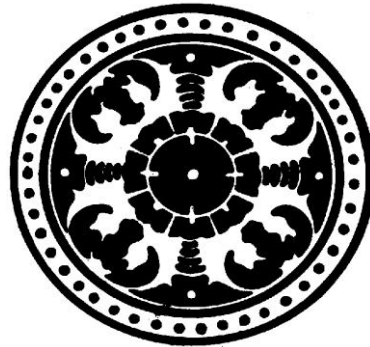


BAHAN AJAR

MATA KULIAH BIOKIMIA

KARBOHIDRAT



oleh :
A. A. PUTU PUTRA WIBAWA

PROGRAM STUDI PETERNAKAN
FAKULTAS PETERNAKAN
UNIVERSITAS UDAYANA
2017

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur di sampaikan dihadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa / Tuhan Yang Maha Esa karena berkat asung waranugraha-Nya, diktat Biokimia Dasar ini bisa diselesaikan. Diktat ini tentunya masih jauh dari sempurna, namun besar harapan kami diktat ini bisa dipakai sebagai dasar untuk mempelajari ilmu Biokimia lebih lanjut. Kalau ingin mempelajari lebih dalam lagi, tentunya bisa dibaca, dipelajari dari buku-buku text book Biokimia yang ada .

Diktat ini dibuat hanya dipakai untuk kalangan sendiri. Kami mengharapkan adanya kritik dan saran untuk lebih menyempurnakan isi diktat ini.

Atas tersusunnya diktat ini, kami tak lupa mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang ikut membantu .

Denpasar Januari 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
PENDAHULUAN	iii
KARBOHIDRAT	1
Monosakarida	2
Steriosomer monosakarida	3
Struktur monosakarida	5
Formula proyeksi Haworth	6
Beberapa monosakarida lainnya	9
Sifat-sifat monosakarida	11
Oligosakasida	16
Polisakarida	18
METABOLISME KARBOHIDRAT	23
Pendahuluan	23
Glikolisa	23
Tahap-tahap Glikosida	26
Rangkuman	31
Lingkaran Pentosa Phosphat (LPP)	32
Pendahuluan	32
Rangkuman	36
Glikogeneses	41
Glikogenolisis	41
Glukoneogenesis	41

PENDAHULUAN

Biokimia dapat diberi batasan sebagai ilmu yang mempelajari tentang :

1. Kimia dan sifat-sifat dari senyawa-senyawa yang terdapat di dalam tubuh makhluk hidup dan/atau dihasilkan oleh makhluk hidup (biomolekul).
2. Perubahan-perubahan kimia yang dialami oleh senyawa-senyawa tersebut di dalam makhluk hidup.
3. Perubahan energi yang timbul sebagai akibat dari perubahan-perubahan kimia tersebut (bioenergetik).
4. Senyawa-senyawa yang berfungsi sebagai pengatur dalam proses perubahan-perubahan kimia tersebut (enzim dan hormon).

Dalam batasan tersebut diatas dapat dilihat adanya faktor makhluk hidup, yang menduduki tempat utama dalam Biokimia, sehingga secara singkat dapat dikatakan bahwa Biokimia adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat kimia yang terdapat dalam jasad hidup, senyawa yang diproduksinya, mempelajari fungsi transformasi zat kimia itu serta menelaah tranformasi tersebut sebelumnya dengan aktivitas kehidupan.

Biokimia sering juga disebut sebagai "*The Chemistry Of Living Thing*" hal ini menyangkut pengertian dimana benda hidup, baik bersel satu maupun lebih, terdiri dari sekumpulan zat-zat yang tidak hidup. Jadi jasad hidup merupakan sekumpulan zat tidak hidup yang dapat berbaur dan bereaksi serta berinteraksi satu sama lain dengan cara dan susunan yang sangat rumit namun diatur dengan baik.

Ilmu Biokimia yang diberi pengertian mendasar mengenai aktivitas kimia dalam segala jasad, penting dalam menunjang pengetahuan di bidang kedokteran dan pertanian. Dalam bidang kedokteran ilmu biokimia menunjang penentuan diagnosis suatu penyakit sampai pengobatannya. Dalam bidang pertanian ilmu biokimia berkembang demikian pesat , bukan saja sebagai dasar pengetahuan tentang teknologi produksi dan pasca panen, pemikiran-pemikiran baru dalam pengembangan peternakan dan perikanan, termasuk juga pemikiran tanaman dan hewan.

Bioteknologi yang sekarang sedang berkembang di Indonesia perlu

dilandasi oleh pengetahuan ilmu Biokimia, seperti dalam hal mensintesis, mengisolasi serta memurnikan zat-zat yang digunakan sebagai obat atau zat pencegah penyakit tertentu yang sulit ditentukan

Mengingat pentingnya ilmu dasar Biokimia dalam bidang pertanian dimana didalamnya termasuk ilmu peternakan, maka mahasiswa Peternakan perlu diajarkan Biokimia sebagai mata kuliah wajib yang akan melandasi ilmu-ilmu terapannya

KARBOHIDRAT

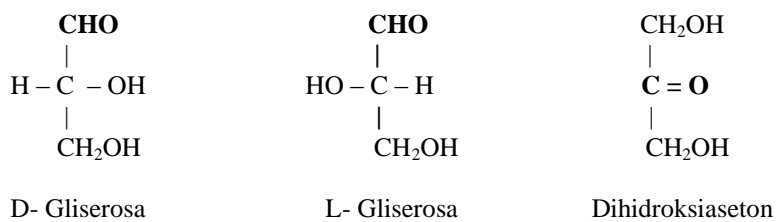
Karbohidrat adalah *Polihidroksi aldehida* dan *Polihidroksi keton* atau zat-zat yang bila dihidrolisis akan menghasilkan derivat senyawa-senyawa tersebut. Suatu karbohidrat tergolong *aldehida* (CHO), jika oksigen karbonil berikatan dengan suatu atom karbon terminal dan suatu *keton* (C = O) jika oksigen karbonil berikatan dengan suatu karbon internal.

Pada umumnya karbohidrat merupakan zat padat berwarna putih, yang sukar larut dalam pelarut organik, tetapi larut dalam air (kecuali beberapa sakarida). Sebagian besar karbohidrat dengan berat molekul yang rendah, manis rasanya. Karena itu, juga digunakan istilah gula untuk zat-zat yang tergolong karbohidrat.

Terdapat tiga golongan karbohidrat yang utama yaitu : *monosakarida*, *oligosakarida* dan *polisakarida*. Kata sakarida diturunkan dari bahasa Yunani yang berarti gula. Monosakarida atau gula sederhana, terdiri dari hanya satu unit *polisakarida aldehida* atau *keton*. *D-glukosa* adalah monosakarida yang paling banyak dijumpai di alam. *Oligosakarida* (bahasa Yunani *oligos* yang artinya sedikit) terdiri dari rantai pendek unit monosakarida yang digabungkan bersama-sama oleh ikatan kovalen. Diantaranya yang paling dikenal adalah *disakarida* yang mempunyai dua unit monosakarida. Teristimewa adalah *sukrosa* (gula tebu) yang terdiri gula *D-glukosa* dan *D-fruktosa* yang digabungkan oleh ikatan kovalen. Kebanyakan oligo sakarida yang mempunyai tiga atau lebih unit monosakarida tidak terdapat secara bebas, tetapi digabungkan sebagai rantai samping polipeptida pada *proteoglikan* . *Polisakarida* terdiri dari rantai panjang yang mempunyai ratusan atau ribuan unit monosakarida. Beberapa polisakarida seperti *selulosa*, mempunyai rantai linear, sedangkan yang lain seperti *amilum* (pati) dan *glikogen* mempunyai rantai yang bercabang. Polisakarida yang paling banyak dijumpai pada dunia tanaman yaitu pati dan selulosa . Nama semua monosakarida dan disakarida berakhiran *-Osa*

MONOSAKARIDA

Monosakarida sering disebut gula sederhana (*Simple Sugars*) adalah karbohidrat yang tidak dapat dihidrolisis menjadi bentuk yang lebih sederhana lagi. Monosakarida tidak berwarna merupakan kristal padat, yang mudah larut dalam air, tetapi tidak larut dalam pelarut non polar. Kebanyakan monosakarida mempunyai rasa manis, dengan rumus empiris $(\text{CH}_2\text{O})_n$, dimana $n = 3$, atau jumlah yang lebih besar lainnya.

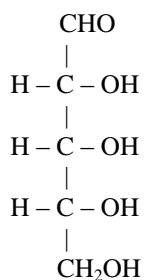


Berdasarkan banyaknya atom karbon (C) di dalam molekulnya, monosakarida dapat dibedakan menjadi *triosa* (3 atom C), *tetrosa* (4 atom C), *pentosa* (5 atom C), *heksosa* (6 atom C) dan *heptosa* (7 atom C). Berdasarkan gugus karbonil fungsionalnya, maka monosakarida dibedakan menjadi *aldosa*, jika mengandung gugus aldehida dan *ketosa*, jika mengandung gugus keton. Contoh :

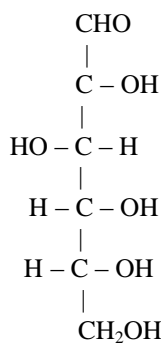
Nama Generik	Aldosa	Ketosa
Triosa ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$)	Gliserosa	Dihidroksiaseton
Tetrosa ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$)	Eritrosa	Eritrulosa
Pentosa ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$)	Ribosa	Ribulosa
Heksosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)	Glukosa	Fruktosa

Nama generik untuk ketosa adalah dengan menambahkan kata *ul* di depan akhiran *osa*, seperti *triulosa*, *tetrulosa*, *pentulosa* dan *heksulosa*.

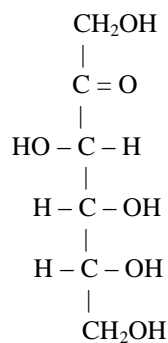
Masing-masing senyawa monosakarida ada dalam dua kelompok yaitu: *aldotriosa* dan *ketotriosa*, *aldotetrosa* dan *ketotetrosa*, *aldopentosa* dan *ketopentosa* dan sebagainya. Golongan heksosa yang mencakup *aldoheksosa*, yaitu *D-glukosa* dan *ketoheksosa* yaitu, *D-fruktosa* adalah monosakarida yang paling banyak dijumpai di alam. Golongan aldopentosa, yaitu *D-ribosa* dan *2-deoksi-D-ribosa*, adalah komponen asam nukleat.



D-Ribosa, suatu
Aldopentosa



D-Glukosa, suatu
Aldohexosa

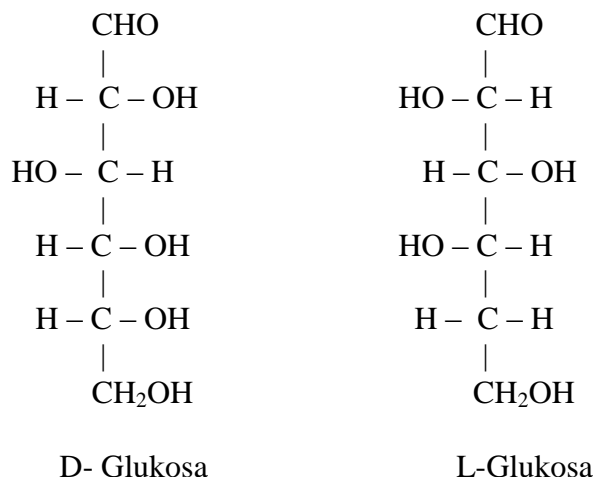


D-Fruktosa, suatu
Ketoheksosa

Stereoisomer Monosakarida

Senyawa-senyawa yang mempunyai rumus bangun sama tetapi berbeda dalam konfigurasi keruangan, dikenal sebagai *stereoisomer*. Adanya atom-atom karbon tidak setangkup atau atom karbon *asimetris* (atom karbon yang terikat pada 4 atom atau gugus yang berbeda) pada molekul monosakarida, memungkinkan pembentukan isomer optik, sehingga dapat membentuk 2 senyawa yang merupakan bayangan cermin dari yang lain. Contohnya *D-gliseraldehida* dan *L-gliseraldehida*, *D-glukosa* dan *L-glukosa*. Dua senyawa yang merupakan pasangan bayangan cermin disebut *enansiomer* dan mempunyai sifat yang hampir sama. Misalnya : Pentosa, gula lima atom karbon memiliki tiga atom karbon asimetris didalam molekulnya, memiliki isomer sebanyak $2^3 = 8$ yakni D - Arabinosa, D - Ribosa , D - Xilosa , D - Lykosa dan empat lainnya dalam bentuk L.

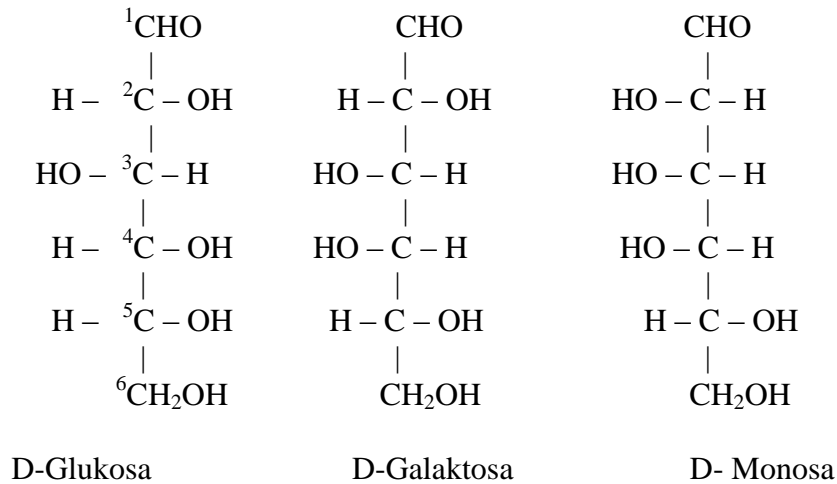
Gula dengan konfigurasi D, disebut gula D, sedangkan gula dengan konfigurasi L disebut gula L. Suatu gula konfigurasi D, kalau gugus OH yang terikat pada atom C yang berdekatan dengan atom C alkohol primer terletak disebelah kanan, dan berkonfigurasi L, kalau gugus OH ini, terletak disebelah kiri.



Jumlah *isomer* yang mungkin terdapat pada monosakarida, tergantung pada jumlah atom C yang tak setangkup atau asimetris (n), yaitu : 2^n . Glukosa memiliki 4 atom C asimetris, memiliki $2^4 = 16$ isomer, yaitu 8 bentuk D dan 8 bentuk L. Ke 16 isomer tersebut yaitu : D-glukosa, D-monosa, D- alosa, D- altrosa, D-glukosa, D-idosa, D-galaktosa, D-tolosa dan 8 lagi masing-masing dalam bentuk L.

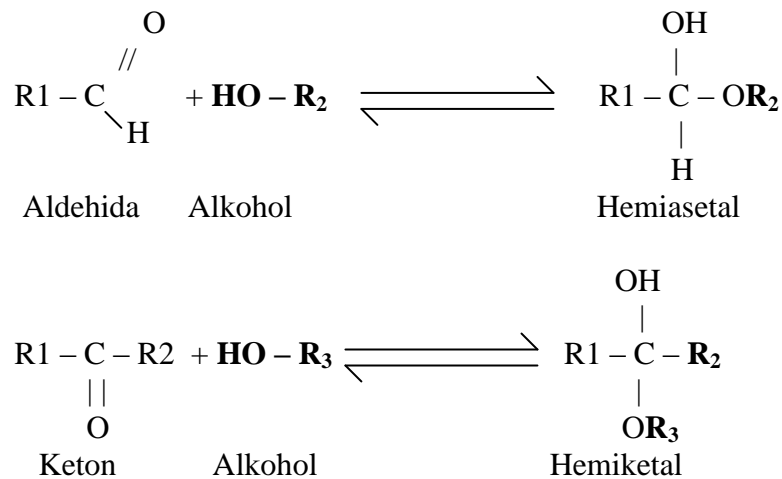
Adanya atom-atom karbon yang *asimetris* menyebabkan aktivitas optik pada senyawa monosakarida, yaitu memutar bidang polarisasi cahaya kekanan (*dekstrorotasi*) (+) atau kekiri (*levorotasi*) (-). Zat semacam ini disebut mempunyai keaktifan optik. Suatu senyawa dapat diberi tanda D (-), D (+), L (-), L(+) yang menunjukkan hubungan struktural dengan D atau L campuran isomer (+) dan isomer (-) dalam jumlah yang sama, tidak menunjukkan *keaktifan optik*, karena pemutaran ke kanan dikombinasi oleh pemutaran kekiri., campuran semacam ini disebut dengan campuran *rasemis*, sebab kemungkinan pembentukan masing-masing isomer optik adalah sama. Semua monosakarida mempunyai aktivitas optik, tetapi tidak semua senyawa yang mempunyai otom C *asimetris* beraktivitas optik. Suatu mekul bisa saja mempunyai aktivitas optik walaupun tidak mempunyai atom C *asimetris*.

