



DASAR-DASAR NUTRISI



Gita Sekar Pihanti, dr. MPdKed

Sebagian besar gizi terdapat dalam makanan terikat oleh molekul besar yang tidak bisa diserap usus karena ukurannya atau karena tidak bisa larut.

Sistem pencernaan bertanggung jawab untuk mengubah molekul-molekul yang tidak bisa diserap menjadi unit-unit yang siap untuk diserap.

Fungsi utama mekanisme penyerapan dan transport penting untuk pengiriman produk pencernaan ke sel-sel individu.

Kekacauan dari setiap sistem ini bisa mengakibatkan malnutrisi.



SALURAN GASTROINTESTINAL

Peranan utama saluran gastrointestinal (GI) adalah

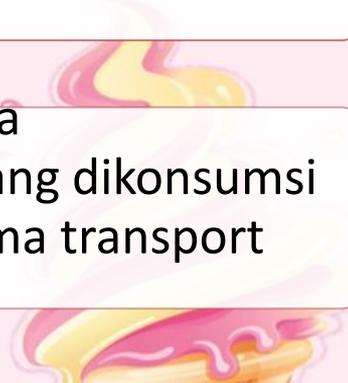
1

- menyerap makronutrien, protein, karbohidrat, lipid, air, dan etanol dari makanan dan minuman yang dicerna

2

- menyerap mikronutrien penting dan mencari beberapa elemen

3

- bertindak sebagai penghambat fisik dan imunologi pada mikroorganisme, material asing, dan potensi antigen yang dikonsumsi bersamaan dengan makanan atau yang terbentuk selama transport makanan melalui saluran pencernaan.
- 

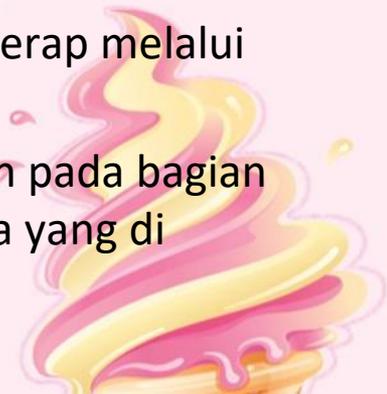
- Ketika makanan sudah membentuk konsistensi dan konsentrasi yang sesuai, lambung menyalurkan isinya ke usus kecil, di mana sebagian besar pencernaan terjadi.
- Di dalam duodenum chymus dicampur dengan tiga jenis hasil sekresi, yaitu sekresi pancreas, sekresi mukosa duodenum dan sekresi empedu



- Pada 100 cm pertama usus kecil, kesibukan mulai terjadi, mengakibatkan pencernaan dan penyerapan dari sebagian besar makanan dicerna.
- Zat tepung terkena enzim kuat dari pankreas dan diubah menjadi gula sederhana.
- Enzim dari pankreas dan *brush border* usus kecil melengkapi pencernaan protein, mengubahnya menjadi peptida kecil dan asam amino.
- Lemak dimetabolisme oleh enzim lipase dari pankreas sehingga mengubah lemak menjadi campuran molekul yang lebih kecil, utamanya asam lemak dan monogliserida.
- Selain sekresi dari mulut ke perut, sekresi dari pankreas, usus kecil, dan kandung empedu juga memberikan banyak cairan.
- Secara keseluruhan, sekitar tiga kali lipat cairan disekresikan dari saluran pencernaan dan bukannya dikonsumsi secara oral.



- Chymus bergerak lebih lanjut dan masuk berturut-turut ke dalam jejunum, dan ileum, untuk kemudian masuk ke dalam usus besar (colon).
- Aliran chymus terjadi karena adanya gerakan peristalsis dari dinding usus halus → gerakan konstriksi dan gerakan translasi.
- Oleh gerakan konstriksi, chymus terpotong-potong berganti-ganti pada tempat yang berubah-ubah, sedangkan oleh gerakan translasi, *chymus* didorong mengalir ke arah anus.
- Kedua komponen gerakan peristalsis ini menyebabkan chymus diaduk dan dicampur dengan berbagai enzim di dalam sekresi cairan pencernaan, sambil didorong perlahan-lahan sepanjang usus halus ke arah anus.
- Sepanjang perjalanannya, zat-zat gizi hasil pencernaan makanan diserap melalui lapisan mukosa dinding usus masuk ke dalam jaringan.
- Masing-masing zat gizi diserap dengan kecepatan berbeda-beda dan pada bagian usus yang berbeda pula; ada yang diserap di daerah duodenum, ada yang di daerah jejunum dan ada pula yang di daerah ileum



- Penyerapan zat-zat gizi sangat efisien, karena struktur mukosa dinding usus sangat sesuai untuk tugas tersebut.
- Permukaan mukosa usus mempunyai lipatan-lipatan jaringan ke arah lumen, yang disebut *cryptae* dan lekukan-lekukan ke arah jaringan, disebut *cryptae Lieberkuhn*.
- Lipatan-lipatan ini mempunyai tonjolan tonjolan mukosa yang disebut villi (bentuk singular: villus) yang permukaannya tertutup oleh sel-sel epitel selapis.
- Membrana sel dari lapisan epitel ini mempunyai lagi tonjolan-tonjolan mikroskopik yang disebut mikrovilli (singular; mikrovillus).
- Dengan struktur lipatan dan tonjolan berbagai tingkat ini, permukaan mukosa usus menjadi lebih luas berlipat ganda, yang meningkatkan daya serap binding usus tersebut



- Fungsi maksimum saluran pencernaan manusia tergantung pada seringnya konsumsi diet sehat dan bukannya pola makan acak dalam waktu yang cepat.



- Intestinal flora memainkan peranan penting dalam fermentasi serat yang dicerna dan sisa karbohidrat dan asam amino.
- Fermentasi karbohidrat menyebabkan produksi *short chain fatty Acid (SCFA)* dan gas.
- SCFA membantu mempertahankan fungsi mukosa normal, “penggunaan kembali” beberapa substrat energi sisa, dan membantu penyerapan sisa garam dan air



- Karbohidrat yang tidak dicerna oleh tubuh, mengalami fermentasi oleh mikroflora dan sisa protein serta asam amino mengalami pembusukan (putrefaksi).
- Proses fermentasi menghasilkan gas C_0_2 dan pembusukan menghasilkan H_2S yang kadang-kadang berjumlah cukup banyak dan dikeluarkan dari anus sebagai flatus (kentut).



- Dianggap bahwa hasil putrefaksi lebih mengganggu tubuh dibandingkan dengan hasil fermentasi, sehingga komponen mikroflora diusahakan untuk dipengaruhi dengan memberikan susu asam, terutama pada anak-anak, agar mikroflora yang menyebabkan fermentasi dapat menguasai lingkungan, mengalahkan mikroflora yang menyebabkan putrefaksi



Tabel 1.1 Ringkasan pencernaan dan penyerapan dengan bantuan enzim

Sekresi dan sumber sekresi	Enzim	Zat	Tindakan dan produk tindakan	Penyerapan
Ludah dari kelenjar ludah di dalam mulut	Ptialin (amilase ludah)	Zat tepung	Hidrolisis untuk membentuk disakarida (dekstrin dan maltosa) dan oligosakarida bercabang	
Getah lambung dari kelenjar lambung dalam mukosa perut	Renin	Kasein (protein susu)	Mengentalkan kasein untuk mempersiapkannya dalam tindakan pepsin	
	Pepsin	Protein (adanya HCl)	Hidrolisis ikatan peptida untuk membentuk polypeptide dan asam amino	
	Lipase (tributynase)	Lemak (tributytrin)	Hidrolisis untuk membentuk asam lemak bebas	
Sekresi exocrine dari pankreas	Tripsin (activated tripsinogen)	Protein dan polypeptide	Hidrolisis ikatan peptida interior untuk membentuk polypeptide	Pinocytosis peptida kecil
	Chymotrypsin (activated chymotrypsin)	Protein dan peptida	Hidrolisis ikatan peptida untuk membentuk polypeptide	Asam amino diserap ke dalam darah
	Carboxypolypeptidase	Polypeptide	Hidrolisis ikatan peptida terakhir (ujung carboxyl) untuk membentuk asam amino	
	Ribonuclease Deoxyribonuclease	Asam ribonukleat Asam deoksiribonukleat	Hidrolisis untuk membentuk mononukleotide	
Elatase	Protein serat	Hidrolisis untuk membentuk peptida dan asam amino		
Lipase	Lemak (adanya garam empedu)	Hidrolisis untuk membentuk monogliserida, asam lemak		
Cholesterol esterase	Kolesterol	Hidrolisis untuk membentuk ester kolesterol dan asam lemak		Micelles → sel mukosa → chylomicrons → limfa
	α – Amylase	Zat tepung dan dekstrin	Hidrolisis untuk membentuk dekstrin dan maltosa	Asam amino diserap ke dalam darah

Cont...				
Sekresi dan sumber sekresi	Enzim	Zat	Tindakan dan produk tindakan	Penyerapan
Enzim usus kecil, sebagian besar yang ditempatkan di dalam brush border	Carboxypeptidase	Polypeptide	Hidrolisis ikatan peptida untuk membentuk asam amino	
	Aminopeptidase			
	Dipeptidase			
	Nucleosidase			
	Nucleosidase	Nucleotides	Hidrolisis untuk membentuk nukleoside dan H_2PO_4	
	Nucleosidase	Nucleotides	Hidrolisis untuk membentuk purin, pyrimidines, dan pentosa	
	Enterokinase	Tripsinogen	Mengaktifkan menjadi tripsin	
	Lipase (enteric)	Monogliserida	Hidrolisis asam lemak dan gliserol	Micelles → sel mukosa → chylomicrons → limfa
	Sucrase	Sukrosa	Hidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa	Glukosa, galaktosa, dan fruktosa diserap ke dalam darah
	α – Dextrinase (isomaltase)	Dekstrin (isomaltosa)	Hidrolisis menjadi glukosa	Glukosa, galaktosa, dan fruktosa diserap ke dalam darah
	Maltase	Maltosa	Hidrolisis menjadi glukosa	Glukosa, galaktosa, dan fruktosa diserap ke dalam darah

Tabel 1.2 Gastrointestinal neurotransmitter

Neurotransmitter	Bagian pelepasan	Tindakan utama
Bombesin	Usus, CNS, paru-paru	Mendorong pelepasan hormon usus
Enkephalin	Usus, CNS	Mendesak pengaruh seperti opiate (sistem endorfin)
Neurotensin	Ileum, CNS	Mencegah pelepasan pengosongan lambung dan sekresi asam
Somatostatin	Usus, CS	Mencegah pelepasan hormon lambung dan pankreas; menurunkan produksi enzim pankreas; mencegah kontraksi kandung empedu
Zat P	Usus, CNS, kulit	Sensor (utamanya pada sakit)
Vasoactive inhibitory polypeptide (VIP)	Semua jaringan	Menstimulasi sekresi pankreas dan usus kecil; menstimulasi glikogenolisis liver; mencegah keluaran asam lambung; vasodilates; mengendurkan otot halus



Tabel 1.3 Fungsi penting hormon gastrointestinal				
Hormon	Bagian pelepasan	Stimulan pelepasan	Organ yang dipengaruhi	Pengaruh pada organ
Gastrin	Antral mukosa perut	Polypeptide	Esofagus	Meningkatkan tekanan istirahat dari esophageal sphincter bawah
		Asam amino		
	Duodenum	Kafein	Perut	Menstimulasi sekresi HCI dan pepsinogen oleh sel parietal dan sel utama, secara berurutan
		Alkohol		Meningkatkan motilitas antral lambung
	Jejunum	Ekstrak makanan		
		Prose penggelembungan antrum perut	Kandung empedu	Menstimulasi kontraksi secara perlahan dari kandung empedu
		Saraf vagal	Pankreas	Menstimulasi sekresi pankreas bikarbonat secara perlahan
Sekretin	Duodenal mukosa	Keasaman usus (pH < 4-5)	Esofagus	Menurunkan tekanan istirahat esophageal sphincter bagian bawah
			Perut	Menurunkan motilitas lambung dan duodenal
				Menstimulasi sekresi pepsinogen
				Mencegah sekresi asam lambung yang distimulasi oleh gastrin
			Duodenum	Menurunkan motilitas
				Meningkatkan output mucus dari kelenjar Brunner
			Pankreas	Meningkatkan output H ₂ O dan bikarbonat
				Meningkatkan beberapa sekresi enzim dan juga pelepasan insulin
			Hati	Meningkatkan volume dan output elektrolit empedu

Cont...				
Hormon	Bagian pelepasan	Stimulan pelepasan	Organ yang dipengaruhi	Pengaruh pada organ
Cholecystokinin-pancreozymin (CCK-PZ)	Usus kecil proksimal	Asam amino (khususnya tryptophan)	Usus kecil	Meningkatkan motilitas
			Kandung empedu	Penyebab kontraksi
			Pankreas	Menstimulasi sekresi enzim
				Potensi pengaruh sekresi pada pankreas
				Memperlambat pengosongan lambung
Gastric inhibitory polypeptide (GIP)	Usus kecil	Glukosa	Perut	Mencegah sekresi asam lambung yang distimulasi oleh gastrin
		Lemak	Pankreas	Menstimulasi sekresi insulin
Enteroglucagon dan glucagon	Duodenum	Karbohidrat	Hati	Menstimulasi glikogenolisis
	Jejunum	Trigliserida rangkaian panjang	Pankreas	Mencegah sekresi enzim
Motilin	Duodenum	Alkalinitas di dalam duodenum	Usus kecil	Mencegah motilitas
	Jejunum		Perut	Menurunkan pengosongan lambung
Somatostatin	Antrum perut	Keasaman lambung dan duodenal	Pankreas	Mengatur motilitas usus
	Usus kecil bagian atas			Mencegah pelepasan insulin dan glukagon
	Hypothalamus (utamanya)	Asam amino		Menurunkan produksi enzim
		Lemak	Perut	Mencegah pelepasan gastrin
			Kandung empedu	Mencegah kontraksi
			Lain-lain	Menekan sekresi pertumbuhan hormon
				Menekan sekresi hormon yang menstimulasi tiroid

- Pengetahuan mengenai fungsi hormon utama menjadi sangat penting ketika bagian-bagian untuk sekresi atau tindakan dalam prosedur pembedahan atau ketika hormon dan analognya digunakan untuk terapi.



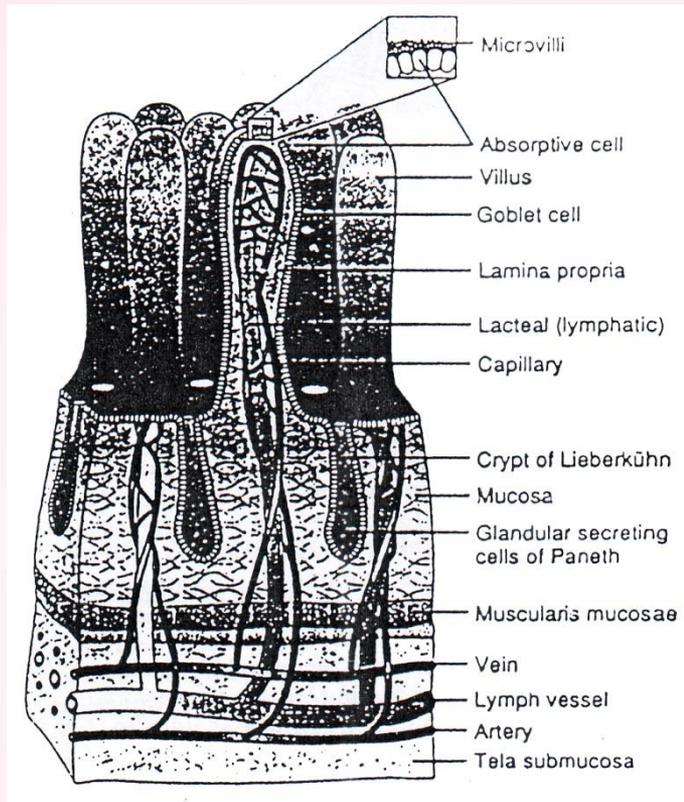
USUS HALUS – BAGIAN UTAMA UNTUK PENYERAPAN GIZI

Organ utama penyerapan adalah usus halus, yang dicirikan oleh area penyerapannya yang sangat luas.

Kombinasi lipatan, proyeksi villi, dan microvilli memberikan area penyerapan yang cukup besar, yaitu sekitar 250 m²

Setiap hari, usus kecil menyerap 200 hingga 300 g monosakarida, 60 hingga 100 g asam lemak, 50 hingga 100 g asam amino dan peptida, dan 50 hingga 100 g ion.





Gambar Diagram villi usus manusia menunjukkan strukturnya dan pembuluh darah dan limfa



Mekanisme Penyerapan

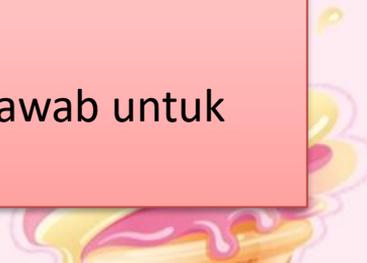
Penyerapan adalah proses yang sangat kompleks, mengombinasikan proses yang relatif sederhana dari penyebaran pasif, di mana gizi bergerak melalui sel mukosa usus (enterocyte atau colonocyte) dalam aliran darah, dengan proses transpor aktif yang rumit.

