenium (Se)
10. Silikon (Silicon = Si)
11. Seng (Zinc = Zn)

6.2 Fungsi mineral

Mineral memiliki 3 fungsi utama yaitu:

1. Membangun tulang dan gigi
2. Mengontrol keseimbangan cairan di dalam dan di luar sel
3. Berperan dalam proses pembentukan energi dari

makanan Fungsi- fungsi lainnya :

1. Sebagai katalis berbagai reaksi biokimawi dalam tubuh
2. Transmisi sinyal atau pesan pada sel saraf
3. Produksi hormon
4. Pencernaan dan penggunaan makanan
5. Bagian dari organ vital seperti tulang, darah, dan gigi Mineral sebagai kofaktor :

1. Min Banyak enzim yang mengandung ion metal = Metaloenzim
2. Ion tersebut berfungsi mirip dengan coenzim
3. Fungsi dari metal tersebut dalam enzim sangat bervariasi
4. Bisa sebagai katalis : Zn
5. Kadang untuk meningkatkan efisiensi enzim = ATP-Mg

11.6 Metals and trace elements important as enzymatic cofactors		
al	Example of Enzyme	Role of Metal
	Cytochrome oxidase	Oxidation–reduction
	Ascorbic acid oxidase	Oxidation–reduction
	Alcohol dehydrogenase	Helps bind NAD ⁺
	Histidine ammonia-lyase	Aids in catalysis by electron withdrawal
	Glutamate mutase	Co is part of cobalamin coenzyme
	Urease	Catalytic site
	Xanthine oxidase	Oxidation–reduction
	Nitrate reductase	Oxidation–reduction
	Glutathione peroxidase	Replaces S in one cysteine in active site

Gambar 6.1 Unsur mineral yang dapat berperan sebagai kofaktor

Tabel 6.1 Mineral yang dapat berperan sebagai kofaktor enzim

Zn^{2+}	Karbonik anhidrase, karboksipeptidase
Mg^{2+}	<i>EcoRV</i> , heksokinase
Ni^{2+}	Urease
Mo	Nitrat reduktase
Se	Glutation peroksidase
Mn^{2+}	Superoksid dismutase
K^{+}	Propionil KoA karboksilase

6.3 Mineral-mineral Esensial

6.3.1 Kalsium (Calcium = Ca)

Kalsium berkaitan sangat erat dengan fosfor dalam tubuh. Metabolisme kedua unsur ini berhubungan dengan sejumlah mekanisme fisiologis tubuh. Tubuh kita mengandung lebih banyak kalsium dari pada mineral yang lain. Diperkirakan 2 % berat badan orang dewasa atau sekitar 1,0 – 1,4 kg terdiri dari kalsium. Meskipun pada bayi hanya terdapat sedikit kalsium (25-30g), setelah usia 20 tahun secara normal akan terjadi penempatan sekitar 1.200 g kalsium dalam tubuhnya. Kadar kalsium mencapai jumlah 39% dari seluruh mineral yang ada dalam tubuh dan 99% kalsium tersebut berada dalam jaringan keras, tulang dan gigi. Sebanyak 1% kalsium berada dalam darah, cairan diluar sel dan dalam sel jaringan lunak dimana kalsium mengatur berbagai fungsi metabolik yang penting.

Keperluan kalsium terbesar pada waktu pertumbuhan, tetapi juga keperluan-keperluan kalsium masih diteruskan meskipun sudah mencapai usia dewasa. Pada pembentukan tulang, bila tulang baru dibentuk, maka tulang yang tua dihancurkan secara simultan.

Kalsium yang berada dalam sirkulasi darah dan jaringan tubuh berperan dalam berbagai kegiatan, diantaranya untuk transmisi impuls syaraf, kontraksi otot, pengumpulan darah, pengaturan permeabilitas membrane sel, serta keaktifan enzim.

Tulang merupakan jaringan pengikat yang sangat khusus bentuknya. Tulang dibentuk dalam dua proses yang terpisah, yaitu pembentukan matriks dan penempatan mineral ke dalam matriks tersebut. Tiga jenis komponen seluler terlibat didalamnya dengan fungsi yang berbeda-beda yaitu osteoblast dalam pembentukan tulang, osteocyte dalam pemeliharaan tulang, dan osteoclast dalam penyerapan kembali tulang. Osteoblast membentuk kolagen tempat mineral-mineral melekat.

Mineral utama didalam tulang adalah kalsium dan fosfor, sedangkan mineral lain dalam jumlah kecil adalah natrium, magnesium dan flour.

Penelitian yang dilakukan dengan kalsium radioaktif menunjukkan bahwa tulang secara terus menerus dibentuk dan dirombak secara simultan. Diperkirakan sekitar 20% kalsium tulang orang dewasa diserap dan diganti lagi setiap tahun.

Kontraksi otot menyebabkan terjadinya lepasnya ion-ion kalsium dari tempat penyimpanannya dalam sel. Keluarnya ion kalsium menstimulasi enzim ATP-ase dalam miosin, yang mengakibatkan pecahnya ATP yang menghasilkan energi dan terbentuk ikatan silang antara miosin dan aktin yang disebut aktomiosin dan terjadilah kontraksi. Setelah terjadi pengendoran otot, ion kalsium dipompa kembali ke tempat penyimpanannya dalam sel.

Penyerapan kalsium sangat bervariasi tergantung umur dan kondisi badan. Pada waktu kanak-kanak atau pertumbuhan, sekitar 50-70% kalsium yang dicerna diserap, tetapi waktu dewasa hanya sekitar 10-40% yang diserap. Karena garam kalsium lebih larut dalam asam, maka penyerapan kalsium terjadi pada bagian atas usus kecil, tepat setelah lambung.

Absorpsi kalsium dibantu oleh vitamin D, Vitamin C dan laktosa. faktor yang dapat menghalangi penyerapan kalsium adalah adanya zat organik yang dapat bergabung dengan kalsium dan membentuk garam yang tidak larut. Contoh: asam oksalat dan asam fitat.

Asam oksalat dan kalsium membentuk garam yang tidak larut, yaitu kalsium oksalat. Asam oksalat banyak ditemukan didalam bit yang masih hijau, bayam rhubarb, dan coklat. Asam fitat terdapat pada bekatul gandum.

Bila konsumsi kalsium menurun dapat terjadi kekurangan kalsium yang menyebabkan osteomalasia. Pada Osteomalasia, tulang menjadi lunak karena matriknya

kekurangan kalsium. Sebab utama osteomalasia yang sesungguhnya adalah kekurangan vitamin D. Di samping itu bila keseimbangan kalsium negatif, osteoporosis atau masa tulang menurun dapat terjadi. Hal ini disebabkan konsumsi kalsium rendah, absorpsi yang rendah, atau terlalu banyak kalsium yang terbuang bersama urin.



Gambar 6.2 Kalsium juga terdapat dalam susu

Sumber:

Sumber Kalsium yang baik adalah susu, keju dan sejenisnya, sayuran hijau (seperti brokoli, kol, tetapi tidak untuk bayam), kedelai, roti, ikan dan sebagainya.

Kebutuhan:

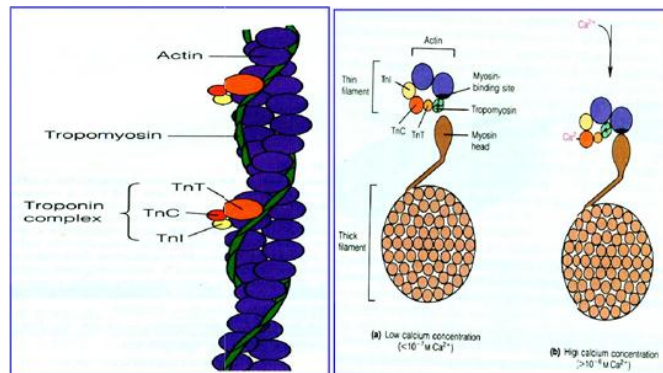
Orang dewasa membutuhkan Kalsium 700 mg / 0,7 g per hari.

Anak dibawah 10 tahun sebanyak 0,5 g perhari.

Fungsi:

1. Membantu membangun tulang dan gigi
2. Mengatur kontraksi otot, termasuk denyut jantung
3. Berperan dalam proses pembekuan darah
4. Secondary messenger
5. Pembentukan tulang dan otot Koagulasi darah
6. Pemecahan glikogen dan aktivator siklus kreb

Untuk melakukan kontraksi → otot membutuhkan ATP (dlm myofibril). Tapi yang menstimulasi terjadinya kontraksi = C



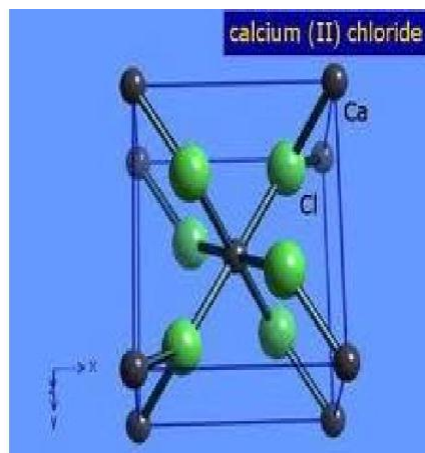
Gambar 6.3

Selain itu diduga kalsium membantu menurunkan tekanan darah tinggi serta mencegah terjadinya kanker kolon dan payudara.

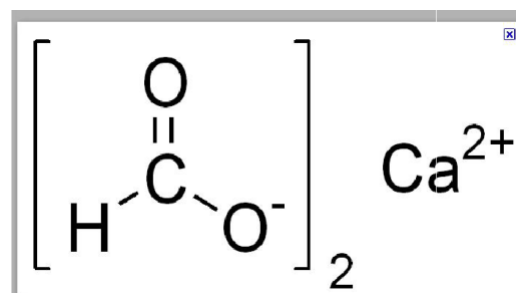
Sifat kalsium:

Kalsium adalah unsur yang agak lembut, kelabu dan kelogaman yang dapat disaring melalui elektrolisis kalsium fluorida. Kalsium terbakar dengan nyala kuning-kemerahan dan membentuk silatan nitrida putih apabila terpapar dengan udara dan menebarkan hidrogen serta membentuk kalsium hidroksida.

Struktur kalsium



Struktur Ca



Gambar 6.4 Struktur kalsium (Ca)

Akibat konsumsi terlalu banyak:

Mengonsumsi Kalsium berdosisi tinggi dapat menyebabkan nyeri lambung dan diare.

Saran:

Seharusnya Kalsium didapatkan dengan diet yang bervariasi dan seimbang. Tetapi jika mengonsumsi suplemen Kalsium, seharusnya tidak terlalu banyak. Konsumsi suplemen Kalsium 1500 mg atau kurang per hari, mungkin tidak menyebabkan gangguan.

6.3.2 Magnesium (Mg)

Pada tubuh orang dewasa terkandung 20-25 gram magnesium. Separuh dari jumlah tersebut terkandung dalam tulang dan selebihnya terkandung dalam jaringan lemak seperti otot dan hati, serta cairan ekstra seluler.

Magnesium merupakan aktivator enzim peptidase dan enzim lain yang kerjanya memecah dan memindahkan gugus fosfat (fosfatase). Magnesium diserap di usus kecil, dan diduga hanya seper tiga dari yang tercerna akan diserap. Karena kelarutan garam magnesium rendah, maka magnesium sulfat (garam Inggris) sering digunakan sebagai obat pencuci perut (laxative) yaitu dengan dikonsumsi dalam jumlah besar (± 30 g). Magnesium sulfat tersebut akan meningkatkan tekanan osmosis sehingga menarik air ke dalam usus kecil, akibatnya menjadi lebih mudah buang air besar.

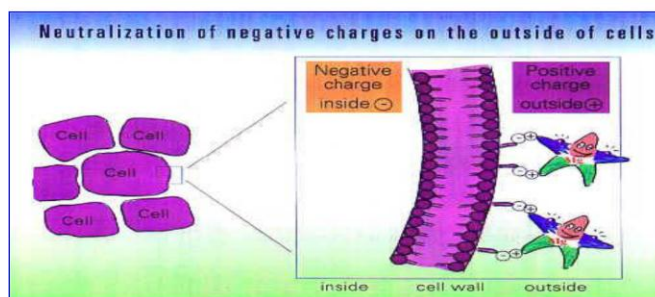
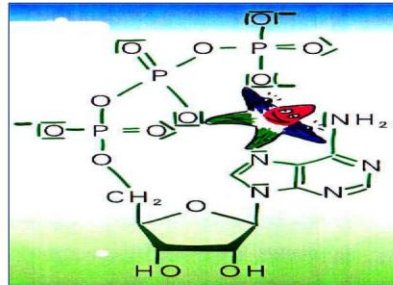
Magnesium juga merupakan:

- Merupakan kation bivalent = cenderung berfungsi sebagai “chelator”
- Mineral penting, selain Ca dan fosfor
- Di intraseluler sel → sering ditemukan berikatan dengan ATP = berperan sebagai ko-faktor

ATP yang berikatan dengan Mg = merupakan substrat yang lebih efektif bagi enzim – enzim yang membutuhkan ATP.

- Mg penting bagi manusia karena berperan dalam reaksi penghasilan energi

- Pompa Na/K yg mengatur konsentrasi elektrolit dlm sel = dikontrol oleh ATP → keseimbangan elektrolit di dalam sel tergantung pada Mg
- Food processing = menghilangkan Mg dalam makanan



Gambar 6.5 Kofaktor yang berikatan dengan Mg

Berfungsi pula menghambat kalsium di sinapsis sel saraf = mencegah ekskresi neurotransmitter terutama adrenalin, nor adrenalin.

Kekurangan :

Kekurangan magnesium akan menyebabkan hypomagnesemia dengan gejala denyut jantung tidak teratur, insomnia, lemah otot, kejang kaki, serta telapak kaki dan tangan gemetar. Pemberian magnesium sulfat kepada pasien yang kekurangan magnesium dapat membantu mengurangi getaran otot seperti terlihat dari hasil percobaan tanda tangan pasien sebelum dan sesudah diberi pengobatan $MgSO_4$.

Sumber:

Magnesium adalah mineral yang terdapat di dalam banyak ragam makanan. Sumber Magnesium terkaya adalah sayuran hijau (seperti bayam) dan kacang-kacangan. Sumber Magnesium yang baik adalah roti, ikan, daging dan lain-lain.



Gambar 6.6 Sumber mineral Mg

Kebutuhan:

Kebutuhan Magnesium adalah 300 mg perhari untuk pria dan 270 mg per hari untuk wanita.

Fungsi:

Magnesium memiliki sejumlah fungsi penting, contohnya:

1. Membantu proses pembentukan energi dari makanan
2. Mendukung fungsi kelenjar paratiroid. Kelenjar paratiroid menghasilkan hormon yang penting bagi kesehatan tulang

Sifat Magnesium

Magnesium agak kuat, berwarna putih keperakan dan ringan (satu pertiga lebih ringan daripada aluminium). Magnesium berubah kusam apabila terdedah kepada udara, tetapi berlainan dengan logam-logam alkali, penyimpanan dalam persekitaran yang bebas oksigen tidaklah diperlukan kerana ia akan membentuk satu lapisan pelindung oksida yang sukar ditembus atau diasingkan. Dalam bentuk serbuk, logam ini terbakar dengan nyalaan putih apabila terdedah kepada keadaan lembap. Magnesium sukar terbakar jika dalam bentuk pukal, dan lebih mudah untuk dibakar jika dipotong dalam bentuk jalur nipis.