Dua monosakarida yang berbeda pada konfigurasi satu atom C disebut *epimer*, misalnya D-galaktosa dan D-glukosa merupakan satu pasang *epimer* yang berbeda pada atom C-4. Demikian pula D-manosa dan D-glukosa, yang berbeda pada atom C-2 . Perubahan suatu monosakarida menjadi *epimernya* disebut *epimerisasi*.

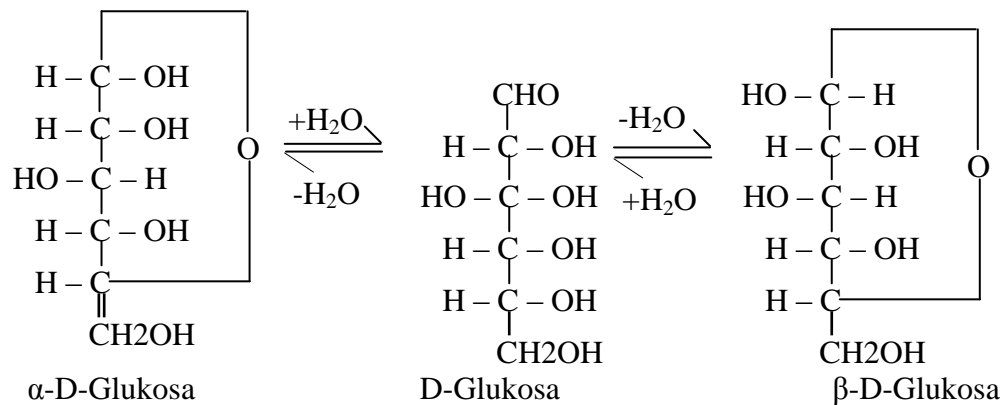


Struktur monosakarida

Rumus bangun monosakarida (*aldosa dan ketosa*) menurut Fischer, merupakan rantai lurus. Beberapa reaksi dan sifat-sifat karbohidrat tidak dapat diterangkan dengan rumus bangun ini, misalnya adanya dua isomer dari D-glukosa. Haworth (1925) mengajukan suatu rumus bangun yang berbentuk cincin dengan ikatan *hemiasetal* antara gugus aldehida pada posisi C-1 dan gugus hidroksil (alkohol) dari C-4 atau C-5.



Pembentukan *hemiasetal* atau *hemiketal* menciptakan suatu atom karbon *asimetris* tambahan (C-1) dalam molekul, menjadi lima, dan dengan demikian terdapat dua buah isomer, yaitu α dan β dari struktur cincin. Dua isomer D-glukosa adalah α -D-glukosa, dengan gugus OH pada C-1 berturut-turut disebelah kanan dan kiri dari rantai C. Pusat asimetris yang baru disebut *karbon anomerik*, dan isomer α dan β disebut *anomer*.



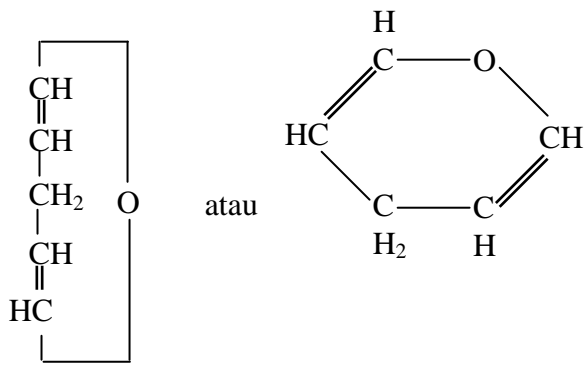
Bentuk α dan β dari D-glukosa dapat saling dikonversikan, bila dilarutkan dalam air, sehingga reaksi optiknya berubah sampai mencapai nilai tertentu. Penomena spontan ini disebut *mutarotasi*, yang disebabkan oleh perubahan bentuk α menjadi β atau sebaliknya.

Formula Proyeksi Haworth

Jika D-glukosa dikristalkan dari air, dihasilkan bentuk yang disebut α -D-glukosa yang mempunyai rotasi spesifik $\pm 112,2^\circ$. Jika D-glukosa dikristalkan dari piridin dihasilkan β -D-glukosa dengan rotasi spesifik $\pm 187^\circ$, kedua bentuk memiliki komposisi kimia yang sama. Dari berbagai pertimbangan kimia, telah disimpulkan bahwa isomer α dan β dari D-glukosa bukan merupakan struktur rantai lurus, tetapi dua senyawa berbentuk cincin beranggotakan 6 atom C. Gula berbentuk lingkaran demikian disebut *piranosa*, karena senyawa ini menyerupai senyawa cincin dengan 6 anggota yang disebut *piran*. Nama sistematis bagi kedua bentuk cincin D-glukosa adalah *α -D-glukopiranosa* dan *β -D-glukopiranosa*.

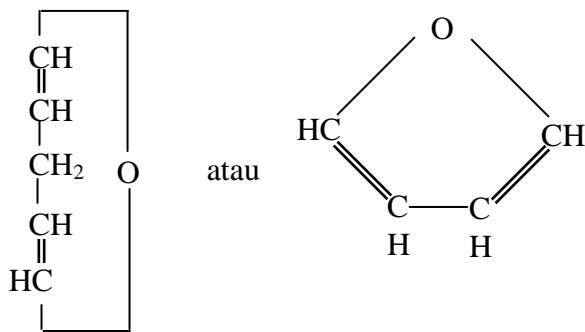
Ikatan *hemiketal* internal antara gugus keto dari C-2 dan gugus hidroksil dari C-5 dalam *D-fruktosa*, menimbulkan pembentukan suatu cincin beranggotakan lima, mirip dengan *furan*. Jenis struktur cincin ini disebut *furanosa* dari suatu gula.

Dua isomer dari D-fruktosa yaitu *α -D-fruktofuranosa* dan *β -D-fruktofuranosa*. Menurut Haworth, rumus bangun *piranosa* dan *furanosa* ditulis sebagai segi 6 atau segi 5 yang letaknya tegak lurus dengan bidang gambar.



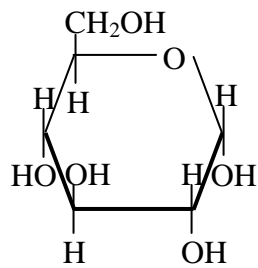
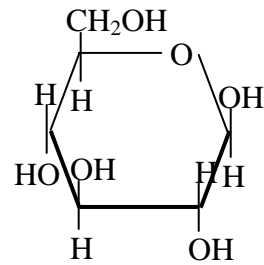
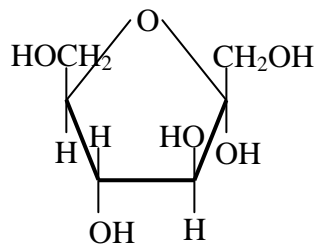
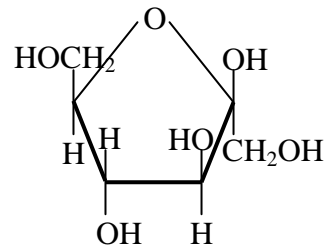
Piran

Piran



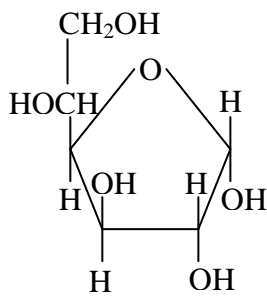
Furan

Furan

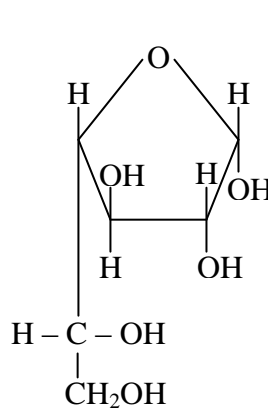
 α -D-Glukopiranososa β -D-Glukopiranososa α -D-Fruktofuronosa β -D-Fruktofuronosa

Bagian yang digambarkan lebih tebal, letaknya lebih dekat dengan pembaca. Gugus OH dan H terletak diatas dan dibawah bidang cincin. Gugus pada rumus Fischer ditulis disebelah kiri, pada rumus bangun Haworth terletak diatas bidang cincin, sedangkan yang pada rumus bangun Fischer ditulis disebelah kanan, pada Haworth terletak dibawah bidang cincin.

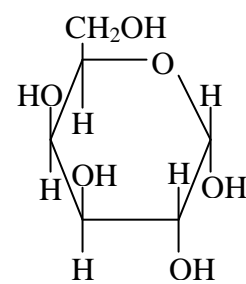
Formula Haworth beberapa monosakarida yang lain



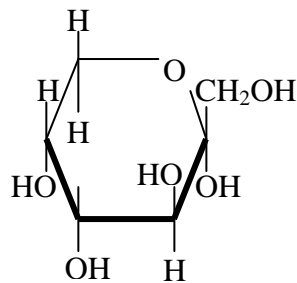
α -D-Glukofuranosa



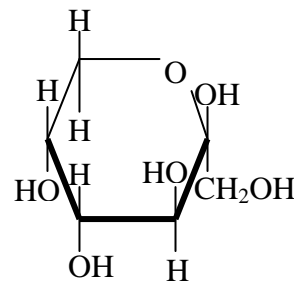
α -D-Galaktofuranosa



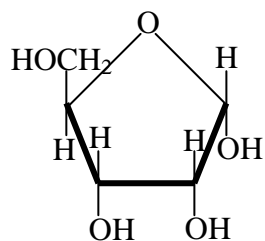
α -D-Galaktopiranososa



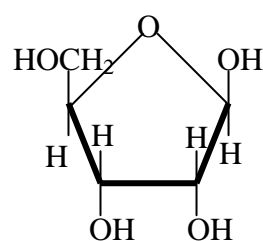
α -D-Fruktopiranososa



β -D-Fruktopiranososa



α -D-Ribofuranosa

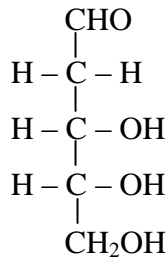


β -D-Ribofuranosa

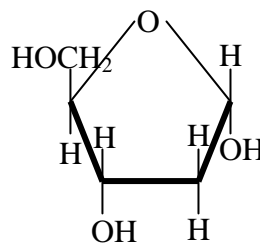
Beberapa monosakarida lainnya

1. Gula Deoksi

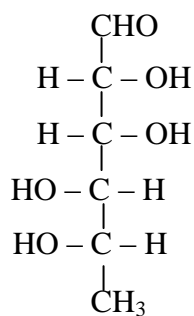
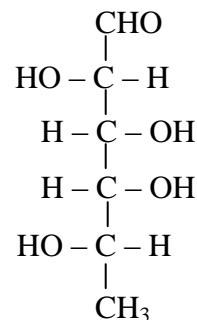
Gula deoksi adalah monosakarida yang lebih sedikit mengandung atom O daripada atom C misalnya *Deoksiribosa* pada asam nukleat yang berbentuk furanosa (*2-Deoksi-D-ribofuranosa*).



2-Deoksi-D-ribosa

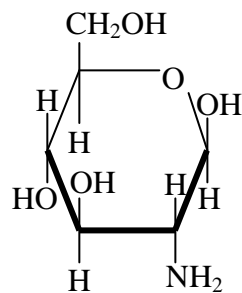
 α -2-Deoksi-D-ribofuranosa

Dua gula dioksi lainnya terdapat di dalam sel sebagai komponen dinding sel yaitu *L-ramnosa* dan *L-fukosa*

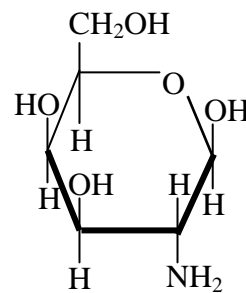
L-ramnosa
(6-Deoksi-L-Monososa)L-fukosa
(6-Deoksi-L-galatos)

2. Gula Amina

Kalau gugus OH suatu monosakarida diganti oleh gugus NH₂, terbentuk gula *amina*. Gula amina banyak dijumpai sebagai komponen utama polisakarida struktural, misalnya *D-glukosamin* (*2-amina-β-D-glukopiranos*) yang terdapat pada polisakarida *khitin* pada *insekta* dan *krustasea* dan juga didalam *musin* dari saliva, sedangkan *D-galaktosamin* (*2-amina-β-D-galaktopiranos*) merupakan komponen utama tulang rawan.



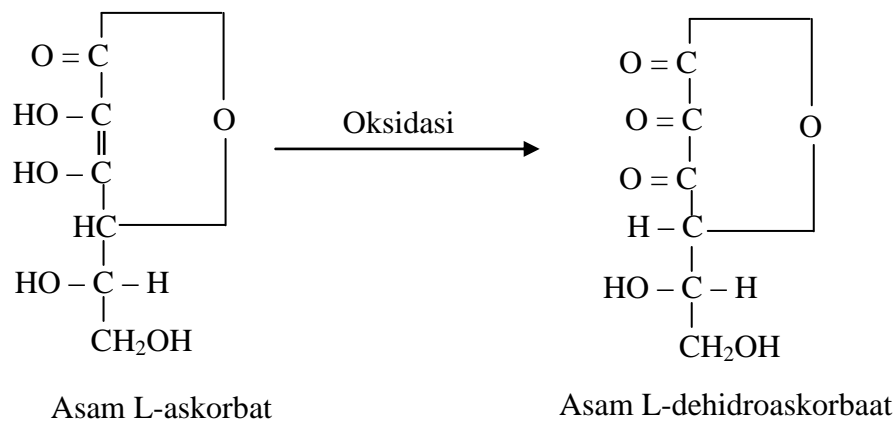
D-glukosamin
(2-amino- β -D-glukopiranososa)



D-galaktosamin
(2-amino- β -D-galaktopiranososa)

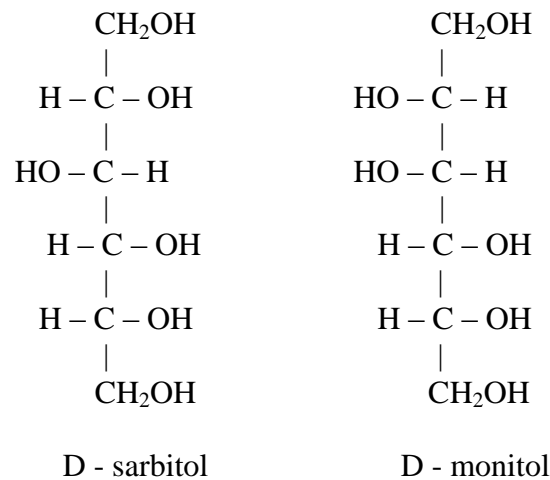
3. Asam Gula

Salah satu asam gula yang sangat penting adalah asam *askorbat* atau vitamin C yang memiliki struktur *lakton* dari asam *heksonat*. Asam gula yang banyak terdapat dalam buah-buahan ini, mempunyai struktur enediol pada atom ke-2 dan ke-3, dan sifatnya sangat tidak stabil mudah teroksidasi membentuk asam *dehidroaskorbat*

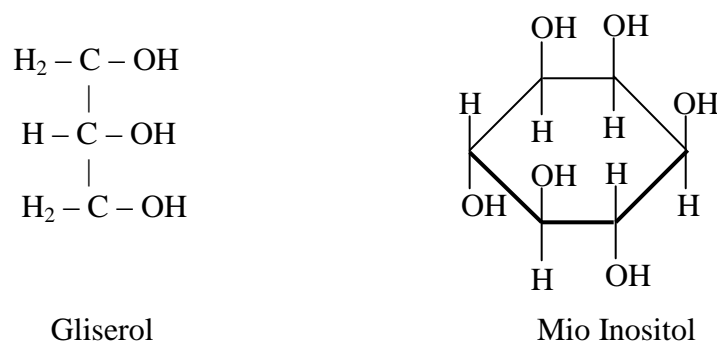


4. Gula Alkohol

Gugus aldehida atau keton dari monosakarida dapat direduksi secara kimia atau enzimatis menjadi gula alkohol, misalnya, *D-sorbitol* yang berasal dari *D-glukosa* dan *D-manitol* yang berasal dari, *D-manosa*. Kedua senyawa tersebut mudah larut dalam air dan rasanya manis