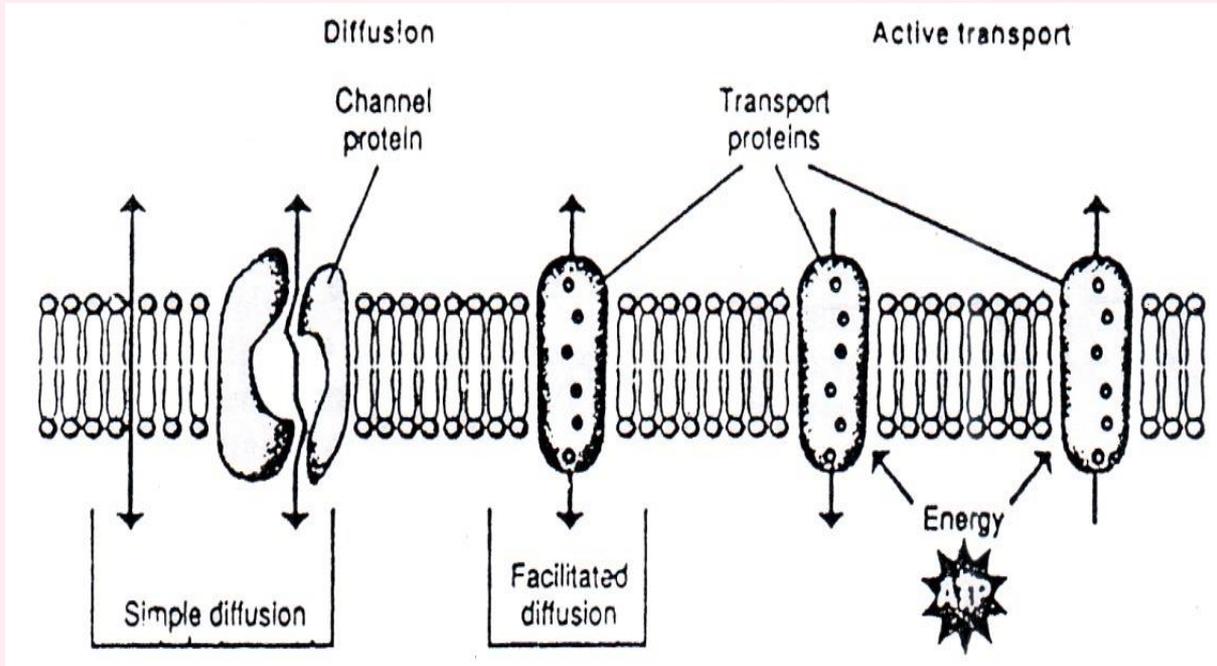
Transpor aktif memerlukan input energi untuk menggerakkan ion atau zat-zat lainnya, dalam kombinasinya dengan protein pembawa, melintasi membran melawan gradien energi.

Beberapa gizi bisa berbagi pembawa yang sama dan kemudian bersaing dalam penyerapan.

Sistem pembawa juga bisa jenuh, dan penyerapan gizi melambat.

Pembawa yang paling dikenal adalah *faktor intrinsik* yang bertanggung jawab untuk penyerapan vitamin B₁₂.





Gambar Diagram yang menggambarkan jalur transpor melalui membran sel, dan juga mekanisme dasar transpor



- Air, monosakarida, vitamin, mineral, dan alkohol biasanya diserap dalam bentuk aslinya.
- Disakarida dan polisakarida, lipid, dan protein sebagian besar diubah menjadi bentuk sederhana sebelum zat-zat tersebut diserap.



- Perut secara normal kosong dalam 1 hingga 4 jam.
- Ketika makan, karbohidratlah yang paling cepat meninggalkan perut, diikuti oleh protein, lemak, dan makanan berserat.
- Dalam makanan, pengosongan perut tergantung pada seluruh volume dan karakteristik makanan.
- Cairan lebih cepat keluar daripada benda padat, partikel besar keluar lebih lambat daripada partikel kecil, dan makanan terkonsentrasi cenderung keluar lebih lambat daripada makanan dengan konsentrasi kalori yang rendah.
- Faktor-faktor ini memainkan peranan penting bagi dokter yang memberikan nasihat pada pasien yang mengalami mual, muntah, diabetic gastroparesis, atau hambatan parsial, atau yang memberikan nasihat pada pasien selama makan setelah pembedahan gastrointestinal atau malnutrisi.



Pencernaan dan penyerapan gizi

Karbohidrat dan serat

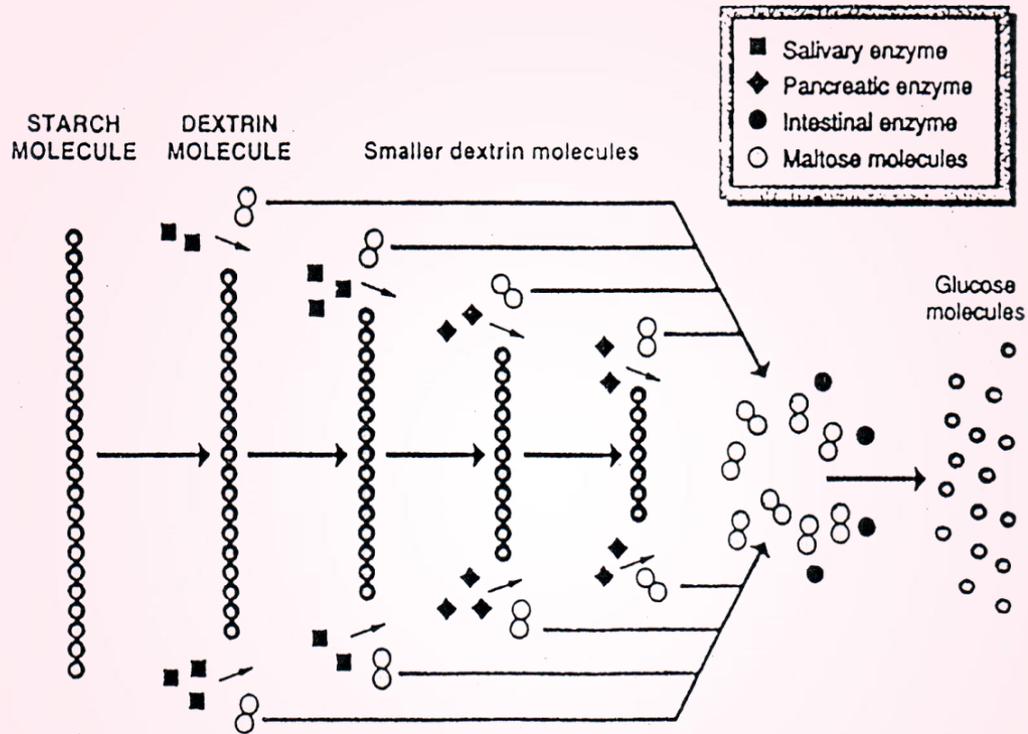
Sebagian besar karbohidrat dikonsumsi dalam bentuk zat tepung, disakarida, dan monosakarida. Zat tepung biasanya membentuk bagian karbohidrat yang paling besar, dan bagian tersebut ada sebagai dua tipe utama polisakarida.

Di mulut, enzim amilase ludah (ptialin), yang beroperasi pada pH netral atau sedikit basa, memulai tindakan penyerapan pada zat tepung, menghidrolisisnya dalam molekul yang lebih kecil

Aktivitas amilase dihentikan oleh kontak dengan asam hidroklorik.

Jika karbohidrat yang bisa dicerna masih berada di dalam perut cukup lama, maka hidrolisis asam akan banyak menurunkannya menjadi monosakarida.

Tetapi perut biasanya kosong dengan sendirinya sebelum pencernaan signifikan bisa terjadi, dan pencernaan karbohidrat terjadi hampir secara keseluruhan di dalam usus kecil proksimal.



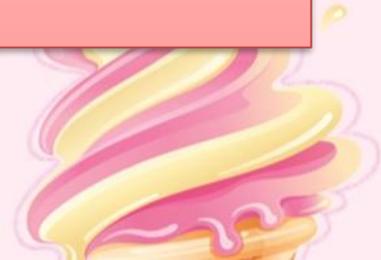
Gambar Rincian bertahap dari molekul zat tepung yang besar menjadi glukosa oleh enzim di dalam pencernaan



Monosakarida yang dihasilkan – glukosa, galaktosa, dan fruktosa – bergerak melalui sel mukosa dan, melalui kapiler villus, ke dalam aliran darah, yang kemudian dibawa melalui saluran vena ke hati.

Glukosa dan galaktosa diserap oleh transpor aktif, utamanya oleh pembawa yang tergantung dengan sodium; fruktosa diserap lebih lambat oleh penyebaran bantuan yang mungkin juga tergantung pada sodium.

Pemahaman mengenai penyerapan monosakarida ini adalah alasan untuk meminum sodium-glukosa bagi atlet yang mengalami rehidrasi dan untuk cairan rehidrasi bagi bayi yang mengalami diare.



Glukosa ditranspor dari hati ke jaringan, meskipun beberapa glukosa disimpan di dalam hati dan otot sebagai glikogen.

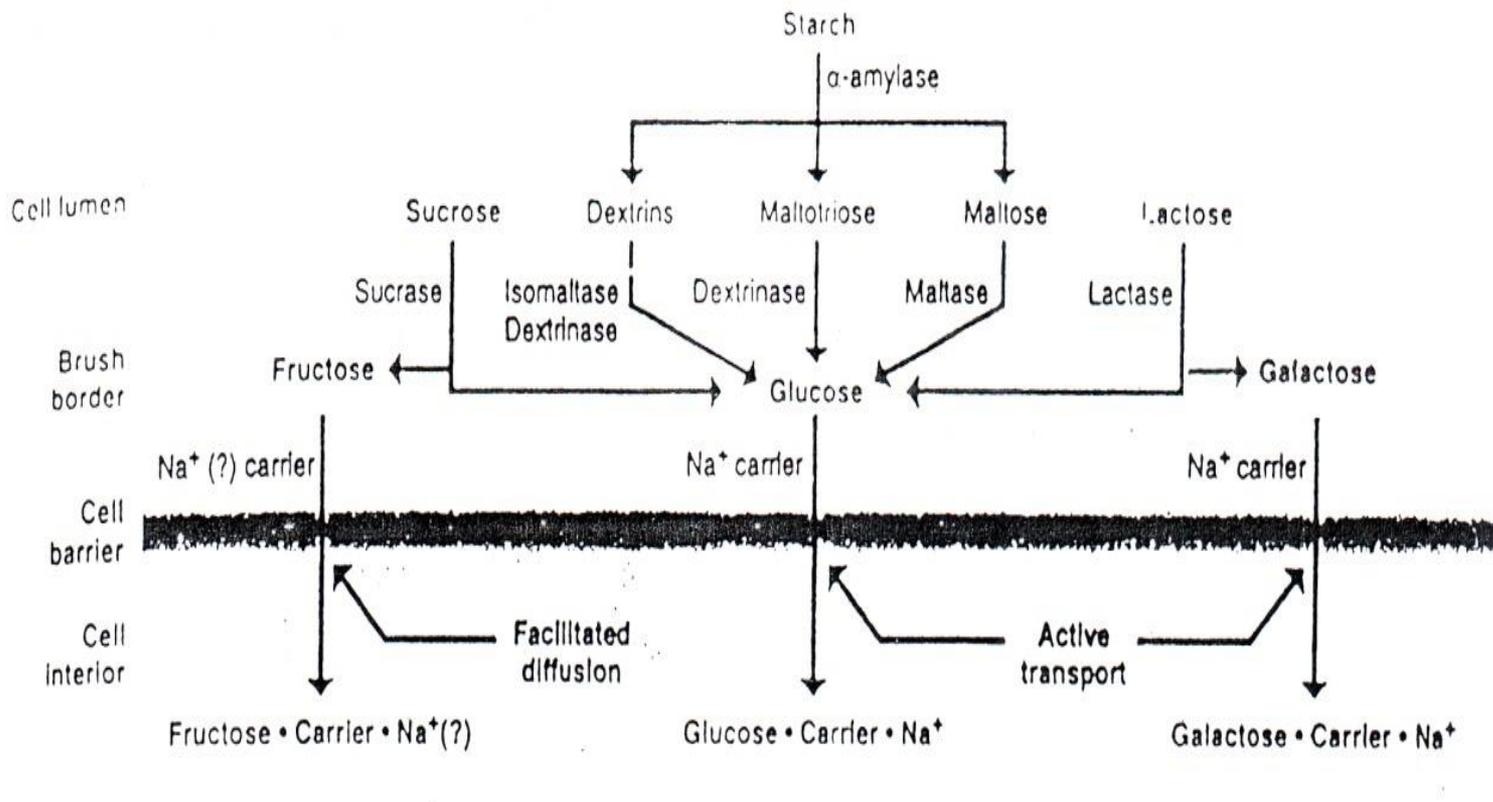
Sedikit fruktosa mungkin diubah menjadi glukosa sebelum bergerak dari sel usus ke darah, tapi sebagian besar ditranspor sebagai fruktosa ke hati, seperti galaktose yang juga diubah menjadi glukosa.

Konsumsi banyak laktosa (khususnya pada individu yang kekurangan laktase) fruktosa, stachyse, raffinose, dan gula alkohol (sorbitol, mannitol, atau xylitol) bisa mengakibatkan banyaknya gula ini terlalu banyak terserap ke dalam kolon dan bisa menyebabkan gas dan diare.

Beberapa bentuk karbohidrat tidak bisa dicerna oleh manusia → Selulosa, hemicellesulosa, pektin, gums, dan bentuk serat lain tidak berubah pada kolon, di mana semua zat-zat tersebut secara parsial difermentasikan oleh bakteri di dalam kolon.

Enzim amilase yang ada diludah atau dipankreas tidak mempunyai kemampuan untuk mengubah ikatan selulosa.





Gambar Proses pencernaan dan penyerapan karbohidrat.



Faktor-faktor yang mempengaruhi pencernaan

Faktor psikologi

Tindakan bakteri

Pengaruh pemrosesan makanan



Faktor psikologi

- Pandangan, bau, rasa, dan bahkan berpikir mengenai makanan bisa meningkatkan sekresi ludah dan asam lambung dan meningkatkan aktivitas otot saluran pencernaan.
-
- Emosi rasa takut, marah, dan khawatir akan menstimulasi hipotalamus untuk mengaktifkan sistem syaraf otonomi, yang kemudian akan menekan sekresi, mencegah peristalsis, dan menurunkan dorongan makanan dengan meningkatkan tone sphincter



Tindakan bakteri

Meskipun asupan makanan mempengaruhi flora usus, respons sangatlah individual dan bervariasi.

Pencernaan dari peningkatan karbohidrat dan serat, umumnya, menyebabkan peningkatan fermentasi di dalam usus besar; protein menyebabkan pembusukan.

Jika gangguan penyerapan pada usus kecil menimbulkan gangguan penyerapan karbohidrat atau protein dalam jumlah yang besar hingga mencapai usus besar, maka gerakan bakteri bisa menyebabkan formasi gas yang berlebih atau zat beracun tertentu.

Jika pasien yang mengalami malnutrisi, mengalami penyakit pencernaan, atau belum makan melalui saluran pencernaan, mungkin akan ada peningkatan risiko translokasi bakteri.



Pengaruh pemrosesan makanan

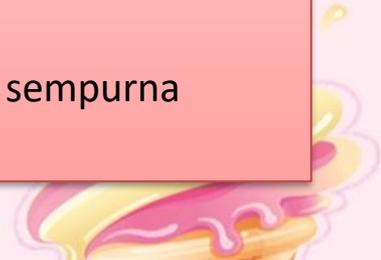
Secara umum, makanan yang dimasak dengan baik lebih bisa dicerna daripada makanan mentah, tetapi nutrisi berkurang.

Pemasakan daging, contohnya, pelepasan jaringan penghubung, membantu mengunyah, dan membuat daging lebih bisa diolah oleh asam pencernaan.

Serat diperhalus dengan memasak, dan memasak bisa membuat gizi yang bisa dicerna menempel pada lebih banyak komponen serat.

Buah dan sayuran mentah bisa mempertahankan keberadaan enzim aktifnya, yang juga bisa membantu serat pencernaannya di dalam mulut dan perut.

Makan sesering mungkin dengan porsi kecil kadang-kadang dicerna dengan lebih sempurna daripada makan jarang dengan porsi besar.



PERANAN USUS BESAR

- Panjangnya kira-kira 5 kaki dan terdiri dari cecum, kolon, dan rektum.
- Sebagian besar air yang terkandung di dalam 500 hingga 1000 mL chyme yang memasuki kolon setiap hari akan diserap, menyisakan 50 hingga 200 mL yang akan diekskresikan di dalam feses.
- Secara normal, ketika kandungan kolon bergerak ke depan secara perlahan pada tingkat 5 cm/jam, hampir semua yang tersisa dengan kandungan nilai gizi akan diserap.



SITUASI PENINGKATAN FERMENTASI KOLON PADA GANGGUAN PENYERAPAN KARBOHIDRAT

- Pada individu normal, peningkatan fermentasi dapat terjadi jika mengkonsumsi makanan yang mengandung :
 - Laktosa
 - Serat makanan
 - Zat tepung, olestra (sukrosa polyester), acarbose (pencegah amilase)
 - Sedikit sorbitol, mannitol, xylitol, atau laktulosa
 - Banyak fruktosa
 - Banyak sukrosa



Pasien dapat mengalami gangguan penyerapan sekunder pada:

- Reseksi lambung dan pencernaan sederhana gula, karbohidrat
- Ketidakmampuan pankreas
- Sindrom usus pendek
- Penyakit radang usus
- Celiac sprue
- Kekurangan disakarida



COLON

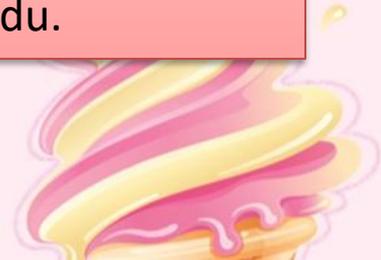
Gangguan penyerapan yang signifikan akan mengakibatkan pengembungan, proses penggelembungan perut, gas dalam perut, pengasaman tinja, dan diare

Feses terdiri dari 75% air dan 25% zat padat, tapi bagian ini bisa saja berbeda.

Sekitar sepertiga zat padat terdiri dari bakteri mati.

Material anorganik dan lemak merupakan 20% hingga 40%, dan protein terdiri dari kira-kira 2% hingga 3%.

Yang lainnya meliputi serat-serat yang tidak bisa dicerna, sel-sel epitel yang terlepas, dan komponen-komponen dari asam pencernaan, seperti pigmen empedu.



- Frekuensi defekasi, atau pengeluaran feses melalui anus bervariasi mulai dari tiga kali sehari hingga sekali dalam 3 hari atau lebih.
- Bobot tinja normal adalah mulai dari 100 hingga 200 g, dan waktu transit dari mulut ke anus bisa bermacam-macam mulai dari 8 hingga 72 jam.
- Makanan yang meliputi berbagai macam buah, sayur, dan gandum utuh akan memberikan waktu transit yang lebih pendek dalam pencernaan, pengosongan lebih sering terjadi, dan tinja semakin banyak dan semakin halus.



NUTRIEN

Esensial – non esensial

Zat yang tidak dapat disintesis oleh tubuh manusia sehingga harus diperoleh dari makanan.

Ex: vitamin, mineral, beberapa asam amino, asam lemak dan karbohidrat.