Sangat susah untuk mematikan pembakaran magnesium karena itu mudah terbakar bersama nitrogen (membentuk magnesium nitrida), dan karbon dioksida (membentuk magnesium oksida dan karbon). Pembakaran pita magnesium akan tetap terus jika pita direndam dalam air, sehingga pita magnesium habis terbakar.

Magnesium menghasilkan cahaya putih yang terang apabila dibakar dalam udara. Ini digunakan pada zaman awal fotografi di mana serbuk magnesium digunakan sebagai sumber pencahayaan (serbuk kilat). Kemudiannya, pita magnesium digunakan dalam mentol denyar yang dinyala secara elektrik. Serbuk magnesium masih digunakan dalam pembuatan mercun dan nyala marin apabila cahaya putih terang diperlukan.

Akibat konsumsi terlalu banyak

Konsumsi Magnesium dosis tinggi dalam waktu singkat dapat menyebabkan diare.

Saran:

Magnesium seharusnya diperoleh dengan cara mengonsumsi makanan secara bervariasi dan seimbang. Tetapi jika mengonsumsi suplemen Magnesium disarankan tidak terlalu banyak. Konsumsi Mg 400 mg atau kurang sehari, mungkin tidak menyebabkan gangguan.

6.3.3 Natrium Klorida (Sodium chloride = Natrium Chloride = NaCl)

Keduanya sangat erat, terutama dalam hal keseimbangan air dan elektrolit atau keseimbangan asam basa. Natrium didapat dalam plasma darah dan dalam cairan diluar sel (ekstraseluler), beberapa di antaranya juga terdapat dalam tulang. Jumlah natrium dalam badan manusia diperkirakan sekitar 100-110 g. Konsumsi garam perorang per hari diperkirakan sekitar 6-18 g NaCl. Klorida juga banyak terdapat pada plasma darah, serta banyak ditemukan dalam kelenjar pencernaan lambung sebagai asam klorida. Ion – ion klorida mengaktifkan enzim amilase dalam mulut untuk memecahkan pati yang dikonsumsi.

Sebagian terbesar dari cairan ekstraseluler, natrium dan klorida juga membantu mempertahankan tekanan osmotik, di samping juga membantu menjaga keseimbangan asam dan basa. Natrium bersama kalsium, magnesium serta kalium dalam cairan ekstraseluler mempunyai reaksi alkalis, sedangkan klorida bersama fosfat , karbonat, sulfat , asam- asam organik, dan protein yang mempunyai reaksi asam.

Sebanyak 95% natrium yang dicerna akan diserap oleh tubuh. Sebagian besar pengeluaran natrium terjadi melalui ginjal. Disamping itu natrium dikeluarkan juga melalui keringat. Setiap liter keringat mengandung 0,5 sampai 3,0 g natrium.

Tubuh manusia mengandung 83-97 g natrium, 30-40% dari seluruh natrium terletak di tulang, dan 65-70% dari natrium yang ada dalam tulang tersebut tidak mengalami pertukaran atau lambat sekali pertukarannya dengan cairan tubuh. Diperkirakan sebanyak 65% dari seluruh kandungan natrium dalam tubuh mengalami pertukaran, hal ini tidak tampak berbeda dengan bertambahnya usia atau perbedaan jenis kelamin pada orang dewasa normal.

Tubuh manusia mengandung kira-kira 82 g klorida, dan sebagian besar sebagai ion-ion ekstraseluler. Beberapa di antara klorida juga bersifat intraseluler, dan butir-butir darah merah mempunyai konsentrasi yang paling tinggi, diikuti oleh mukosa lambung, gonad, dan kulit.



Gambar 6.7 Mineral NaCl

Sumber:

Natrium Klorida umumnya disebut sebagai garam. Garam ditemukan secara alamiah dalam jumlah kecil pada semua makanan, tetapi dalam jumlah besar ditambahkan pada makanan olahan seperti daging, sereal sarapan, keju, roti serta berbagai macam snack.

Kebutuhan:

Sangat sulit untuk makan terlalu sedikit garam. Sebagai contoh di Inggris masyarakat garam melebihi jumlah yang seharusnya. Rata-rata kita mengonsumsi 9,5 g garam

(berkisar 3,7 g Natrium) per hari, tetapi kita seharusnya mengonsumsi tak lebih dari 6 g garam(2,5gNatrium).

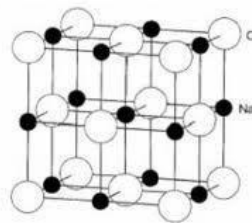
Tip-tip praktis untuk cutting down on salt:

1. Cek label makanan untuk memilih yang rendah garam
2. Pilih sayuran kaleng yang tidak mengandung penambahan garam jika mungkin
3. Hindari saus, karena umumnya sering berkadar garam tinggi
4. Kurangi makan snack bergaram, seperti krispi dan kacang-kacangan bergaram
5. Kurangi garam saat memasak, gunakan herba dan rempah-rempah untuk menambah aroma
6. Pilih mangkuk stok rendah garam atau buatlah stok sendiri
7. Cicipi dulu masakan dan jangan langsung menambahkan garam

Fungsi:

1. Natrium dan Klorida membantu menjaga keseimbangan cairan tubuh.
2. Klorida membantu proses pencernaan makanan karena unsur ini merupakan komponen esensial dari getah lambung dan usus.

Struktur NaCl:



Gambar 2.7 Struktur NaCl.

Gambar 6.8 Struktur NaCl

Akibat konsumsi terlalu banyak

Konsumsi garam terlalu banyak dapat meningkatkan tekanan darah (hipertension) dan hal ini beresiko terhadap stroke dan serangan jantung.

Kekurangan natrium

Pada orang sehat jarang sekali ditemukan kasus kekurangan natrium. Tanda pertama kekurangan natrium ialah rasa haus. Bila terjadi banyak kehilangan natrium, maka cairan ekstraseluler berkurang, akibatnya tekanan osmotik dalam cairan tubuh

menurun. Hal ini menyebabkan air dari cairan ekstraseluler masuk ke dalam sel, sehingga tekanan osmotik dari cairan ekstraseluler meningkat. Volume cairan, termasuk darah akan menurun, mengakibatkan penurunan tekanan darah. Aldosteron, hormon yang ada di korteks adrenal, membantu menahan natrium dengan cara menyerap kembali natrium bersama air dalam ginjal. Dengan cara ini volumen cairan ekstraseluler dalam sirkulasi darah kembali normal. Aldosteron juga membantu meningkatkan pengeluaran kalium melalui ginjal.

Bagi orang yang tinggal di daerah tropis atau bekerja pada udara panas biasanya konsumsi makanannya sudah cukup mengandung garam (NaCl) yang diperkirakan cukup untuk memproduksi 4 liter keringat, tanpa mengganggu kadar NaCl di dalam badan.

Pada keadaan hilangnya banyak natrium, orang akan muntah-muntah atau diare karena cairan yang ada dalam usus banyak mengandung natrium.

Saran:

Rata-rata, setiap hari kita mengkonsumsi 3.5 g garam lebih banyak daripada seharusnya. Disarankan masyarakat mengurangi garam dan NaCl seharusnya tak digunakan dalam suplemen.

6.3.4 Fosfor (Phosphorus = P)

Mineral ini menempati kadar nomor dua dalam tubuh kita setelah kalsium, yaitu 22% dari seluruh mineral yang ada. Kurang lebih 80% berada dalam bentuk kalsium fosfat kristal yang tidak larut, yang memberikan kekuatan pada gigi. Adapun sisanya 20% didistribusi dalam tiap sel dan dalam cairan di luar sel bersama dengan karbohidrat, lipid, protein serta senyawa lainnya.

DNA dan RNA terdiri dari fosfor dalam bentuk fosfat, demikian juga membran sel yang membantu menjaga permeabilitas sel.

Senyawa seperti ATP dan keratin fosfat, koenzim dari golongan vitamin B, protein konjugasi, fosfolipid, merupakan contoh senyawa fosfat yang penting dalam tubuh kita.

Biasanya kira-kira 70 % dari fosfor yang berada dalam makanan dapat diserap oleh tubuh. Penyerapan fosfor dibantu oleh vitamin D dan diekresi melalui urine.



Gambar 6.9 Unsur fosfor di dalam beras

Sumber:

Fosfor adalah mineral yang dapat dijumpai di dalam daging merah, makanan-makanan bersusu, ikan, unggas, roti, beras dan gandum.

Kebutuhan:

Kita seharusnya sudah mendapatkan seluruh kebutuhan fosfor dari makanan sehari-hari. Kebutuhan Fosfor orang dewasa adalah 550 mg per hari.

Fungsi:

Fosfor memiliki beberapa peran penting dalam tubuh. Sebagai contoh di antaranya:

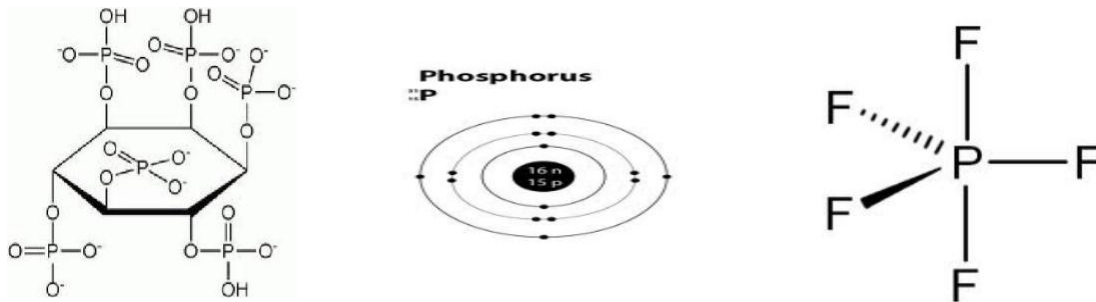
1. Membantu membangun tulang dan gigi
2. Membantu menghasilkan energi dari makanan yang kita makan

Sifat Fosfor:

Berwarna putih, kekuning-kuningan, merah dan hitam. Fosfor putih memiliki dua tipe: alfa dan beta. Walaupun memiliki tiga warna, dalam kondisi murni zat ini tak berwarna atau transparan. Zat ini tak dapat larut dalam air, tapi terurai dalam CS_2 .

Sifat fosfor putih cepat bereaksi jika terekspos ke udara dan siap berubah menjadi fosfor pentoksida. Zat ini mudah terbakar pada temperatur $10-15^{\circ}C$ diatas suhu normal. Pada kondisi gelap, fosfor akan terlihat terang. Reaksi kimia ini baru akan habis ketika fosfor terbakar sempurna atau tidak ada oksigen.

Struktur fosfor:



Gambar 6.12 Struktur fosfor

Akibat konsumsi terlalu banyak

Mengonsumsi suplemen Fosfor dosis tinggi dalam waktu singkat, dapat mengakibatkan diare atau nyeri lambung. Sedangkan konsumsi dosis tinggi dalam waktu lama dapat menurunkan jumlah Kalsium dalam tubuh, sehingga tulang lebih beresiko terhadap fraktur. Kekurangan fosfor.

Mengakibatkan demineralisasi tulang dan terjadi pertumbuhan yang kurang baik.

Saran:

Kita seharusnya sudah dapat memenuhi kebutuhan Fosfor dari makanan yang bervariasi dan seimbang. Tetapi jika kita memutuskan untuk mengonsumsi suplemen Fosfor, penting untuk membatasi agar tidak terlalu banyak, karena dapat menimbulkan gangguan. Konsumsi suplemen Fosfor 250 mg per hari atau kurang, mungkin tidak menyebabkan gangguan.

6.3.5 Kalium (Potassium = K)

Tubuh seorang dewasa mengandung kalium (250g) dua kali lebih banyak dari natrium (110 gram). Konsumsi kalium lebih sedikit dari pada natrium. Konsumsi per orang per hari di Amerika 2-6 gram kalium. Berbeda dengan natrium, kalium biasanya lebih banyak berada di dalam sel dari pada di luar sel, karena itu lebih mudah menyimpan dan menjaganya. Komposisi kalium biasanya tetap, sehingga digunakan sebagai indeks untuk lean mass (bagian badan tanpa lemak).

Kalium menjaga tekanan osmotik dalam cairan intraseluler, dan sebagian terikat dengan protein. Kalium juga membantu mengaktivasi reaksi enzim, seperti piruvat kinase yang dapat menghasilkan asam piruvat dalam proses metabolisme karbohidrat.

Kalium mudah sekali diserap tubuh, diperkirakan 90% dari yang dicerna akan diserap dalam usus kecil.

Sumber:

Kalium adalah mineral yang dapat ditemukan pada mayoritas makanan. Sumber Kalium yang baik antara lain buah-buahan (seperti pisang), sayur mayur, kacang-kacangan dan biji-bijian, susu, ikan, kerang-kerangan, daging sapi, ayam, beef, chicken, kalkun dan roti.



Gambar 6.13 Kalium terdapat dalam pisang

Kebutuhan:

Kita seharusnya sudah mendapatkan seluruh kebutuhan Kalium dari makanan sehari-hari.

Kebutuhan Kalium orang dewasa adalah 3500 mg per hari.

Fungsi:

Kalium memiliki beberapa peran penting, di antaranya:

1. Mengendalikan keseimbangan cairan tubuh
2. Mungkin juga menurunkan tekanan darah
3. Menjaga potensial membran sel
4. Kofaktor enzim. Contoh : piruvat kinase (metabolisme karbohidrat)
5. Menjaga potensial membran
 - a. K – kation utama di dalam sel, N – kation utama di luar sel
 - b. K di dalam sel : 30 X lebih tinggi dibanding luar sel

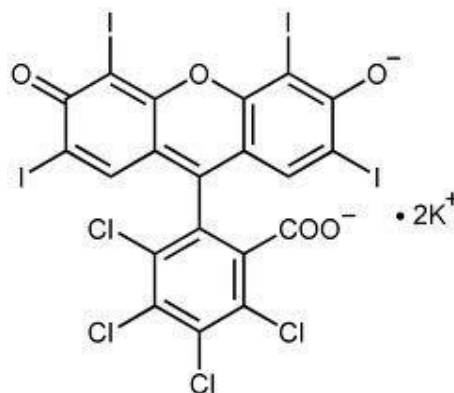
- c. Na di luar sel : 10 X lebih tinggi dibanding dalam sel
 - d. Perbedaan konsentrasi = gradien elektrokimiawi membran → potensial membran
 - e. Potensial membran penting dalam → penyampaian sinyal untuk komunikasi antar sel : sel saraf
6. Fungsi utama : bergabung dengan protein dan tembaga = membentuk hemoglobin (transport O_2 dari paru-paru ke jaringan yang membutuhkan).
 7. Penting pula untuk pembentukan myoglobin (pengangkut O_2 di dalam otot)

Sifat Kalium:

Kalium berbentuk logam lunak berwarna putih keperakan dan termasuk golongan alkali tanah. Secara alami, kalium ditemukan sebagai senyawa dengan unsur lain dalam air laut atau mineral lainnya. Kalium teroksidasi dengan sangat cepat dengan udara, sangat reaktif terutama dalam air, dan secara kimiawi memiliki sifat yang mirip dengan natrium. Dalam bahasa Inggris, Kalium sering disebut Potassium

Akibat konsumsi terlalu banyak. Konsumsi terlalu banyak Kalium dapat menyebabkan nyeri lambung, mual dan diare.