Gula alkohol lainnya adalah *gliserol* yang banyak dijumpai sebagai komponen *lipida* dan *inositol* yang banyak terdapat sebagai bagian dari lipida mejemuk yaitu *fosfatidil inositol*

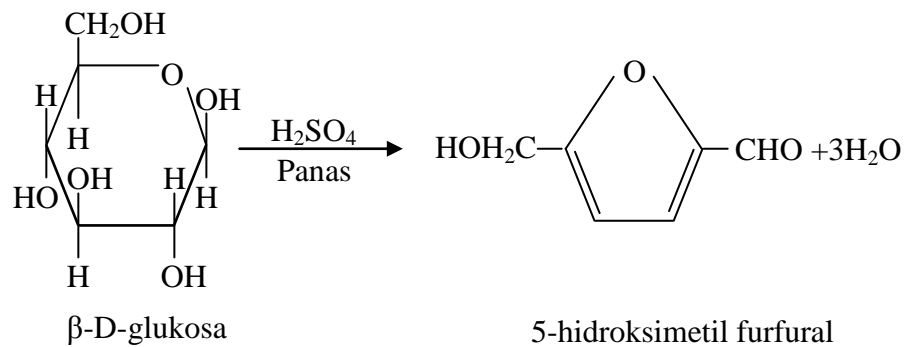


Sifat-sifat monosakarida

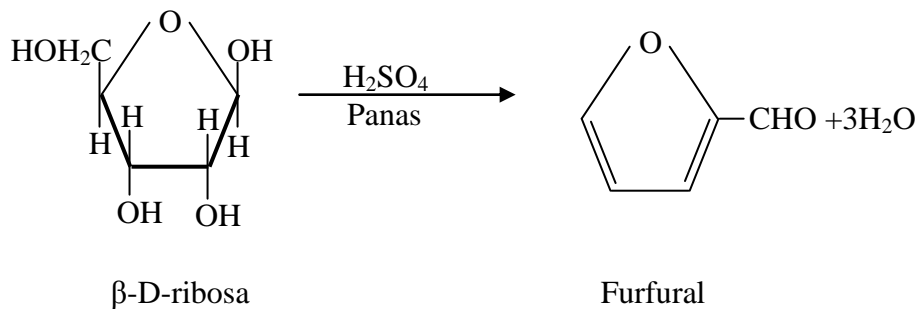
1. Reaksi dengan basa dan asam

Bila glukosa dilarutkan dalam basa encer / basa lemah $\text{Ba}(\text{OH})_2$ atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ setelah beberapa jam akan dihasilkan campuran yang terdiri dari fruktosa, manosa dan sebagian glukosa semula. Hal ini terjadi karena enolisasi glukosa. Perubahan aldosa menjadi ketosa ini disebut *transformasi Bruyn-Alberda Van Ekenstein*. Transformasi ini tidak terjadi dalam larutan basa pekat karena dalam larutan ini, monosakarida mudah teroksidasi, terdegrasi dan terpolimerisasi.

Dalam asam encer, monosakarida sangat stabil tetapi jika aldoheksosa dipanaskan dalam asam kuat, maka akan mengalami dehidrasi membentuk *hidroksimetil furfural*.

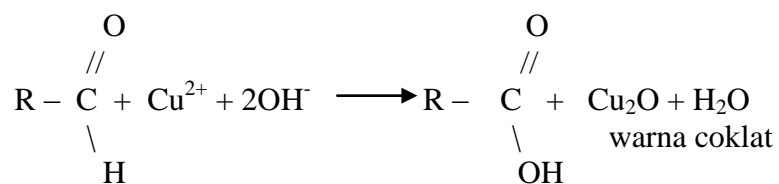


Dalam kondisi yang sama pentosa akan mengalami dehidrasi menjadi bentuk *furfural*



2. Gula Pereduksi

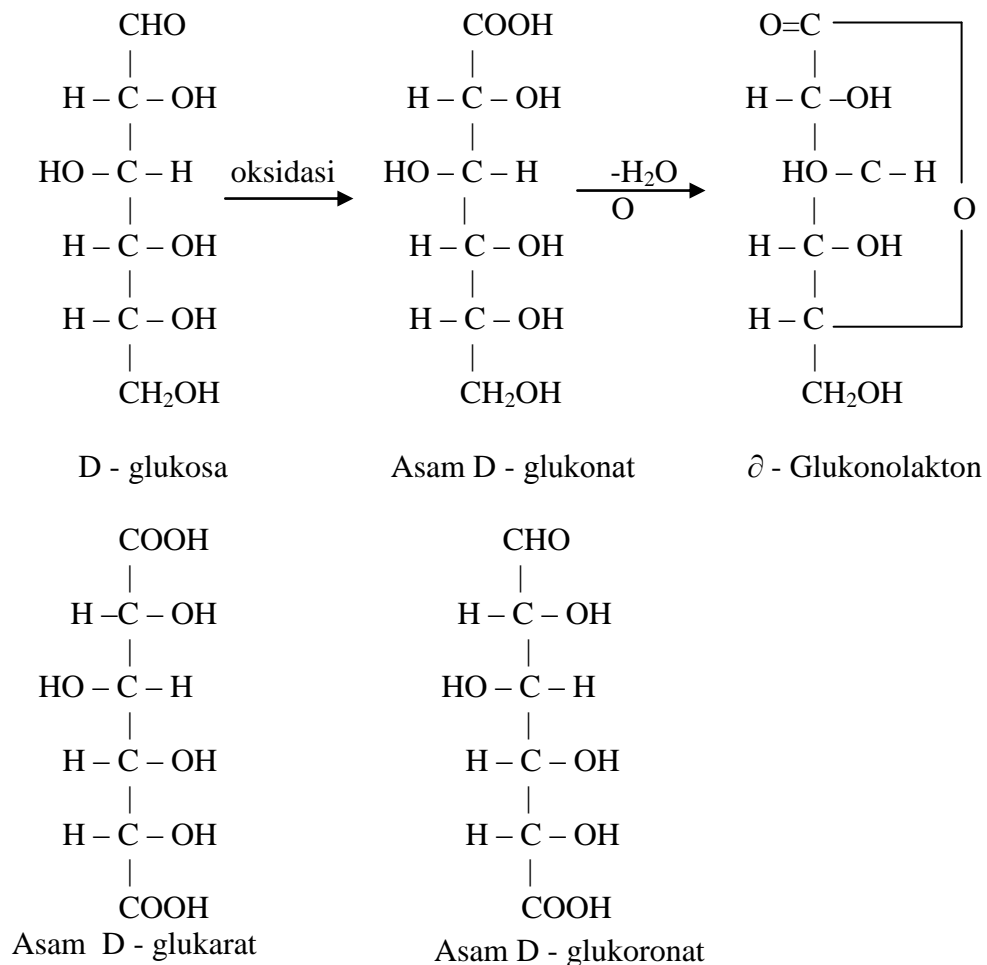
Adanya sifat pereduksi dari gula disebabkan oleh adanya gugus aldehida atau gugus keton yang bebas, sehingga dapat mereduksi ion-ion logam seperti tembaga (Cu) dan perak (Ag) dalam larutan basa. Dalam mereduksi Benedict yang terbuat dari campuran CuSO_4 , NaOH dan Na-sitrat, gula tersebut akan mereduksi Cu^{2+} yang berupa $\text{Cu}(\text{OH})_2$ menjadi Cu^+ sebagai CuOH , selanjutnya menjadi Cu_2O yang tidak larut, berwarna kuning atau merah bata / coklat.



3. Oksidasi

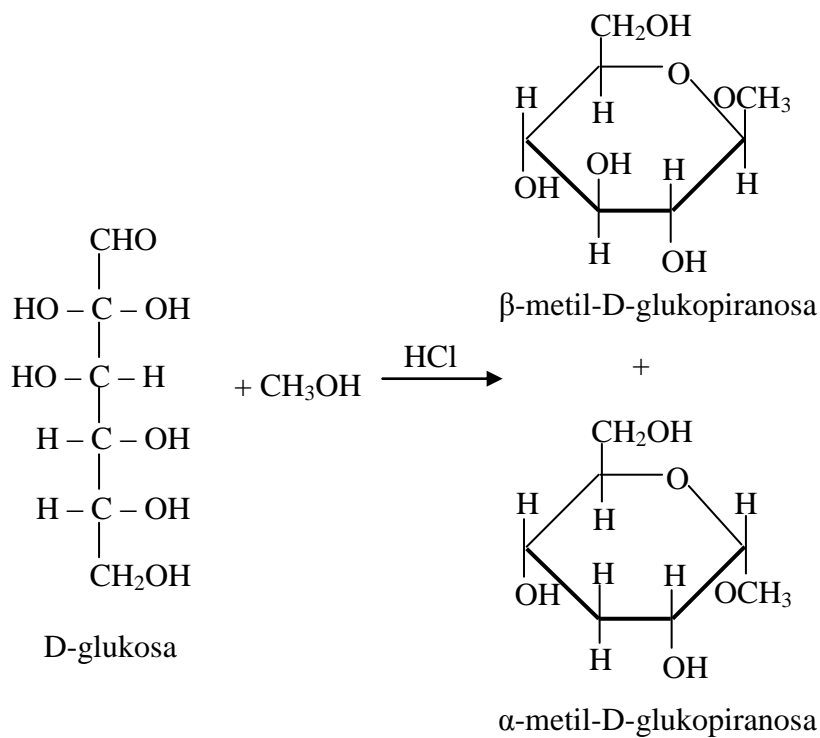
Oksidasi secara kimia terhadap aldosa pada umumnya menghasilkan asam *Aldonat* (misalnya, asam *glukonat* dari glukosa). Oksidator kuat seperti NHO_3 , akan mengoksidasi gugus aldehida dan gugus alkohol primer menjadi asam *aldarat* suatu asam dikarboksilat (misalnya asam *glukarat* dari glukosa). Dalam beberapa hal asam *aldonat* membentuk suatu ester, atao *lakton*.

Asam monokarboksilat yang terjadi jika hanya gugus alkohol primer saja yang teroksidasi disebut asam *uronat*, misal asam *glukoronat*.



4. Pembentuk Glikosida

Salah satu sifat monosakarida yang sangat penting ialah kemampuan untuk membentuk *glikosida* dan *asetal*. Apabila larutan D-glukosa diberi metanol dan HCl maka akan segera terbentuk dua senyawa, yaitu α dan β -metil-D-glukosida. Dua bentuk yang *diastomer* ini labil dalam asam tetapi stabil dalam basa

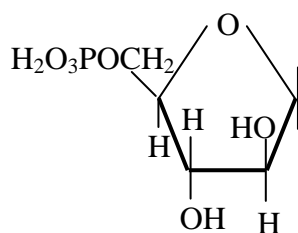


Jika gugus hidroksil pada sebuah melekul gula bereaksi dengan hidroksil hemiasetal hemiketal melekul gula yang lain, terbentuklah *glikosida* yang disebut disakarida. Ikatan antara kedua melekul itu dinamakan *Ikatan glikosida*. Polisakarida terdiri dari sejumlah besar unit monosakarida yang dihubungkan oleh ikatan glikosida.

5. Pembentuk Ester

Semua monosakarida dapat *terasetilasi* oleh asam asetat anhidrida yang berlebihan membentuk *O-asetil- α -D-glukosa*. Gugus asetil yang berikatan secara ester ini bisa dihidrolisis oleh asam atau basa. Sifat ini sering juga digunakan untuk penentuan struktur kharbohidrat

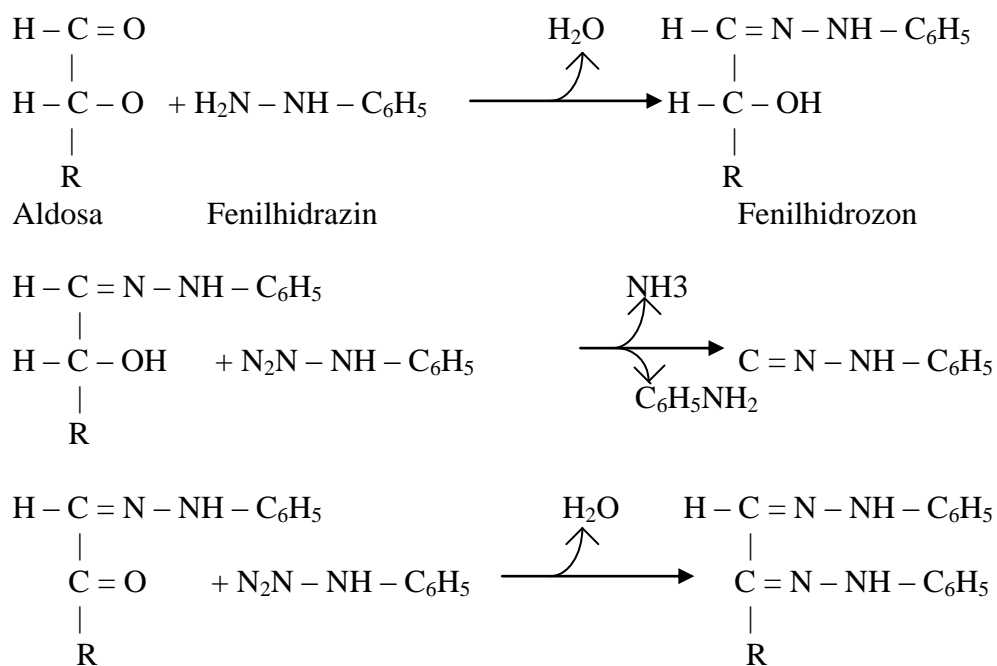
Senyawa ester yang penting dalam metabolisme adalah ester fosfat. Senyawa ini terjadi karena berlangsungnya reaksi antara kharbohidrat dengan *adenosin trifosfat* (ATP) yang dikatalis oleh enzim yang sesuai.

Asam α -D-frukto 1,6 difosfat

6. Ozason.

Monosakarida dapat bereaksi dengan larutan *fenilhidrazin* dalam suasana asam dalam suhu 100°C , membentuk *ozason*. Glukosa, fruktosa dan galaktosa membentuk *ozason* yang sama, karena $\text{C}_3 - \text{C}_6$ ketiga gula ini sama, tetapi galaktosa membentuk ozason yang lain karena galaktosa berbeda pada bagian molekul yang tidak berubah pada pembentukan *ozason*.

Tes ozason penting untuk identifikasi gula karena ozason berbagai karbohidrat mempunyai bentuk kristal dan titik lebur yang berbeda. Pada pembentukan ozason hanya C karbonil (gugus aldehida atau keton) dan atom C yang bersebelahan letaknya turut bereaksi.

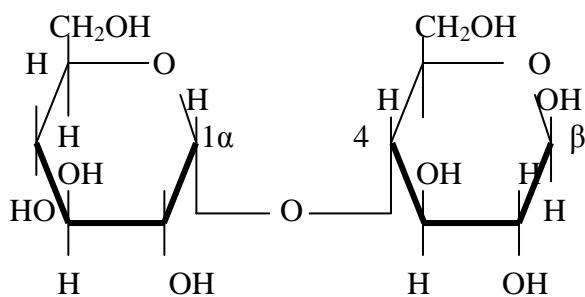


Ozason

OLIGOSAKARIDA

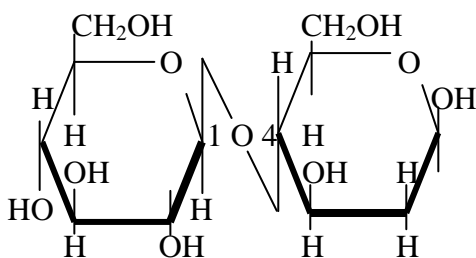
Oligosakarida umumnya didefinisikan sebagai suatu molekul karbohidrat yang mengandung 2 sampai 10 unit molekul monosakarida. *Oligosakarida* yang paling umum adalah *disakarida* ($C_n (H_2O)_{n-1}$), yang tersusun dari dua satuan molekul monosakarida, yang digabungkan oleh ikatan glikosida. Disakarida yang penting, yang banyak terdapat di alam adalah *sukrosa*, *laktosa* dan *maltosa*

Maltosa adalah disakarida yang paling sederhana, mengandung dua molekul D-glukosa yang dihubungkan oleh suatu ikatan *glikosida* antara atom C-1 (karbon anomer) dari molekul glukosa yang pertama dan atom C -4 dari glukosa yang kedua. Konfigurasi atom karbon anomer dalam ikatan glikosida diantara kedua molekul D-glukosa adalah bentuk α dan ikatan ini dilambangkan sebagai α ($1 \rightarrow 4$). Kedua molekul glukosa pada maltosa berada dalam bentuk *piranosa*. Maltosa adalah gula pereduksi , karena gula ini memiliki gugus karbonil yang berpotensi bebas yang dapat dioksidasi. Molekul glukosa kedua dari maltosa dapat berbentuk α dan β . Maltosa dihidrolisis menjadi dua molekul D-glikosa oleh enzim yang bersifat spesifik bagi ikatan α ($1 \rightarrow 4$). *Selubiosa* adalah disakarida yang juga mengandung dua residu D-glukosa tetapi senyawa ini dihubungkan dalam ikatan β ($1 - 4$).