Nutrien yang dapat disintesis oleh tubuh dan mempunyai kualitas yang sama dengan nutrisi yang berasal dari bahan makanan.

makro - mikro

Zat utama yang terdapat dalam diet dan berfungsi sebagai sumber energi bagi tubuh yang digunakan untuk pertumbuhan, pemeliharaan dan aktifitas.

Karbohidrat, protein dan lemak

Mikronutrien dibutuhkan dalam jumlah kecil (dalam hitungan milligram atau microgram per hari).

vitamin dan mineral

Tabel 1. Jumlah kalori per gram makronutrien

Makronutrien	Energi/gram(kkal)
Karbohidrat	4,1
Protein	4,1
Lemak	9,3

(Boerhan Hidajat, Sri S. Nasar, Damayanti Rusli Sjarif. 2011)



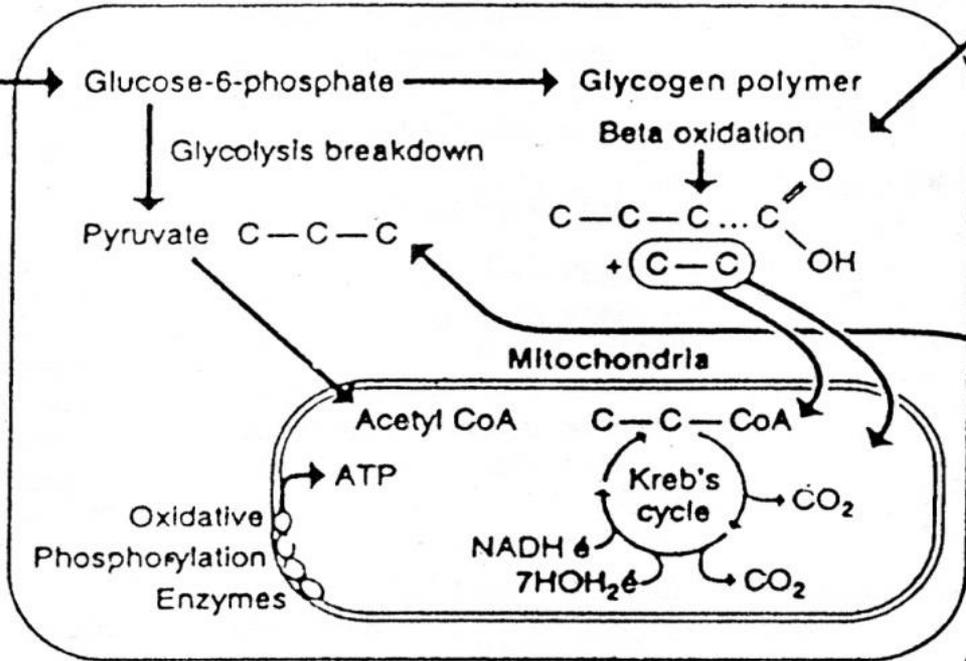
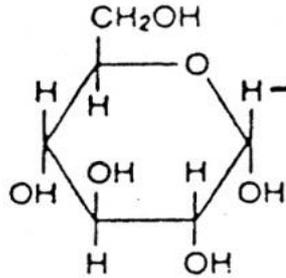
KARBOHIDRAT

Karbohidrat tanaman banyak berubah dalam hal rasa manis, tekstur, tingkat pencernaan, dan tingkat di mana zat-zat tersebut diserap setelah masuk melalui saluran pencernaan manusia.

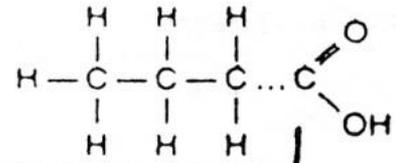
- (1) Monosakarida
- (2) Di- dan oligosakarida
- (3) Polisakarida



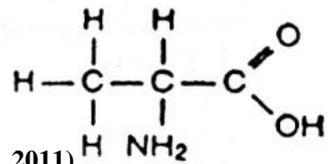
Glucose



Fat



Protein



- Enzim utama dalam pencernaan karbohidrat → α – amilase saliva dan pankreas disakaridase kompleks yang ada pada brush border membran sel absorpsi.
- Pencernaan tepung (amilosa dan amilopektin) dimulai dimulut oleh α – amilasi saliva dan berlangsung secara acak terhadap ikatan 1 – 4 α – glikosidik yang ada dibagian dalam molekul (jadi merupakan endoglukosidase) menghasilkan polisakarida yang lebih pendek yang disebut “*dextrine*” .



- → Aktifitas amilase ini akan terhenti (karena mengalami denaturasi) demikian makanan masuk kedalam lambung, karena pH lambung sangat rendah (1-4) sedangkan pH optimum amilase di saliva sekitar 7.
- Didalam duodenum oleh α – amilase pankreas “dextrine” dihidrolis lebih lanjut menjadi maltosa (1-4 α) + isomaltosa (1-5 α) dan oligosakarida dilakukan oleh glikosidase terdapat pada sel absorpsi yang terdapat pada villi brush border.

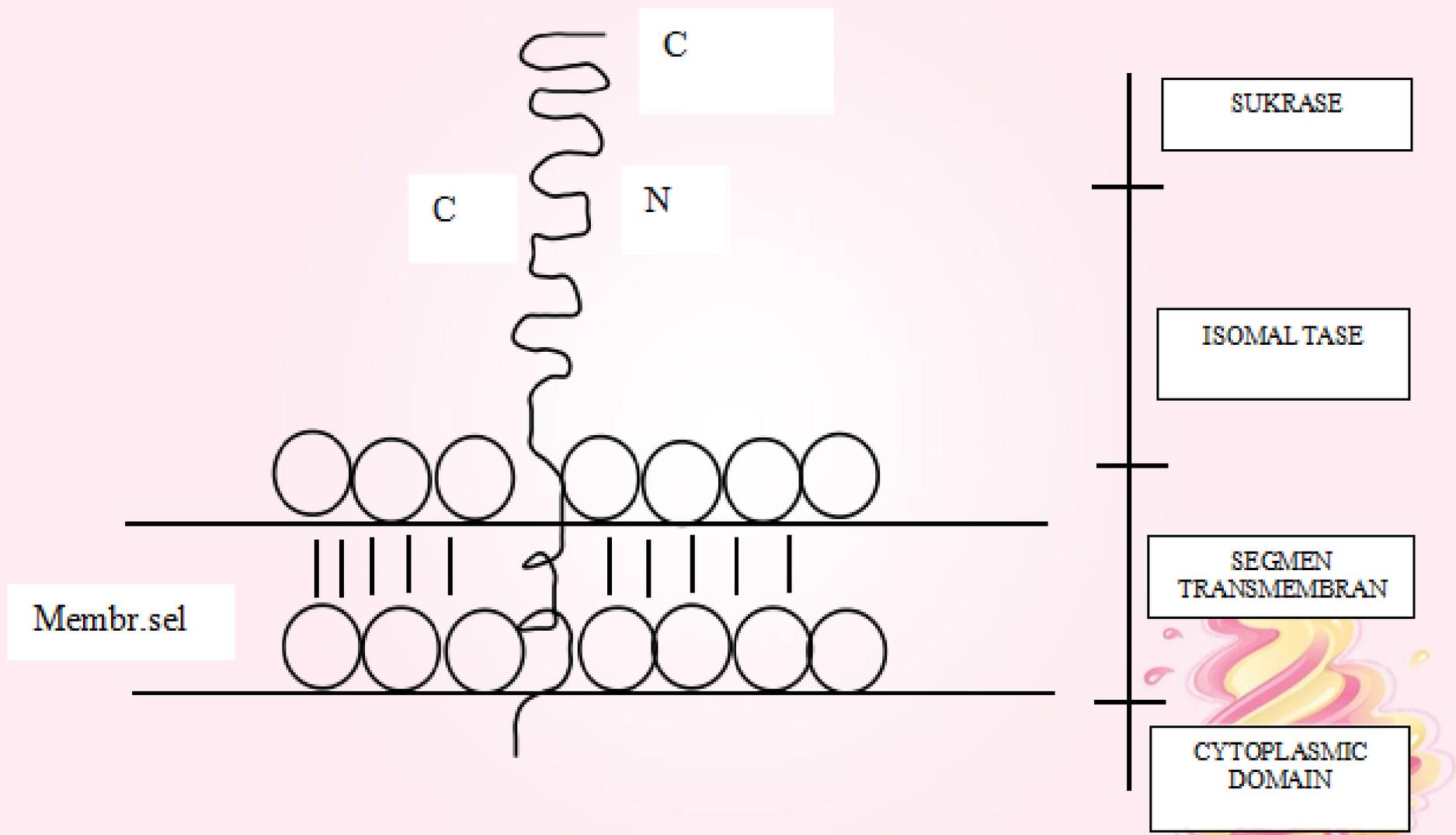


ENZIM PEMECAH KARBOHIDRAT

1. Sukrase isomaltase kompleks

Sebagian besar dari molekul sukrase – isomaltase kompleks ini yaitu yang mengandung “**catilac site**” menonjol ke dalam lumen usus, sedang dua bagian lain tangkai (=“stalk=connecting segment) menghubungkan “**active site**” dengan bagian yang paling dalam yang menjadi jangkar melekatnya kompleks enzim ini didalam dan menembus membran sel mukosa





– **Glukomilase kompleks**

Terdiri atas dua subunit, keduanya termasuk eksoglukosidase (sering disebut sebagai α glukosidase), fungsi utamanya menghidrolisa ikatan 1 – 4 α – glukosa dlk dalam oligosakarida dimulai dari ujung “non reducing” dan juga menghidrolisa maltosa .

Paling banyak terdapat di ileum.



– β -Glikosidase Kompleks

Kelompok ini spesifik untuk ikatan 1 – 4 β - glikosidik, distribusinya sama dengan sukrase-isomaltase kompleks, paling banyak terdapat dalam yeyunum.

Jumlah protein ini berubah sesuai dengan kebiasaan makan, bagi bayi karena makanan utamanya berupa ASI maka jumlah protein ini banyak.



Pada penderita “lactose intolerance”, jumlah protein sedikit → banyak asi masuk → tidak mampu mengikat laktosa → terkumpul didalam lumen usus →hiperosmosis cairan dalam lumen → air dari mukosa sel akan tertarik kedalam lumen usus → diareha

Selain itu bila terjadi kerusakan pada mukosa villi khususnya sel absortip, juga dapat berakibat timbulnya “laktosa intolerance” seperti diatas.



2. Trehalase

Untuk hidrolisa ikatan glikosida pada trehalosa, gula yang banyak terdapat pada insect, algae, muschrooms dan jamur yang lain.

Ada 5 (lima) kategori serat / fiber dalam makanan :

selulosa ,

hemiselulosa ,

pektin,

mucllages dan

gums + lignin.

Dari penelitian terbukti ada kaitan antara rendahnya serat dalam makanan dengan timbulnya karsinoma (Ca) colon .

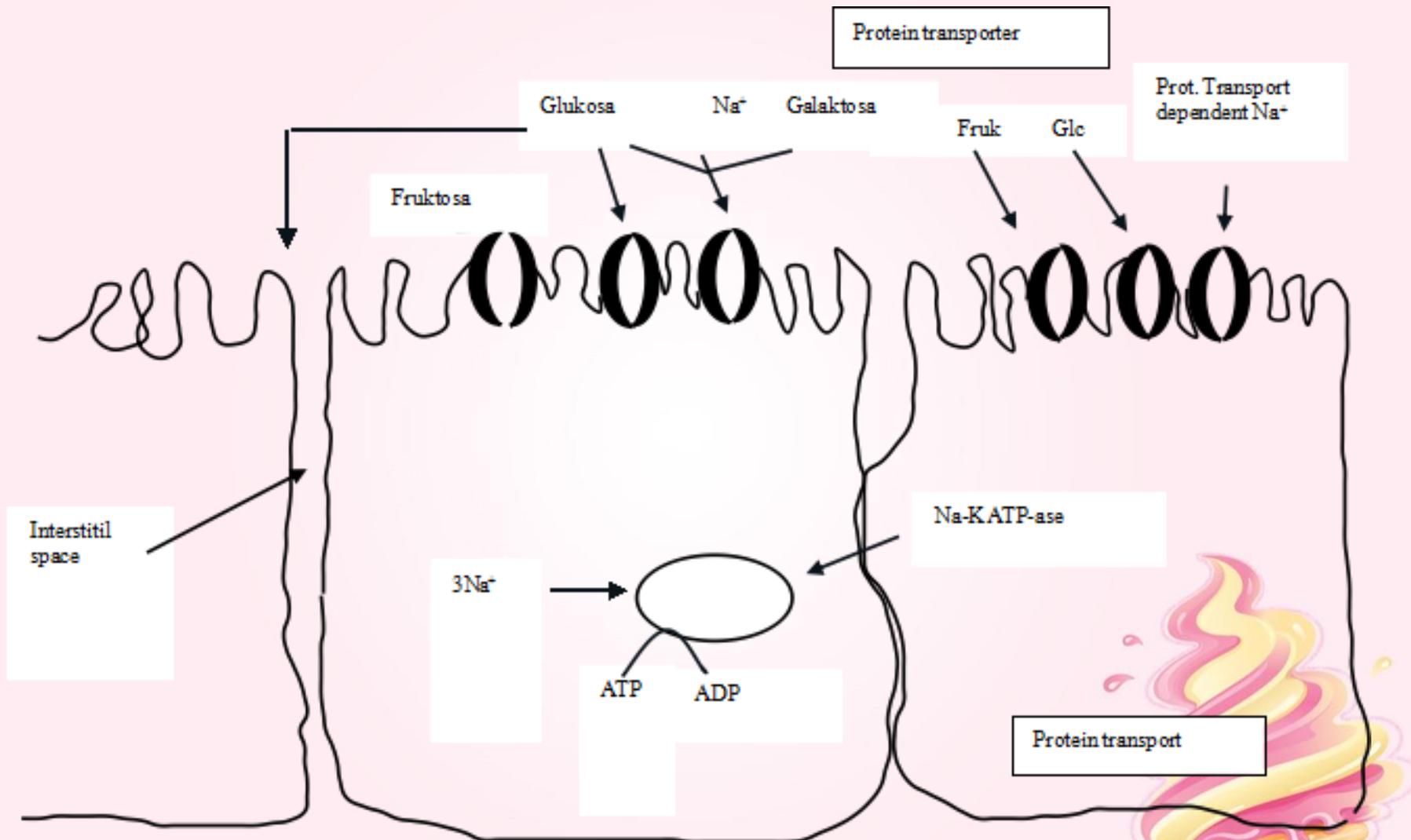


➤ Absorpsi

Molekul yang besar menyebabkan glukosa dan sejenisnya sulit berdifusi menembus membran sel → harus ada transport lain yaitu dengan menggunakan sarana protein transporter :

- Protein transporter fasilitas biasa (Glut1, Glut2, Glut3, Glut4 dan Glut5) → jumlah protein ini yang ada di jaringan otot dan jaringan lemak diinduksi oleh insulin.
- Protein transporter yang tergantung terhadap Na^+ merupakan sarana “cotransport” untuk Na^+ dengan glukosa/galaktosa → “secondary transport active” karena aktifitasnya dibantu oleh pompa natrium (“ Na^+ -K ATP-ase”).





JENIS-JENIS KARBOHIDRAT

Mono dan disakarida terasa manis, sedangkan polisakarida tidak mempunyai rasa (tawar).

Di dalam bahan makanan nabati terdapat dua jenis polisakarida, yaitu yang dapat dicerna dan yang tidak dapat dicerna.

Yang dapat dicerna ialah zat tepung (amylum) dan dekstrin.

Yang tidak dapat dicerna ialah selulosa, pentosan dan galaktan.



1. MONOSAKARIDA

Senyawa karbohidrat yang paling sederhana.

Glukosa, fruktosa dan galaktosa merupakan monosakarida terbanyak.

Glukosa banyak terdapat pada buah-buahan, jagung manis, sirup jagung, madu dan beberapa jenis umbi.



Fruktosa (levulosa) juga merupakan bentuk gula sederhana dan banyak terdapat secara alamiah pada sirup jagung (*corn syrup*), gula tebu, gula bit, stroberi, tomat, bawang merah.

Galaktosa tidak ditemukan secara bebas dalam makanan tetapi merupakan hasil hidrolisis laktosa.

Galaktosa merupakan komponen yang karakteristik bagi gula hewani pada laktosa, yang terdapat di dalam air susu.



Monosakarida terdapat dimakanan yang dapat dicerna oleh tubuh, hanya heksosa, sedangkan polisakarida yang terdiri atas molekul-molekul pentosa tidak dapat dicerna di dalam saluran gastrointestinal, sehingga tidak dapat diserap melalui mukosa usus, dan diekskresikan di dalam tinja.

Namun demikian, ada molekul pentose di dalam jaringan tubuh, sebagai hasil metabolisme (metabolite).



Glukosa

Gula yang paling banyak didistribusikan secara alami, meskipun jarang dikonsumsi dalam bentuk monosakarida.

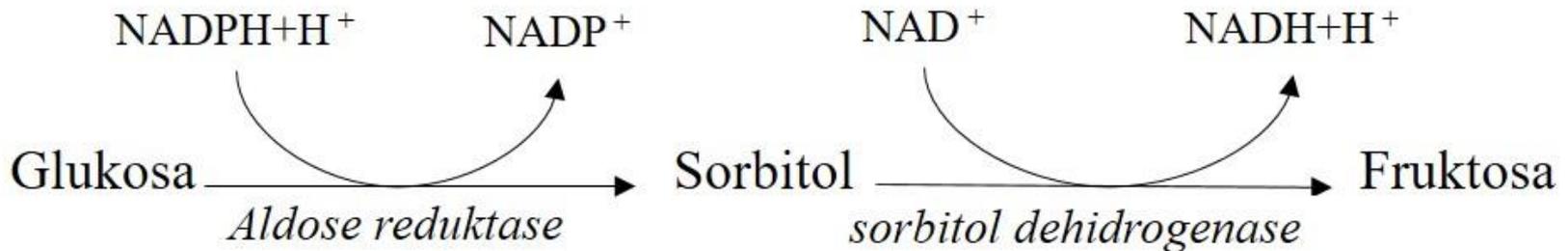
Glukosa, sebagai monomer dan dihubungkan dengan fruktosa seperti disakarida, sukrosa, menyusun pecahan yang besar dari total kandungan padat buah dan sayuran.



Fruktosa

Glukosa / heksosa yang lain dirubah menjadi fruktosa, kemudian fruktosa diaktifkan \rightarrow fruktosa - 1P (bukan fruktosa 6P), kemudian dari fruktosa - 1P dipecah menjadi dihidroksi - asetonfosfat (seperti pada glikolisis) dan d-gliseraldehid.