Struktur Kalium:



Gambar 6.14 Struktur Kalium

Kekurangan kalium

Kekurangan kalium dari ransum. Biasanya disebabkan sakit hati, ciirhosis, terlalu banyak muntah-muntah, luka bakar, atau KKP (Kurang Kalori Protein) yang berat. Gejala kekurangan kalium biasanya pelunakan otot. Orang yang terbakar banyak kehilangan kalium dan mempunyai keseimbangan kalium yang negatif. Karena itu diperlukan konsumsi kalium yang tinggi yaitu dengan perbandingan kalium nitrogen 6:1 (pada badan normal hanya memerlukan perbandingan 4:1).

Dalam keadaan lapar gizi, banyak sekali kalium hilang dari otot. Dalam waktu puasa terjadi kekurangan kalium dan terjadi toleransi glukosa yang abnormal. Kita seharusnya dapat mencukupi kebutuhan Kalium dengan makanan secara bervariasi dan seimbang. Tetapi jika kita memutuskan untuk mengonsumsi suplemen Kalium, sebaiknya tidak terlalu banyak karena akan menyebabkan gangguan. Mengonsumsi suplemen Kalium 3700 mg atau kurang per hari mungkin tidak menimbulkan gangguan. Tetapi, orang yang lebih tua mungkin lebih beresiko mengalami gangguan akibat Kalium. Karena, semakin tua ginjal kita menjadi kurang mampu memindahkan Kalium dari darah. Sehingga, orang-orang yang lebih tua seharusnya tidak mengonsumsi suplemen Kalium kecuali atas saran medis.

6.3.6 Belerang (Sulfur = Sulphur = S)

Berbentuk senyawa-senyawa esensial bagi tubuh, misalnya sebagai komponen vitamin B-1, Komponen asam amino esensial yang mengandung belerang (metionin), Komponen koenzim-ASH, komponen molekul anti koagulasi (heparin), komponen reduktor (glutathione), komponen hormone kelenjar pankreas (insulin), komponen vitamin (biotin), komponen vitamin lipoat, komponen vitamin (asam folat), dan lain-lain lagi. Dalam tubuh, dikenal pula suatu senyawa sulfat berenergi tinggi (suatu senyawa sulfat dalam bentuk “adenosine-3,-phosphor-5,-phosphosulfat).

Bagian-bagian tubuh yang mengandung sulfur adalah jaringan pengikat, kulit, kuku, dan rambut.

Dalam urin dijumpai derivat senyawa sulfat berbentuk:

1. Sulfat anorganik
2. Sulfat eter
3. Sulfat netral

Jaringan sulfur sebagian besar diserap dalam bentuk organik sebagai asam amino. Bentuk sulfat anorganik (sedikit sekali dalam makanan) biasanya sulit diserap oleh tubuh.

Sulfur merupakan bagian yang penting dari mukopolisakarida misalnya kondroitin sulfat pada tulang rawan, tendon, tulang, kulit, dan klep-klep jantung. Sedangkan sulfolipida sangat banyak dijumpai pada jaringan-jaringan hati, ginjal, kelenjar ludah, dan bagian putih otak.

Senyawa sulfur sangat berperan dalam berbagai reaksi oksidasi reduksi, diantaranya terdapat pada berbagai koenzim, misalnya koenzim A dan glutathion (tripeptida dari asam glutamat, sistein dan glisin). Konsentrasi glutathion sangat tinggi dalam butir darah merah.

Metabolisme asam amino dalam sel dapat menghasilkan asam sulfat yang segera dinetralkan dan dikeluarkan dalam bentuk garam organik.

Sumber:

Belerang adalah mineral yang ditemukan secara alamiah dalam berbagai bentuk di dalam makanan. Belerang juga digunakan dalam bentuk sulfat dan sulfid sebagai zat aditif dalam makanan.

Kebutuhan:

Kita dapat mencukupi kebutuhan belerang dari makanan sehari-hari.

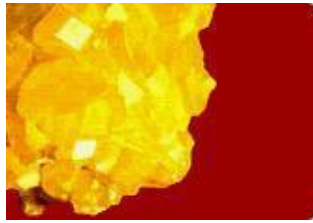
Fungsi:

Belerang berperan dalam beberapa proses tubuh yang berbeda, di antaranya membantu penyusunan jaringan misalnya kartilago.

Sifat Belerang:

sifat-sifat fisik belerang adalah : Kristal belerang berwarna kuning, kuning kegelapan, dan hitam-hitaman, karena pengaruh unsur pengotornya. Berat jenis : 2,05 - 2,09, kekerasan

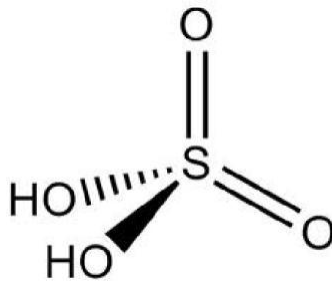
: 1,5 - 2,5 (skala Mohs), Ketahanan : getas/mudah hancur (brittle), pecahan :berbentuk konkoidal dan tidak rata. Kilap : damar Gores : berwarna putih.



Gambar 6.15 Kristal belerang

Sifat belerang lainnya adalah : tidak larut dalam air, atau H_2SO_4 . Titik lebur 129°C dan titik didihnya 446°C . Mudah larut dalam CS_2 , CCl_4 , minyak bumi, minyak tanah, dan anilin, penghantar panas dan listrik yang buruk. Apabila dibakar apinya berwarna biru dan menghasilkan gas-gas SO_2 yang berbau busuk.

Struktur Belerang:



Gambar 6.16 Struktur belerang dalam ion sulfat

Kekurangan sulfur

Orang yang rendah konsumsi protein akan mengeluarkan sulfur lebih rendah. Cistinuria merupakan kelainan yang bersifat menurun pada seseorang. Sistin, lisin, dan ornitin banyak dikeluarkan dari tubuh karena ginjal tidak mampu menyerap kembali zat-zat tersebut. Karena zat-zat ini tidak larut, terbentuklah renal calculi.

Saran:

Kita sudah dapat memenuhi kebutuhan belerang dari makanan yang bervariasi dan seimbang.

6.3.7 Besi (Ferrum = Fe)

Kebanyakan dari besi esensial terdapat dalam hemoglobin, kira-kira 5% terdapat dalam otot (mioglobin), dan kurang dari 1% terdapat dalam sel tubuh sebagai bagian dari enzim oksido-reduktase. Kira-kira 20% disimpan dalam hati, sumsum tulang belakang dalam limpa sebagai feritin dan hemosiderin. Dalam plasma darah besi terdapat sebagai transferin.

Unsur besi ini diserap melalui dinding usus dalam bentuk ion fero. Ion ini tidak langsung digunakan oleh tubuh, melainkan lebih dahulu disimpan dalam hati, limpa dan sumsum tulang belakang. Kemudian dibawa oleh plasma darah ke seluruh jaringan tubuh dalam bentuk kompleks besi protein di atas.

Penyerapan besi dibantu oleh keasaman cairan lambung dan vitamin C. Ion feri juga diserap tetapi tidak semudah ion fero. Penyerapan ion besi terbanyak berlangsung di duodenum bagian atas dan dikontrol oleh mukosa oksipora intestine tetapi dalam jumlah terbatas juga terjadi pada jejunum dan ileum.

Besi berperan dalam tubuh untuk melaksanakan transpor oksigen dari paru-paru ke jaringan dan dalam proses respirasi sel. Dalam pembentukan hemoglobin diperlukan adanya ion besi. Masa hidup butir darah merah termasuk hemoglobin adalah 120 hari. Di dalam tubuh terdapat sebanyak 20.000 milyar sel darah merah. Jangka hidup tersebut memberi gambaran bahwa sel-sel darah merah rusak dan diproduksi pada kecepatan 115 juta butir permenit. Perusakan sel darah merah terjadi didalam limpa, dan besi yang telah lepas digunakan kembali dalam metabolisme.

Besi yang ada dalam tubuh berasal dari tiga sumber yaitu:

1. Besi yang diperoleh dari hasil perusakan sel-sel darah merah(hemolisis)
2. Besi yang diambil dari penyimpanan dalam badan
3. Besi yang diserap dari saluran pencernaan.

Dari ketiga sumber tersebut hasil hemolisis merupakan sumber utama.

Sumber:

Besi merupakan mineral esensial. Sumber besi yang baik antara lain: hati, daging, kacang-kacangan, padi-padian, sereal yang telah difortifikasi, tepung kedelai, dan sayuran hijau gelap. Banyak orang memikirkan bahwa bayam adalah sumber besi yang baik, tetapi bayam mengandung bahan yang menyebabkan besi lebih sulit diserap.

Meskipun hati adalah sumber besi yang baik, jika Anda sedang hamil hindarilah hati karena terlalu banyak vitamin A terkandung di dalamnya.

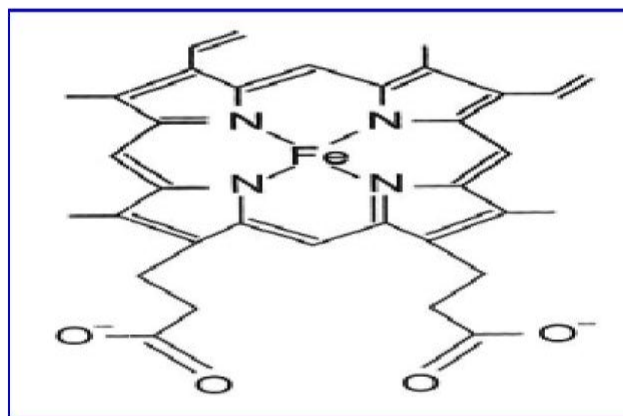
Kebutuhan:

Kita sudah dapat memenuhi seluruh kebutuhan besi dari makanan sehari-hari.

Kebutuhan besi kita adalah 8,7 mg per hari untuk pria dan 14,8 mg per hari untuk wanita. Mengonsumsi makanan yang mengandung vitamin C pada waktu bersamaan dengan makanan yang mengandung besi dari sumber non-daging akan membantu penyerapan besi. Sehingga Anda dapat mengonsumsi jus buah atau buah dengan, sereal terfortifikasi, atau sayuran dengan kacang-kacangan atau beras.

Wanita yang kehilangan darah karena menstruasi mungkin memerlukan suplementasi besi. Fungsi: Besi memiliki sejumlah peran penting bagi tubuh. Sebagai contoh adalah berperan dalam pembentukan eritrosit, yang berfungsi membawa oksigen ke seluruh tubuh,

keseimbangan antara Fe, Zn & Cu juga penting untuk menjaga dan mencegah thyroidism.

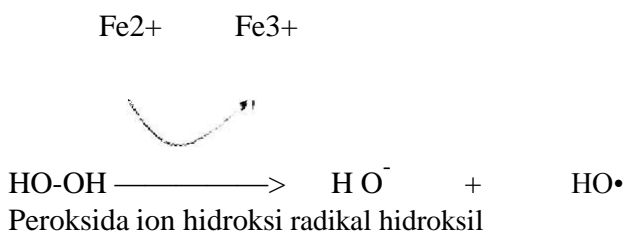


Gambar 6.17 Senyawa kompleks Fe

Unsur besi (ferrum) yang terdapat dalam bentuk Fe (II) atau Fe(III), ditemukan di dalam tubuh berasosiasi dengan protein. Unsur besi ini juga di dalam tubuh tersimpan dalam jumlah besar dalam protein dalam bentuk ferritin.

Dalam bentuk bebas di dalam tubuh, besi memiliki konsentrasi sangat rendah. Karena ion Ferri tidak larut dalam air.

Ion ferro bersifat toksik bagi sel karena dapat bereaksi dengan hidrogen peroksida membentuk radikal hidroksil.



Makanan biasanya mengandung unsur besi dalam bentuk Fe (III), tetapi agar mudah diserap dalam tubuh harus dalam bentuk Fe (II). Reduksi Fe (III) menjadi Fe (II) dapat dilakukan dengan menggunakan asam askorbat (vit C) atau dengan suksinat.

Tabel 6.2 Jenis-jenis enzim besi (Fe) non heme

Non heme iron enzyme	Function
Aconitase	Siklus kreb
Suksinat DH	Siklus kreb
NADH DH, CoQ reduktase	Rantai respirasi
Adrenodoksin	Sintesis hormon dlm kolesterol steroid
Desaturase	Sintesis asam lemak tak jenuh
Xathine DH	Katabolisme purine ring
Ribonukleotida reduktase	DNA sintesis

Sifat Besi:

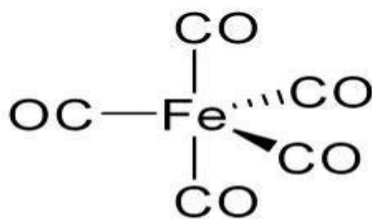
Logam murni besi sangat reaktif secara kimiawi dan mudah terkorosi, khususnya di udara yang lembab atau ketika terdapat peningkatan suhu. Memiliki 4 bentuk alotroik ferit, yakni alfa, beta, gamma dan omega dengan suhu transisi 700, 928, dan 1530°C.

Bentuk alfa bersifat magnetik, tapi ketika berubah menjadi beta, sifat magnetnya menghilang meski pola geometris molekul tidak berubah. Hubungan antara bentuk-bentuk ini sangat aneh. Besi pig adalah alloy dengan 3% karbon dan sedikit tambahan sulfur, silikon, mangan dan fosfor.

Besi bersifat keras, rapuh, dan umumnya mudah dicampur, dan digunakan untuk menghasilkan alloy lainnya, termasuk baja. Besi tempa yang mengandung kurang dari 0.1% karbon, sangat kuat, dapat dibentuk, tidak mudah campur dan biasanya memiliki struktur berserat.

Baja karbon adalah alloy besi dengan sedikit Mn, S, P, dan Si. Alloy baja adalah baja karbon dengan tambahan seperti nikel, khrom, vanadium dan lain-lain. Besi relatif murah, mudah didapat, sangat berguna dan merupakan logam yang sangat penting.

Struktur Besi:



Gambar 6.18 Senyawa alloy besi

Akibat konsumsi terlalu banyak:

Efek samping kelebihan besi antara lain konstipasi, nausea, vomiting and nyeri lambung. Besi dengan dosis sangat tinggi dapat berakibat fatal, khususnya jika diberikan pada anak, sehingga jagalah selalu suplemen besi agar bebas dari jangkauan anak-anak.