Maltosa

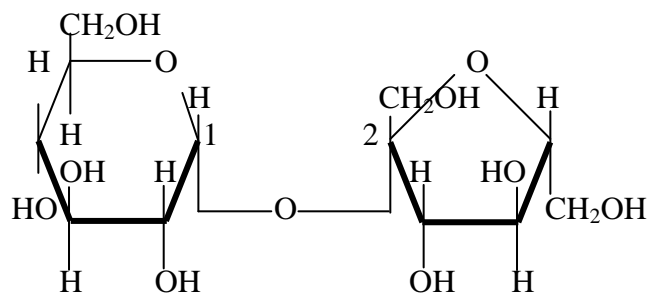
(O - α - D - glukopiranosil - ($1 \rightarrow 4$) - β - glukopiranososa)



Selubiosa

(O - α - D - glukopiranosil - ($1 \rightarrow 4$) - β - D - glukopiranosida)

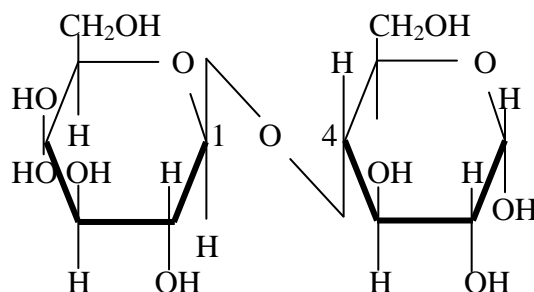
Sukrosa (gula tebu) merupakan disakarida yang disusun oleh glukosa dan fruktosa karena ikatan glikosida terbentuk dari gugus hidroksil anomerik, dari kedua satuan monosakarida, maka sukrosa bukanlah gula pereduksi dan tidak mengalami mutarotasi .Sukrosa dapat dihidrolisis baik secara enzimatik dan secara kimia untuk menghasilkan suatu campuran keseimbangan dari glukosa dan fruktosa yang lebih manis untuk berat yang sama dari pada sukrosa. Campuran ini disebut *gula invert* karena hidrolisis disertai dengan pembalikan putaran optik dari searah jarum jam (*dektrotasi*) menjadi berlawanan arah jarum jam (*levorotasi*). Madu merupakan bentuk yang terdapat dialam yang terdiri sebagian besar dari *gula invert*.



Sukrosa

(O - α - D - glukopiranosil - (1 \rightarrow 2) - β - D - fruktofuranosa)

Laktosa atau gula susu hanya terdapat dalam susu. Laktosa bila dihidrolisis akan menghasilkan D-galaktosa dan D-glukosa berikatan melalui ikatan α (1 \rightarrow 4) glikosida laktosa mempunyai atom karbon *hemiasetal* sehingga termasuk gula pereduksi.



Laktosa

Laktosa (O - α - D - galaktopiranosil - (1 \rightarrow 4) - β - D - glukopiranosil)

POLISAKHARIDA

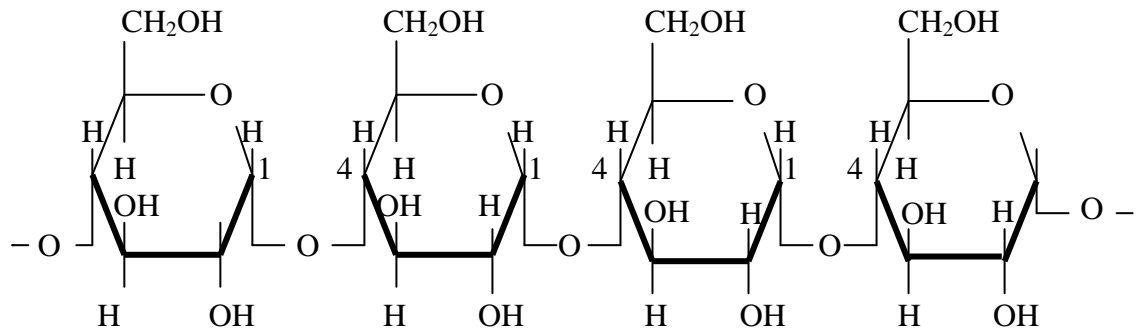
Polisakarida merupakan karbohidrat yang dijumpai di alam dalam jumlah yang paling besar. *Polisakarida* dapat berfungsi sebagai bentuk energi simpanan dan sebagai fungsi struktur di dalam dinding sel dan jaringan pengikat. Hidrolisis sempurna terhadap *polisakarida* oleh asam atau enzim spesifik, menghasilkan monosakarida atau turunannya.

Polisakarida dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

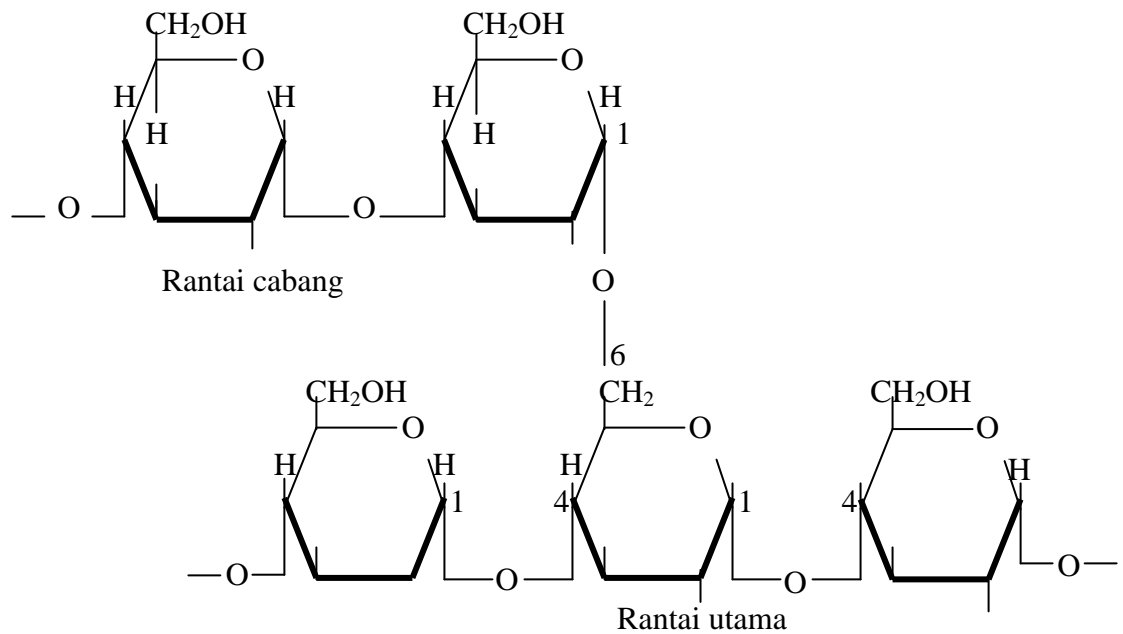
1. *Homopolisakarida*, yang hanya mengandung satu unit jenis monosakarida. Polisakarida yang pada hidrolisis menghasilkan heksosa disebut *heksosan* , contohnya *glikogen*, *pati* dan *selulosa*. Polisakarida yang menghasilkan pentosa disebut *pentosan* , contohnya *gummi arabikum*.
2. *Heteropolisakarida* , yang mengandung dua atau lebih jenis monosakarida yang berbeda misalnya asam *hialuronat* pada jaringan pengikat, yang mengandung *N-asetil glukosamin* dan *asam glukoronat*.

Pati (C₆ H₁₀ O₅)_n

Polisakarida ini merupakan cadangan makanan dalam tumbuh-tumbuhan, terutama terdapat dalam jumlah banyak pada golongan umbi-umbian, seperti kentang dan pada biji-bijian seperti jagung. Tetapi kemampuan membentuk pati dijumpai hampir pada semua sel tanaman. Pati terdiri dari dua bagian yaitu *amilosa* (15–29%) yang merupakan rantai panjang tidak bercabang yang terdiri dari melekul *α-D-glukopiranososa* yang bersambungan dengan ikatan α (1 \longrightarrow 4) dan *amilopektin* (80–85%) yang merupakan rantai bercabang sebanyak 24–30 melekul *α-D-glukopiranososa* yang bersambungan dengan ikatan α (1 \longrightarrow 4) dengan titik percabangan dengan ikatan α (1panah 6)



Amilosa



Amilopektin

Hidrolisis pati akan terjadi pada pemanasan dengan asam encer, dimana berturut-turut akan terbentuk *amilodekstrin* yang memberi warna biru dengan iodium, *eritrodekstrin* yang memberi warna merah dengan iodium serta berturut-turut *akhrodekstrin*, maltosa dan glukosa yang tidak memberi warna dengan iodium.

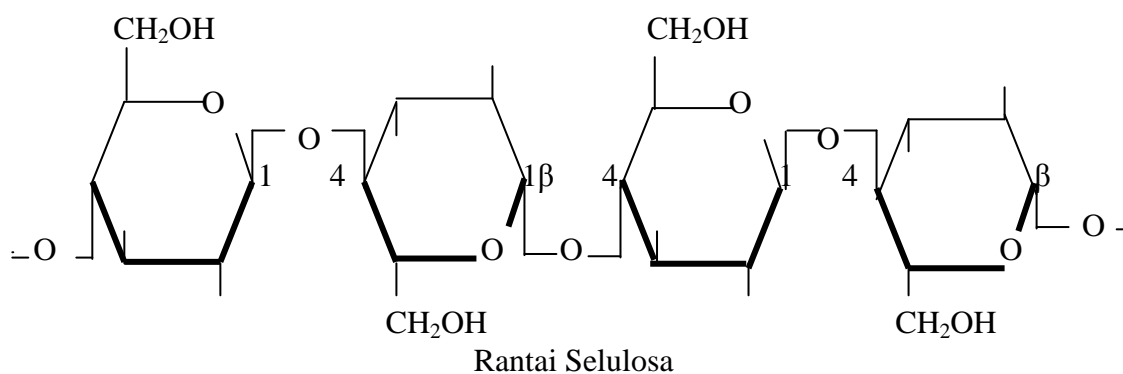
Glikogen

Glikogen merupakan sumber polisakarida utama pada hewan seperti pati pada sel tanaman. *Glikogen* merupakan polisakarida bercabang dari D-glukosa dengan ikatan α (1 \longrightarrow 4), tetapi memiliki percabangan yang lebih banyak dengan struktur yang lebih kompak dibandingkan dengan *amilopektin*. Ikatan pada percabangan adalah α (1 \longrightarrow 6). *Glikogen* terutama banyak terdapat dalam

hati. *Glikogen* tidak mereduksi larutan Benedict dan dengan iodium memberi warna merah.

Selulosa

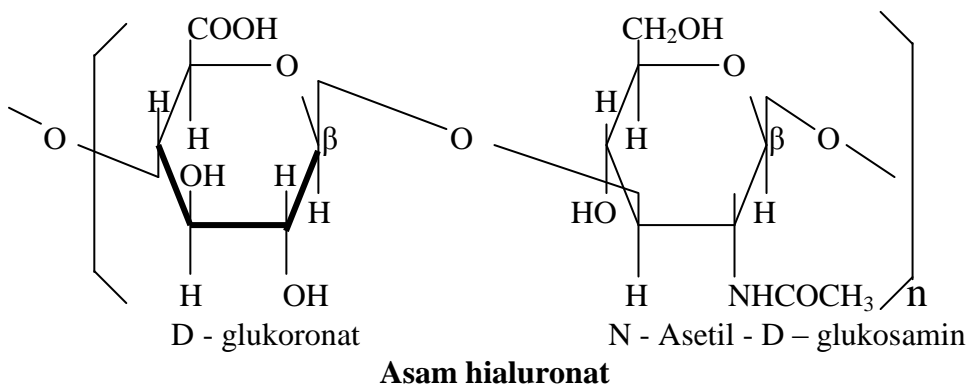
Selulosa adalah unsur utama pembentuk kerangka tumbuh-tumbuhan . Ia tidak memberi warna pada iodium dan tidak larut dalam pelarut biasa. Selulosa terdiri atas β -D-Glukopiranososa yang dihubungkan oleh ikatan β (1 \rightarrow 4) untuk membentuk rantai panjang dan lurus yang diperkuat oleh ikatan hidrogen. Karena selulosa merupakan homopolisakarida linear tidak bercabang, terdiri dari 10.000 atau lebih unit D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan 1 \rightarrow 4 glikosida, senyawa ini akan kelihatan sama dengan amilosa dan rantai utama glikogen. Tetapi terdapat perbedaan yang amat penting yaitu pada selulosa, ikatan 1 \rightarrow 4 berada dalam konfigurasi β , sedangkan pada amilosa, amilopektin dan glikogen, ikatan 1 \rightarrow 4 nya berbentuk α .



Selulosa tidak dapat dicerna oleh kebanyakan binatang menyusui, termasuk manusia, karena tidak adanya *hidrolase* yang menyerang ikatan β . Binatang ruminansia dan herbivora lain memiliki mikroorganisme dalam ususnya yang dapat menyerang ikatan (β -linkage), membuat selulosa terpakai sebagai sumber kalori utama. Enzim yang dapat menghidrolisis selulosa disebut *selulase*. Rayap mudah mencerna selulosa, karena saluran ususnya memiliki suatu organisme parasit. *Trichonympha* yang mengeluarkan selulase yang menyebabkan rayap mampu mencerna kayu. Jamur dan bakteri pembusuk pada kayu juga memproduksi *selulase*.

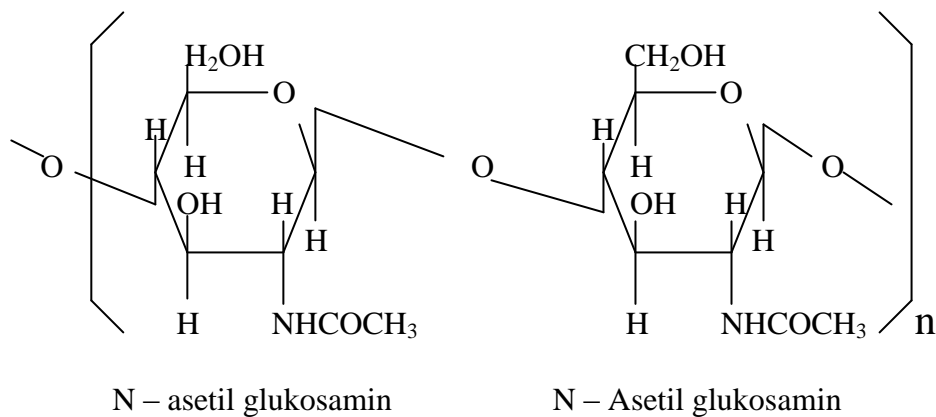
Asam hialuronat

Asam *hialuronat* merupakan *heteropolisakarida* yang merupakan unsur penting dari jaringan penghubung pada hewan. Struktur satuan pengulang dari asam *hialuronat* adalah asam *D-glukoronat* dan *N-asetil-D-glukosamin* secara berganti-ganti. *Hialuronidase*, suatu enzim yang dikeluarkan oleh beberapa bakteri patogen (penyebab penyakit) dapat menghidrolisis ikatan glikosida dan asam *hialuronat*, membuat jaringan menjadi lebih rapuh terhadap serangga bakteri.