Dihidroksi - asetonfosfat langsung masuk jalur jalur glikolisis sedangkan d-gliseraldehid harus dirubah dulu menjadi dihidroksi - asetonfosfat atau gliseraldehid-3p atau langsung dirubah menjadi 2p-gliserat lewat d-gliserat.



Karbohidrat	Sumber makanan	Produk akhir pencernaan	Keterangan	5. Stachyose	Kacang-kacangan	Pentosa			
Polisakarida				6. Pentosa	Buah dan permen karet				
Tidak dapat dicerna				Bisa dicerna					
1. Selulosa	Batang dan daun sayuran;	-	Mungkin terbagi secara parsial menjadi glukosa oleh tindakan bakteri di dalam usus besar	1. Zat tepung dan dekstrin	dan Biji-bijian; sayuran (khususnya umbi dan tumbuhan polong)	Glukosa		Kelompok yang paling penting dalam kuantitatif, biasanya diiringi dengan beberapa maltose	
2. Hemiselulosa	Lapisan luar biji								
3. Pektin	Buah	-	Zat-zat ini memiliki afinitas untuk air, membentuk kelompok, menurunkan waktu pengosongan	2. Glikogen	Produk daging dan hidangan laut	Glukosa			
4. Getah dan mucilage	Sekresi tanaman dan alga			Disakarida dan oligosakarida					
			lambung, dan bisa mengikat asam empedu.	1. Sukrosa	Gula tebu dan gula bit, tetes tebu, dan sirup maple	Glukosa dan fruktosa			
5. Zat alga	Rumput laut dan alga	-		2. Laktosa	Susu dan produk susu	Glukosa dan galaktosa			
Dicerna secara parsial				3. Maltosa dan maltotriose	dan Produk gandum, beberapa sereal sarapan	Glukosa			
1. Inulin	Jerusalem artichokes, bawang merah, bawang putih, dan jamur	Fruktosa	Pencernaan tidak sempurna; pembelahan selanjutnya oleh bakteri bisa terjadi di dalam usus besar; mungkin menjadi produksi kentut dari raffinose dan stachyose	4. Laktulosa	Produk sintetis	Tidak termetabolis	Tidak muncul dalam makanan; simetis, tidak		
2. Galaktosa	Keong	Galaktosa							
3. Mannosan	Kacang polong	Mannosa							
4. Raffinose	Gula bit, kacang merah,	Glukosa,							

Monosakarida

Hexoses

1. Glukosa	Buah, madu, sirup jagung	Glukosa	Di dalam buah dan sayuran, kandungan glukosa dan fruktosa tergantung pada
Sorbitol*	Buah, sayuran, produk diet		

2. Fruktosa	Buah, madu	Fruktosa	kematangan spesies dan pemeliharaan
3. Galaktosa		Galaktosa	
4. Mannose		Mannose	
Mannitol*	Nanas, buah zaitun, asparagus, ubi, wortel, dan produk diet		

Pentoses

1. Ribose	-	Ribose	Ribose, xylose, dan arabinose tidak terjadi dalam bentuk bebas di dalam makanan. Semuanya didapatkan dari pentosa buah dan dari asam nukleat produk daging dan hidangan laut.
2. Xylose	Buah, sayur, sereal, jamur, rumput laut, permen karet diet, dan produk diet lainnya	Xylose	
Xylitol*			
3. Arabinose	-	Arabinosa	



Tabel 3.2 Rasa manis gula dan pemanis buatan (Ettinger S. dalam Mahan LK, Stump SE, Raymond JL, 2011)

Gula atau produk gula	Nilai rasa manis	Pemanis buatan	Nilai rasa manis
Levulosa, fruktosa	173	Siklamat (dilarang di AS)	30
Invert sugar	130	*Aspartam (Nutra-Sweet)	180
Sukrosa	100	Acesulfame-K (Sunette)	200
Glukosa	74	Sakarín (Sweet 'n Low)	300
Sorbitol	60	Sukralosa	600
Mannitol	50	Alitame (menunggu persetujuan)	2000
Galaktosa	32		
Maltosa	32		
Laktosa	16		

* Bergizi (mempunyai kalori)

2. Disakarida

Senyawa terdiri dari ikatan dua monosakarida dan merupakan karbohidrat simpleks atau gula sederhana →

- **Sukrosa** → (glukosa-fruktosa) → paling banyak terdapat dalam makanan, seperti pada tebu, gula bit, gula merah, sirup *maple*, nenas dan wortel.
- **Laktosa** → glukosa-galaktosa → merupakan gula susu dan paling tidak manis diantara golongan disakarida, sekitar seperenam kali dibanding sukrosa → jenis gula di dalam air susu, baik susu ibu maupun susu hewan.



- **Maltosa** → glukosa-glukosa → merupakan produk hasil hidrolisasi dari pati yang banyak ditemukan dalam sereal.

Sukrosa dan maltosa terutama terdapat di dalam bahan makanan nabati.



3. Di- dan oligosakarida

Oligosakarida adalah polimer dengan bobot molekul rendah yang mengandung 2 hingga 20 molekul gula.

Oligosakarida yang tidak bisa dicerna masih tahan dengan asam lambung, amilase dan enzim hidrolitik usus dan kemudian masuk ke dalam usus besar serta bisa difermentasikan oleh bakteri → sering kali diiringi oleh keluhan gas dan kembung.



- Raffinose*, yang ditemukan di dalam gula bit adalah trisakarida yang terbuat dari galaktosa-glukosa-fruktosa.
- Strachyose*, tetrasakarida yang terdiri dari dua galaktosa, satu glukosa, dan satu fruktosa, ditemukan dalam sayuran seperti tumbuhan polong dan labu



Karakteristik di- dan oligosakarida spesifik

- Sukrosa (gula biasa, gula tebu, gula bit, gula anggur) dibentuk oleh glukosa dan fruktosa yang dihubungkan bersama oleh karbon aktifnya (Glc1-2Fru).
- *Gula campuran* digunakan secara komersial karena lebih manis daripada sukrosa dengan konsentrasi yang sama.
- Glukosa dan fruktosa juga membuat kristal yang lebih kecil daripada sukrosa



- Laktosa (*gula susu*) terbuat dari kelenjar susu sebagian besar hewan menyusui, tidak terlalu bisa larut daripada disakarida lainnya dan hanya sekitar seperenam manisnya glukosa



4. Polisakarida – zat tepung/pati

Polisakarida merupakan molekul yang sangat besar, pemecahannya di usus memerlukan waktu yang lebih lama dibanding mono- dan disakarida, sehingga tidak akan menaikkan kadar gula darah dengan cepat.

→ mengonsumsi pati merupakan cara yang baik dan sehat dalam mendapatkan energi daripada mengonsumsi karbohidrat simpleks.

Tidak ada polisakarida hewani yang tidak dapat dicerna oleh tubuh manusia.



- Amilosa dan amilopektin merupakan polisakarida terbanyak dalam makanan
- Amilopektin lebih cepat dicerna, sehingga dianjurkan pada individu yang mempunyai masalah dalam mengontrol gula darah, seperti penderita Diabetes mellitus atau Glycogen Storage Disease (GSD).
- Di samping itu, kecepatan pemecahan pati dipengaruhi oleh pemrosesannya (*processing*) yang dapat merubah susunan unit gula sehingga menjadi lebih mudah dipecah.



→ Dampaknya adalah pati dalam makanan yang sudah diproses akan lebih cepat meningkatkan kadar gula darah mirip dengan disakarida, karena itu bagi yang bermasalah dengan pengontrolan gula darah lebih dianjurkan untuk mengonsumsi pati yang belum diproses.



Karakteristik zat tepung khusus

- *Biji zat tepung* dibungkus oleh dinding selulosa yang keras pada tanaman dan tidak bisa dicerna pada enzim pencernaan. Ini juga menyangkut kemampuan cerna yang buruk dari kentang dan biji mentah.
- *Zat tepung yang bertahan* mempertahankan perpecahan enzim dari pemasakan atau pemrosesan dan sulit dicerna.



- *Zat tepung berlilin* didapatkan dari jagung dan biji beras yang dipertahankan untuk mengandung persentase rangkaian amylopectin bercabang yang lebih besar.
- *Zat tepung makanan yang dimodifikasi* secara kimia atau secara fisik dimodifikasi untuk mengubah viskositas pastanya yang panas, kemampuan untuk mengeras, dan sifat-sifat tekstur lainnya.



- Pada hewan, karbohidrat disimpan dalam bentuk glikogen yang mengandung air dan membuat glikogen menjadi molekul yang besar dan sulit untuk digunakan, tidak sesuai untuk penyimpanan energi jangka panjang.
- Beberapa hormon pengontrol gula darah antara lain:
 - Insulin : peningkatan dalam tingkat penggunaan glukosa untuk oksidasi, glikogenesis, dan lipogenesis → Penyebaran glukosa dengan bantuan ke dalam otot dan sel adiposa meningkat, glukosa disimpan sebagai glikogen di dalam liver dan sel otot, dan pengeluaran glukosa oleh sel adiposa dan sel liver untuk perubahan menjadi lemak juga meningkat.



- *Glukagon* → peningkatan jumlah gula di dalam darah dengan meningkatkan glikogenolisis dan glukoneogenesis dan mendorong pelepasan insulin dari pankreas
- *Epinefrin* → menyebabkan kerusakan glikogen liver dan otot untuk menghasilkan glukosa darah (*glikogenolisis*) dan menurunkan pelepasan insulin dari pankreas, sehingga meningkatkan gula darah.



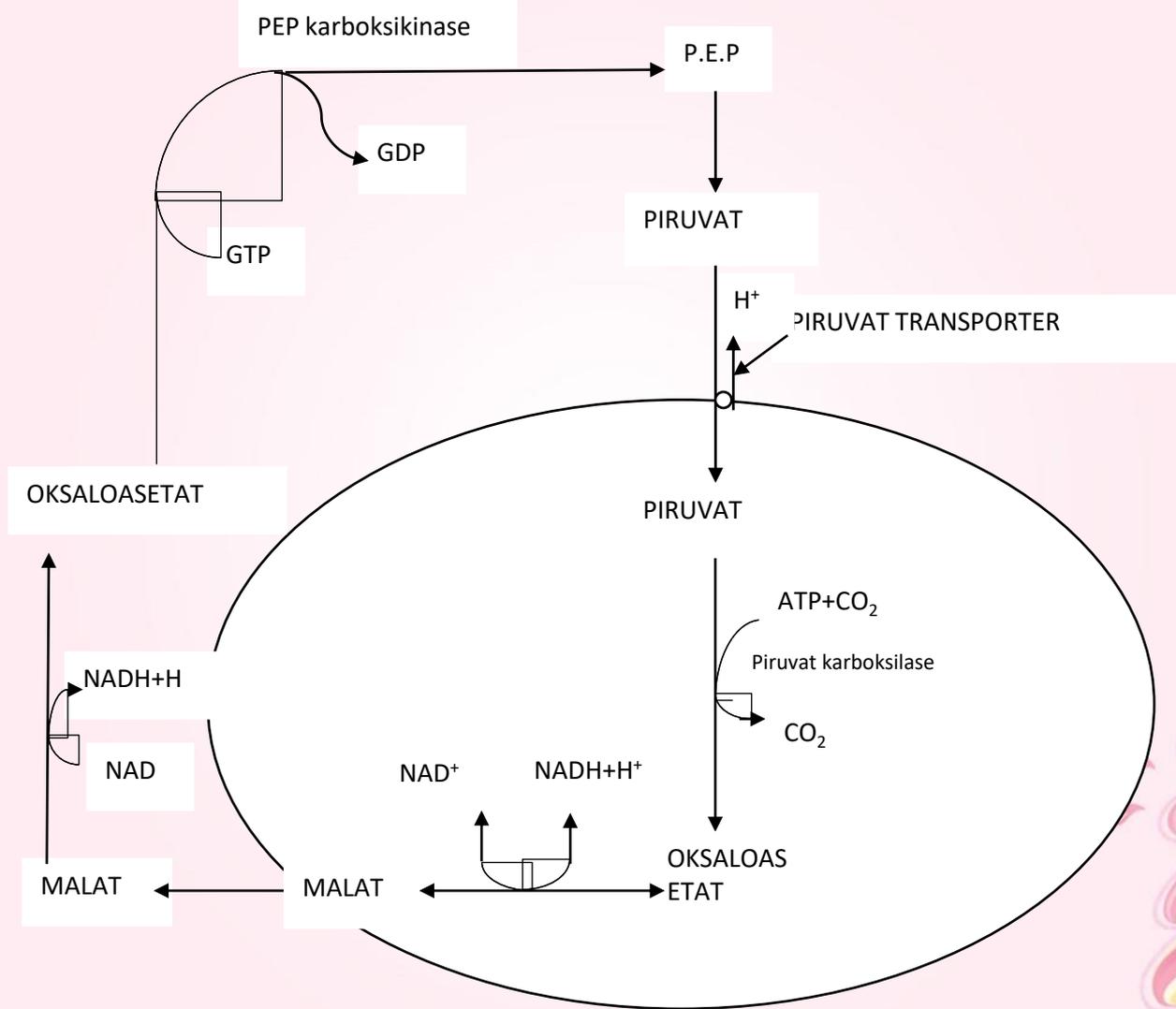
- *Glukokortikoid* → menstimulasi glukoneogenesis. Hormon ini menurunkan penggunaan glukosa dan juga meningkatkan perubahan protein menjadi glukosa, sehingga menetralkan tindakan insulin
- *Hormon pertumbuhan* → meningkatkan tingkat glukosa darah dengan meningkatkan pengeluaran asam amino dan sintesis protein oleh semua sel, mengurangi pengeluaran glukosa sel, dan meningkatkan mobilisasi lemak untuk energi.



Glukoneogenesis

- Reaksi yang merubah senyawa bukan karbohidrat menjadi karbohidrat (glukosa).
- Peranan fisiologis dari jalur ini adalah untuk mempertahankan kadar glukosa darah pada saat masukan glukosa darah rendah
- Pada mamalia proses glukoneogenesis terjadi didalam jaringan hepar dan ginjal.





SERAT

- Merupakan suatu polisakarida atau karbohidrat kompleks, hanya unit gula pada serat tidak dapat dicerna oleh tubuh dan sampai di kolon dalam keadaan utuh.
- Masa transit yang cepat membantu mempercepat pengeluaran sisa makanan dan toksin sehingga mencegah konstipasi



- Serat terdapat pada sayuran, biji-bijian dan kacang-kacangan
- Serat yang larut (kacang, gandum, buah, sayuran) mampu menghambat absorpsi glukosa dari usus halus.
- Diet mengandung 20g/hr serat terlarut dapat menurunkan kolesterol total dan LDL (asal diimbangi dengan minimal 50% KH) sehingga dianjurkan untuk pasien DM mengkonsumsi 20-35 g/hr serat.



TIDAK BISA LARUT

SELULOSA	HEMISELULOSA	LIGNIN
Tepung gandum utuh	Kulit padi	Sayuran dewasa
Kulit padi	Biji padi utuh	Gandum
Sayuran		Buah dan biji yang bisa dimakan, seperti strawbery

BISA LARUT

GUMS	PECTIN
Gandum	Apel
Tumbuhan polong	Jeruk
Guar	Strawbery
Beras belanda	Wortel

Karakteristik serat khusus

- *Pektin* ditemukan di dalam apel, jeruk, strawberi, dan buah-buahan lainnya, Struktur galakturonik menyerap air dan membentuk gel, membuatnya banyak digunakan untuk membuat selai dan jeli.
- *Gums* dan *mucilage* mempunyai struktur yang sama dengan pektin kecuali unit-unit galaktosa yang dikombinasikan dengan gula-gula yang lain (glukosa) dan polisakarida.



- *Lignin* adalah serat kayu yang ditemukan di batang dan biji buah dan sayuran dan di dalam lapisan kulit sereal
- *Alga polisakarida* diekstraksi dari rumput laut dan alga dan digunakan sebagai agen penebal dan penstabil pada beberapa makanan yang diproses.



Tabel 3.4 Kandungan serat diet makanan pada porsi yang umumnya disajikan (Ettinger S. dalam Mahan LK, Stump SE, Raymond JL, 2011)

Kelompok makanan	< 1 g	1-1.5 g	2-2.5 g	3-3.5 g	4-4.5 g	5-5.5 g	> 6 g
Roti (1 potong)	Begel White France	Gandum utuh	Bran muffin	NA ^t	NA	NA	NA
Sereals (1 ons)	Rice Krispies Special K Cornflakes	Oatmeal Nutri-Grain Cheerios	Wheaties Shredded wheat	Most Honey Bran	Bran chex 40% Bran Flakes Resin Bran	Corn Bran	All-Bran Bran Buds 100% Bran
Pasta (1 cup)	NA	Makaroni Spaghetti	NA	Spaghetti gandum utuh	NA	NA	NA
Beras (½ cup)	White	Brown	NA	NA	NA	NA	NA
Polong masak (½	NA	NA	NA	Lentils	Lima beans	NA	NA Kidney

cup)					Polong kering		eans Baked beans Navy beans
Sayuran (½ cup kecuali ditentukan)	Mentimun Selada (1 cup) Merica hijau	Asparagus Kapri Kubis Kembang kol Kentang tanpa kulit (1) Seledri	Brokoli Kecambah Wortel Jagung Kentang tanpa kulit (1) Bayam	Kacang polong	NA	NA	NA
Buah- buahan (1 buah medium kecuali kalau ditentukan)	Anggur (20) Semangka (1 cup)	Aprikot (3) Anggur (½) Buah persik tanpa kulit Nanas (½ cup)	Apel tanpa kulit Pisang Jeruk	Apel tanpa kulit Pir tanpa kulit Raspbery (½ cup)	NA	NA	NA

SUMBER KARBOHIDRAT

- Sumber energi terutama terdapat dalam bentuk zat tepung (amylum) dan zat gula (mono dan disakarida).
- Karbohidrat nabati di dalam makanan manusia terutama berasal dari timbunan, yaitu biji, batang dan akar.
- Karbohidrat hewani berbentuk glikogen, terutama terdapat di dalam otot (daging) dan hati.
- Namun demikian jumlahnya terbatas, dan setelah binatang mati, glikogen mengalami penguraian sehingga di dalam daging praktis menjadi nol, ketika sampai di dapur untuk dimasak.