Kekurangan Besi

Anemia gizi dapat diketahui dari kadar hemoglobin seseorang. Kadar hemoglobin normal pada pria dewasa 13 g/100 ml dan untuk wanita yang tidak sedang mengandung 12 g/100ml. Kekurangan besi banyak dialami bayi di bawah usia 2 tahun serta para ibu yang sedang mengandung, yang biasanya juga diikuti oleh kekurangan gizi yang lain.

Saran:

Mayoritas masyarakat sudah dapat memenuhi seluruh kebutuhan besi dengan mengkonsumsi makanan yang bervariasi dan seimbang. Tetapi jika Anda memutuskan

untuk mengonsumsi suplemen besi, jangan terlalu banyak karena dapat menimbulkan gangguan. Mengonsumsi suplemen besi 17 mg atau kurang perhari mungkin tidak menyebabkan gangguan. Tetapi jika meneruskan ke dosis yang lebih tinggi harus berdasarkan saran dokter.

6.3.8 Boron (Bo)

Sumber:

Boron adalah trace element yang dapat ditemukan secara luas di lingkungan. Boron dapat ditemukan di lautan, gunung, tanah dan tumbuhan. Makanan sumber Boron antara lain sayuran, buah dan kacang-kacangan.



Gambar 6.19 Sayuran sumber Boron

Kebutuhan:

Kebutuhan Boron sudah dapat tercukupi dari diet sehari-hari.

Fungsi:

Boron berperan membantu proses penggunaan glukosa, lemak, estrogen dan mineral lainnya seperti kalsium, tembaga, magnesium di dalam makanan yang kita makan.

Sifat Boron:

Boron bersifat sangat keras dan menunjukkan sifat semikonduktor.

6.3.9 Kobalt (Cobalt = Co)

Kobalt merupakan komponen dari vitamin B₁₂ yang merupakan satu-satunya fungsi kobalt yang diketahui. Vitamin ini penting untuk maturasi sel-sel darah merah dan untuk menjaga normalitas kerja semua sel.

Difisiensi kobalt menyebabkan anemia pernisiiosa, yang sebenarnya disebabkan oleh gangguan penyerapan vitamin B₁₂ biasanya diakibatkan oleh kelainan individual, yaitu ketidakmampuan mukosa lambung memproduksi mukoprotein yang penting untuk penyerapan vitamin B₁₂ tersebut. Produksi vitamin B₁₂ dilakukan oleh mikroorganisme di usus halus. Kobalt hanya sedikit sekali yang diserap melalui dinding usus dan dalam

tubuh diketahui terdapat dalam limpa, hati, ginjal dan pankreas. Dalam darah kurang lebih berjumlah 1 mikro gram per ml.

Tumbuhan tidak memerlukan kobalt sehingga sumber utama kobalt bagi manusia adalah sumber hewani. Dengan bantuan mikroorganisme dalam tubuh kita, barulah kita peroleh vitamin B₁₂.

Diet yang terlalu banyak mengandung kobalt organik diketahui menyebabkan polisitemia (produksi berlebihan sel-sel darah merah).

Sumber:

Kobalt adalah trace element yang banyak dijumpai di lingkungan. Sumber Kobalt yang baik antara lain ikan, kacang-kacangan, sayuran hijau (seperti brokoli dan bayam), dan sereal (misalnya gandum).

Kebutuhan:

Kebutuhan Kobalt seharusnya sudah dapat tercukupi dari diet sehari-hari. Kobalt adalah bagian besar dari struktur Vitamin B₁₂ sehingga untuk memperoleh cukup Kobalt, kita perlu memastikan bisa memperoleh cukup Vitamin B₁₂. Kebutuhan Kobalt orang dewasa kira-kira 0,0015 mg (1,5 mikrogram) vitamin B₁₂ per hari.

Fungsi:

Kobalt berperan membentuk bagian dari struktur Vitamin B₁₂.

Sifat Kobalt:

Unsur Kobalt berwarna sedikit berkilauan, metalik, keabu-abuan. Unsur kimia kobalt juga merupakan suatu unsur dengan sifat rapuh agak keras dan mengandung metal serta kaya sifat magnetis yang serupa setrika. Unsur kimia kobalt adalah batu bintang. Deposit bijih. Cobalt-60 (⁶⁰Co) adalah suatu isotop yang diproduksi menggunakan suatu sumber sinar (radiasi unsur tinggi). Unsur kimia kobalt mewarnai gelas/kaca serta memiliki suatu keindahan warna kebiruan

6.3.10 Tembaga (Copper, Cuprum = Cu)

Kebutuhan tubuh akan tembaga mula-mula ditunjukkan oleh Hart dan kawan-kawan dari Universitas Wisconsin, yaitu pada tikus dan kelinci. Bila binatang percobaan

tersebut diberi susu saja, akan timbul gejala anemia yang tidak dapat disembuhkan dengan suplementasi besi. Keadannya dapat membaik hanya bila dalam ransumnya ditambahkan abu yang mengandung tembaga dari makanan tertentu.

Kini diketahui bahwa sekitar 100-150 mg tembaga terdapat dalam tubuh orang dewasa, dan konsentrasi yang tinggi terdapat pada hati, ginjal, rambut dan otak.

Tembaga berperan khususnya dalam beberapa kegiatan enzim pernafasan sebagai kofaktor bagi enzim tirosinase dan sitokrom oksidase. Tirosinase mengkatalis reaksi oksidase tirosin menjadi pigmen melanin (pigmen gelap pada kulit dan rambut)

Sitokrom oksidase, suatu enzim yang terdiri dari gugus heme dan atom-atom tembaga, dapat mereduksi oksigen. Askorbat oksidase merupakan suatu kompleks tembaga protein yang mengkatalisis perubahan asam askorbat menjadi asam dehidroaskorbat. Tembaga juga diperlukan dalam proses pertumbuhan sel-sel darah merah yang masih muda. Bila kekurangan tembaga, sel darah merah yang dihasilkan akan berkurang.

Dalam hewan percobaan, kekurangan tembaga akan menurunkan sintesis elastin . Elastin adalah jaringan protein yang membuat aorta dan jaringan urat (tendon) menjadi elastis. Dari hasil penelitian in vitro menggunakan media kultur, diketahui bahwa elastin tidak dapat di sintesis tanpa adanya enzim amina oksidase yang mengandung tembaga (Gubler,1956)

Tembaga diserap dari usus kecil ke dalam saluran darah, tempat sebagian besar jaringan bergabung pada seruplasmin, yaitu protein yang berfungsi dalam penggunaan besi.

Sumber:

Sumber tembaga yang baik antara lain kacang-kacangan, kerang-kerangan dan organ dalam (jeroan dalam Bahasa Jawa).



Gambar 6.20 Kacang-kacangan sumber tembaga

Kebutuhan:

Kebutuhan tembaga sebenarnya dapat tercukupi dari diet sehari-hari. Orang dewasa membutuhkan tembaga 1.2 per hari.

Fungsi:

Tembaga memiliki sejumlah fungsi penting, contohnya:

1. Membantu memproduksi eritrosit dan lekosit dan merangsang pelepasan besi untuk membentuk hemoglobin, suatu bahan pembawa oksigen ke seluruh tubuh.
2. Berperan penting bagi pertumbuhan bayi, perkembangan otak, sistem imun dan kekuatan tulang.

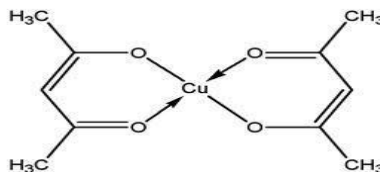
Sifat Cu:

Tembaga adalah logam kemerahan, dengan kekonduksian elektrik dan kekonduksian haba yang tinggi (antara semua logam-logam tulen dalam suhu bilik, hanya perak mempunyai kekonduksian elektrik yang lebih tinggi dari tembaga. Apabila dioksidakan, tembaga adalah bes lemah. Tembaga memiliki ciri warna sebab struktur jalurnya, yaitu ia memantulkan cahaya merah dan jingga dan menyerap frekuensi-frekuensi lain dalam spektrum tampak.

Tembaga adalah logam yang mudah tertempa. Dalam keadaan cair, suatu permukaan jelas (apabila tiada cahaya sekitar) logam itu kelihatan agak kehijauan. Apabila tembaga lebur berada dalam keadaan cahaya terang, kita dapat melihat kilau merah jambunya. Logam lebur tembaga tidak membasahkan permukaan dan mempunyai tegangan permukaan yang sangat kuat dan membentuk titisan hampir sfera apabila dituangkan pada suatu permukaan.

Tembaga tidak larut dalam air (H_2O) dan isopropanol, atau isopropil alkohol.

Struktur Cu



Gambar 6.21 Struktur Cu

Akibat konsumsi terlalu banyak:

Konsumsi tembaga dosis tinggi dapat menyebabkan nyeri lambung, penyakit dan diare. Kelebihan dosis dalam waktu lama dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal.

Kekurangan tembaga

Banyak terjadi pada bayi usia 6-9 bulan. Khususnya bayi-bayi yang mengalami KKP. Bayi tersebut akan mengalami leukopenia (kurang sel darah putih) serta demineralisasi tulang. Hal ini dapat disembuhkan dengan pemberian tembaga. Orang dewasa jarang sekali menderita kekurangan tembaga, meskipun lama menderita KKP.

Saran:

Kebutuhan tembaga dapat tercukupi dari makanan bervariasi dan seimbang. Tetapi jika Anda memutuskan mengonsumsi suplemen tembaga, sebaiknya tidak terlalu banyak karena bisa menyebabkan gangguan. Konsumsi suplemen tembaga 1 mg atau kurang per hari mungkin tidak menimbulkan gangguan.

6.3.11 Kromium (Chromium = Cr)

Kromium berperan dalam *glucose darah tolerance* pada manusia. *Glukose tolerance* adalah waktu yang diperlukan oleh gula dalam darah untuk kembali pada kadar normal bila manusia yang puasa mengonsumsi gula. Waktu tersebut secara normal sekitar 2 ½ jam. Bila lebih dari waktu tersebut dianggap *glucose tolerance* terganggu. Dengan pemberian kromium, glikose tolerance dapat diperbaiki.

Sumber:

Kromium adalah trace element yang banyak dijumpai di lingkungan, antara lain di udara, air, tanah, tumbuhan dan hewan. Sumber kromium yang baik di antaranya adalah daging, biji-bijian (misalnya gandum), rempah-rempah.



Gambar 6.22 Sumber unsur kromium pada gandum

Kebutuhan:

Kebutuhan kromium seharusnya dapat tercukupi dengan diet bervariasi dan seimbang. Orang dewasa membutuhkan kromium sedikitnya 0,025 mg per hari.

Fungsi:

Kromium berpengaruh terhadap kerja insulin di dalam tubuh, sehingga kromium mungkin berpengaruh terhadap besarnya energi yang dihasilkan dari makanan.

Struktur Kromium:

Akibat konsumsi terlalu banyak:

Tak ada bukti untuk mengetahui efek yang dapat timbul akibat mengonsumsi kromium dosis tinggi.

Saran:

Kebutuhan kromium dapat terpenuhi dari diet bervariasi dan seimbang. Jika Anda memutuskan untuk mengonsumsi suplemen kromium, sebaiknya jangan terlalu banyak karena dapat menimbulkan gangguan. Konsumsi kromium dari makanan dan suplemen 10 mg atau kurang per hari mungkin tidak menimbulkan gangguan.

6.3.12 Fluor (Fluoride = F)

Fluor sangat penting dalam pertumbuhan dan pembentukan struktur gigi agar mempunyai daya tahan yang maksimal terhadap penyakit gigi (caries). Garam fluorida dengan kadar 1 ppm dalam air minum dianggap aman, ekonomis, dan merupakan cara yang efisien untuk menekan terjadinya sakit gigi. Beberapa Negara misalnya Kanada dan Amerika menganjurkan agar air minum mulai difluoridasi untuk profilaktis penyakit gigi. Fluoridasi air minum yang baik adalah sampai kadar 1,0-1,2 ppm untuk daerah subtropis dan untuk daerah panas adalah lebih sedikit yaitu 0,5-0,7 ppm.

Pada gigi dan juga tulang, konsentrasi fluorida meningkat dengan bertambahnya umur. Peningkatan konsentrasi tersebut dapat juga terjadi karena konsentrasi fluorida yang lebih tinggi dalam sumber air minum.

Gigi yang menonjol keluar, penambahan florida dalam enamel terjadi hanya dengan kontak permukaan. Permukaan luar mengandung fluor sepuluh kali lebih banyak dari pada lapisan sebelah dalam. Kadar fluorida dalam ludah biasanya cukup dan penambahan kandungan fluorida terjadi akibat kontak permukaan gigi dengan air minum yang masuk mulut. Sesungguhnya yang terjadi adalah penggantian ion hidroksil pada Kristal apatit dengan fluorida dalam cairan di sekitar gigi. Hasilnya enamel menjadi lebih keras dan lebih tahan asam.

Sebaliknya gigi yang terkena terlalu banyak fluorida dalam air minum enamelnya menjadi keruh dan berkapur, berkarat, kadang menjadi noda yang berwarna coklat sampai hitam. Ini dapat dicegah dengan mengurangi kandungan mineral dalam air minum. Dengan kadar fluoride 1 ppm dalam air minum, kerak dan noda pada gigi anak-anak yang menderita sakit gigi.

Sumber:

Fluor adalah trace element yang banyak ditemukan di lingkungan, antara lain pada hewan, tumbuhan serta air. Dalam jumlah sangat kecil, fluor terdapat di udara yang kita hirup. Sumber fluor yang baik adalah the dan ikan. Air minum dapat menjadi sumber kaya fluor dan kita juga mendapatkan fluor saat menggunakan produk-produk seperti pasta gigi dan obat kumur yang ditambahkan fluor di dalamnya.

Flour terdapat dalam tanaman dan makanan hasil ternak. Konsumsi florida dari bahan makanan sehari-hari diperkirakan 0,2-0,3 mg. Makanan dari laut mengandung 5-15 ppm fluorida dan the kering mengandung 75-100 ppm. Makanan juga dapat menyerap flourida bila dimasak pada air yang telah mengalami fluoridasi.

Kebutuhan:

Belum jelas berapa jumlah fluor yang kita butuhkan untuk kesehatan. Tetapi kita tahu bahwa masyarakat yang mengkonsumsi air minum yang mengandung fluor satu bagian per satu juta cenderung jarang mengalami kerusakan gigi daripada kelompok setara yang menggunakan air minum dengan konsentrasi fluor lebih rendah

Fungsi:

1. Berkontribusi dalam menguatkan gigi
2. Meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan gigi

Di beberapa negara, fluor ditambahkan pada air minum untuk meningkatkan kesehatan gigi.

Saran:

Fluor tidak dibutuhkan sebagai suplemen makanan.

6.3.13 Iodium (Iodine = I)

Iodium merupakan bagian dari hormon kelenjar tiroid, yakni tirosin dan triiodotirosin. Biasanya tubuh mengandung 20-30 mg iodium. Kira-kira 60% berada dalam kelenjar tiroid dan selebihnya tersebar di jaringan-jaringan tubuh, terutama di ovarium, otot dan darah.