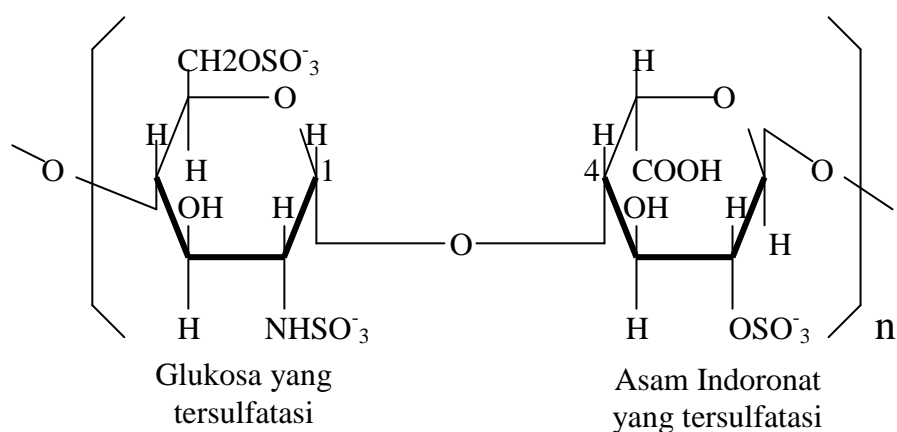
Khitin

Khitin serupa dengan selulosa, kecuali kenyataan bahwa ia *mukopolisakarida* yaitu heterosakarida yang mengandung gula-gula amino. *Khitin* adalah polisakarida struktural yang penting pada inverteberata. Ia dijumpai misalnya pada rangka krustasea dan rangka luar insekta. *Khitin* mengandung unit-unit *N-asetil-D-glukosamin* yang digabungkan oleh ikatan β ($1 \rightarrow 4$) glikosida.



Khondroitin

Merupakan polisakarida utama pada *proteoglikan* tulang rawan mengandung unit asam *D-glukoronat* dan *N-asetil D-galaktosamin* secara berganti-ganti. Polisakarida asam yang penting lainnya adalah *heparin* yang dihasilkan oleh jenis sel tertentu, terutama banyak terdapat pada dinding pembuluh darah arteri. *Heparin* mengandung unit berulang dari enam residu gula, masing-masing terdiri dari suatu sekuen berganti dari senyawa turunan sulfat *N-asetil -D-glukosamin* dan *D-iduronat*. Heparin adalah penghambat ampuh terhadap penggumpalan darah dan membantu mencegah pembentukan gumpalan di dalam aliran darah.



Heparin

Inulin

Inulin adalah pati yang ditemukan pada ubi dan dahlia, *artichokes* dan bunga dandelions. *Inulin* dapat dihidrlisi menjadi fruktosa dan karena itu inulin adalah *fruktosan*. Tidak memberi warna bila ditambahkan iodium dalam larutan inulin. Inulin dipakai pada penyelidikan fisiologis untuk menetapkan laju filtrasi glomerulurs (*glomerular filtration rate*).

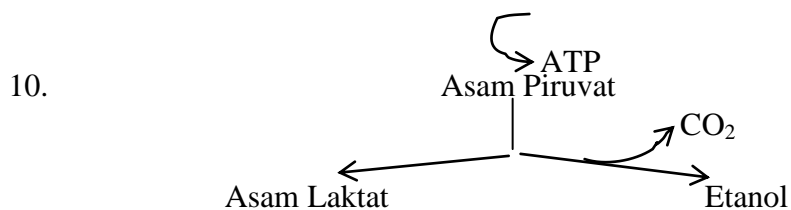
METABOLISME KARBOHIDRAT

Pada bab ini akan dibahas proses katabolisme, yang terdiri dari atau glikolisis dan fermentasi alkohol, jalur samping katabolisme karbohidrat, lingkaran asam tri karboksilat, dan lingkaran pentosa fosfat, dan untuk proses anabolisme meliputi biosintesa karbohidrat, glikogenesis, glukoneogenesis, serta yang lainnya, yaitu glikoginolisis. Setelah membaca bab ini pembaca diharapkan akan lebih memahami dan implementasi tentang metabolisme karbohidrat dikaitkan proses linin yang terjadi pada ternak, terutama udara memenuhi energi yang berasal dari pakan untuk kebutuhan ternak.

PENDAHULUAN

Metabolisme adalah proses katabolisme yang menyangkut perombakan molekul yang besar menjadi molekul yang lebih sederhana, sedangkan proses anabolisme atau biosintesa, menyangkut pembentukan molekul yang lebih besar yang berasal dari molekul yang lebih sederhana. Semua proses metabolisme adalah bersifat intermediate, yaitu perubahan satu zat menjadi yang lain biasanya menyangkut tahap-tahap berurutan yang zat-zat kimianya sudah jelas, dan dapat dikenali; atau intermediate adalah pereaksi dan zat hasil. Sifat intermediate dari metabolisme memungkinkannya bagi beberapa zat sederhana bekerja sebagai pelopor untuk semua kebutuhan kimia suatu sel. Proses katabolisme akan tertera dalam proses glikolisis, lingkaran asam karbohidrat dan Hexose Monofosfat (HMP) untuk memperoleh energi, dengan bantuan enzyme dan koeenzim yang bekerja sehingga proses katabolisme dapat berjalan dengan semestinya, sedangkan proses anabolisme meliputi pembentukan suatu zat karbohidrat dari molekul/senyawa yang sederhana menjadi molekul yang lebih besar (Glikogenesis), misalnya pembentukan glikogen dari molekul-molekul glukosa yang diikuti dengan proses glikoginolisis, yaitu perubahan glikogen dengan glukosa.

GLIKOLISA



Enzim yang bekerja dalam glikolisis sebagai berikut :

1. Perubahan D-Glukosa menjadi D-Glu-6-P oleh Hexokinase
2. Perubahan D-Glu-6-P \longrightarrow D-Fru-6-P oleh P-Hexosa Isomerase
3. Perubahan D-Glu-6-P \longrightarrow D-Fru-1,6 - difosfat oleh Fruktosa 1,6 di Fosfatase
4. Perubahan D-Fruktosa-1,6-Di Fosfat \longrightarrow Dehidrasi Aseton Fosfat dan gleseraldehid-3-P oleh D-Treosa isomerase, 3 Fosfo Gleseraldehid Dehidrogenase.
5. Perubahan Gleseraldehid - 3 - P \longrightarrow asam gleserat - 1,3 - difosfat \longrightarrow 3 Fosfor asam gleserat oleh enzim Fosfolinase
6. Perubahan 3 Fosfor asam gleserat \longrightarrow 2 Fosfor asam gleserat oleh enzim Fosfoisomerase
7. Perubahan 2 Fosfor Asam Gleserat \longrightarrow Fosfoenol Piruvat oleh Enzim Enolase
8. Perubahan Fosfoenol Piruvat menjadi Asam Piruvat oleh Enzim Piruvat Kinase

Dalam proses fermentasi, yaitu glikolisis dalam kondisi anaerobe akan terjadi perubahan asam piruvat menjadi etanol (alkohol) dan Gas CO_2 , sedangkan dalam kondisi kekurangan oksigen, maka asam piruvat dirubah menjadi asam laktat. Hal ini jelas terjadi pada seseorang yang kepayahan akan terasa pada persendian pegal-pegal dengan terbentuknya asam laktat. Akumulasi asam laktat dapat dikurangi dengan massage pada persendian tersebut.

Rekapitulasi ATP

Perubahan reaksi kimia	Distribusi ATP
1. Reaksi 1-2 : Glu \longrightarrow Glu - 6 - P	- 1 ATP
2. Reaksi 3 - 4 : Fru - 6 - P \longrightarrow Fru - 1,6 - di P	- 1 ATP
3. Reaksi 6 - 7 : 1,3 di P. asam gleserat \longrightarrow 3 PA 6	+ 2 ATP
4. Reaksi 9 - 10 : PEP \longrightarrow Asam Piruvat	+ 2 ATP

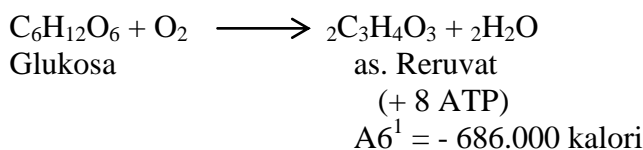
5. Oksida 2 mal DPNH melalui sestolerom sistem (NADH + H ⁺)	+ 6 ATP
Total	= + 8 ATP

Dalam keadaan cerah NADH+H⁺ dioksidasi melalui sistem Setakhrom.

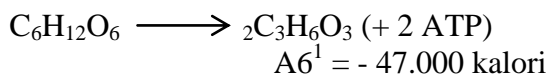


Pada oksidasi ini setiap mal NADH + H⁺ menghasilkan 3 mal ATP.

Aerobik :



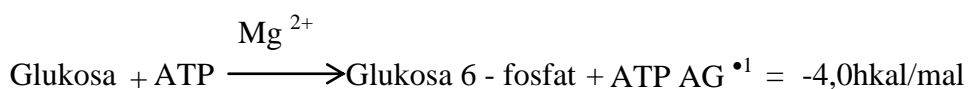
Anaerobik :



Tahap-tahap Glikosida

Tahap 1. Pengaktifan D-Glukosa

Di dalam sel sangat sedikit terdapat D-glukosa bebas; kebanyakan glukosa intraseluler ada dalam bentuk fosfat ester. Sewaktu glukosa masuk ke dalam sel, D-glukosa mengalami fosforilasi oleh ATP untuk menghasilkan glukosa 6-fosfat.



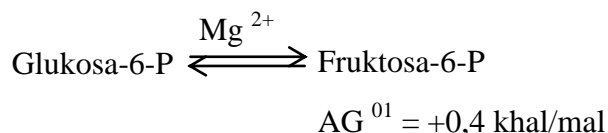
Hasil reaksi fosforilasi ini adalah ester. Bilamana dibanding dengan senyawa mula-mula yaitu glukosa maka terdapat perbedaan kandungan energi sebesar kurang lebih 3.000 kalori. Energi ini diperoleh dari hidrosin ATP menjadi ADP dan P yang sebagaimana diketahui menghasilkan energi sebesar dari 7 khal. Tiga ribu kalori dari jumlah tersebut dipergunakan untuk menaikkan tingkat energi glukosa dan mengubahnya menjadi glukosa fosfat yang energik. Enzim yang mengkatalisa reaksi diatas dua jenis yaitu glukolinase dan heksolinase. Enzim pertama spesifik terhadap glukosa (D). Harga Kmnya lebih tinggi yaitu 10 mM.

Oleh karena itu membutuhkan lebih banyak substrat agar supaya aktivitasnya maksimal. Banyak terdapat dalam jaringan hati dan tidak terdapat pada jaringan otot.

Heksolinase spesifisitasnya relatif, dapat mengaktifkan sahanda golongan heksasa seperti D-glukosa, D-fruktosa D-Manosa, D-glukosanina dan lain-lain. Yang terdapat dalam sel hewan merupakan enzim regulator yang dihambat oleh hasil reaksinya sendiri yaitu glukosa-6-P. Apabila kadar senyawa tersebut tinggi maka akan menghambat aktivitas heksolinase harga K_m nya rendah adalah 100 mM. Enzim glukosanase dan heksolinase membutuhkan ion Mg atau Mn.

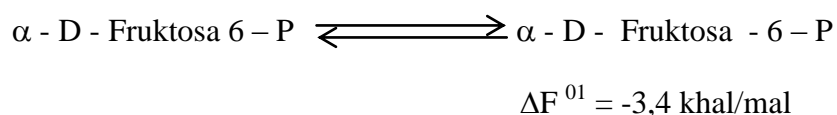
Tahap 2. Pembentukan fruktosa 6 – fosfat.

Fruktosa makanan masuk ke dalam glikolisa pada tahap ini. Disini D-froktosa difosforilisasikan oleh ATP untuk menghasilkan D-fruktosa 6- fosfat dalam suatu reaksi dengan katalis heksolinase. Fruktosa 6-fosfat terutama terbentuk dari 6-fosfat menurut reaksi isomerisasi berikut yang dikar\alisasikan oleh fosfoglukoisomerase :



Reaksi ini menghasilkan campuran keseimbangan yang mengandung kira-kira dua bagia glukosa 6-Fosfat dan satu bagian fruktosa 6-fosfat. Di dalam sel reaksi ini berlangsung ke hewan karena tahap-tahap eksergenik selanjutnya mempergunakan fruktosa 6 – foafat secepat bisa terbentuk.

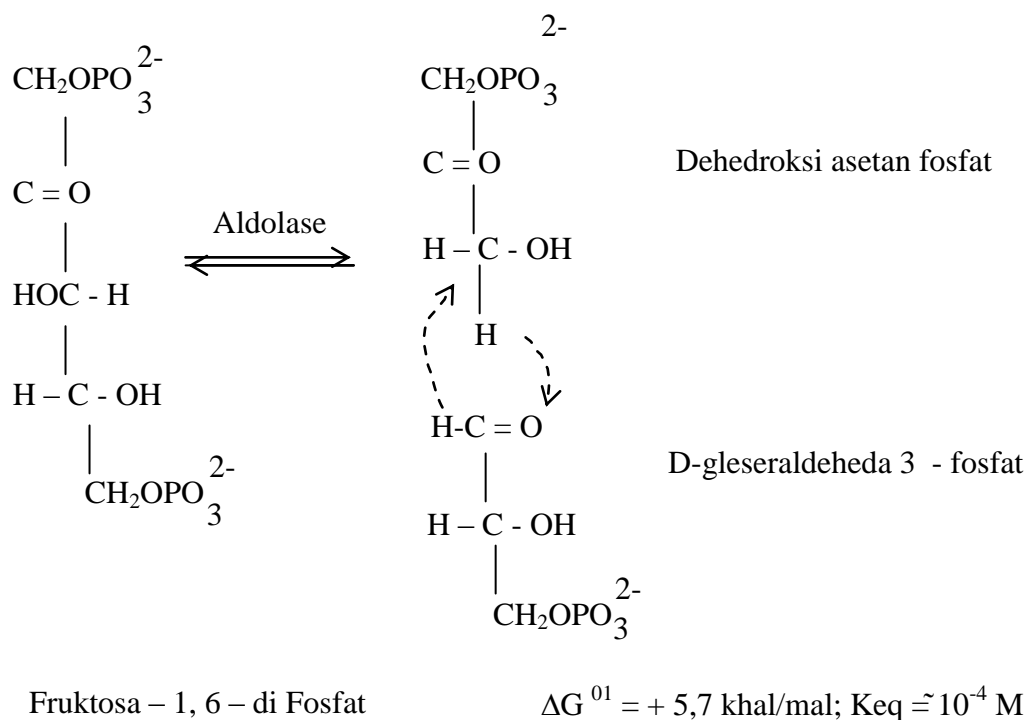
Tahap 3. Fosfolilasi α - D Fruktosa 6 – P



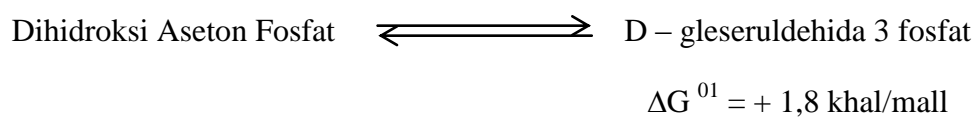
Penempelan fosfat pada fruktosa-6-P dikatalisasi oleh 6-fosforuktolinase dengan reaksi kimia di atas. Ewaim ini adalah allosterik yang mempunyai modulator anekaragam. Dihambat oleh ATP, Sitrat, dan Asam linale yang kadarnya tinggi. Sebaliknya dipacu oleh ADP, dan AMP. Melihat sifatnya yang demikian dapatlah disimpulkan dan disimpan dalam ATP sedah lebih dari cukup maka ewaim itu dihambat, sehingga jalur glikolisa itu terhenti. Jika kadar ADP dan AMP tinggi maka kadar ATP rendah. Sehingga ewaim dipacu untuk bekerja.

Tahap 4 Pembentukan dua unit triosa fosfat.

Pemecahan heksosadofosfat menjadi dua trosamonofosfat dikatalisasikan oleh ewaim aldolase.

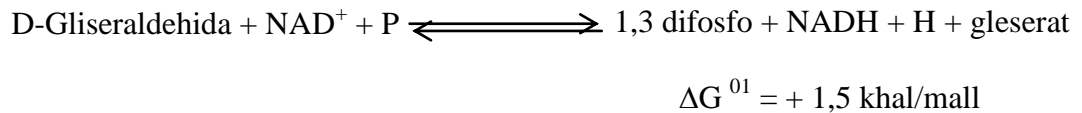


Hasil reaksi aldolase berada dalam keadaan keseimbangan yang cepat menurut reaksi yang dikatalisasi oleh ewaim trease fosfat isomerase.