- Kacang-kacangan juga mengandung banyak karbohidrat tetapi biasanya tidak dapat dikonsumsi dalam jumlah besar.
- Buah-buahan juga banyak yang tinggi kandungannya akan karbohidrat seperti pisang, nangka, durian, sawo dan sebagainya.



Penentuan Karbohidrat di dalam Makanan

- Karbohidrat yang tidak dapat dicerna (berserat) dipergunakan dalam pembuatan makanan rendah kalori, untuk menurunkan berat badan atau makanan bagi para penderita penyakit diabetes mellitus → memberikan rasa kenyang tanpa disertai kandungan energi tinggi di dalam hidangan tersebut.



Fungsi Karbohidrat

- Fungsi karbohidrat di dalam Tubuh

Karbohidrat merupakan salah satu sumber utama energi. Karbohidrat yang tidak dapat dicerna, memberikan volume kepada isi usus, rangsangan mekanis yang terjadi, dan melancarkan gerak peristaltik.

Fungsi karbohidrat di dalam sel terutama sebagai penghasil energi, dan di dalam hati dipergunakan pula untuk detoksifikasi zat-zat toksik tertentu.



- Fungsi Karbohidrat di dalam Hidangan

ATP dan Creatinphosphat merupakan metabolit berenergi tinggi sebagai timbunan energi yang siap pakai, dengan perbedaan bahwa energi dari ATP dapat langsung diberikan kepada reaksi biokimia yang memerlukannya, sedangkan energi dari phosphocreatin harus diberikan dahulu kepada pembentukan ATP, dan baru kemudian diteruskan kepada reaksi yang memerlukannya



Gula alternatif adalah bahan pemanis selain sakarosa. Ada 2 jenis gula alternatif yaitu:

1. Gula alternatif berkalori adalah fruktosa(tidak dianjurkan), gula alkohol berupa sorbitol, manitol, isomalt, lactitol dan xylitol.
2. Gula alternatif tidak berkalori adalah aspartam, acesulfame potassium, sukralase, neotame dan sakarin.

Fruktosa dalam jumlah 20% dari kebutuhan energi total dapat meningkatkan kolesterol dan LDL sedangkan gula alkohol dalam jumlah berlebihan mempunyai pengaruh laksatif.

Penggunaan gula alternatif hendaknya dalam jumlah terbatas.



METABOLIME KARBOHIDRAT

- ✓ Pada prinsipnya metabolisme untuk memenuhi kebutuhan dan mengendalikan kadar glukosa darah tetap dalam batas normal. Pada keadaan segera setelah makan (post absorptip) glukosa yang masuk ke hepar **sebagian besar** akan berubah menjadi **glikogen**.
- ✓ Ada yang disintesa menjadi **asam amino** untuk memenuhi kebutuhan asam amino non esensial



- ✓ Sebagian yang lain dirubah menjadi **asam lemak** → triasil – gliserol (TG) komponen utama dari Very Low Density Lipoprotein (VLDL)
- ✓ Sebagian **dioksidasi** untuk menghasilkan energi untuk memenuhi kebutuhan hepar sendiri.
- ✓ Dijaringan otot skelet → bila tidak sedang bekerja (exercise) glukosa akan disimpan sebagai glikogen, jika dibutuhkan akan diubah menjadi energi.



- ✓ Jaringan otak → glukosa merupakan sumber utama energi serta bahan baku untuk sintesis α - Ketoglutarat untuk eliminasi NH_3 limbah metabolisme asam amino yang toksik bagi sel saraf.
- ✓ Dalam sel darah merah → glukosa merupakan satu-satunya sumber energi selain menjadi sumber Bi-Phospho-Glisarat (BPG) dan sebagai sumber NADPH yang penting untuk melindungi sel darah merah dan serangan radikal bebas yang setiap saat dapat terbentuk pada saat oksigenasi.
- ✓ Jaringan lemak (adiposa tissue) → seluruh molekul glukosa dapat diubah menjadi lemak (triasil-gliserasol = TG) untuk disimpan sebagai cadangan energi.



Perjalanan Karbohidrat dalam Tubuh

Karbohidrat → amilum oleh enzim amylase → satuan maltosa oleh ptyalin → bolus → gaster (tidak terjadi pemecahan) → duodenum → hidrolisis disakarida → monosakarida (glukosa, fruktosa, dan galaktosa) → absorpsi melalui sel epitel usus halus → sistem sirkulasi



- Kadar glukosa di dalam darah diatur secara otomatis oleh sel hati.
- Saat kadar glukosa darah meningkat, maka sel hati akan mengubahnya sebagian menjadi glikogen, jika menurun akan diubah menjadi glukosa lagi.
- Karbohidrat yang tidak dapat dicerna dan tidak dipecah oleh mikroflora usus, memberikan massa kepada tinja dan diekskresikan



Indeks Glikemik dan Beban Glikemik

- *Indeks glikemik* → tingkatan makanan berdasarkan pada respons glukosa darah setelah makan siang dibandingkan dengan referensi makanan.
- *Beban glikemik* → cara baru untuk menilai utuh dampak kuantitas dan kualitas (indeks glikemik) asupan karbohidrat terhadap kenaikan kadar gula darah postprandial.



Zat tepung memiliki indeks glikemik lebih tinggi dari buah, susu atau sukrosa.

Zat tepung dimetabolisme secara cepat dan 100% diubah menjadi glukosa, berbeda dengan sukrosa yang dimetabolisme menjadi glukosa dan fruktosa.

Fruktosa memiliki indeks glikemik rendah dan lambat disimpan di liver sebagai glikogen.



Pengaruh karbohidrat dan serat

- **Fisiologi manusia:** karbohidrat khusus tidak hanya mengatur seluruh dinamika energi tapi juga mempengaruhi proses penyakit.
- **Pengaturan glukosa dan indeks glikemik:** oligosakarida yang tidak bisa diserap akan menurunkan efisiensi hidrolisis enzim dan menurunkan glukosa memasuki aliran darah.



- **Lipid dan pengaturan lipid darah:**

- *Serat yang tidak bisa dilarutkan* mengikat chitin dan menurunkan penyerapan lemak dan kolesterol,
- *serat yang bisa dilarutkan* dapat menurunkan kolesterol LDL.



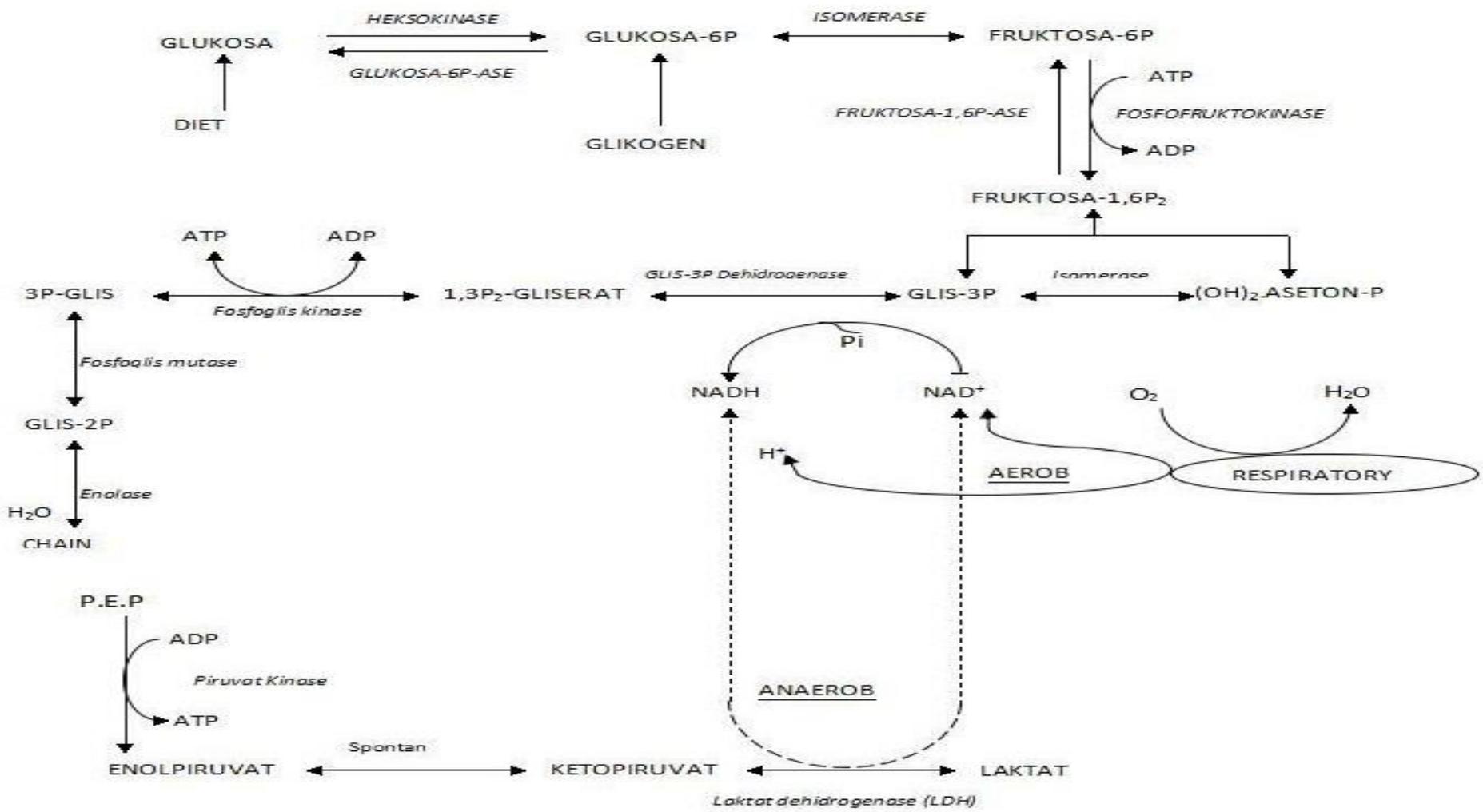
- **Pengaruh pada produksi asam lemak rangkaian pendek:**
 - 70% hingga 80% serat diet dimetabolis di dalam karbon menjadi karbon dioksida, hidrogen, metana, dan *asam lemak rangkaian pendek (SCFA)*.
- **Fungsi perlindungan:**
 - beberapa serat yang menyerap air, dimetabolisasi melalui bakteri usus, atau bertindak sebagai antioksidan untuk melindungi mukosa kolon



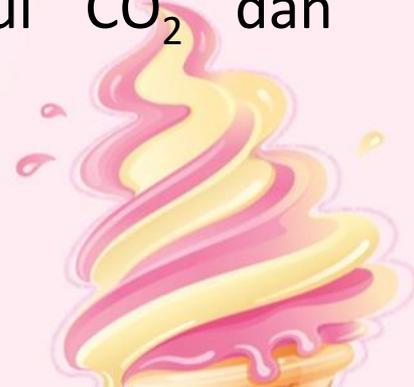
Tabel 3.5 Kandungan karbohidrat makanan (% bobot) (Ettinger S. dalam Mahan LK, Stump SE, Raymond JL, 2011)

Gula	Karbohidrat (%)	Zat tepung	Karbohidrat (%)
Manis terkonsentrasi	99.5	Produk biji-bijian	
Gula: tebu, bit, tepung, cokelat, maple	90-96	Zat tepung: jagung, tapioka, ararut	86-88
Permen	70-95	Sereal (kering): jagung, gandum, oat, kulit padi	68-85
Madu (ekstraksi)	82	Tepung: jagung, gandum (ayakan)	70-80
¶Sirup: campuran, tetes tebu	55-75	Popcorn (mengembang)	77
Selai, jeli, selai jeruk	70	Kue kering: biasa, macam-macam	71
Sayuran karbonat, manis	10-12	Kreker, rasa asin	72

Buah-buahan		Kue: biasa, tanpa icing	56
Prem, aprikot, ara (dimasak, tidak manis)	12-31	Roti: putih, gandum, gandum utuh	48-52
Pisang, anggur, ceri, apel, pir	15-23	Makaroni, spageti, mie, nasi (masak)	23-30
Segar: nanas, jeruk besar, jeruk, aprikot, strawberi	8-14	Sereal (masak), oat, gandum, jagung giling kasar	10-16
Susu		Sayuran	
Skim	6	Rebus: jagung, kentang putih dan ubi, lima dan polong kering, buncis	15-26
Utuh	5	Bit, wortel, bawang merah, tomat	5-7
		Daun-daunan: selada, asparagus, kubis, sayuran hijau, bayam	3-4



- Reaksi dikatalis oleh sekelompok enzim yang bekerja sama secara kompak & berurutan (sequential) disebut PIRUVAT DEHIDROGENASE KOMPLEKS.
- Enzim ini terletak didalam mitokondria
- Langkah awal → pengikatan piruvat oleh koenzym tiamin dofosfat (bentuk aktif vit. B₁) → sementara masih terikat oleh tiamin difosfat gugus karboksil dari piruvat dipotong oleh piruvat dehidrogenase → terlepas satu molekul CO₂ dan terbentuklah hidroksi-etil-tiamin.



SIKLUS ASAM SITRAT



SIKLUS ASAM SITRAT/ SIKLUS ASAM TRIKARBOKSLAT/SIKLUS KREBS

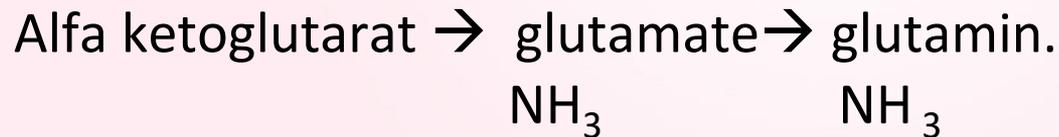
- rangkaian reaksinya membentuk lingkaran dan beberapa senyawa antaranya / anggota siklus mempunyai tiga gugus karboksilat (COOH) → siklus asam trikarboksilat
- senyawa yang terbentuk pertama kali adalah asam sitrat → siklus asam sitrat
- yang menemukan pertama kali tuan Kreb → siklus krebs



FUNGSI FISIOLOGIS SIKLUS AS.SITRAT

- Sebagai jalur bersama untuk oksidasi karbohidrat, protein dan lemak → memperoleh energy
- siklus asam sitrat ini merupakan jalur antara dalam konversi / perubahan dari karbohidrat menjadi protein atau lemak dan sebaliknya
- sumber untuk memperoleh alfa ketoglutarat, misalnya bagi sel otak alfa ketoglutarat penting untuk eliminasi NH_3 dari otak agar otak tidak keracunan ammonia.

- Reaksinya :



- dihepar → siklus asam sitrat → penting sebagai sumber asam aspartat yang diperoleh dari oksaloasetat, yang penting untuk siklus urea.
- Di ginjal → untuk memperoleh glutamin dalam rangka sekresi NH_4 oleh tubuli ginjal yang penting untuk mengendalikan pH urine.



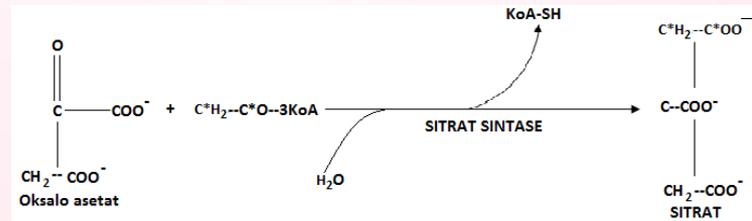
A. REAKSI DALAM SIKLUS ASAM SITRAT

SITRAT

1. Pembentukan Asam sitrat

1.1 oksaloasetat ----> sitrat.

Reaksi ini **dikatalis** oleh **enzim sitrat sintase** (=condensing enzyme).



- Pada reaksi ini terjadi hidrolisa ikatan tioester dari asetil – koA dan terlepas enersi berupa panas, dan keadaan ini mendorong reaksi berlangsung kearah pembentukan asam sitrat.
- Reaksi ini disamping merupakan awal dari siklus juga amat penting bagi konversi glukosa / karbohidrat lain menjadi asam lemak, sebab dinding mitokondria tidak permeabel untuk asetil-koA.



1.2 Reaksi sitrat → Isositrat

- Reaksi ini berlangsung dalam 2 tahap.

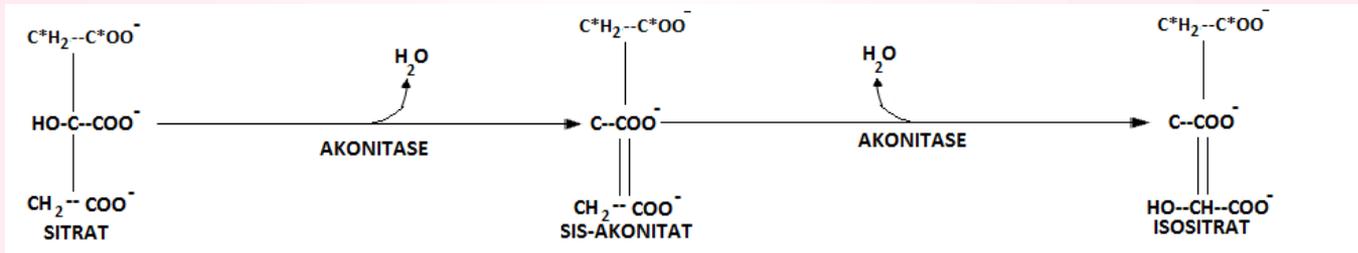
Tahap I : Sitrat mengalami dehidrasi → sis-akonitat

Tahap II : Sis-akonitat direhidrasi → isositrat

- Kedua reaksi ini dikatalis oleh enzim akonitase → suatu enzim yang mempunyai spesifitas yang amat tinggi dan bekerja asimetris, sehingga yang diolahnya selalu yang berasal dari oksaloasetat, dan dengan demikian CO_2 yang keluar dari siklus asam sitrat selalu berasal dari oksaloasetat



- Reaksi sitrat → Isositrat



1.3 Reaksi Isositrat → alfa-ketoglutarat

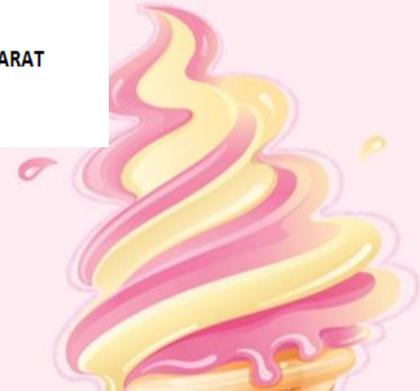
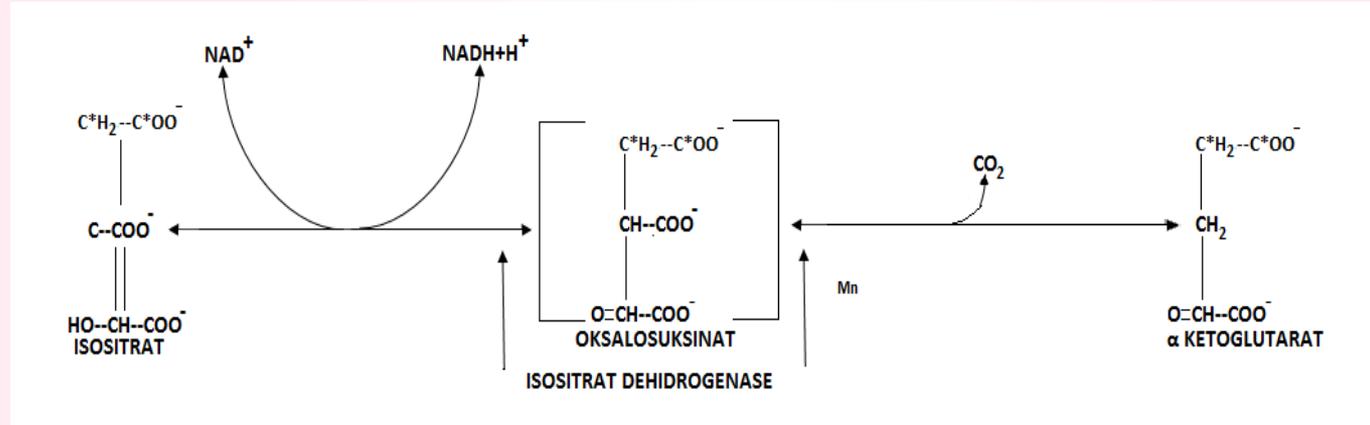
- Reaksi ini berlangsung dalam 2 tahap.