Iodium dalam bentuk ion iodide mudah diserap melalui dinding usus dan diekstresiterutama melalui urine. Hasil serapan dibawah oleh darah ke kelenjar tiroid untuk pembentukan hormone dan lain-lain.

Defisiensi iodium menyebabkan pembesaran kelenjar tiroid yang mengakibatkan pembengkakkan pada bagian leher. Kekurangan iodium yang kronis menyebabkan terjadinya kretinisme dan terganggunya kecerdasan.

Sumber:

Iodium adalah trace element yang dapat dijumpai pada air laut, gunung dan beberapa jenis tanah. Sumber iodium yang baik antara lain ikan laut dan kerang-kerangan. Iodium dapat juga ditemukan pada tumbuhan seperti sereal dan padi-padian, tetapi tingkatannya beraneka ragam tergantung jumlah iodium yang ada di dalam tanah tempat tumbuhnya.



Gambar 6.27 Kerang-kerangan sumber unsur iodium

Kebutuhan:

Kebutuhan iodium seharusnya dapat tercukupi dari diet bervariasi dan seimbang. Orang dewasa membutuhkan 0,14 mg per hari. Anak-anak 50 mikro gram perhari, sedangkan bayi membutuhkan 20-40 mikro gram per hari. Kebutuhan iodium bagi wanita yang mengandung dan menyusui lebih besar dari pada orang dewasa pada umumnya.

Fungsi

Iodium membantu proses pembentukan hormon-hormon dari kelenjar tiroid. Hormon-hormon ini membantu menjaga kesehatan sel-sel dan metabolic rate.

Kekurangan

Dapat menyebabkan penyakit gondok. Pada umumnya wanita dan anak perempuan mempunyai kecenderungan lebih mudah kena penyakit gondok dari pada pria dan anak laki-laki. Masa paling peka terhadap kekurangan iodium terjadi pada waktu usia meningkat dewasa (puber).

Akibat konsumsi terlalu banyak:

Konsumsi iodium dosis tinggi dalam waktu lama dapat mengubah cara kerja kelenjar tiroid. Hal ini dapat mengakibatkan gejala-gejala kelainan, sebagai contoh adalah kegemukan.

Saran:

Kebutuhan iodium sudah tercukupi dari makanan yang bervariasi dan seimbang. Tetapi jika Anda memutuskan untuk mengonsumsi suplemen iodium, sebaiknya jangan terlalu

banyak karena dapat menimbulkan gangguan. Mengonsumsi suplemen iodium 0.5 mg atau kurang per hari mungkin tidak menimbulkan gangguan.

6.3.14 Mangan (Manganese = Mn)

Mangan merupakan kofaktor beberapa enzim penting. Misalnya pada proses sintesis kolesterol dari asetil KOA, diperlukan enzim yang mengandung mangan yaitu: enzim mevalonat kinase. Protein salah satu enzim peptidase memerlukan ion mangan atau ion kobalt sebagai kofaktor. Dalam banyak reaksi enzim yang melibatkan ATP sebagai

donor fosfat, bentuk enzim yang aktif terkumpulkan dengan magnesium, tetapi dalam beberapa reaksi tertentu kompleks tersebut terjadi dengan mangan.

Mangan sangat mudah diserap ke dalam tubuh, dan dalam darah mangan berikatan dengan sebuah molekul protein. Mangan di buang melalui feses bersama-sama hasil empedu (bilirubin dan beliverdin).

Sumber:

Mangan adalah trace element yang dapat dijumpai pada berbagai makanan, antara lain roti, kacang-kacangan, sereal dan sayuran hijau (seperti kapri dan kacang buncis). Juga dapat ditemukan pada teh, yang mungkin merupakan sumber mangan terbesar untuk masyarakat.



Gambar 6.28 Kacang buncis salah satu sumber unsur mangan

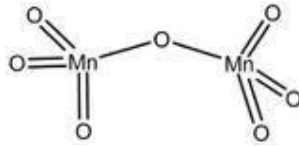
Kebutuhan:

Kebutuhan mangan sudah dapat dipenuhi dari makanan sehari-hari.

Fungsi:

Mangan membantu membuat dan mengaktifkan beberapa enzim di dalam tubuh kita.

Struktur Mangan:



Gambar 6.29 Struktur mangan

6.3.15 Molibdenum (Molybdenum= Mo)

Sumber:

Molibdenum adalah trace element yang dapat dijumpai pada berbagai macam makanan. Makanan-makanan yang di atas tanah-seperti kacang kapri, sayuran gelap (termasuk brokoli dan bayam) dan bunga kol-cenderung berkadar molibdenum lebih tinggi daripada daging dan makanan yang tumbuh di bawah tanah seperti kentang. Makanan-makanan yang berkadar molibdenum sangat tinggi antara lain kacang, sayuran kaleng, dan sereal misalnya gandum.

Kebutuhan:

Kebutuhan molibdenum sudah dapat tercukupi dengan diet sehari-hari.

Fungsi:

Molibdenum membantu membuat dan mengaktifkan beberapa enzim yang terlibat dalam perbaikan dan pembuatan materi genetik.

6.3.16 Selenium (Se)

Peranan selenium pada hewan sudah banyak diketahui khususnya karena adanya keracunan selenium pada ternak yang disebut *alkali disease*. Penyakit ini diakibatkan tanah yang banyak mengandung selenium, sehingga rumput yang dimakan oleh ternak juga mengandung banyak selenium. Penyakit tersebut ditandai dengan rontoknya bulu, tanduk yang tidak normal bentuknya, kebutuhan, dan kadang-kadang mati.

Bagi manusia selenium diperkirakan meningkatkan kepekaan anak terhadap kerusakan gigi dan gingivitis. Untuk mendukung hal tersebut masih diperlukan penelitian lebih lanjut.

Sumber:

Selenium adalah trace element yang banyak dijumpai di lingkungan. Sumber selenium yang baik antara lain kacang brazil, roti, ikan, daging dan telur.

Kebutuhan:

Jika Anda makan daging, ikan atau kacang, seharusnya kebutuhan selenium sudah tercukupi dari diet sehari-hari. Kebutuhan selenium untuk pria adalah 0,075 mg per hari, sedangkan untuk wanita 0,06 mg per hari.

Fungsi:

Selenium berperan penting pada fungsi sistem imun, metabolisme hormon tiroid dan reproduksi. Unsur ini juga merupakan bagian dari sistem pertahanan antioksidan tubuh, mencegah kerusakan sel dan jaringan.

6.3.17 Silikon (Silicon = Si)

Sumber:

Silikon adalah mineral yang dapat dijumpai dengan kadar tinggi pada padi-padian seperti gandum, barley dan padi. Selain itu juga dijumpai pada buah dan sayuran.



Gambar 6.31 Sumber unsur silikon dalam padi

Kebutuhan:

Kebutuhan silikon sudah tercukupi dari diet sehari-hari.

Fungsi:

Silikon memiliki 2 fungsi utama, yaitu:

1. Membantu menjaga kesehatan tulang
2. Membantu menjaga kesehatan jaringan ikat

Sifat :

Dalam bentuk hablurnya silikon berwarna kelabu gelap dengan kilauan logam. Walaupun ia secara bandingannya agak lengai, silikon masih dapat bertindak balas dengan halogen dan alkali cair, tetapi kebanyakan asid (kecuali gabungan asid nitrik dan asid hidrofluorik) tidak mempengaruhinya. Silikon keunsuran menghantar hampir 95% panjang gelombang cahaya inframerah. Silikon tulen mempunyai pekali suhu rintangan yang negatif, kerana bilangan cas bebas meningkat dengan suhu. Rintangan elektrik sebuah hablur silikon berubah dengan ketara sekali atas penegetaan tegasan mekanikal oleh sebab kesan rintangan piezo.

6.3.18 Seng (Zinc = Zn)

Dalam tubuh manusia terkandung 2 gram zink, terutama terdapat pada rambut, tulang, mata, dan kelenjar alat kelamin pria. Zink merupakan komponen penting dari berbagai enzim. Paling sedikit 15-20 metalo-enzim yang mengandung zink telah diisolasi dan dimurnikan. Salah satu contohnya adalah enzim karbonat anhidrase yang terdapat dalam sel darah merah. Zink juga terdapat dalam karboksil peptidase dan dehidrogenase

dalam hati. Sebagai kofaktor, zink dapat meningkatkan keaktifan enzim lainnya. Telah dibuktikan bahwa zink dalam protein nabati kurang tersedia dan lebih sulit digunakan tubuh manusia dari pada zink yang terdapat dalam protein hewani. Hal tersebut mungkin disebabkan karena adanya adanya asam fitat yang mampu mengikat ion-ion logam. Para ahli gizi berpendapat dengan mengkonsumsi jumlah protein hewani yang dianjurkan kebutuhan akan zink akan tercukupi.

Sumber:

Seng adalah trace element yang banyak dijumpai di lingkungan. Sumber seng yang baik antara lain daging, kerang-kerangan, susu dan makan bersusu misalnya keju, roti, dan produk sereal.



Gambar 5.32 Sumber unsur seng dalam produk sereal

Kebutuhan:

Kebutuhan seng seharusnya sudah terpenuhi dari diet sehari-hari. Kebutuhan tersebut kira-kira 5,5 sampai dengan 9,5 mg per hari untuk pria dan 4 sampai dengan 7 mg per hari untuk wanita. Kebutuhan zink sebanyak 15 mg bagi setiap anak di atas usia 11 tahun.

Fungsi:

Seng memiliki sejumlah fungsi penting antara lain:

1. Membantu membuat sel baru dan enzim
2. Membantu pemrosesan karbohidrat, lemak dan protein dari makanan yang kita makan.
3. Membantu proses penutupan luka

Sifat:

Seng merupakan logam yang berwarna putih kebiruan, berkilau, dan bersifat diamagnetic, walau Seng sedikit kurang padat dari pada besi dan berstruktur Kristal heksagonal.

Logam ini keras dan rapuh pada kebanyakan suhu, namun menjadi dapat ditempa antara 100 sampai dengan 150 °C. Di atas 210 °C, logam ini kembali menjadi rapuh dan dapat dihancurkan menjadi bubuk dengan memukul-mukulnya. Seng juga mampu menghantarkan listrik. Dibandingkan dengan logam-logam lainnya, seng memiliki titik lebur (420 °C) dan titik didih (900 °C) yang relatif rendah. Dan sebenarnya pun, titik lebur seng merupakan yang terendah di antara semua logam-logam transisi selain raksa dan cadmium.

Terdapat banyak sekali aloi yang mengandung seng. Salah satu contohnya adalah kuningan (aloi seng dan tembaga). Logam-logam lainnya yang juga diketahui dapat membentuk aloi dengan seng adalah aluminium, antimon, bismut, emas, besi, timbal,

raksa, perak, timah, magnesium, kobalt, nikel, telurium, dan natrium. Walaupun seng maupun zirkonium tidak bersifat feromagnetik, aloi ZrZn_2 memperlihatkan feromagnetisme di bawah suhu 35 K.

BAB VII

SISTEM HORMON PADA MANUSIA

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
7	Mahasiswa menjelaskan pengertian, klasifikasi, struktur dan fungsi dari hormone.	Sistem Hormon Pada Manusia	7.1 Pendahuluan 7.2 Kelenjar

71. Pendahuluan

Hormon berasal dari kata *Hormaein* yang artinya memacu atau menggiatkan atau merangsang. Dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah yang tidak terlalu banyak (sedikit), tetapi jika kekurangan atau berlebihan akan mengakibatkan hal yang tidak baik (kelainan seperti penyakit) sehingga dapat mengganggu pertumbuhan dan perkembangan serta proses metabolisme tubuh.

Hormon merupakan senyawa kimia, berupa protein yang mempunyai fungsi untuk memacu atau menggiatkan proses metabolisme tubuh. Dengan adanya hormon dalam tubuh maka organ akan berfungsi menjadi lebih baik.

Hormonologi : yaitu ilmu yang mempelajari mengenai seluk beluk hormon.

Pada makhluk hidup, khususnya manusia hormon dihasilkan oleh kelenjar yang tersebar dalam tubuh. Cara kerja hormon di dalam tubuh tidak dapat diketahui secara cepat perubahannya, akan tetapi memerlukan waktu yang lama. Tidak seperti sistem saraf yang cara kerjanya dengan cepat dapat dilihat perubahannya. Hal ini karena hormon yang dihasilkan akan langsung diedarkan oleh darah melalui pembuluh darah, sehingga memerlukan waktu yang panjang.

Dapat disimpulkan bahwa Hormon adalah zat kimiawi yang dihasilkan tubuh secara alami. Begitu dikeluarkan, hormon akan dialirkan oleh darah menuju berbagai jaringan sel dan menimbulkan efek tertentu sesuai dengan fungsinya masing-masing.

72. Kelenjar

Kelenjar dalam tubuh manusia dibedakan menjadi 2 bagian yaitu :

1. Kelenjar eksokrin yaitu kelenjar yang mempunyai saluran khusus dalam penyaluran hasil sekretnya/getahnya.
2. Kelenjar endokrin yaitu kelenjar yang tidak mempunyai saluran khusus dalam penyaluran hasil sekretnya/getahnya.

Ex : kelenjar-kelenjar pencernaan.

Ex : kelenjar hipofisis, thyroid, thymus dll.

Hormon berfungsi :

- a. Memacu pertumbuhan dan metabolisme tubuh.
- b. Memacu reproduksi.
- c. Mengatur keseimbangan cairan tubuh/homeostasis.
- d. Mengatur tingkah laku.

Macam kelenjar :

A. Berdasarkan aktivitasnya :

1. Kelenjar yang bekerja sepanjang masa.

Kelenjar golongan ini akan bekerja terus menerus sepanjang kehidupan manusia dan akan berhenti jika sudah tidak ada kehidupan pada manusia tersebut. Sehingga tidak terbatas pada usia.

Ex : Hormon metabolisme.

2. Kelenjar yang bekerjanya mulai masa tertentu.

Hormon golongan ini tidak akan dapat berfungsi jika belum mencapai proses perkembangan dalam diri manusia atau proses pendewasaan sel yang terjadi dalam tubuh manusia. Kedewasaan sel akan terjadi pada saat usia tertentu seperti pada saat usia pubertas.

Ex : Hormon kelamin.

3. Kelenjar yang bekerja sampai pada masa tertentu.

Hormon golongan ini bekerja pada saatn manusia itu dilahirkan sampai pada usia tertentu. Pada usia tersebut terjadi proses pertumbuhan dari seluruh oragn-organ tubuh manusia sampai dengan penyempurnaan organ. Sehingga masing-

masing organ tersebut dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Kecuali organ yang membutuhkan persyaratan kedewasaan sel.

Hormon ini akan berhenti dihasilkan pada saat tubuh mulai memperlambat atau menghentikan proses pertumbuhan. Biasanya hormon ini bekerja pada kisaran usia 0 hari sampai 17 tahun (masa pertumbuhan).

Ex : Hormon pertumbuhan, kelenjar tymus.