Tahap 5. Gliseraldehida 3-fosfat dehidrogeraso

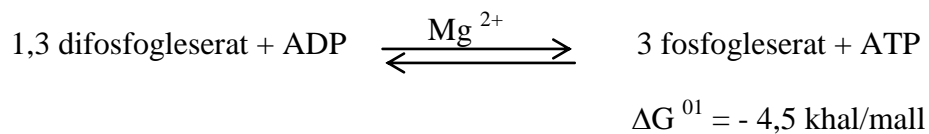
Terjadi reaksi oksidasi eksegeride kuat dari gugus fungsional aldehida telah digabung dengan pembentukan ikatan fosfat yang berenergi tinggi



Hasil tahap ini suatu hasil fosfat merupakan dasar gugus fosforil berenergi tinggi.

Tahap 6. Tahap penyempurnaan energi yang pertama

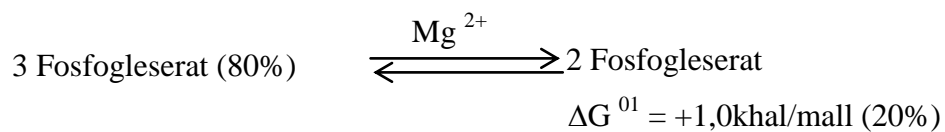
Reaksi pemindahan gugus fosforil dikatalisasikan oleh fosfogliserat linase dan merupakan contoh fosforelasi tingkat substrat.



Setiap pelepasan ATP akan merupakan suatu keuntungan yang besar.

Tahap 7. Isomerisasi dari 3 fosfogleserat

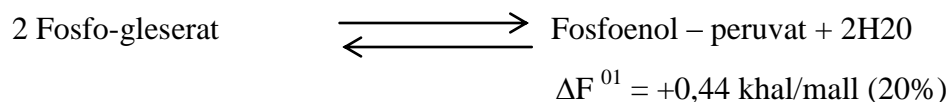
Isomerisasi 3-fosfogleserat dikatalisasikan oleh fosfogleserat seromutase yang memindahkan gugus fosferel dari $C_3 \longrightarrow C_2$.



Dalam isomerisasi ini terbentuk 80%, 3 – fosfogleserat dari 20% 2-fosfogliserat.

Tahap 8. Pembentukan turunan enol

Reaksi perubahan 2-fosfogliserat menjadi fosfoenol peruvat yang pada awalnya tidak termasuk dalam energi tinggi berubah menjadi senyawa berenergi tinggi.

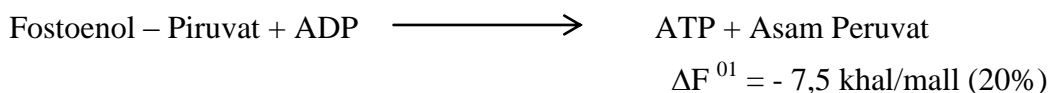


Enzim yang mengkatalisa reaksi ini adalah enolase. Ion Mg atau Mn dibutuhkan untuk kativitasnya. Ensim tersebut dihambat oleh ion fluorida. Jika terdapat ion fosfat maka akan terbentuk kompleks Mg-fosfofluorida, sehingga menyebabkan enzim enolase tidak aktif.

Perubahan dari substrat biasa menjadi senyawa berenergi tinggi disebabkan adanya proses oksidoreduksi interval dan bukan semata-mata peristiwa dehidrasi atom C nomor 2 menjadi lebih teroksidasi dan atom C nomor 3 menjadi lebih tereduksi.

Tahap 9. Transfer fosfat dari enol-piruvat ke ADP

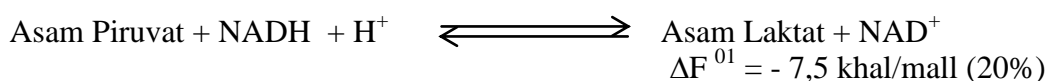
Enol-piruvat yang terbentuk pada reaksi di atas adalah senyawa energi tinggi pada umumnya, enol piruvat ini mudah melepaskan gugus fosfatnya kepada ADP, sehingga terbentuk ATP.



Enzim yang dimanfaatkan untuk mengkatalisa adalah piruvat linase. Logam yang diperlukan untuk aktivitasnya adalah ion Mg atau Mn. Ion Ca merupakan penghambat. Piruvat linase yang terdapat dalam mamalia merupakan enzim regulatorile.

Tahap 10. Reduksi Asam Piruvat

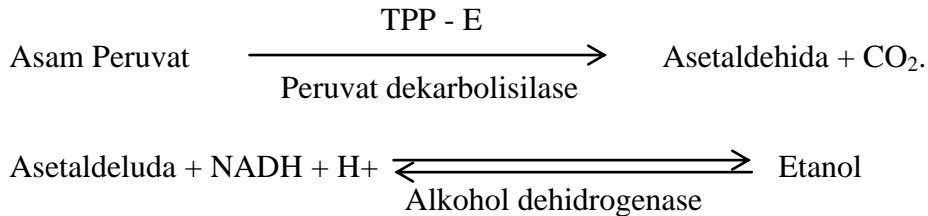
Dalam jalur glikolisa asam piruvat direduksi menjadi asam laktat.



Enzim yang mengatalisanya adalah laktat dehidrogenase

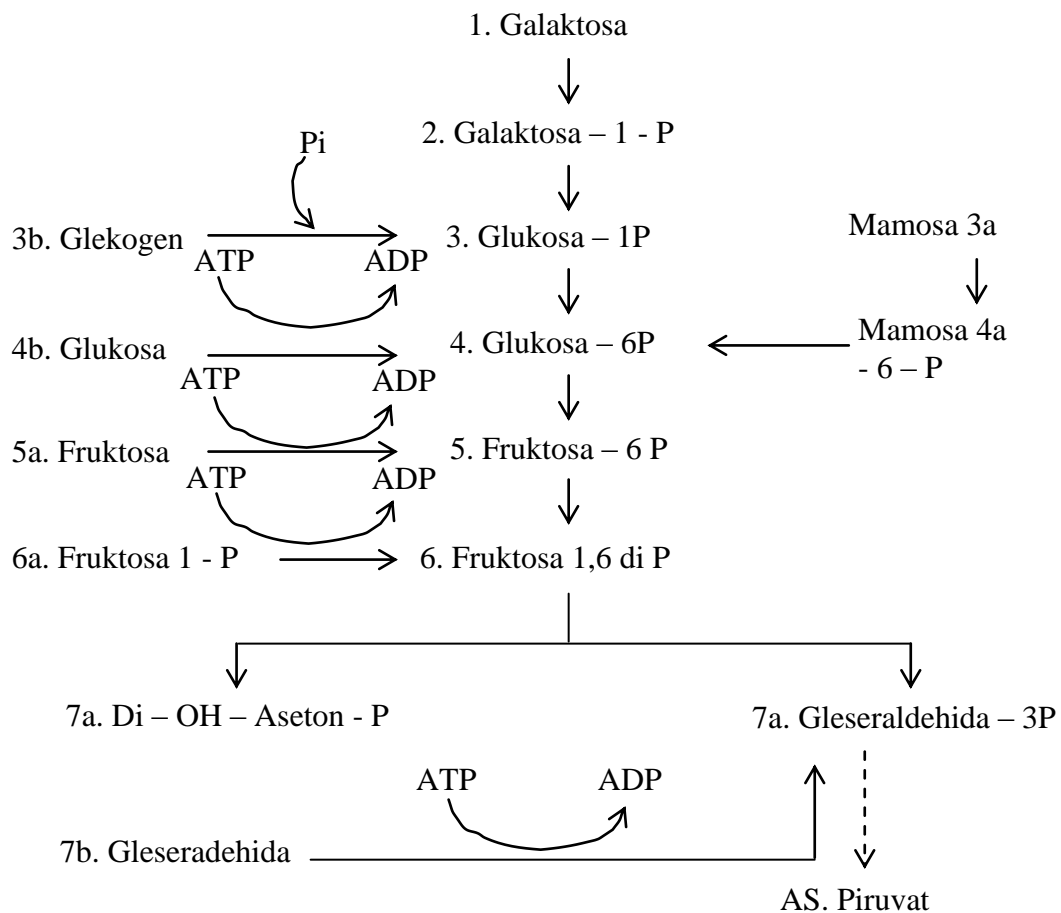
Dehidrogenasi Asam Peruvat

Dalam proses fermentasi alkohol yang dilakukan oleh ragi maka glukosa yang ada di dalam medianya tidak diubah menjadi asam piruvat, melainkan terbentuk etanol dan CO₂.



Asam peruvat mengalami dekarboksilase menjadi Asetaldehida dalam keadaan terikat dengan enzim, kemudian direduksi oleh NADH sehingga berubah menjadi Etanol. Peruvat dekarboksilase membutuhkan ion Mg. Tranin Lipo-fosfat (TPP) yang membentuk aktivitas enzim tersebut terikat erat pada bagian apoenzimnya.

Hubungan monosakarida lainnya dengan glikolisis selain glukosa yang dapat mengalami glikolisis, yakni galaktosa, fruktosa, dan manosa.



Galaktosa bisa masuk ke jalur glikolisa, dengan mengalami perubahan membentuk galaktosa 1 – P \longrightarrow Glukosa – 1 P dan seterusnya sampai terbentuk asam Piruvat. Demikian halnya dengan mannosa, glikogen, glukosa, fruktosa, dan glyseraldehida masuk ke jalur glikosa yang akhirnya terbentuk as. Piruvat

Rangkuman

Pada glikolisa terjadi perubahan glikogen/glukosa secara bertahap, yang disertai dengan aktifitas enzim-enzim dan koevarian seperti Mg^{2+} atau Mn^{2+} yang dapat memperlancar reaksi sampai terbentuknya asam piruvat atau laktat.

Mannosa, galaktosa, fruktosa, glikogen bisa masuk ke jalur glikolisa dengan merubah menjadi satu unit daripada senyawa-senyawa dalam glikolisa dan akhirnya terbentuk asam piruvat atau laktat.

Pada akhir glikolisa dihasilkan :

- a) Glikogen/glukosa dirubah menghasilkan as. Piruvat atau as. Laktat
- b) Terbentuknya ATP
- c) $NAD^+ \longrightarrow NADH + H^+$

Soal Latihan

1. Apa yang dimaksud dengan glikolisis
2. Buatlah skematis proses glikolisa
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi glikolisis apa saja, jelaskan!
4. Apa hasil akhir dampak glikolisis.

LINGKARAN PENTOSA PHOSPHAT (LPP)

Pada pokok bahasan ini akan dibahas lingkaran Pentosa fosfat yang meliputi fungsi dan tahap-tahapan yang terjadi dalam lingkaran pentosa fosfat. Tahapan yang terjadi dalam LPP meliputi tahap oksida dan pengambilan. Setelah membaca pokok bahan ini, pembaca diharapkan akan lebih mengerti tentang lingkaran pentosa fosfat yang merupakan salah model oksidasi daripada metabolisme karbohidrat untuk memperoleh energi.

1. Pendahuluan

Lingkaran pentosa fosfat (LPP) merupakan salah satu model oksidasi pada karbohidrat untuk menghasilkan energi. Dalam proses LPP, selain menghasilkan energi juga NADPH + H yang dihasilkan pada bagian ekstra mitokondria (sitoplasma) berguna dalam biosintesa asam lemak. Ribosa monofosfat juga dimanfaatkan untuk proses biosintesa karbohidrat bagi makhluk hidup, dan bermanfaat dalam biosintesa DNA, dan RNA, memberi bekal bagi perubahan non-oksidatif diantara fosfat-fosfat gula berkarbon tiga, empat, lima, enam dan tujuh.

i. Tahap-tahap oksidatif dari jalur reaksi LPP

Tahap oksidasi ada beberapa macam reaksi, yaitu :

a) Dehidrogenase; b) hidrolisis, dan c) oksidasi serta dekarboksilasi

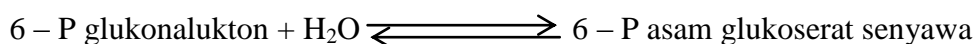
a) Dehidrogenase

Glu – P dehidrogenase



Perubahan glukosa, 6-P menjadi 6 – P glukonolaktan dibantu oleh enzim glukosa – 6 – P – dehidrogenase yang dibantu oleh koenzim NADP⁺ enzim ini tidak terdapat dalam mitokondria dehidrogenase terjadi pada C atom 1, sehingga terbentuk sebuah laktan.

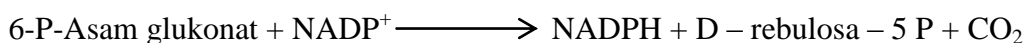
b) Hidrolisis



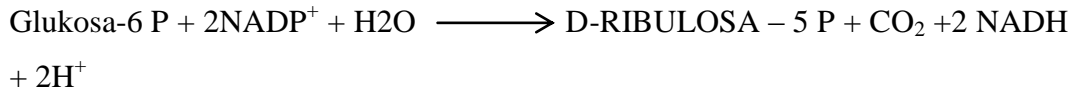
ini mula-mula terbentuk laktan lalu terbuka dan menjadi asam.

c) Oksidasi dan dekarboksilasi

Enzim yang mengubah 6 – P glukonat menjadi D-rebuloosa 5P bernama 6 fosfo-glukonat dehidrogenase yang membutuhkan ion Mg²⁺ dan dibantu oleh NADP⁺.



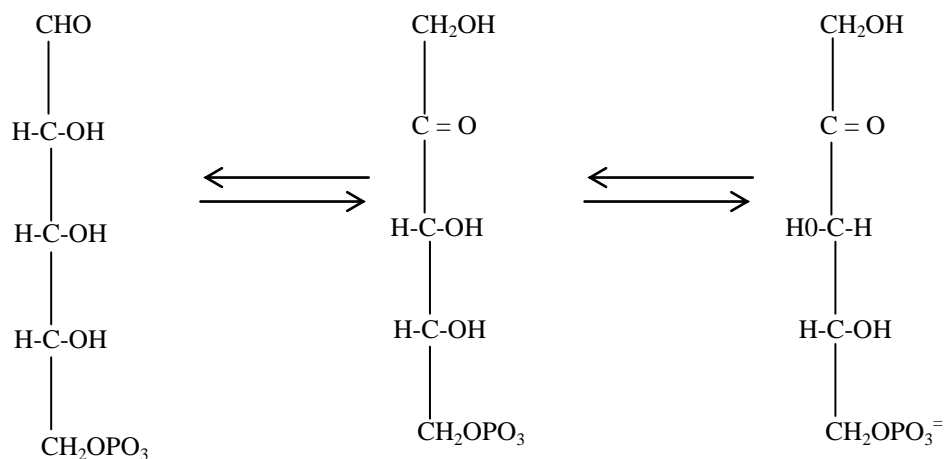
Karbodioksida (CO₂) di atas berasal dari atom C1 glukosa-fosfat.



ii. Tahap bukan oksidasi

a. Isomerasi (Isimeri dan Epimeri)

Ribulosa-5-P yang terbentuk mengalami perubahan menjadi rebosa-5-P dan xilulosa-5-P, dengan reaksi sebagai berikut :

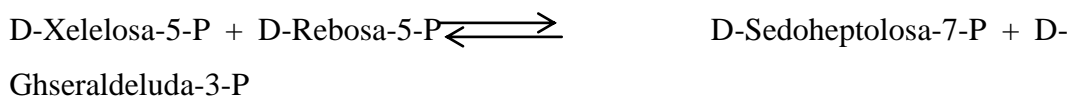


Enzim yang mengkatalisa reaksi di atas masing-masing adalah rebosa-5-P epimerase dan rebosa-5-P isomerase dan rebosa-5-P epimerase.

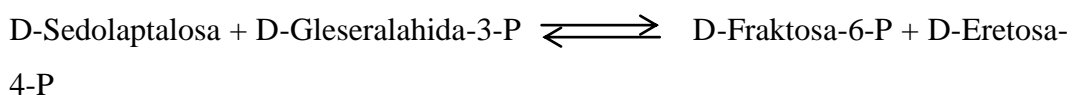
b. Transketolasi dan Transaldolasi

Enzim yang mengkatalisa reaksi transketolasi adalah transketolase, yang membutuhkan ion Mg dan TPP bagi aktivitasnya. Fungsi enzim ini memindahkan gugus ketol (glikoaldehid) dari D-Sikulosa-5-P atau D-Sedoheptulosa-7-P. Dalam proses ini memerlukan gliketol yang menerima gugus ketol yang berasal dari donor. Reaksinya tertera di bawah ini.