Tahap I : oksidasi isositrat → oksalosuksinat oleh enzim isositrat dehidrogenase

Tahap II : oksalo-suksinat didekarboksilasi (dilepas gugus karboksilnya) alfa-ketoglutarat oleh enzim isositrat dehidrogenase

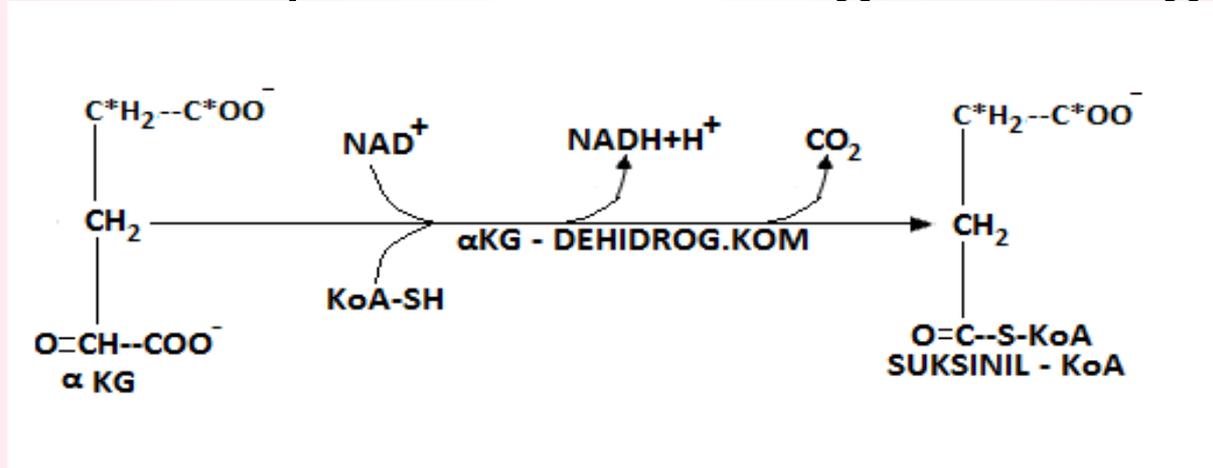


Reaksi Isositrat \rightarrow alfa-ketoglutarat



1.4 Reaksi Oksidasi alfa-ketoglutarat → suksinil-KoA

- Reaksi ini identik dengan reaksi piruvat →asetil-koA (dalam hal ini diganti dengan α KG).

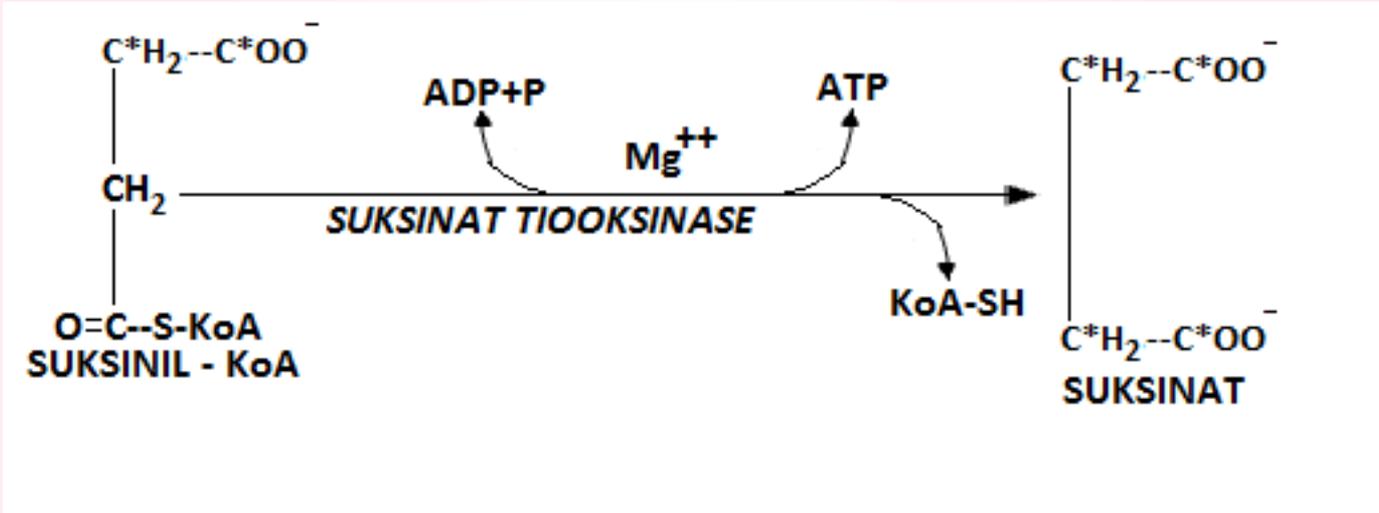


1.5 Reaksi suksinil KoA → Suksinat

- Suksinil-KoA merupakan senyawa tioester berenergi tinggi, mampu membangun ATP pada tingkat substrat.
- Hanya saja dalam reaksi ini yang berperan menangkap energinya bukan ADP melainkan GDP/IDP sehingga yang terbentuk langsung bukan ATP melainkan GTP/ITP tetapi keduanya identik dengan ATP.

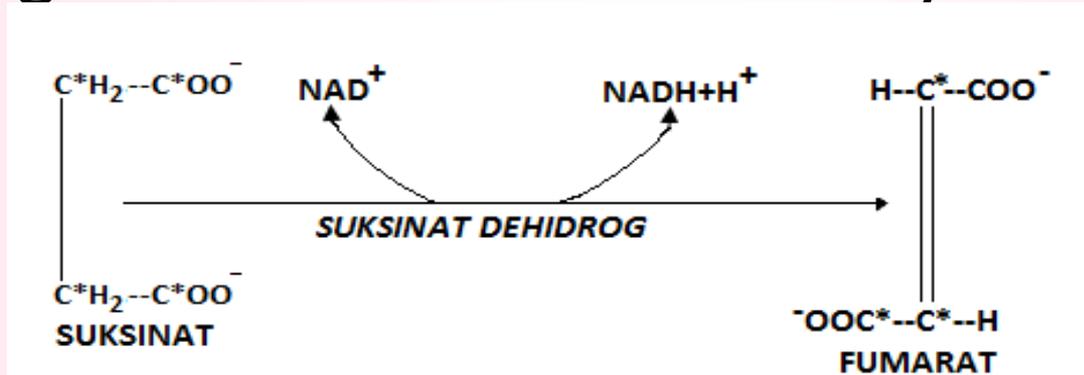


Reaksi suksinil KoA → Suksinat



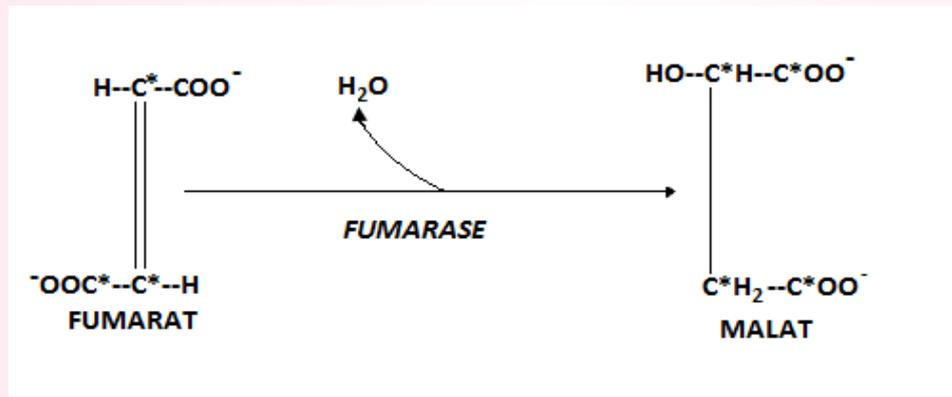
1.6 Reaksi Suksinat → Fumarat

- Reaksi ini dikatalis oleh enzim suksinat dehidrogenase, yang mempunyai keistimewaan yaitu sebagai koenzim / pengemban H^+ dan elektronnya FAD.



1.7 Hidrasi Fumarat → Malat

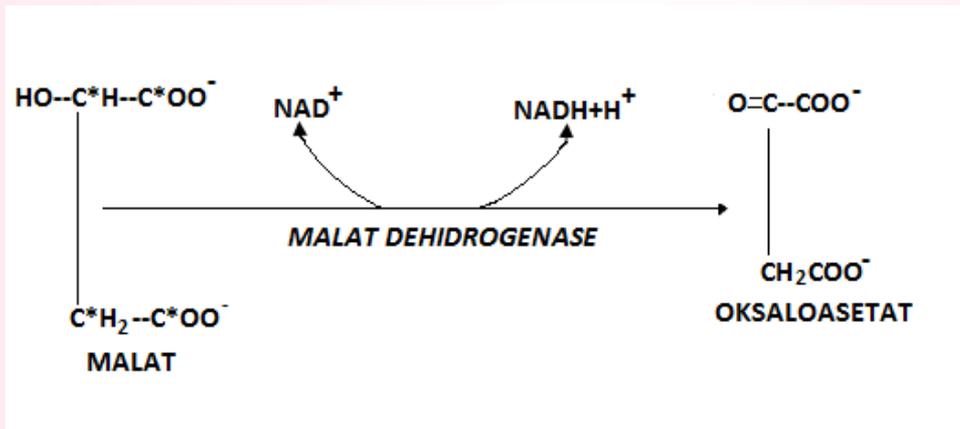
- Yang mengkatalis enzim fumarat hidratase yang disebut juga fumarase yang berfungsi menambahkan H₂O sehingga menghilangkan ikatan rangkap pada fumarat



1.8 Reaksi Oksidasi Malat →

Oksalo Asetat

- Merupakan reaksi tahap akhir dari siklus asam sitrat, dikatalis oleh malat dehidrogenase yang membutuhkan koenzim NAD^+ sebagai pengemban elektron dan H^+ .



- Kesetimbangan reaksi diatas sebenarnya lebih menjurus ke pembentukan malat, akan tetapi karena NADH segera berlanjut ke rangkaian oksidasi respirasi, maka sesuai dengan hukum aksi masa akan mendorong reaksi kekanan / kearah pembentukan oksaloasetat



ENERGI DARI SETIAP SIKLUS AS.SITRAT

Dari tingkat substrat : 1 ITP----- = 1 ATP

Dari oksidasi respirasi :

3 mol NADH + H⁺----- = 9 ATP

1 mol FADH + H⁺ ----- = 2 ATP

Jumlah = 12 ATP



Dengan demikian apabila 1mol glukosa dioksidasi sempurna menjadi CO_2 (dalam suasana aerob) akan menghasilkan enersi sebesar :

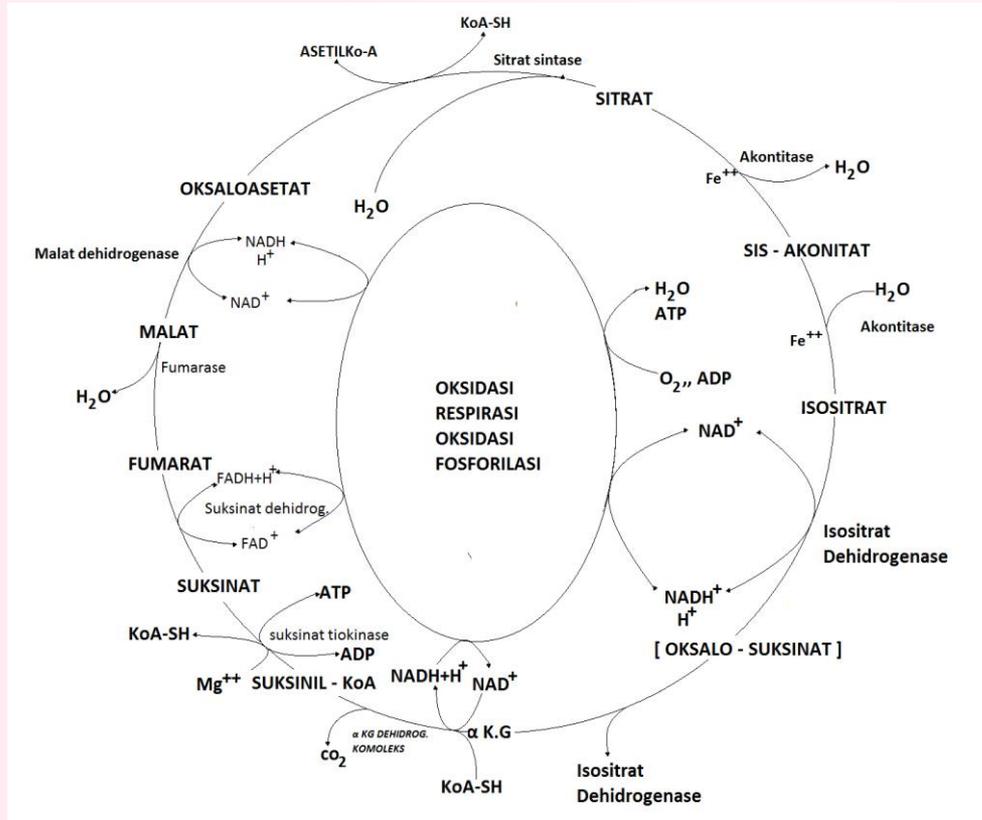
Dari jalur glikolisis : 1 ITP-----= 1 ATP

Dari oksidasi piruvat: 2 X 3 ----- = 6 ATP

Dari asam piruvat: 2 X 12 ----- = 24 ATP

Jumlah = 38 ATP





- Skema uraian siklus asam sitrat



Transpor glukosa di dalam darah terdapat dalam bentuk bebas, tidak terikat kepada ikatan kimia lain sebagai transpor carrier.



- Secara keseluruhan reaksi reaksi dari jalur glukoneogenesis dapat dipelajari dari diagram / skema diatas.
- Karena bahwa tidak semua reaksi dalam jalur gluconeogenesis harus melalui siklus asam sitrat.



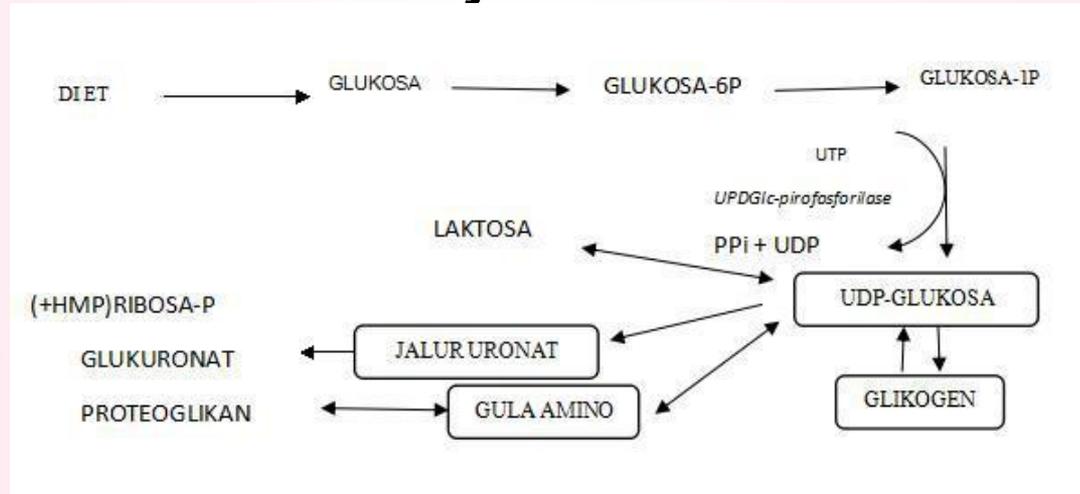
B. GLIKOGENESIS DAN GLIKOGENOLISIS

- Glikogen adalah bentuk polimer dari glukosa, merupakan polisakarida glukosa yang menjadi cadangan karbohidrat dalam tubuh.
- Glikogen terbanyak didapatkan pada hepar, 5-6% dari berat hepar adalah glikogen. Selain di hepar, disimpan juga didalam sel otot skelet, sel ginjal serta di jaringan lain.
- Cadangan glikogen dalam hepar akan habis setelah 12-16 jam pasca absorbs.