B. Berdasarkan letaknya :

1. Kelenjar hipophysis/pituitary di dasar cerebrum, dibawah hypothalamus.
2. Kelenjar pineal/epiphysis di cerebrum.
3. Kelenjar thyroid di daerah leher.
4. Kelenjar parathyroid di dekat kelenjar thyroid.
5. Kelenjar thymus di rongga dada.
6. Kelenjar adrenal/suprarenalis di atas ren.
7. Kelenjar pulau langerhans/pankreas di rongga perut.
8. Kelenjar Usus dan lambung di rongga perut.
9. Kelenjar kelamin :
 - a. Ovarium di rongga perut.
 - b. Testis di rongga perut bawah.

Macam kelenjar endokrin :

1. Kelenjar PINEAL

- ❖ Hormon melatonin : warna/pigmen kulit melanin. Hormon ini dapat juga mengatur rasa kantuk pada diri seseorang. Pada remaja hormon ini dihasilkan lebih banyak bila dibandingkan dengan orang dewasa.
- ❖ Hormon vasotocin (Mammalia) : mirip fungsinya dengan vasopresin dan oksitosin.

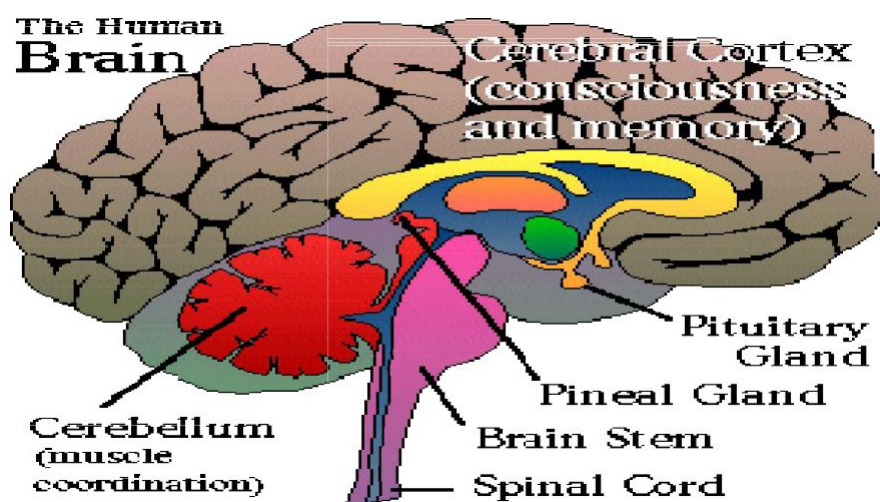


Figure 1 : Letak kelenjar Pineal

2. Kelenjar HIPOFISIS/PITUITARY/MASTER OF GLANDS

❖ LOBUS ANTERIOR/ADENOHYPOPHYSIS :

Hormon yang dihasilkan oleh lobus anterior lebih didominasi oleh hormon yang mengatur mengenai pertumbuhan, reproduksi dan masalah stress.

Macam hormon yang dihasilkan :

1. STH (Somatotrof Hormone) / GH (Growth Hormon) / Somatotropin :

Hormon ini berfungsi :

- a. Memacu pertumbuhan terutama pada peristiwa osifikasi, pada cakrapifise.

- b. Mengatur metabolisme lipid dan karbohidrat.

Hipersekresi :

Bila kelebihan hormon ini terjadi pada masa pertumbuhan akan mengakibatkan pertumbuhan yang tidak terkendali/menjadi lebih cepat. Pertumbuhan yang seperti ini dikenal dengan gigantisme. Sedangkan bila kelebihan hormon ini terjadi pada

masa dewasa akan mengakibatkan pertumbuhan yang tidak normal pada beberapa bagian organ tubuh. Hal yang paling terlihat adalah pertumbuhan jari tangan yang tidak normal, seperti membesar /bengkak serta raut wajah yang kelihatan lebih tebal kulitnya, dagu memanjang. Pertumbuhan yang seperti ini dikenal dengan akromegali. Pertumbuhan akromegali biasanya terjadi diatas usia 25 tahun.

Hiposekresi :

Bila penghasilan hormon ini kurang akan menyebabkan pertumbuhan kretinisme/dwarfisme, yaitu pertumbuhan yang terhambat. Pada pertumbuhan ini pertumbuhan berjalan normal, hanya saja pertumbuhan tulang sangat terhambat.

2. LTH (Luteotropic Hormone)/PROLACTIN/Lactogenic Hormone

Hormon ini berfungsi :

- a. Merangsang Kelenjar mammae/kelenjar susu untuk menghasilkan air susu.
- b. Memacu ovarium untuk menghasilkan hormon estrogen dan progesterone. Mempunyai symbol PRL

3. TSH (Thyroid Stimulating Hormone)/TREOTROP/Thyrotropin :

Hormon ini berfungsi : Merangsang sekresi kelenjar thyroid.

4. ACTH (Adrenocorticotropic

Hormone)/ADRENOTROPIN/Corticotropin : Hormon ini berfungsi :

Merangsang kerja kelenjar adrenal.

5. GONADOTROPIC/HORMON KELAMIN :

- a. FSH/Folicle Stimulating Hormone : memengaruhi pembentukan folikel sel ovum dan proses spermatogenesis.
- b. LH (Luteinizing Hormone) atau ICSH (Interstitial Cell Stimulating Hormone) : Berfungsi untuk memacu sekresi hormon testosteron pada sel Leydig dan proses ovulasi sel ovum.

❖ LOBUS INTERMEDIA

1. MSH (Melanotropin Stimulating Hormone) atau INTERMEDIN:

Hormon ini berfungsi :

- a. Memacu pembentukan pigmen melanin kulit.
- b. Mengatur penyebaran pigmen melanin

❖ LOBUS POSTERIOR/NEUROHIPOPHYISIS

1. OKSITOSIN/OXYTOCIN :

Hormon ini berfungsi :

- a. Merangsang kontraksi otot polos dinding uterus saat persalinan.
- b. Merangsang kontraksi sel-sel kontraktile kelenjar susu.

2. VASOPRESIN :

Hormon ini berfungsi : Mengatur tekanan darah dengan cara menyempitkan/pembesaran pembuluh darah (Vasodilatasi).

3. ADH :

Hormon ini berfungsi :

- a. Mengatur pengeluaran urine.
- b. Mengatur reabsorpsi air dari tubulus ren.

3. Kelenjar THYROID

Kelenjar ini merupakan kelenjar yang kaya akan pembuluh darah dan merupakan sepasang kelenjar yang terletak berdampingan di sekitar leher.

Macam hormon yang dihasilkan :

1. Hormon Tiroksin (T4) dan Triiodotironin (T3)

- Hormon ini berfungsi
 1. Mengatur metabolisme karbohidrat.
 2. Memengaruhi perkembangan mental.
 3. Memengaruhi pertumbuhan, perkembangan dan diferensiasi sel.
 4. Memengaruhi kegiatan sistem saraf.

2. Hormon Calsitonin.

- Hormon ini berfungsi :
 1. Menurunkan kadar Ca (Calsium) darah.
 2. Mengatur absorpsi Calcium oleh tulang.

Pembengkakan kelenjar Thyroid dikenal dengan istilah GOITER. Hal ini dapat disebabkan karena menurunnya hormon yang dihasilkan sehingga menyebabkan stimulasi produksi TSH berlebihan. Resiko terkena penyakit ini lebih banyak dialami oleh wanita dengan perbandingan wanita : pria adalah 5 : 1. Kisaran wanita yang terkena penyakit ini adalah anatar 40 – 60 tahun. Biasanya banyak dialami oleh penduduk daerah marjinal yang sulit mendapatkan garam beryodium. Dengan mineral Yodium/Iodium dapat mengatur pengeluaran hormon yang dihasilkan oleh kelenjar ini sehingga tubuh tidak akan kekurangan hormon dari kelenjar Thyroid.

Hiperthyroidisme :

- a. Jika terjadi pada usia pertumbuhan, maka akan menyebabkan penyakit morbus basedowi dengan cirri-ciri : meningkatnya metabolisme tubuh, meningkatnya denyut jantung, gugup, mudah berkeringat, sulit meningkatkan berat badan, emosional, mata melebar, lidah terjulur keluar, frekuensi BAB cenderung meningkat.
- b. Jika terjadi pada usia dewasa, akan menyebabkan pertumbuhan gigantisme.
- c. Hal ini dapat diatasi dengan terapi iodium radioaktif.

Hipothyroidisme :

- a. Jika terjadi pada usia pertumbuhan, akan menyebabkan pertumbuhan yang lambat atau kerdil dan dikenal dengan istilah kretinisme.
- b. Jika terjadi pada usia dewasa, akan menyebabkan penyakit miksodema dengan ciri-ciri : aktivitas peredaran darah menurun/laju metabolisme rendah, obesitas, konstipasi, mudah lelah, depresi, gelisah, menstruasi tidak teratur, nyeri sendi pada tangan dan kaki, bentuk badan menjadi kasar, bengkak pada mata dan wajah, rambut rontok.
- c. Hal ini dapat diatasi dengan terapi menggunakan suplemen thyroid.

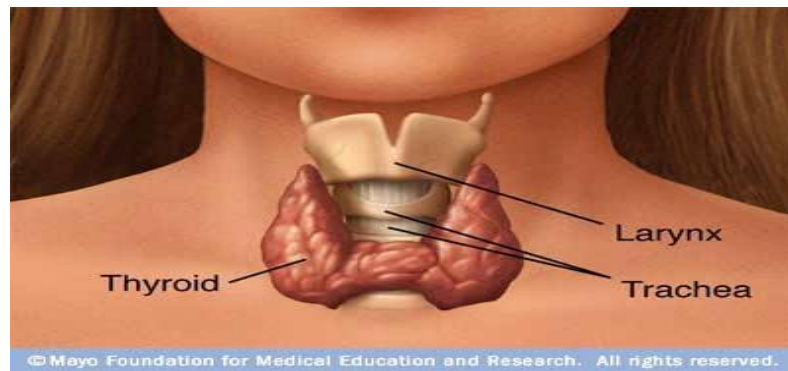


Figure 2 : Struktur morfologi kelenjar Thyroid

4. Kelenjar PARATHYROID

Kelenjar ini merupakan kelenjar yang menempel pada kelenjar Thyroid. Setiap kelenjar Thyroid mempunyai sepasang kelenjar Parathyroid, sehingga semuanya berjumlah 4 buah kelenjar parathyroid.

Hormon yang dihasilkan Hormon PTH (Parathormon).

✓ Berfungsi :

- a. Mengatur metabolisme Ca^{2+} (Calcium) dan PO_4^{3-} (phosphat).
- b. Mengendalikan pembentukan tulang.

✓ Hipersekresi :

Bila terjadi kelebihan dalam penghasilan hormon ini akan menyebabkan pertumbuhan :

- a. Kretinisme bila terjadi pada masa pertumbuhan.
- b. Miksodema bila terjadi pada masa dewasa.
- c. Batu ginjal dalam pelvis renalis/rongga ginjal.

✓ Hiposekresi :

Bila terjadi kelebihan dalam penghasilan hormon ini akan menyebabkan :

- a. Pertumbuhan Morbus basedowi.
- b. Kejang otot/tetani

5. Kelenjar THYMUS

- ✓ Merupakan penimbunan dari hormon somatotrof dalam tubuh.
- ✓ Hormon ini dihasilkan selama masa pertumbuhan sampai dengan masa pubertas, setelah melewati mas pubertas, secara perlahan hormon ini akan berkurang sedikit demi sedikit.
- ✓ Hormon ini berfungsi :

1. Mengatur proses pertumbuhan.

2. Kekebalan tubuh/imunitas setelah kelahiran.
 3. Memacu pertumbuhan dan pematangan sel Limfosit yang menghasilkan Lymphocyte cell/T Cell.
- ✓ Bila kekurangan atau kelebihan, gejalanya hampir mirip dengan hormon tiroksin.

6. Kelenjar ADRENAL/SUPRARENALIS

❖ BAGIAN KORTEKS

1. Hormon Cortison atau antiadison

- ✓ Berfungsi sebagai anti peradangan dan membantu pembentukan formasi karbohidrat.

- ✓ Hiposekresi :

Bila kekurangan hormon ini akan menyebabkan penyakit Adison.

Gejalanya :

- a. Kulit memerah/timbulnya ruam pada kulit.
- b. Dapat menimbulkan kematian.
- c. Tekanan darah rendah.
- d. Nafsu makan hilang.
- e. Pengendapan pigmen melanin yang banyak.

2. Hormon Glukokortikoid

- ✓ Berfungsi : merangsang kenaikan jumlah kadar gula darah.

- ✓ Hipersekresi :

Bila penghasilan hormon ini berlebihan akan dapat menyebabkan Cushing syndrome

3. Hormon Cortisol

- ✓ Berfungsi :

- a. Memacu metabolisme karbohidrat.

b. Meningkatkan respon imunitas tubuh.

✓ Hipersekresi :

Bila terjadi kenaikan dalam penghasilan hormon ini akan dapat menyebabkan cushing syndrome.

4. Hormon Aldosterone

✓ Berfungsi :

a. Mengatur keseimbangan mineral dan air dalam ren.

b. Membuang kelebihan Kalium.

5. Hormon Corticosterone

✓ Berfungsi :

a. Mempengaruhi metabolisme karbohidrat, protein dan lipid.

b. Meningkatkan respon imunitas tubuh.

6. Hormon Mineralokortikoid

✓ Berfungsi :

a. Mengatur keseimbangan air dan elektrolit dalam tubuh.

b. Merangsang reabsorpsi Na^+ dan Cl^- dalam tubulus ginjal.

✓ Hiposekresi :

Bila kekurangan hormon ini akan menyebabkan penyakit Addison.

❖ BAGIAN MEDULLA

1. Hormon Adrenalin/Epinefrin

✓ Hormon ini secara umum berfungsi :

a. Memicu reaksi terhadap tekanan dan kecepatan gerak tubuh.

b. memicu reaksi terhadap efek lingkungan, seperti suara yang tinggi, intensitas cahaya dll.

✓ Secara khusus hormon ini berfungsi :

- a. Memacu aktivitas cor/jantung.
- b. Menaikkan tekanan darah.
- c. Mengerutkan otot polos pada arteri.
- d. Mengendurkan otot polos bronchiolus
- e. Mempercepat glikolisis.
- f. Pengeluaran keringat dingin.
- g. Rasa keterkejutan/shock.
- h. Mengatur metabolisme glukosa saat stress.
- i. Memengaruhi otak yang akan mengakibatkan :
 1. Indera perasa menjadi kebal terhadap rasa sakit.
 2. Kemampuan berfikir dan ingatan meningkat.
 3. Pulmo akan menyerap oksigen lebih banyak.
 4. Banyak menghasilkan sumber energy dari proses glikolisis.
- j. Mencegah efek penuaan dini.
- k. Melindungi dari penyakit Alzheimer, penyakit jantung, kanker payudara, kanker ovarium dan osteoporosis.

✓ Hiposekresi :

Bila terjadi kekurangan penghasilan hormon adrenalin/epinefrin akan menyebabkan penyakit Addison. Gejalanya dapat dilihat pada hiposekresi Hormon Mineralokortikoid dan Hormon Cortison.