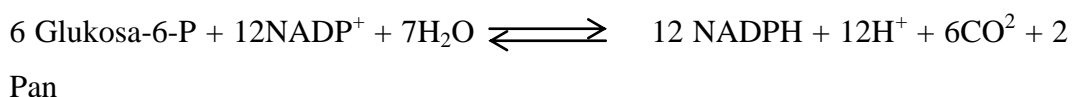
b.1. Transketolasi



b.2. Transaldolasi



Adanya perubahan reaksi di atas, maka rebulosa-5-P yang terbentuk dari dehedogenasi dapat diubah menjadi Frak-6-P yang selanjutnya menjadi Glukosa-6-P. LPP juga berfungsi sebagai lingkaran pengolesidasi glukosa-6-P menjadi CO₂ dan H₂O secara kuantitaif dan sekaligus menimbulkan NDADH, dengan reaksi sebagai berikut :



Dalam oksidasi 1 mal glukosa menghasilkan 35 ATP.

NADP⁺ dia atas 10. Inhibisi berbalik oleh glututies terokdasi (6SS6), yang bekerja spesifik, bukan dengan mengoksidadi NADPH menjadi NADP⁺. Pengamatan oleh krebs ini dapat menerangkan mengapa deludrogenesi 6 – fosfat D-Glukosa aktif dalam sel kulit, dimana kadar NADPH sering 100 kali dibanding kadar NADP⁺. Kadar D-glukosa 6-fosfat dalam sel selutar inmal L, sehingga agak menghambat aktivitas deludrogenase, untuk itu Km-nya dalam kisaran mikro malar.

6 Tergantung pada kebutuhan sel, perubahan pentosa fosfat menjadi kelisase fosfat (bagian 2 pada jalur) mungkin tidak obligat. Reaksi-reaksi mungkin lebih ke arah pembentukan gliserol-3-fosfat untuk beosintesis fosfaliseralheland atau perubahan tirase fosfat menjadi 2,3-besfosfo-D-gleserat dalam eretrosit di dalam eretrosit ini jalur pentosa fosfat sangat penting.

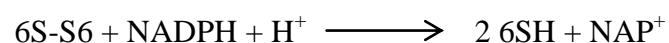
Berfungsinya jalur pentosa fosfat dalam eriterosit penting untuk mempertahankan kehidupannya. Eritosit normal mempunyai rentang hidup 120 sampai 135 hari dalam siklusnya. Bila dewasa, eritosit tidak dapat mensintesa protein dan tidak mengandung mitokondria. Eritrosit membutuhkan energi untuk sintensis senyawa sederhana misalnya glukosin, koewaim, dan ATP dan energi ini berasal dari metabolisme glukosa. Pemeliharaan kadar ATP dicapai dengan glekoksis anerob. dengan pembentukan asam laktat. Oleh karena fosforelasi oksedutif lewat rantai resperasi tidak mungkin berlangsung. Pembentukan NADPH oleh jalur pentosa fosfat memberikan persediaan guna redaksinya methemoglobin (hemaglobin).

Pengaturan Jalur Pentosa Fosfat

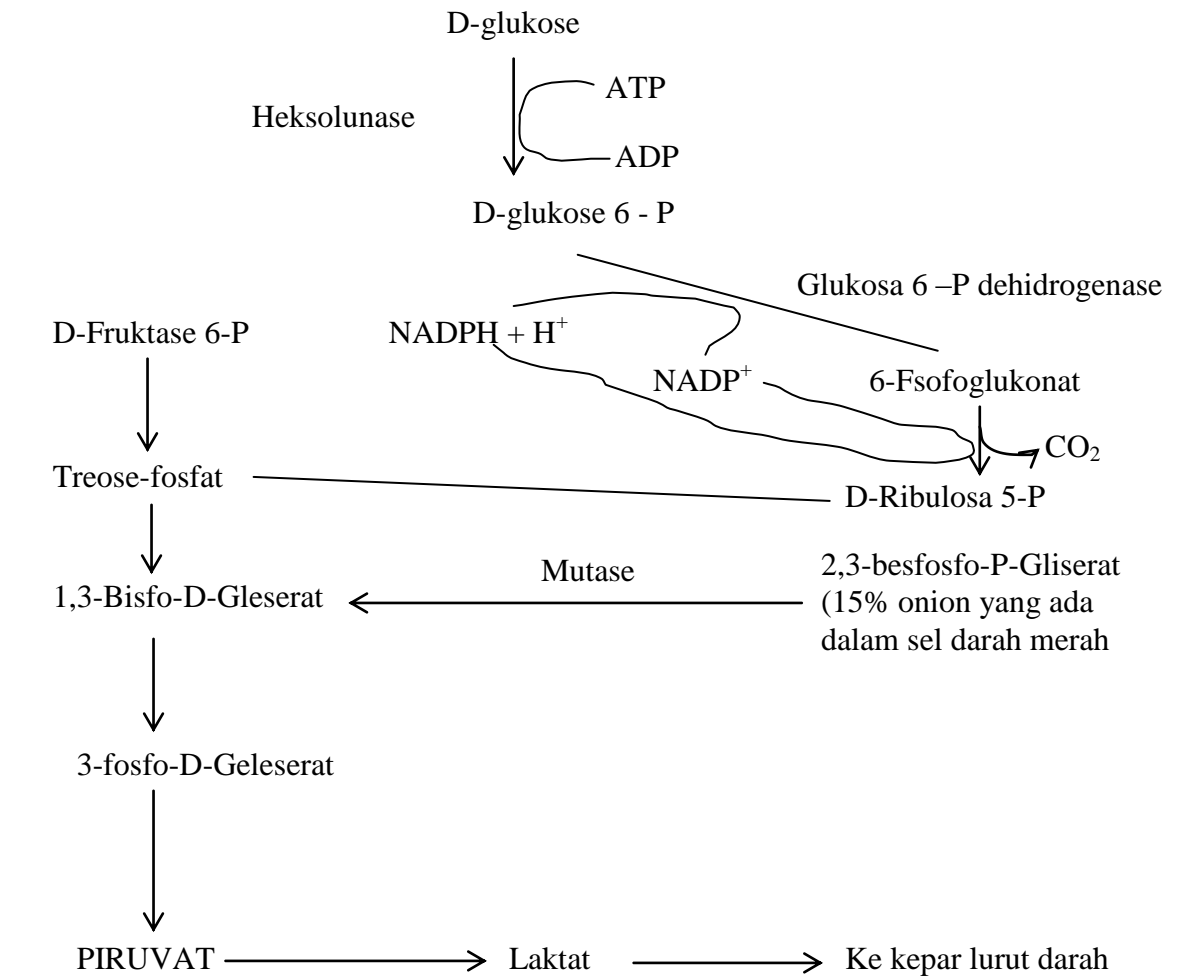
Perlu dicantumkan beberapa hal yang penting berkenaan dengan regulasi jalur pentosa fosfat.

2. Jalur pentosa fosfat kurang penting dalam otot, tetapi penting dalam eritrosit, hati, jaringan adipose, dan ginjal.
3. Reaksi-reaksi dalam jalur pentosa fosfat berlangsung dalam retoplasma
4. Jalur pentosa fosfat merupakan sumber utama NADPH dalam sitoplasma, sumber NADPH yang lain adalah dehidrogenase malat terkait-NADP dan Dehidrogenase isositrat.
5. Dalam tiap jalur terdapat satu reaksi irreversibel, yang bila sudah sekali terlewati, molekul dapat terus mengikuti jalannya. Dalam jalur pentosa fosfat, reaksi irreversibel tersebut ialah reaksi yang dikatalisis oleh laktonase, dalam glikolisis reaksi irreversibel adalah pada pembentukan D-fruktosa 1,6-bisfosfat.
6. Regulasi jalur pentosa fosfat berlangsung terutama dalam dehidrogenasinya D-glukosa6-fosfat, jumlahnya meningkat bila diet mengandung karbohidrat berlebihan. Kenaikan sepuluh kali dijumpai dalam hati, bila seseorang sesudah puasa beralih ke keadaan dengan diet berlebihan karbohidrat yang diubah menjadi asam lemak. Regulasi kasar terdapat bersama dengan pengendalian lebih halus terhadap aktivitas enzim dengan kerja NADPH sebagai inkubator kompetitif, $K_i = 7 \text{ Mmal/E}$ inkubasi ini melebihi 90% bila rasio kadar NADPH dengan Fc^{3+} yang tidak mengikat oksigen tetapi selalu dibentuk dan untuk mempertahankan glutalisasi dalam bentuk tereduksi.

Glutalisasi berfungsi sebagai agen pereduksi untuk mempertahankan molekul lain tetap dalam bentuk tereduksi, misalnya esaim dengan gugus-5 Hesensial pada sisi aktifnya. Sebagai akibat, glutativa teroksidasi menjadi 6S-S6, yang dapat dijadikan bentuk tereduksinya lagi 6DH oleh NADPH. Reaksi ini dikatalisis oleh reduktase glutalisasi.



Rangkuman



Soal-Soal

1. Jelaskan tahapan yang terjadi dalam jalur pentose fosfat (LPP)
2. Apa keuntungan dari jalur LPP
3. Coba bandingkan jumlah ATP yang dihasilkan dalam oksidasi mal glukosa melalui jalur glikolisis dengan LPP.
- 1.4. Asam Tricarbon (TCA cycle = Tri Carboxylic Acid cycle) atau LAT = Lingkaran Asam Trikarboksilat = Siklus Krebs)

Fungsi : Untuk mengoksidasi Asetil 2 KoA yang antara lain dihasilkan oleh asam piruvat dioksidasi menjadi CO_2 , H_2O dan energi (ATP).

Ada tiga tahapan :

1. Mobilisasai Asetil 2 KoA.
2. Lingkaran Asam Trikarboksilat (LAT).
3. Tranfer elektron oksidatif.

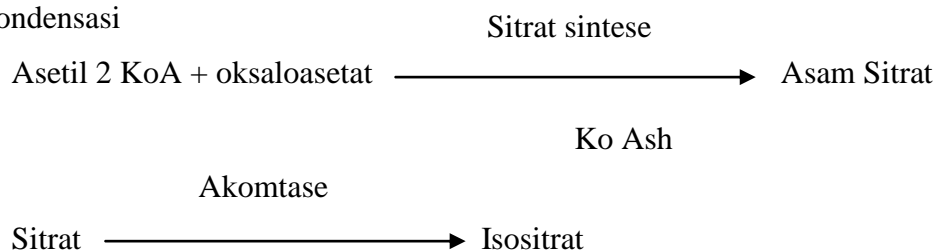
Ad. 1. Mobilsasa Asetil 2 KoA

Pembentukan Asetil 2 KoA bila melalui jalur glikolisa, perubahan glikogen/glukosa menjadi asam piruvat dan seterusnya dirubah menjadi Asetil 2 KoA, dari asam lemak menjadi oksidasi knoop akan dihasilkan beberapa Asetil 2 KoA, dan ada melalui metabolisme protein akan masuk ke asam piruvat dan ada langsung ke Asetil 2 KoA. Gambar diperlihatkan dalam skematik dibawah ini :

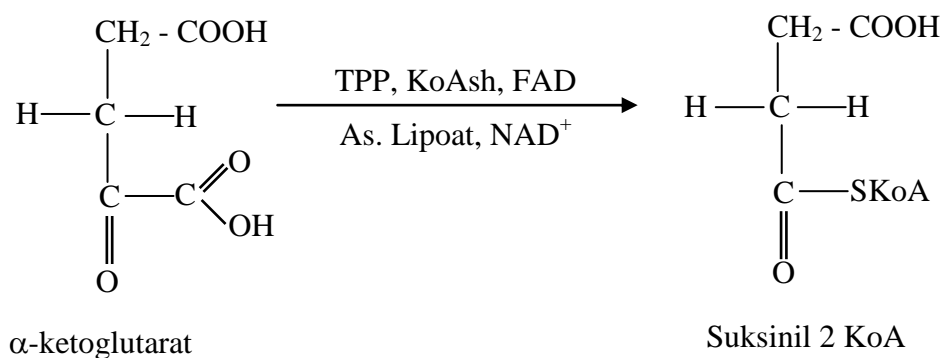
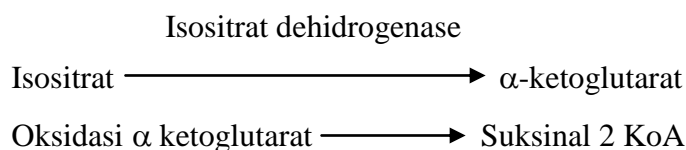
Ad. 2. Lingkaran Asam Trikarboksilat (LAT)

Di dalam LAT ada beberapa cakupan yaitu :

2.1. Kondensasi

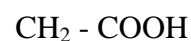
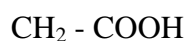


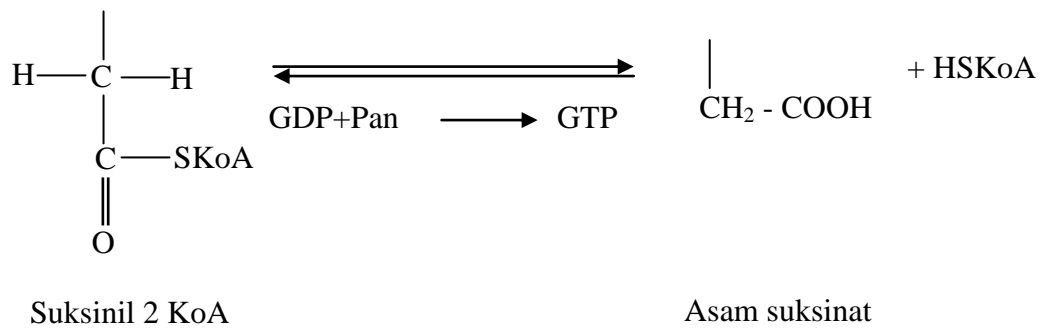
2.2. Dehidrogenasi



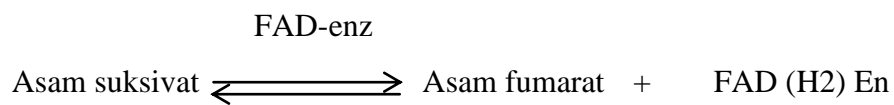
2.3. Triokinasi

Triokinasi suatu perubahan dari gugus keto koenzim A menjadi gugus karboksilat, terikat dari perubahan suksinal2 KoA menjadi asam suksinat.