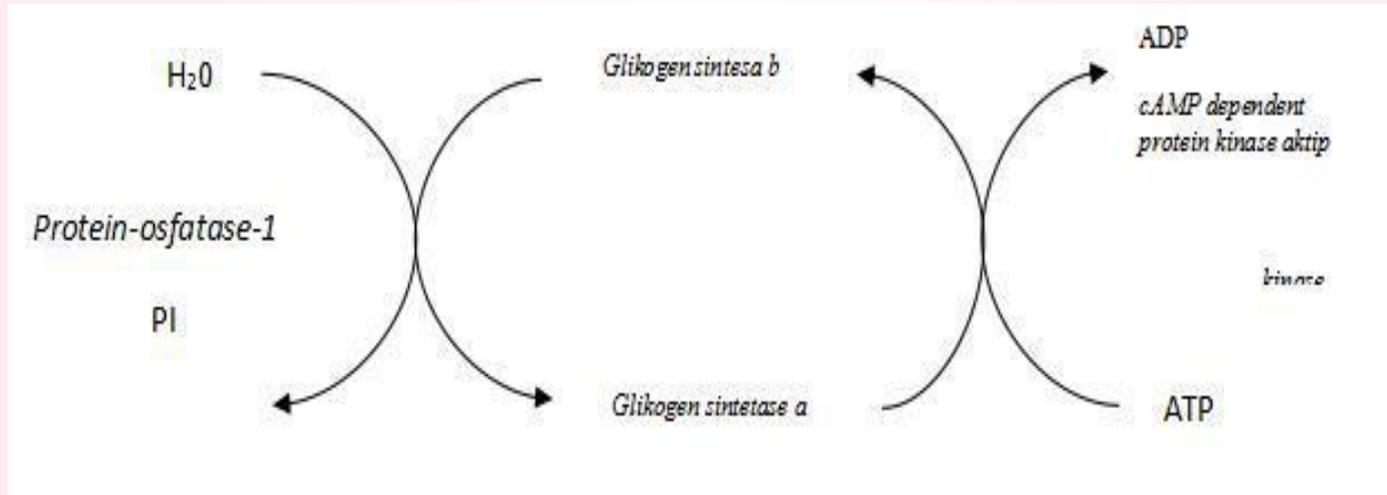


1. Glikogenesis

- Termasuk reaksi anabolisme/sintesa dari senyawa makro menjadi mikro.



- Enzim glikogen sintetase ini dapat berada dalam dua bentuk yaitu



Enzim protein kinase yang tergantung terhadap cAMP hanya aktif apabila ada cAMP, yang berasal dari ATP yang diolah oleh enzim adenilat siklase, dan diurai lebih lanjut oleh enzim lain yaitu fosfodiesterase → 5 AMP tidak siklis dan tidak mempunyai aktifitas fisiologis lagi.



Kadar cAMP , dapat diatur melalui pengendalian enzim adenilat siklase atau fosfodiesterase.

Kadar cAMP akan meningkat apabila aktifitas enzim adenilat siklase meningkat , atau aktifitas enzim fosfodiesterase terhambat atau kedua hal ini terjadi bersamaan.

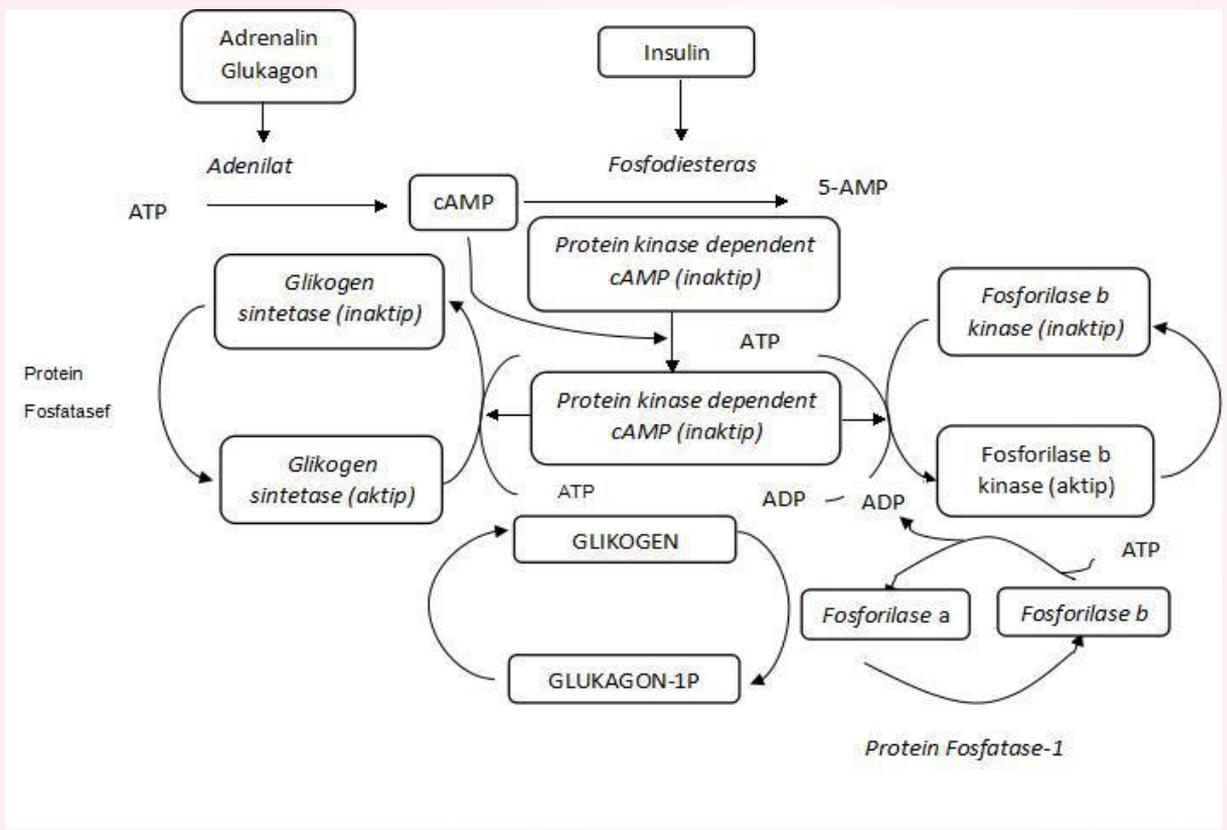
Hal yang sebaliknya akan menurunkan kadar cAMP dan dengan demikian juga akan menurunkan aktifitas enzim protein kinase yang tergantung terhadap cAMP.



2. Glikogenolisis

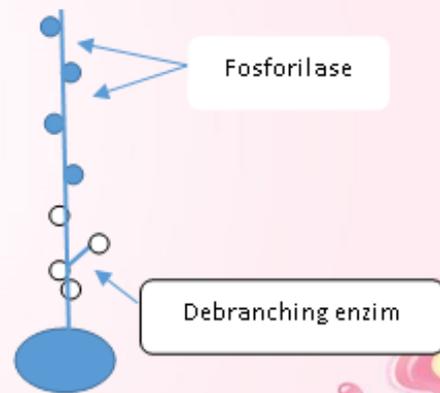
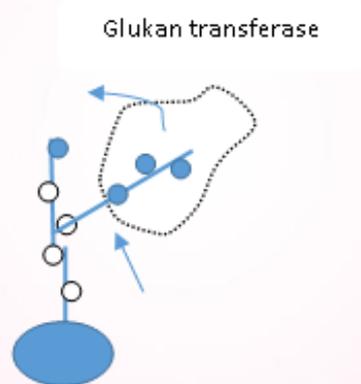
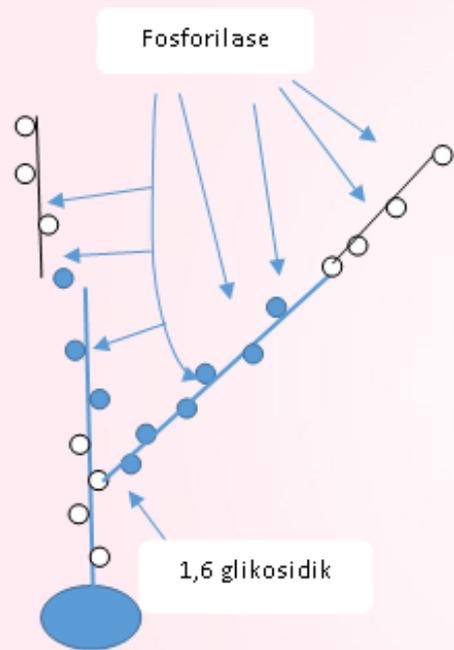
- Pengendalian glikogenesis dan glikogenolisis berjalan serentak dan saling berlawanan, dengan pengertian kalau glikogenesis dipacu pada saat yang sama glikogenolisis dihambat, sebaliknya bila glikogenolisis dipacu pada saat yang sama pula glikogenesis dihambat
- Hal ini dimungkinkan karena protein kinase yang tergantung terhadap cAMP yang berperan dalam aktipasi dan inaktipasi glikogen sintetase maupun fosforilase adalah satu enzim.





- Peranan enzim fosforilase adalah menghidrolisa ikatan 1-4 glikosidik mulai dari ujung luar sampai tinggal kira kira 4 unit glikosil dari percabangan, kemudian peranannya digantikan oleh 1-4 glukosiltransferase yang memindahkan 3 unit sisa glikosil ke ujung luar lagi, sehingga dengan demikian pada percabangan hanya tinggal tersisa satu unit glikosil.
- Hidrolisa glikosil unit yang terakhir pada percabangan inilah yang menjadi bagian / tugas dari debranching enzim. Lihat gambar berikut :





JALUR HEKSOSAMONOFOSFAT (= H.M.P).



c. Jalur Heksosamonofosfat (HMP)

- Disebut juga jalur pentose
- Jalur H.M.P ini bukan jalur untuk menghasilkan enersi (meskipun sebenarnya juga dapat menghasilkan enersi), melainkan mempunyai peran fisiologis khusus, yaitu :
 1. sumber NADPH → penting bagi reaksi reduksi (sintesa asam lemak, sintesa steroida, sintesa asam amino)
 2. sumber ribosa → salah satu komponen dari nukleotida (ATP , ITP , GTP , NAD dsb) dan asam nukleat (RNA dan DNA) yang penting dalam sintesa protein.
 3. sebagai sumber ribulosa bagi makhluk berkloroplast yang penting untuk proses fiksasi CO₂ pada reaksi fotosintesa



- H.M.P aktif bekerja di hepar, jaringan lemak, kelenjar mammae dan di korteks adrenal.
- Di hepar → sumber protein, lipoprotein dan kolesterol
- Di jaringan lemak → sintesa dan penimbunan as. Lemak
- Kel. Mammae → sintesa lemak susu dan laktogenesis
- Korteks adrenal → sumber hormone steroid



Reaksi reaksi dalam jalur H.M.P.

- Jalur H.M.P terjadi diluar mitokondria , reaksinya dapat dikelompokkan menjadi dua fase yaitu :

1.Fase oksidasi dekarboksilasi glukosa-6P-----> pentosa (ribulosa-5P)

2.Fase merubah kembali pentosa -----> glukosa



Reaksi dalam fase oksidasi dekarboksiliasi

- glukosa dioksidasi dalam dua tahap :
 1. glukosa-6P \rightarrow 6P-glukonat (lewat glukonolakton) oleh glukosa-6P dehydrogenase
 2. oksidasi dekarboksilasi 6P-glukonat \rightarrow ribosa-5P oleh 6P-glukonat dehidrogenase.
- Kedua enzim dehidrogenase ini aktifitasnya sangat tergantung terhadap ko-enzim NADP⁺ .



Reaksi dalam fase perubahan pentosa → glukosa

- Melibatkan dua enzim utama yaitu transaldolase dan transketolase.
- Digunakan hanya bila dibutuhkan NADPH nya.
- Menurut Williams ternyata ada dua tipe reaksi dalam fase ini,
 - a. Tipe F yang terjadi di jaringan lemak
 - b. Tipe L terjadi didalam hepar dan jaringan lain selain jaringan lemak. (hanya pada hewa, bukan pada manusia).



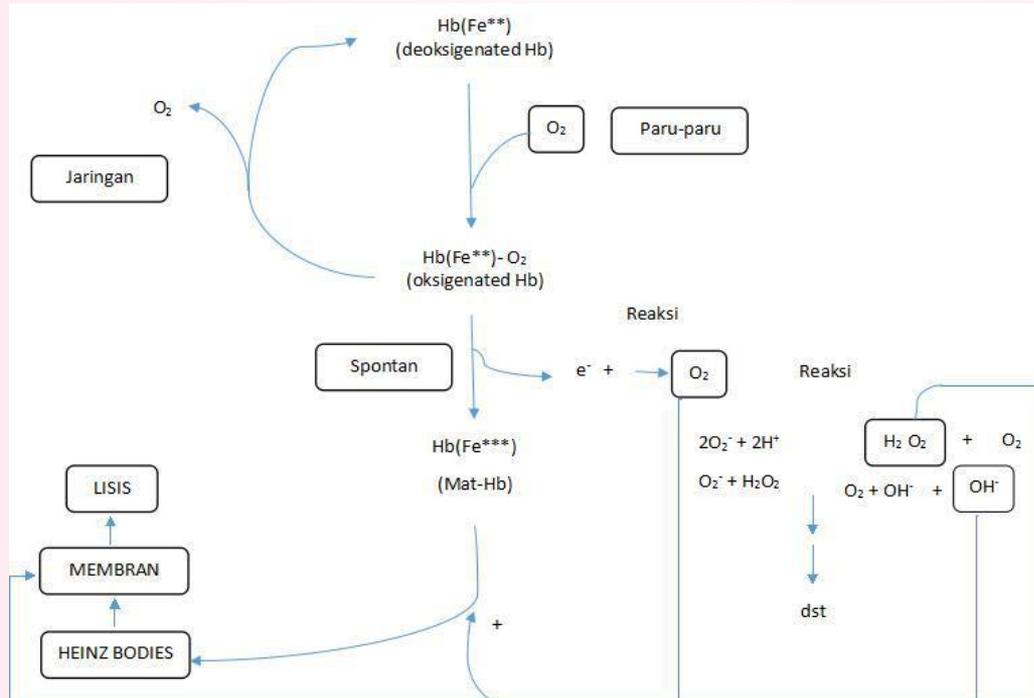
H.M.P shunt dan sel darah merah

- Jalur H.M.P amat penting yaitu untuk mereduksi glutathione teroksidasi (G-S-S-G) → bentuk tereduksinya yaitu 2G-SH
- G-SH penting sebagai salah satu pelindung sel darah merah terhadap oksidasi oleh R.O.S (reactive oxygen species).
- R.O.S ini dapat terbentuk dengan mudah serta mengikat Hb, mengandung Fe^{++} serta selalu berhubungan dengan oksigen.

Keadaan ini mudah sekali memicu reaksi Fenton sehingga mudah terbentuk **RADIKAL BEBAS**



Skema reaksi fenton → radikal bebas

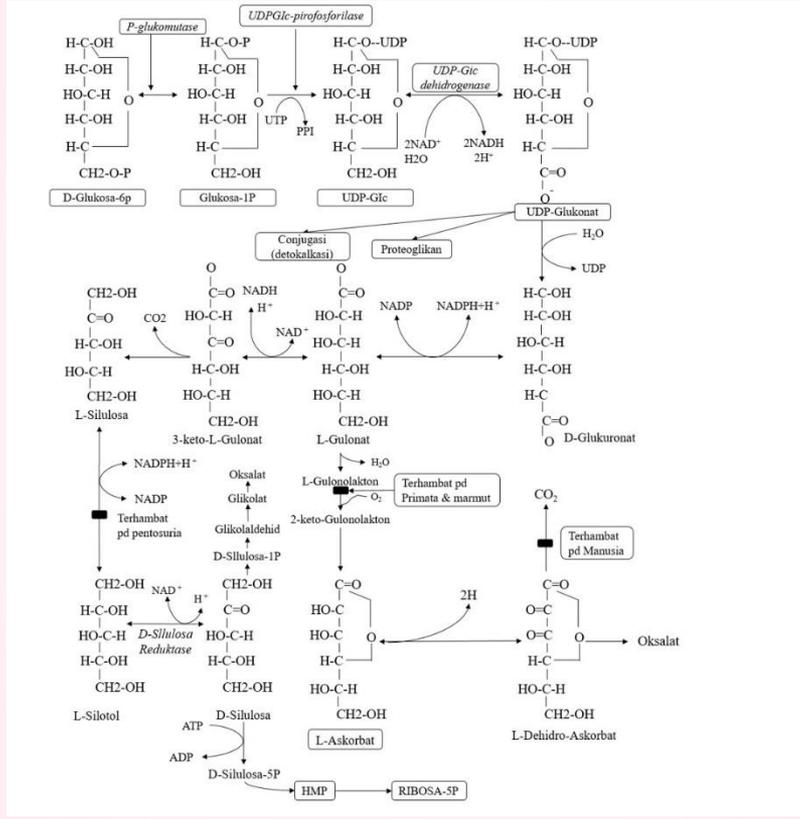


D. JALUR ASAM URONAT

- Fungsi fisiologis jalur ini adalah :
 1. sumber asam glukuronat yang penting untuk detoksikasi dengan cara conjugasi .
 2. Sumber pentose selain jalur H.M.P
 3. Sebagai sumber vitamin C bagi beberapa spesies, kecuali manusia.