2. Hormon Androgen

✓ Berfungsi :

a. Menentukan sifat kelamin sekunder pada pria dan wanita.

✓ Hipersekresi :

Bila terjadi kelebihan hormon ini akan menyebabkan penyakit Cushing Syndrome/sindrom Cushing serta penyakit kelainan ciri kelamin sekunder pada laki-laki dan perempuan

Gejala Cushing syndrome :

- a) Membulatnya wajah/muka.
- b) Obesitas.
- c) Penimbunan lemak di daerah leher.
- d) Pengecilan pada daerah lengan dan kaki.
- e) Terhentinya atau terganggunya periode menstruasi.
- f) Penurunan daya seksualitas.
- g) Kenaikan tekanan darah dan kadar gula darah.
- h) Melemahnya atau rapuhnya tulang.
- i) Masalah rambut pada wanita.

7. Kelenjar VENTRICULUS

✓ Dihasilkan Hormon Gastrin

✓ Hormon ini berfungsi :

- a. Memacu pengeluaran sekret/getah lambung.
- b. Membantu dalam proses pencernaan.

8. Kelenjar USUS

1. Hormon Sekretin

✓ Berfungsi memacu sekresi getah usus dan pankreas.

2. Hormon Kolesistokinin

- ✓ Berfungsi memacu sekresi getah empedu dan pankreas.

9. Kelenjar LANGERHANS/PANKREAS

1. Hormon Insulin

- ✓ Bersifat antagonis dengan hormon adrenalin.
- ✓ Hormon ini berfungsi :
 - a. Mengatur kadar glukosa dalam darah.
 - b. Membantu pengubahan glukosa menjadi glikogen dalam hepar dan otot.

- ✓ Hiposekresi :

Bila kekurangan dalam penghasilan hormon ini akan menyebabkan penyakit diabetes mellitus/penyakit kencing manis.

Gejala penyakit diabetes mellitus :

1. Kenaikan jumlah gula dalam darah.
2. Badan menjadi lems.
3. Sering merasa haus/banyak minum.
4. Banyak melakukan urinasi (pembuangan urine).
5. Energy berkurang.
6. Merasa selalu lapar.

2. Hormon Glukagon

- ✓ Hormon ini mempunyai sifat kerja yang sinergis dengan hormon adrenalin.
- ✓ Hormon ini berfungsi :
 - a. Meningkatkan kadar gula dalam darah.
 - b. Mengubah glikogen menjadi glukosa dalam peristiwa glikolisis.

10. Kelenjar KELAMIN/GONAD

➤ Menghasilkan hormon dan sel kelamin

➤ Macamnya ada 2 sel kelamin :

1. Sel Testis

- ✓ Menghasilkan Hormon Androgen, Ex : Hormon Testosteron, merupakan satu hormon yang terpenting dalam pembentukan sel spermatozoa.
- ✓ Fungsi Hormon Testosteron :
 - a. Mengatur ciri kelamin sekunder.
 - b. Mempertahankan proses spermatogenesis.

2. Sel Ovarium

- ✓ Menghasilkan 3 hormon penting dalam seorang wanita :
 - a. Hormon Estrogen

Hormon ini berfungsi untuk : memperlihatkan ciri-ciri kelamin sekunder wanita.
 - b. Hormon Progesteron Hormon ini berfungsi :
 - 1. Mempersiapkan masa kehamilan dengan menebalkan dinding uterus.
 - 2. Menjaga kelenjar susu dalam menghasilkan air susu.
 - c. Hormon Relaksin

Hormon ini berfungsi untuk membantu proses persalinan dalam kontraksi otot.

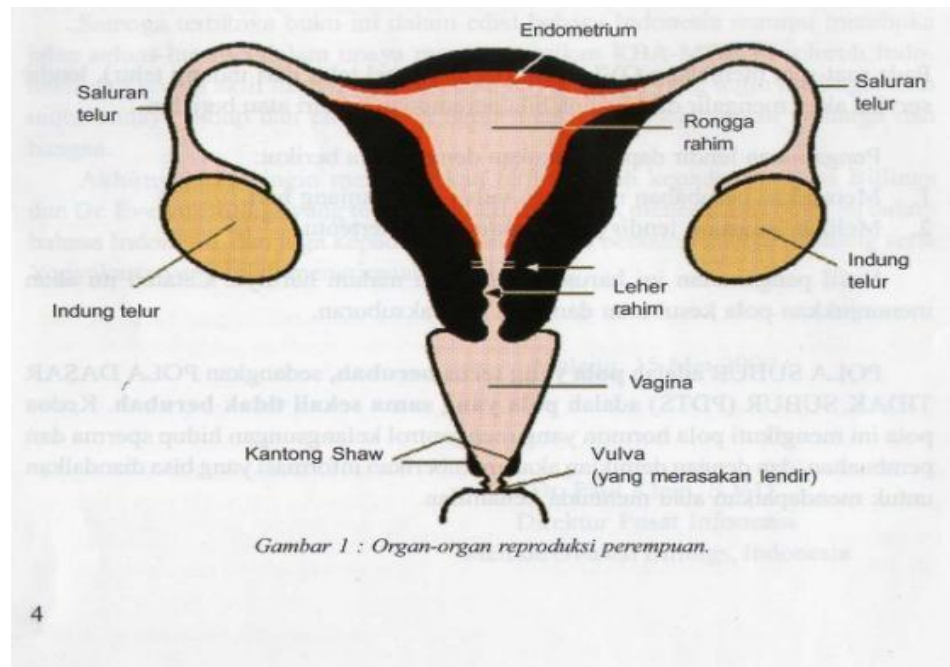


Figure 5 : Struktur morfologi kelenjar ovarium
Hubungan Sistem Hormon dengan Sistem Saraf

Kedua sistem ini mempunyai hubungan yang sangat erat. Walaupun sistem endokrin/sistem hormon diatur oleh master of glands/kelenjar hipofisis tetapi hal tersebut tidaklah mutlak atau bersifat otonom. Hal ini karena kerja dari kelenjar hipofisis tersebut dipengaruhi oleh hypothalamus.

Berikut ini adalah hubungan sistem hormon dengan sistem saraf yang digambarkan dalam bentuk skema atau bagan :



Figure 6 : SKEMA/BAGAN HUBUNGAN SISTEM HORMON DENGAN SISTEM SARAF

Releasing Factor/Faktor pembebas

Adalah faktor yang memperbaiki situasi atau kondisi tubuh, sehingga kondisi tubuh menjadi lebih baik. Faktor tersebut adalah hormon-hormon yang mencegah terjadinya kondisi tubuh tersebut.

Inhibitor Factor/Faktor penghambat

Adalah faktor yang terus mendukung situasi atau kondisi tubuh, sehingga kondisi tubuh menjadi tidak baik/memperburuk kondisi tubuh. Faktor tersebut adalah hormon-hormon yang mendukung terjadinya kondisi tubuh tersebut.

Contohnya :

KONDISI TUBUH	IF (KELENJAR)	HORMON DAN FUNGSI	RF (KELENJAR)	HORMON DAN FUNGSI
HAUS	Adrenal	Aldosteron	Hipofisis Posterior	ADH
		Berfungsi untuk menghambat		Berfungsi untuk merangsang
		reabsorpsi air dalam ginjal.		reabsorpsi air

				dalam ginjal.
		Aldosteron akan menghambat		Dengan ADH ini maka reabsorpsi
		reabsorpsi air dalam ginjal sehingga		air dalam ginjal akan meningkat.
		zat sisa yang dikeluarkan menjadi		Sehingga, zat sisa yang dikeluar-
		bertambah besar dan produksi		kan dari tubuh berkurang.
		urine akan meningkat. Hal ini		Dengan demikian urine yang
		akan menambah rasa haus yang		dikeluarkan menjadi lebih sedikit
		terjadi.		dan akan membantu mengurangi
				rasa haus yang ada.
	Adrenal	Corticoid	Thyroid	Triiodotironin
		Berfungsi untuk menyerap Na		Berfungsi untuk distribusi air dan
		dalam darah dan reabsorpsi air		garam.
		dalam ginjal.		Kelebihan hormon ini juga akan
		Corticoid yang diproduksi akan		mempengaruhi bertambahnya
		meningkatkan rasa haus karena		cairan dalam tubuh. Sehingga
		menyerap air dalam ginjal.		dengan demikian rasa haus akan
				berkurang.
	Hipofisis Anterior	Adrenotropin (ACTH)		

		Berfungsi untuk mempengaruhi		
		kerja anak ginjal.		
	Thyroid	Triiodotironin		
		Berfungsi untuk mempengaruhi		
		produksi panas oksidasi sel-		
		sel tubuh.		
		Dengan dihasilkannya		
		hormon ini mempengaruhi		
		berkurangnya cairan dalam tubuh.		

Hormon dikelompokkan kedalam 3 kelas berdasarkan strukturnya:

1. steroid
2. peptida
3. amina

Steroid

Steroid adalah lemak yang diturunkan dari kolesterol. Testosteron adalah hormon seks pria. Estradiol, yang mempunyai struktur seperti testosteron, bertanggung jawab atas beberapa karakteristik seks perempuan. Hormon steroid disekresikan oleh gonad, korteks adrenal, dan plasenta.

Peptida and Amina

Peptida adalah rantai asam amino pendek; kebanyakan hormon adalah peptida. Hormon tersebut disekresikan oleh pituitari, paratiroid, jantung, lambung, hati, dan ginjal.

Amina diturunkan dari asam amino tirosin dan disekresikan oleh tiroid dan medula adrenal.

Struktur Reseptor Hormon

Setiap reseptor hormon mempunyai sedikitnya dua daerah domain fungsional yaitu :

1. Domain pengenalan akan mengikat hormon
2. Regio sekunder menghasilkan (transduksi) sinyal yang merangsang pengaturan beberapa fungsi intrasel

Reseptor hormon Steroid dan Thyroid membentuk suatu superfamili yang besar dari faktor transkripsi. Disini termasuk juga reseptor untuk vitamin D dan Asam retinoid. Reseptor untuk hormon Glukokortikoid mempunyai beberapa domain fungsional yaitu:

1. Regio pengikat hormon dalam bagian terminal karboksil
2. Regio pengikatan DNA yang berdekatan
3. Sedikitnya dua regio yang mengaktifkan transkripsi gen
4. Sedikitnya dua regio yang bertanggung jawab atas translokasi reseptor dari sitoplasma ke nukleus
5. Regio yang mengikat protein renjatan panas tanpa adanya ligan

Klasifikasi Hormon

Hormon dapat diklasifikasikan melalui berbagai cara yaitu menurut komposisi kimia, sifat kelarutan, lokasi reseptor dan sifat sinyal yang mengantarkan kerja hormon di dalam sel

Klasifikasi hormon berdasarkan senyawa kimia pembentuknya:

1. Golongan Steroid → turunan dari kolesterol
2. Golongan Eikosanoid yaitu dari asam arachidonat
3. Golongan derivat Asam Amino dengan molekul yang kecil

→Thyroid,Katekolamin

4.Golongan Polipeptida/Protein

→Insulin,Glukagon,GH,TSH

Berdasarkan sifat kelarutan molekul hormone:

1. Lipofilik : kelompok hormon yang dapat larut dalam lemak
2. Hidrofilik : kelompok hormon yang dapat larut dalam air

. Berdasarkan lokasi reseptor hormone:

- 1.Hormon yang berikatan dengan hormon dengan reseptor intraseluler
- 2.Hormon yang berikatan dengan reseptor permukaan sel (plasma membran)

Berdasarkan sifat sinyal yang mengantari kerja hormon di dalam sel : kelompok

Hormon yang menggunakan kelompok second messenger senyawa cAMP,cGMP,Ca²⁺, Fosfoinositol, Lintasan Kinase sebagai mediator intraseluler

Kelompok Hormon yang Berikatan dengan Reseptor Permukaan Sel

Kelompok hormon ini terdiri dari hormon-hormon yang bersifat larut dalam air dan terikat pada membran plasma sel sasaran. Hormon-hormon ini akan berkomunikasi dengan proses metabolisme intraseluler melalui senyawa yang disebut sebagai second messenger.Konsep second messenger timbul dari pengamatan Earl Sutherland dan rekan-rekan,bahwa Epineprin terikat pada membran plasma eritrosit burung merpati dan meningkatkan cAMP.Diikuti oleh berbagai macam percobaan ditemukan bahwa cAMP ternyata mengantari efek metabolik banyak hormon. Senyawa second messenger yang diaktivasi oleh pengikatan antara hormon dengan reseptor spesifiknya di membran plasma

cAMP Sebagai Second Messenger

cAMP merupakan second messenger yang dibentuk dari senyawa ATP oleh kerja enzim Adenilat Siklase dengan adanya Mg²⁺ yang membentuk suatu kompleks dengan ATP untuk bertindak sebagai substrat untuk reaksi. $Mg^{2+} + ATP \rightarrow cAMP + PPi + H^{+}$

Adenilat siklase cAMP mempunyai peranan yang sangat menentukan dalam proses kerja sejumlah hormon. Epineprin meningkatkan kadar cAMP yang tinggi di dalam sel-sel otot dan perubahan yang relatif kecil dalam sel-sel hati

cGMP Sebagai Second Messenger

Merupakan senyawa second messenger yang dibentuk dari GTP oleh kerja enzim Guanilil Siklase, yang terdapat dalam bentuk larut dan terikat membran. Hormon Atriopeptin, suatu famili peptida dihasilkan dalam atrium jantung, menyebabkan natriuresis, diuresis, vasodilatasi otot dan inhibisi sekresi aldosteron. Hormon peptida ini mis: ANF akan mengaktifkan enzim guanilil siklase \rightarrow cGMP $\uparrow \rightarrow$ mengantari efek hormon. Senyawa nitroprusida, nitrogliserin, natrium nitrit, natrium azida, nitrogen oksida (NO) meningkatkan cGMP dengan mengaktifkan guanilil siklase. Peningkatan cGMP akan berikatan dan mengaktifkan Protein Kinase Spesifik (Kinase G) yang analog dengan Kinase A. Enzim ini akan melakukan fosforilasi terhadap sejumlah protein otot polos. Peristiwa ini agaknya terlibat dalam proses relaksasi otot polos dan vasodilatasi.