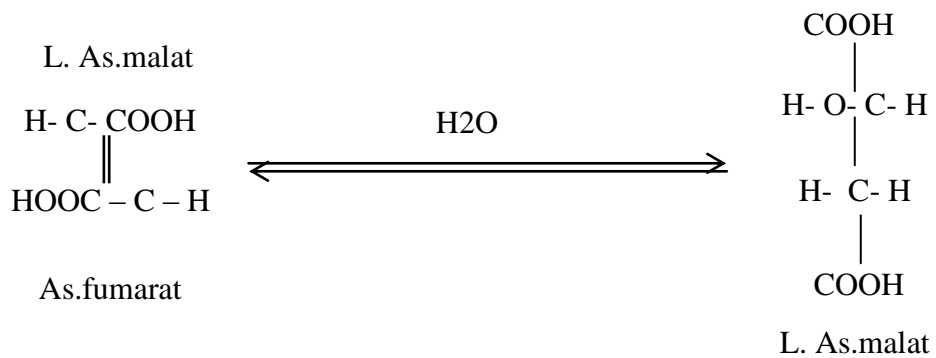


2.4. Dehidrogenasi asam Suksinat

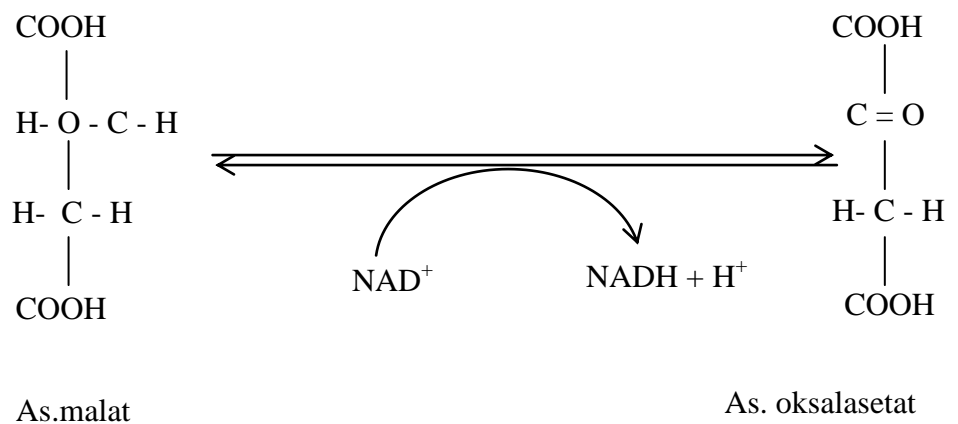


2.5. Hidrasi

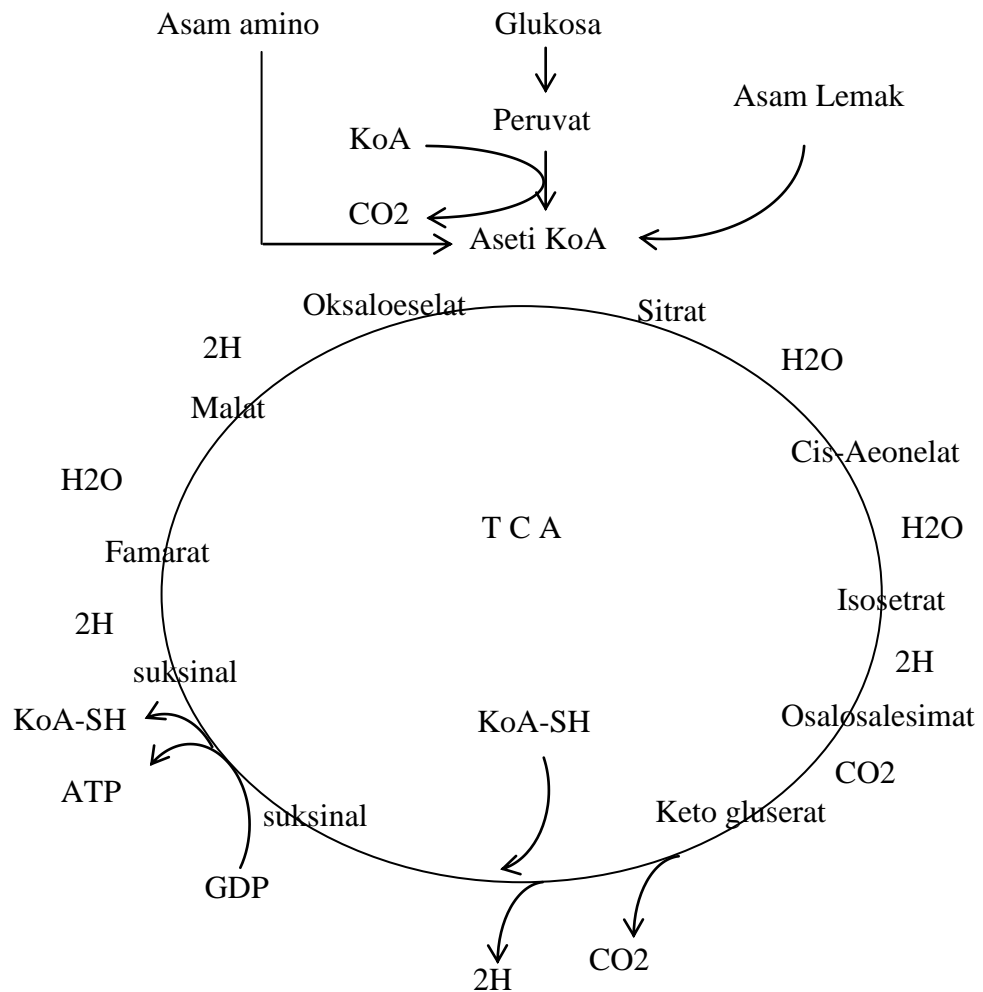
Asam fumarat mengalami hidrasi menjadi



2.6. Dehidrogenasi Asam Malat



Asam aksolasetat yang terbentuk akan bereaksi dengan asetil-KoA menjadi asam sitrat dan seterusnya.



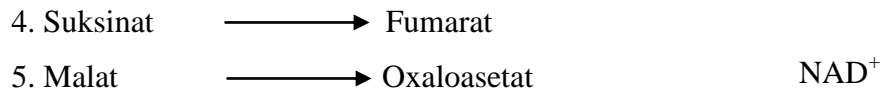
Gambar 1. Lingkaran Asam Trikarboksilat

Perubahan-perubahan yang etrjadi di dalam TCA, jika ditinjau dari asam piruvat terjadi 3 kali pelepasan gas CO₂ :

1. Asam piruvat \longrightarrow Asetil 2 KoA
2. Asam oxalosuksinat \longrightarrow α ketoglutarat
3. Ketoglutarat \longrightarrow suksinal 2 KoA

Didalam proses TCA juga terjadi 5x dehidrogenase, yaitu :

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Asam piruvat \longrightarrow Asetil 2 KoA | Coenzim NAD ⁺ |
| 2. Isositrat \longrightarrow Oxalosuksinat | NAD ⁺ |
| 3. Ketoglutarat \longrightarrow Suksinat 2 KoA | NAD ⁺ |
| | FAD |



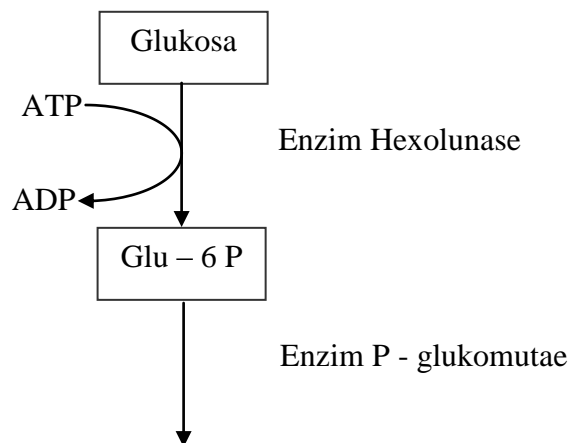
Pada proses dehidrogenase akan dihasilkan ATP, NADH dan NADPH atau menghasilkan 3 ATP/1 mol, sedangkan FAD hanya 2 mol ATP.

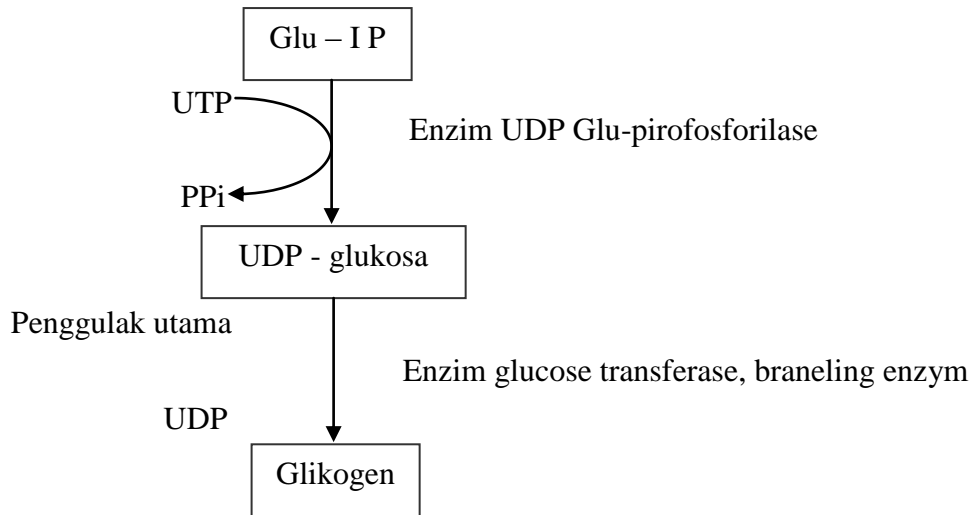
Rekapitulasi ATP

1. 3 mol NADH	\longrightarrow 3 x 3 ATP	= 9 ATP
2. 1 mol NADPH	\longrightarrow 1 x 3 ATP	= 3 ATP
3. 1 mol FAD	\longrightarrow 1 x 2 ATP	= 2 ATP
Total		= 15 ATP

Dalam 1 mol glukosa diglikosilis menghasilkan 2 mol asam piruvat yang memproduksi 8 ATP, dan secara keseluruhan setiap mol glukosa dioksidasi menghasilkan 38 ATP.

GLIKOGENESIS





Perubahan yang terjadi pula glikogenesis termasuk reaksi metabolisme, karena terjadi perubahan mikro molekul menjadi makromolekul.

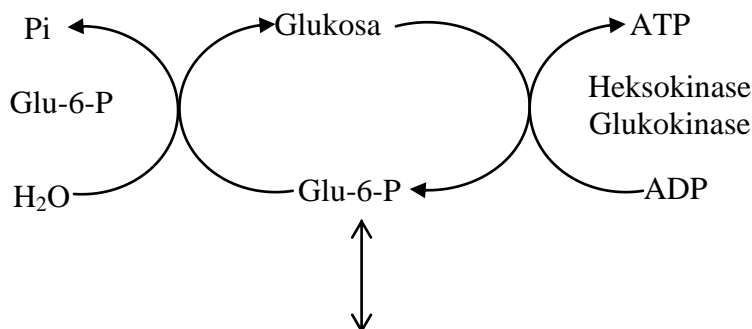
GLIKOGENOLISIS

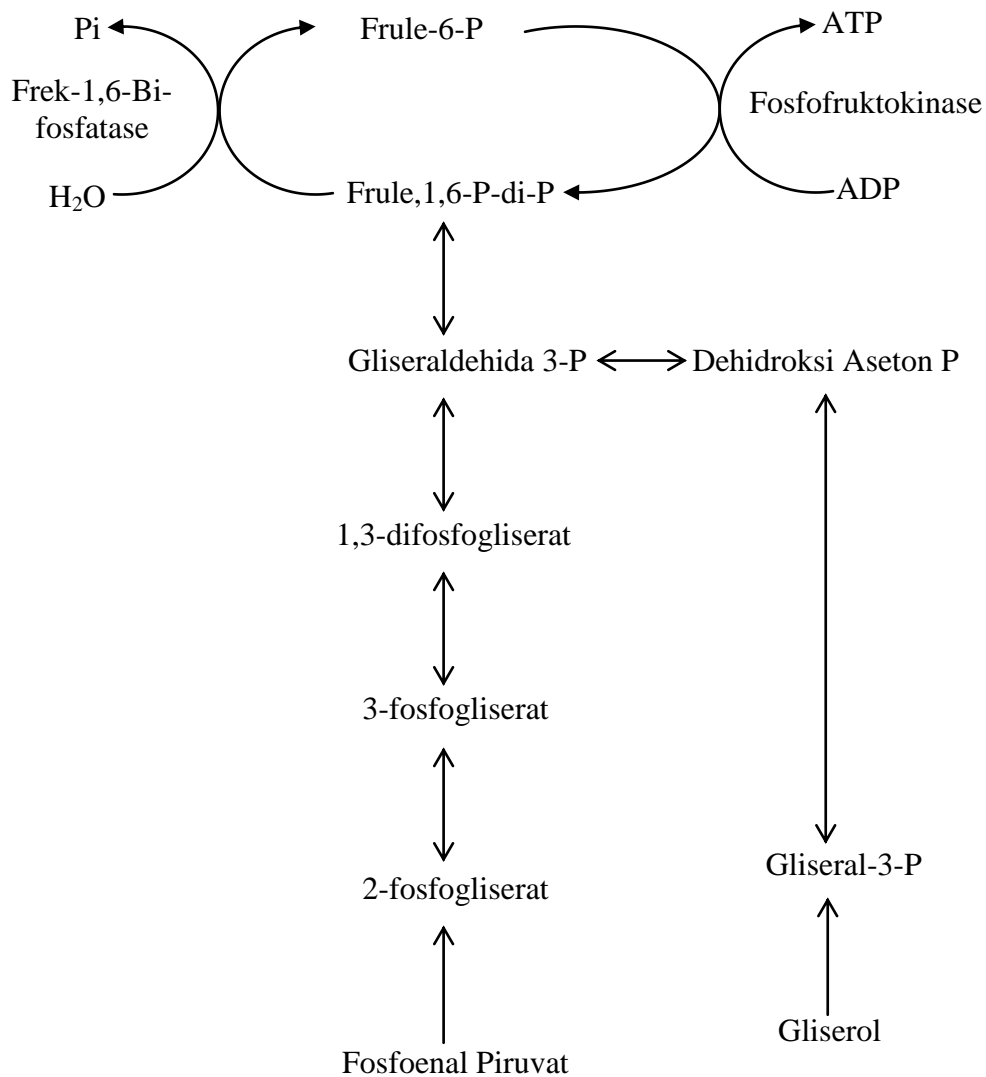
Glikogenolisis adalah perubahan dari glikogen menjadi glukosa yang proses reaksinya merupakan kebalikan dari glikogenesis.

GLUKONEOGENESIS

Glukoneogenesis adalah proses pembentukan glukosa yang berasal dari bahan bukan karbohidrat. Hal ini bisaanya terjadi pada ternak-ternak ruminansia dan sering terjadi pada arumen untuk mencukupi kebutuhan akan energi, sedangkan pada ternak non ruminansia berasal dari glukosa.

GLUKONEOGENESIS





Reaksi glukoneogenesis merupakan kebalikan daripada reaksi glikolisis. Reaksi-reaksi ini merupakan reaksi yang berfungsi untuk mengimbangi ketersediaan glukosa di dalam tubuh. Kebutuhan akan energi (ATP) bisa diperoleh dari oksidasi asam lemak atau protein. Asam lemak dioksidasi menghasilkan asam Aseto asetat, Asetyl 2 KoA dan β hidroksi butirat. Adanya asam aseto asetat, aseton, dan β hidroksi butirat di dalam darah dapat membentuk keton bodies. Bila keton bodies di dalam darh tertumpah disebut ketosis. Asam asaeto asetat dan β hidroksi butirat menyebabkan pH darah menurun sehingga terjadilah oksidasi.

Sifat du bentuk LAT bisa bersifat katabolisme yaitu dapat merubah asam piruvat enjadi CO_2 dan H_2O , serta Anablik, yaitu dapat merubah keto glutarat,

suksinat, dan oksulvasetat menjadi asam amino, makanya LAT dikatakan bersifat AMFIBOLISME.

Glikolisis, glikogenesis, glikogenolisis, dan glukogenesis

Glikolisis adalah perubahan glikogen/glukosa menjadi asam pituvat atau asam etanol/ asam laktat, sedangkan glikogenesis adalah perubahan dari glukosa menjadi glikogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstrong, F. B. 1995. Buku Ajar Biokimia. Edisi ketiga alih bahasa dr. R. F. Maulany, MSc. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Anderson, K., 1958. Essential of Physiological Chemistry 4th Edition. Third Printing. The United States of Amerika.
- Bagiada, A., Mika dan K. Isnuwardani. 1991. Diktat Biokimia Enzim. Fakultas Kedokteran UNUD.
- Conn, E.E and P. K. Stump. 1976. Outline of Biochemistry 4th Edition, Jhon Wiley and Sons, Inc. New York, London, Sidaeg, Toronto.
- David, S> P. 1985. Prinsip-prinsip Biokimia. Diterjemahkan oleh Drs. R. Soendoro. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Diane, S.C. (Adji Dharma). 1996. Ringkasan Biokimia Harper.
- Girindra, A. 1990. Biokimia I. Cetakan kedua. Penerbit Pt Gramedia, Jakarta.
- Harper, A. H. 1967. Review of Physiological Chemistry Range Medical Publication, Los Altos, California.
- Hardjasasmita, H. P. 1997. Ikhtisar Biokimia dasar B. Balai Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- Lehninger, A. L. 1988. dasar-dasar Biokimia. Jilid I Alih Bahasa Dr. Ir. Maggy Thenawidjaja. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ayes, P. A., D, K. Granner, V. W, Rodwell dan D. W. Martin. JR. 1992. Biokimia Harper (Harper Riview of Biochemistry). Alih Bahasa.; Dr. Iyan Darmawan. Cetakan VI. Edisi 20. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Mc. Gilvery, R. W. dan G. W. Goldstein. 1996. Biokimia Suatu Pendekatan Fungsional. Edisi Ketiga. Alih Bahasa dr. Tri Martini Sumarno, DSBK., dkk. Penerbit Eirlangga University Press, Surabaya.
- Strayer, L. 2000. Biokimia. Cetkan I. Edisis 4 Volume I. Alih Bahasa dr. Ani Retno Prijanti, dkk. Penerbit Buku Kedokterrnan EGC, Jakarta.

White, A., P. Handler, E. L. Smith, R. L. Hill and I. R. Lehman. 1978. Principles of Biochemistry Sixth Edition. Kosaido Printing Co. LTD. Tokyo, Japan.

Wirahadi Kusumah, M. 1981. Biokima, Proteina, Enzima dan Asam Nukeat. Departemen Biokimia ITB Penerbit ITB, Bandung.