Ca²⁺ Sebagai Second Messenger

Secara luas kalsium terionisasi merupakan unsur regulator proses seluler termasuk kontraksi otot, rangkaian proses pembekuan darah, aktifitas enzim dan eksitabilitas membran dan mediator dari kerja hormon. Peran kalsium ion dalam aksi hormon diusulkan karena banyak hormon :

1. Dihambat dalam media kalsium bebas atau bila kadar kalsium intrasel berkurang
2. Mempengaruhi aliran kalsium sel

Diketahui konsentrasi Ca²⁺ sitosol lebih rendah dibandingkan konsentrasi Ca²⁺ dalam cairan ekstraseluler dan organela intraseluler. Keadaan ini dipertahankan oleh adanya pompa Ca²⁺ / Mg²⁺ ATPase dependent. Hormon dan zat efektor lain dapat merangsang pelepasan ion kalsium ke dalam sitosol. Jalan utama hormon meningkatkan penambahan Ca²⁺ adalah melalui stimulasi dari produksi InsP₃ yang dihasilkan oleh pemecahan dari PIP₂ yang diperantarai fosfolipase C

PIP2

PIP2 (Phosphatidil Inositida 4,5 Bisphosphat) merupakan senyawa phospholipid dari membran, memainkan peranan dalam aksi hormon yang tergantung Ca^{2+} . Produk metabolisme PIP2 diusulkan menyediakan komunikasi antara reseptor hormon membran plasma dengan reservoir Ca^{2+} intrasel → mempengaruhi Ca^{2+} channel

Hormon Pada Rangkaian Protein Kinase

Beberapa reseptor hormon seperti reseptor hormon Insulin, EGF, IGF memiliki aktivitas Tirosin Kinase Intrinsik. Perubahan penyesuaian yang ditimbulkan interaksi antara hormon dan reseptor pada reseptor ini mengaktifasi aktivitas kinase tirosin. Aktivitas enzim kinase ini mengakibatkan fosforilasi substrat pada residu tirosin. Aktivitas tirosin dapat pula memulai serangkaian fosforilasi. Mekanisme umum untuk hal ini adalah melalui domain SH2 yang berikatan dengan fosfotirosin pada reseptor. Tirosin Fosfatase mengangkat gugus fosfat tirosin mengakhiri kerja dari protein terfosforilasi

Kelompok Hormon Mempunyai Reseptor Intrasel

Kelompok hormon ini bersifat lipofilik dan dapat berdifusi lewat membran plasma semua sel, tetapi hanya menjumpai reseptor spesifiknya di dalam sel sasaran. Kompleks Hormon Reseptor selanjutnya menjalani reaksi aktivasi yang tergantung pada suhu serta garam dan reaksi ini akan mengakibatkan perubahan ukuran, bentuk, muatan permukaan yang membuat kompleks hormon tersebut mampu berikatan dengan kromatin pada inti sel. Kompleks hormon reseptor berikatan pada suatu regio spesifik DNA yang dinamakan unsur respon hormon/HRE dan membuat aktif dan inaktif gen spesifik. Dengan memberi pengaruh yang selektif pada transkripsi gen dan produksi masing-masing mRNA, pembentukan protein spesifik dan proses metabolik dipengaruhi.

Kelompok hormon steroid seperti Estrogen, Progesteron, dan Kortison memberi pengaruh dominan pada transkripsi gen. Hormon ini akan berikatan dengan reseptornya di intrasel dari sel target. Kompleks hormon reseptor berbertindak sebagai sinyal intrasel akan terikat pada unsur respon hormon yang berfungsi mengaktifasi proses transkripsi menyebabkan pembentukan mRNA spesifik. Efek yang sama juga terhadap hormon Thyroid

Hormon Thyroid

Kelenjar thyroid merupakan organ yang mensekresikan terutama hormon 3,5,3'-l-triiodotironin (T3) dan 3,5,3',5'-l- tetraiodotironin (T4). Hormon ini membutuhkan Iodium untuk aktifitas biologiknya. Pada kelenjar Thyroid T3 dan T4

terikat pada thyroglobulin, tempat berlangsungnya biosintesa hormon ini . Pembebasan T3 dan T4 dari thyroglobulin memerlukan enzim proteolitik yang distimulasi oleh TSH (atau cAMP) tetapi dihambat oleh Iodium dan oleh Litium seperti Litium Karbonat yang digunakan untuk terapi manik depresif .Efek ini dimanfaatkan dengan penggunaan Kalium Iodida untuk terapi hipertyroidisme. T3 dan T4 yang berada di sirkulasi berikatan dengan protein darah yaitu :

- TBG(85%)
- TBPA
- Albumin (sedikit)

Aktifitas biologik hormon ini adalah oleh fraksi yang tidak terikat (bebas)

Mekanisme Kerja

Hormon T3 dan T4 berikatan dengan reseptor spesifiknya dengan afinitas yang tinggi di nukleus sel sasaran. Di sitoplasma hormon ini berikatan pada tempat dengan afinitas yang rendah dengan reseptor spesifiknya. Kompleks hormon reseptor berikatan pada suatu regio spesifik DNA, menginduksi atau merepresi sintesis protein dengan meningkatkan atau menurunkan transkripsi gen. Dari transkripsi gen-gen ini timbul perubahan dari tingkat transkripsi m RNA mereka. Perubahan tingkat mRNA ini mengubah tingkatan dari produk protein dari gen ini. Protein ini kemudian memperantarai respon hormon Thyroid. Hormon Thyroid dikenal sebagai modulator tumbuh kembang → penting pada usia balita

Patofisiologi

- Pembesaran Thyroid → goiter
- Simple goiter : usaha mengkompensasi produksi hormon thyroid yang kurang
- Jika berat → Hypothyroidisme

- Therapi dengan hormon thyroid eksogen (Levotiroksin)

Hipothyroidisme

- Dibedakan : -

Kreatinisme - Miksedema

- Gambaran menonjol : -

bradikardi - hipertensi diastolik

- kulit dan rambut kering

- sensitif terhadap dingin

Hiperthyroidisme

- Produksi thyroid berlebihan

- Penyebab bermacam –macam :

- Penyakit Grave → produksi thyroid merangsang IgG mengaktifkan reseptor TSH, pembesaran difus kelenjar thyroid - Penyakit Plumer → thyroid membesar pada satu nodul

Hormon Turunan Eicosanoid

Tidak semua hormon dihasilkan oleh suatu kelenjar tertentu. Hormon golongan Eicosanoid mencakup: Prostanoid (Prostaglandin, Prostasiklin Tromboxan) dan Leukotrien adalah derivat asam lemak tak jenuh dengan kerangka 18,20 atau 22

karbon. Asam Arachidonat adalah substrat untuk sintesis berbagai eicosanoid pada manusia. Prekursor asam arachidonat ditemukan dalam membran lipid dimana ia dilepaskan sebagai respon dari berbagai rangsangan melalui kerja dari berbagai fosfolipase baik fosfolipase A atau fosfolipase C maupun lipase digliserida. Aktivitas fosfolipase A2 in vitro dapat dihambat oleh glukokortikoid melalui induksi dari protein yang disebut lipokortin, hal ini dapat menyumbang pada supresi glukokortikoid dari reaksi peradangan tertentu, tetapi makna inhibisi ini pada manusia belum ditetapkan.

Sintesis prostanoid dari asam arachidonat dikatalisis oleh jalan *Siklooksigenase*. Sintesis Leukotrien dikatalisis oleh jalan *Lipoksigenase*. Kerja enzim siklooksigenase dapat dihambat oleh Aspirin, Indometasin dan obat-obat antiinflamasi steroid lainnya → menghambat sintesis prostanoid

Kerja kelompok hormon ini serupa dengan hormon yang *bertindak pada permukaan sel* dan diduga secara predominan bertindak dalam suatu model parakrin dan autokrin. Eicosanoid pada hakekatnya mempengaruhi setiap jenis sel dalam berbagai cara. Efek Prostaglandin seperti :

- Mencegah konsepsi
- Induksi akhir kehamilan → terminasi kehamilan
- Pencegahan dan pengurangan ulkus ventrikuli
- Kontrol inflamasi dan tekanan darah
- Kontrol transport ion melalui membran
- Modulasi transfer synaps
- Pengobatan asma
- Kongesti hidung

ENDORPHINE

β endorphine terdiri atas 31 asam amino yang ditemukan dalam hipofise tapi disana akan mengalami asetilasi. Berikatan dengan reseptor SSP sama seperti opium morphin dimana jaringan otak dari vertebrata mempunyai reseptor untuk alkaloid (morphin) → opium.

Senyawa β endorphine yang dibentuk dari Proopiocortin ini, berperan dalam mengontrol persepsi rasa nyeri secara endogen sehingga dapat berperan analgesik yang kuat untuk rasa sakit pada tubuh selama beberapa jam. Potensi analgesik senyawa 18-30 kali lebih kuat dari morphin

Hubungan Hormon Pertumbuhan dengan Onkogen

Onkogen merupakan gen yang mempromosikan kanker. Mereka lazimnya mengalami perubahan melalui mutasi ataupun versi dari gen seluler normal yang diekspresikan secara berlebihan. Dalam banyak kasus onkogen merupakan analog dari hormon maupun faktor pertumbuhan, reseptor hormon, molekul yang mentransmisikan kerja hormon. Mekanisme kerja onkogen secara :

- Terlibat dalam pengendalian pertumbuhan
- Meniru kerja faktor pertumbuhan
- Meniru reseptor yang ditempati faktor pertumbuhan

Produk beberapa onkogen berupa faktor pertumbuhan atau sebahagian dari reseptor faktor pertumbuhan seperti :

- Produk src, bertindak sebagai protein kinase
- Produk ras bekerja stimulasi aktivitas adenilat siklase
- Produk myc bertindak sebagai protein pengikat DNA

Pra Analitik dan Analitik Pengukuran Kadar Hormon

Hormone adalah produk system endokrin. Di samping organ endokrin yang sudah dikenal luas seperti hipotalamus, hipofisis, tiroid, paratiroid, adrenal, testis, ovarium dan pancreas .pada beberapa keadaan dan penyakit yang berkaitan dengan organ endokrin atau kadar hormone maka diperlukan pengukuran kadar hormone tertentu. Pengukuran kadar hormone merupakan sebagian kecil dari pemeriksaan laboratorium. Perkembangan teknologi pemeriksaan laboratorium dengan alat spektrofotometri, telah membuka kemungkinan pengukuran kadar hormone.

Tahap pra analitik meliputi persiapan pasien, pengambilan sampel dan pengiriman sampel ke laboratorium pemeriksaan/rujukan, proses pemisahan serum atau plasma serta penyimpan sampel. Pada persiapan pasien perlu ditentukan apakah puasa atau tidak, makanan tertentu, minuman tertentu, merokok, alcohol, obat-obatan tertentu. Juga kerja fisik atau olahraga, waktu pengambilan sampel dikaitkan dengan variasi diurnal.pada

pengambilan sampel perlu diperhatikan posisi badan pasien, lama dan kuatnya pembendungan, jenis antikoagulan, apakah perlu perlakuan khusus seperti pendingin. Perubahan posisi badan dari tegak ke berbaring atau sebaliknya akan menyebabkan perubahan jumlah cairan dalam pembuluh darah karena analit terutama yang berukuran molekul besar seperti protein.

Beberapa jenis analit termasuk hormone memerlukan perhatian dan perlakuan khusus sejak sampel diambil. Untuk sampel darah ada yang sudah harus didinginkan pada 4°C sejak darah diambil sampel diperiksa atau sampel serum atau plasma dipisahkan dari sel darah.

Contohnya adalah hormone gastrin, rennin.

Tahap Analitik Pengukuran Kadar Hormon

Pengukuran kadar hormone dilakukan dengan banyak cara, ada teknik analitis seperti *bioassay*, *receptor assay*, *immunoassay*, dan teknik instrumental seperti spektrofotometri massa yang ber-*interfaced* dengan kromatografi cair atau gas. Pada pengukuran kadar hormone perlu untuk memperhatikan fraksi yang *bioavailable*, yang mempunyai pengaruh fisiologis dan control homeostatic. Dalam hal ini perlu untuk mempertahankan bagaimana pengikatan oleh protein bila pengikatan tersebut akan mengurangi bioavailabilitas hormone tersebut. Hormone yang terkait pada *high-affinity* protein tidak available dan yang terkait pada albumin hanya available minimal. Hal ini berarti bahwa semua hormone dengan derajat keterkaitan bermakna dengan protein mempunyai fraksi *bioavailable* jauh kurang dari 1. Untuk hormone-hormon ini pengukuran kadar hormone total tidak dapat menggambarkan kadar hormone *bioavailable* tetapi harus mengukur kadar fraksi hormone yang tidak terikat. Pemisah fraksi yang terikat dari yang tidak terikat dapat

dilakukan dengan cara dialysis keseimbangan, ultrafiltrasi, kinetic radio immunoassay, dan kromatografi. Setelah itu pengukuran dilakukan terhadap porsi sampel yang mengandung fraksi hormone yang tidak terikat. Kadar fraksi hormone yang tidak terikat bisa juga dihitung dengan rumus apabila telah diketahui sebaran fraksi hormone yang tidak terikat bisa juga dihitung dengan rumus apabila telah diketahui sebaran fraksi yang terikat. Atau dengan indeks rasio kadar hormone dengan kadar protein pengikat hormone spesifik, atau indeks rasio kadar hormone terhadap kadar unbound hormone binding sites, dan cara-cara perhitungan lain.

Penilaian Laboratorium

Pemeriksaan laboratorium penting untuk menegakkan diagnosis endokrin dan diagnosis spesifik. Kemajuan teknik pemeriksaan yang meningkatkan ketepatan hasil mendukung kepercayaan klinikus. Walaupun demikian hasil pemeriksaan laboratorium tidak dapat menggantikan pertimbangan klinis. Secara umum pemeriksaan laboratorium mengukur kadar hormone dalam cairan tubuh, biasanya darah dan urin. Sekuele hormone dan sekuele proses yang ikut berperan kepada ketidaknormalan hormone. Pengukuran dapat dilakukan pada keadaan basal, atau sewaktu atau pada keadaan tertentu atau setelah rangsangan(stimulasi) provokatif tertentu.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Champe P C PhD , Harvey R A PhD. Lippincott's 1994. *Illustrated Reviews*:nd
- Hardjasasmita, Pantjita. 2002. *Ikhtisar Biokimia Dasar*. Jakarta: Balai Penerbit FKUI
- Lehninger A, Nelson D , Cox M M . 1993. *Principles of Biochemistry* 2nd . - : -
- Murray R K, et al. Harper's Biochemistry 25th ed. Appleton & Lange. America 2000 :
Stryer L .1995. Biochemistry 4th , page 603 – 623 .
- Panil, Zulbadar . 2007. *Memahami Teori dan Praktik Biokimia Dasar Medis untuk Mahasiswa Kedokteran, Keperawatan, Gizi dan Analis Kesehatan*. Jakarta: EGC.
- Poedddjadi, Anne. 1994. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press

BIOKIMIA

Karbohidrat adalah senyawa organik yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Contoh : glukosa $C_6H_{12}O_6$, sukrosa $C_{12}H_{22}O_{11}$, sellulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$. Karena komposisi yang demikian, senyawa ini pernah disangka sebagai hidrat karbon, tetapi sejak 1880, senyawa tersebut bukan hidrat dari karbon. Nama lain dari karbohidrat adalah sakarida, berasal dari bahasa Arab "sakkar" artinya gula. Karbohidrat sederhana mempunyai rasa manis sehingga dikaitkan dengan gula. Melihat struktur molekulnya, karbohidrat lebih tepat didefinisikan sebagai suatu polihidroksialdehid atau polihidroksiketon. Contoh: glukosa yang merupakan polihidroksi aldehid karena mempunyai satu gugus aldehida dan 5 gugus hidroksil (OH).



AKBID WIJAYA HUSADA