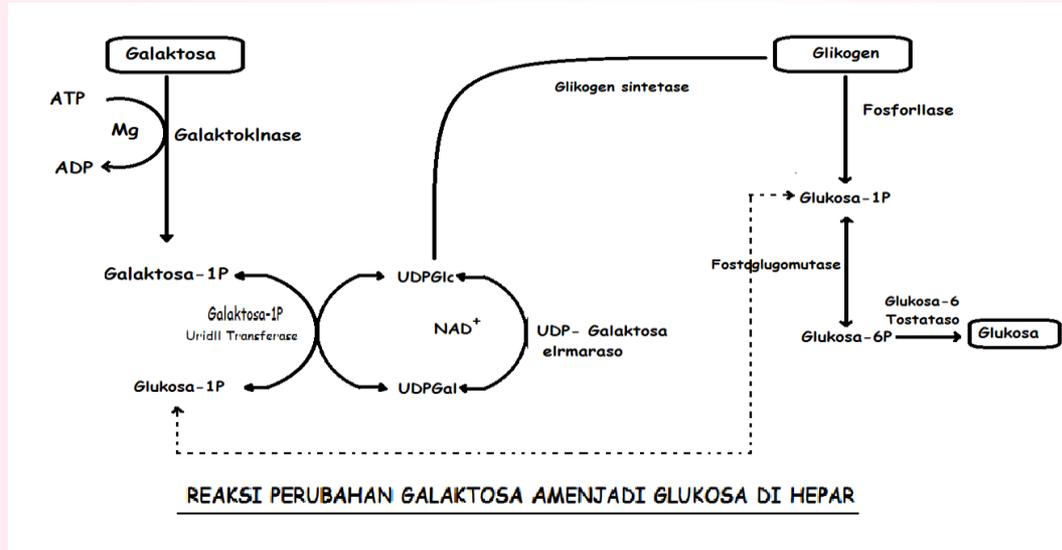


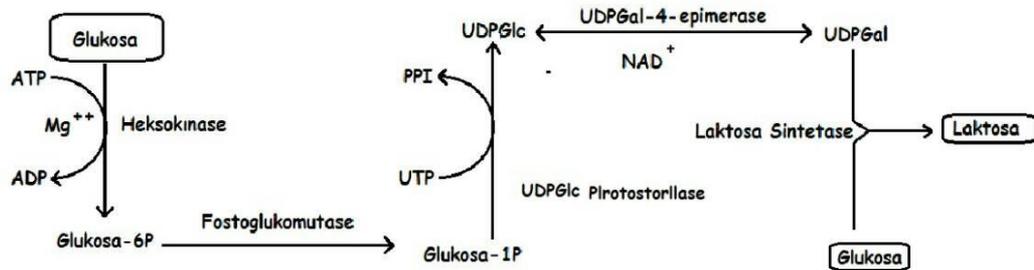
1. Rangkaian reaksi jalur uronat



Metabolisme Galaktosa dan Laktogenesis

- Galaktosa → Glukosa (di hepar)





REAKSI SUNTESA LAKTOSA DARI GLUKOSA



F. PENGENDALIAN METABOLISME KARBOHIDRAT.

□ Pengendalian reaksi secara umum

- Kalau ada rangkaian reaksi yang saling berkaitan :



- Maka kecepatan reaksi dapat dikendalikan melalui :

1. Kadar substrat (A)
2. Kadar produk (D)
3. Kadar dan aktifitas enzim (E)

- Dengan demikian maka pengendalian reaksi diatas / reaksi enzimatik , pada prinsipnya adalah dengan mengendalikan ketiga faktor diatas.



❑ Pengendalian kadar substrat.

- Dengan mengendalikan kadar substrat maka secara tidak langsung akan ikut mengendalikan kecepatan reaksi yang berkaitan dengan senyawa/substrat tersebut.
- Hk Massa :
“bila kadar substrat meningkat akan mendorong reaksi kekanan dan sebaliknya bila kadar substrat berkurang reaksi akan terhambat, bahkan dapat berbalik kekiri”



❑ Pengendalian kadar produk

- Pengendalian suatu jalur reaksi akan melibatkan lajunya jalur reaksi yang lain .
- Pengaruh kadar produk terhadap kecepatan reaksi enzimatik disamping melalui hukum aksi masa tersebut dapat pula langsung mempengaruhi aktifitas enzim melalui umpan balik (allosteric feed back inhibition).



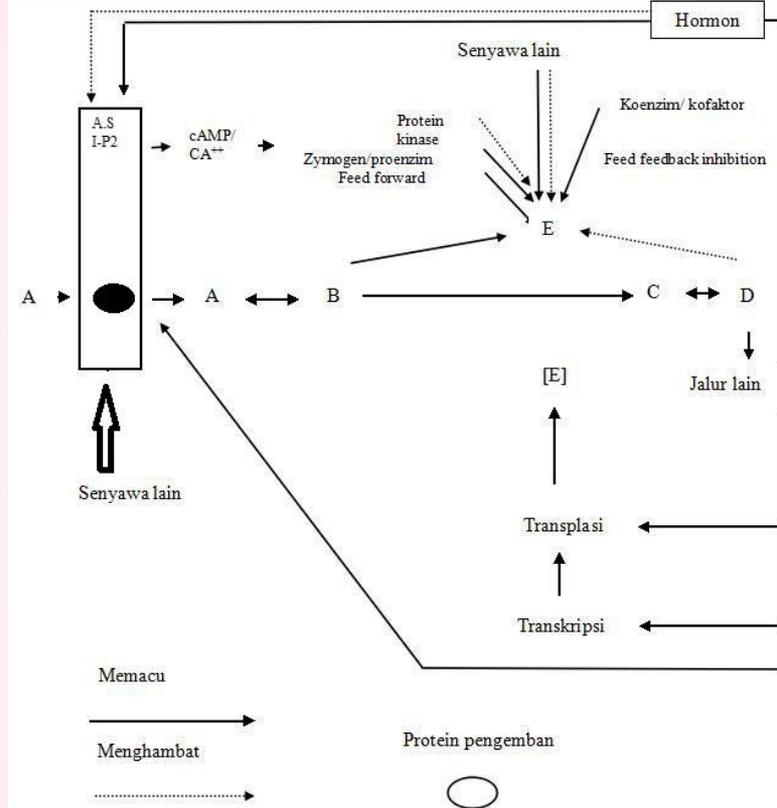
❑ **Pengendalian kadar dan aktifitas enzim**

- Pengaruh enzim dalam mengendalikan kecepatan reaksi dapat melalui pengaturan kadar enzimnya atau melalui pengendalian aktifitas dari enzim itu sendiri meskipun kadarnya tetap sama.
- Aktifitas enzim dapat dikendalikan dengan beberapa cara tergantung dari jenis / sifat enzimnya sendiri.



- Cara cara tersebut antara lain :
 1. Melalui aktifitas bentuk zymogen yang tidak / belum aktif ----> bentuk aktifnya
 2. Aktifasi langsung terhadap enzimnya sendiri.
Aktifitas / kecepatan reaksi enzim tergantung dari konfigurasi enzim terhadap substratnya. Makin sesuai / baik konfigurasinya makin baik / cepat reaksinya dan makin jelek konfigurasinya juga makin jelek / lambat reaksinya.





❑ **pengendalian metabolisme karbohidrat intraseluler**

Dari sistem pengendalian intraseluler yang akan dibahas adalah pengendalian :

- a. Glikolisis
- b. oksidasi piruvat → siklus asam siitrat
- c. jalur HMP
- d. Glukoneogenesis
- e. jalur glikogenesis + glikogenolisis

Kesemuanya telah dibahas pada bagian awal pembahasan ini.

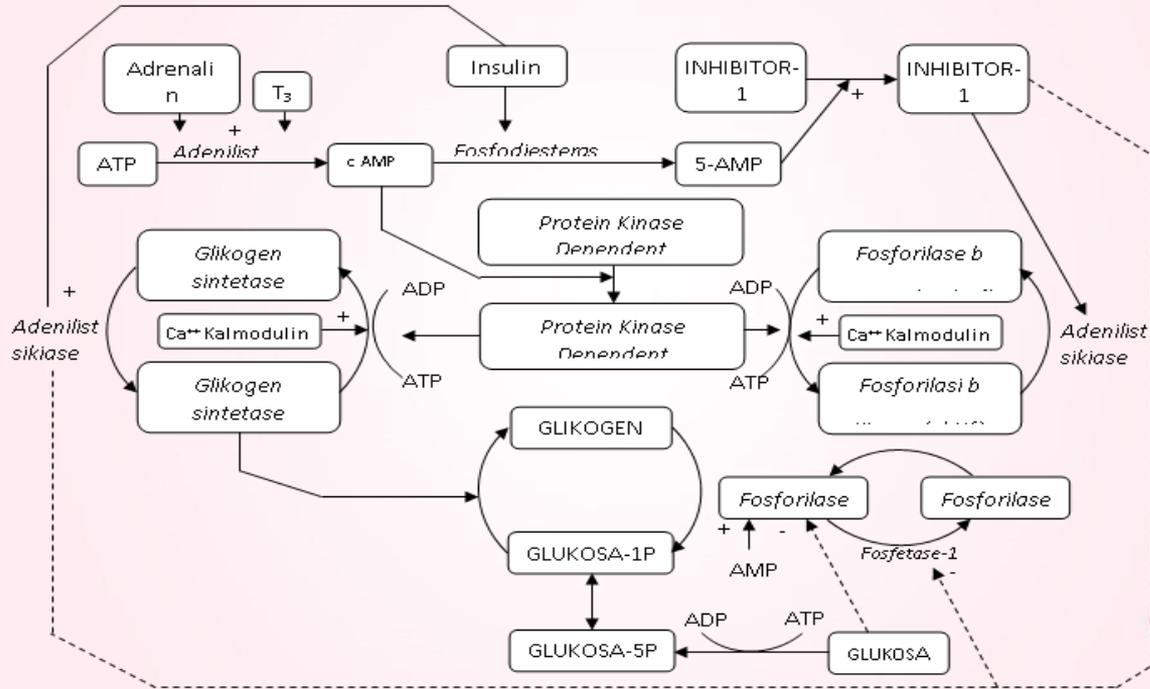


Pengaruh hormone dalam proses glikogenesis + glikogenolisis

1. **INSULIN** → meningkatkan glikogenesis dan menghambat glikogenolisis
2. **Adrenalin dan Noradrenalin** :
 - ✓ di otot skelet : mengaktifkan GTP shg memacu enzim adenilat siklase.
 - ✓ di hepar : meningkatkan Ca^{++} → mengaktifkan kalmodulin → glikogen sintetase non aktif → meningkatkan glikogenesis dan menghambat glikogenolisis.
3. **Glukagon** → bekerja di hepar dan jantung → meningkatkan glikogenesis dan menghambat glikogenolisis
4. **Tiroksin** → memacu sintesa adenilat siklase sehingga kadarnya meningkat dan hal ini akan juga meningkatkan sintesa cAMP dengan dampak seperti pengaruh adrenalin maupun glukagon.
5. **Glukokortikoid** → Meningkatkan glikogenesis di hepar dengan cara meningkatkan kadar glukosa dalam hepar melalui peningkatan gluconeogenesis

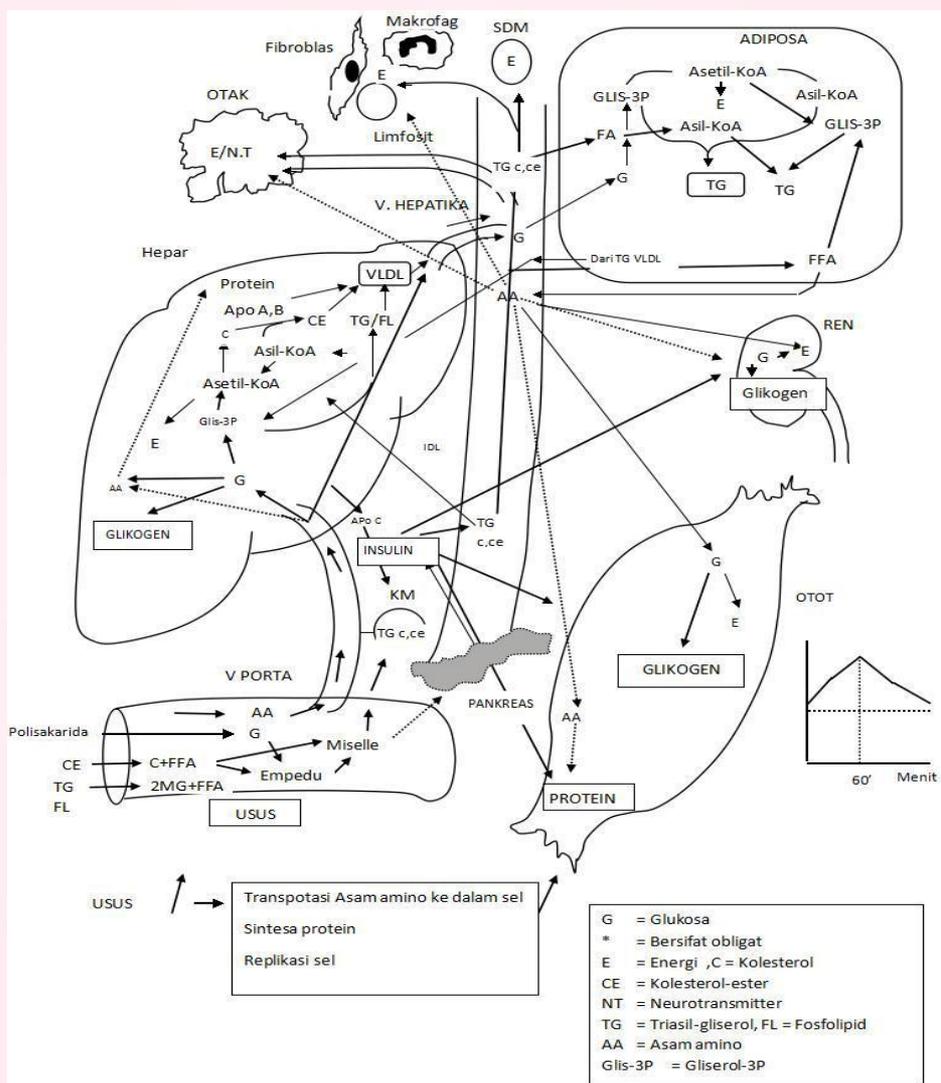


Pengendalian glikogenesis dan glikogenolisis secara keseluruhan dapat dilihat dari diagram berikut :



- kadar glukosa darah merupakan akibat dari kemampuan tubuh mengendalikan metabolisme karbohidrat baik intraseluler maupun antar organ.
- kadar glukosa darah pada keadaan tertentu menggambarkan kemampuan tubuh mengendalikan metabolisme karbohidrat atau yang lebih dikenal dengan kemampuan tubuh mentoleransi karbohidrat, dengan dasar pemikiran inilah munculnya tes toleransi glukosa (glukosa tolerance test)





G.TES TOLERANSI TERHADAP GLUKOSA

PRINSIP :

Memberikan input glukosa / karbohidrat dari luar, kemudian dianalisa kemampuan tubuh dalam menggunakan karbohidrat dengan jalan memantau kadar glukosa darah selama waktu tertentu , biasanya dipantau kadar glukosa darah saat puasa dan setiap 30 menit sejak pemberian glukosa / makan sampai dengan minimal 120 menit kemudian.



Pelaksanaan Tes Toleransi Glukosa

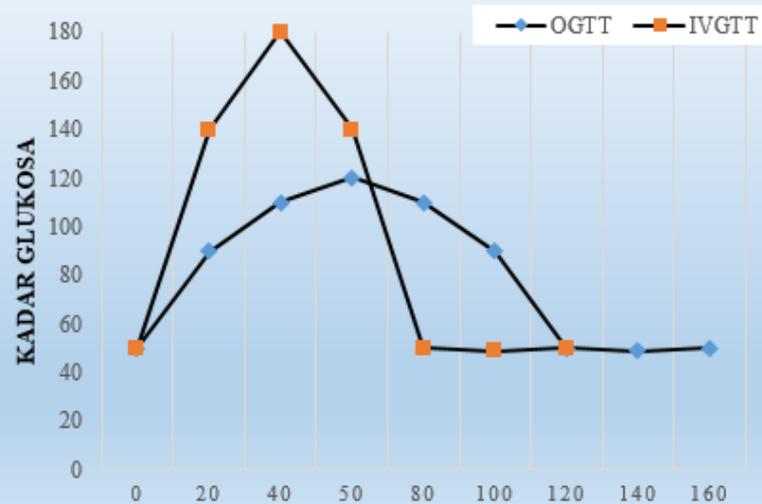
1. Penderita **diwajibkan puasa selama minimal 12 jam**, tidak boleh makan dan minum minuman yang mengandung gula atau senyawa lain.
 - ❑ Tujuan : supaya timbunan glikogen yang ada di hepar telah habis , sehingga gambaran metabolisme dalam tubuh dapat diperoleh secara menyeluruh termasuk kemampuan hepar dalam menimbun glikogen.



2. Dipersiapkan **3 hari sebelum puasa penderita dianjurkan makan makanan yang mengandung cukup karbohidrat** , agar tubuh telah menyesuaikan diri dengan karbohidrat.
3. Sebelum diberi glukosa → diambil dulu untuk mengetahui kadar glukosa puasa / basal → diberi glukosa sebanyak 1 (satu)-1,5(satu setengah)gram/kg berat badan atau praktisnya sekitar 75gram glukosa.
4. Pada sistem per intravena diberikan melalui suntikan intravena dalam bentuk larutan glukosa , kadar glukosa darahnya diukur kemudian dari hasilnya dibuat grafik .



TES TOLERANSI GLUKOSA



OGTT = Oral Glucose Tolerance Test

IVGTT = Intravenous Glucose Tolerance Test

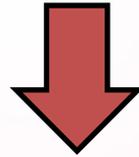
H. Kelainan Metabolisme KH

1. DM → defisiensi insulin
 - DMT-1 = IDDM
 - DMT-2 = NIDDM
- ❖ Defisiensi insulin akan mengakibatkan :
 - a. Enzim fosfodiesterase tidak ada yang memacu
 - b. Enzim fosfatase tidak ada yang memacu sehingga aktifitasnya rendah → proses glikogenesis terhambat sedangkan glikogenolisis meningkat.
 - c. Enzim kunci jalur glikolisis tidak ada yang menginduksi
 - d. jalur glukoneogenesis tidak ada yang mensupresi



Dampak akhir :

input glukosa darah (glikogenolisis hepar dan glukoneogenesis) **meningkat** sedangkan output glukosa darah (glikogenesis dan glikolisis di otot , lipogenesis di adiposa) **berkurang** sehingga mengakibatkan gula darah meningkat diatas batas normal dan dinamakan **HIPERGLIKEMIA**.



Meningkatnya viskositas darah sehingga mengganggu aliran darah serta tekanan osmosis cairan ekstraseluler lebih > cairan intraseluler → **dehidrasi**



I. Kelainan Metabolisme Lemak

- Insulin $\ll \rightarrow$ terhambatnya lipogenesis \rightarrow Aktivitas TG naik \rightarrow lipolysis meningkat \rightarrow mobilisasi FFA dari jaringan as.lemak \rightarrow hambatan pada jalur glikolisis dan sintesa FFA bertambah \rightarrow mendorong beta oksidasi di hepar sehingga asetil-KoA melimpah \rightarrow mendorong jalur jalur yang berbahan baku asetil-KoA \rightarrow .
- Akibatnya kolesterol dan benda keton (aseto asetat , betahidroksibutirat dan aseton) akan meningkat dan akan disekresikan kedalam darah maka kadar kolesterol dan benda keton dalam darah meningkat \rightarrow hiperkolesterolemia dan ketonemia.



- Hiperkolesterolemia → Atherosklerosis
- Ketonemia → Ketoasidosis
- Ketoasidosis dan dehidrasi → koma hiperglikemi



J. Kelainan Metabolisme Protein

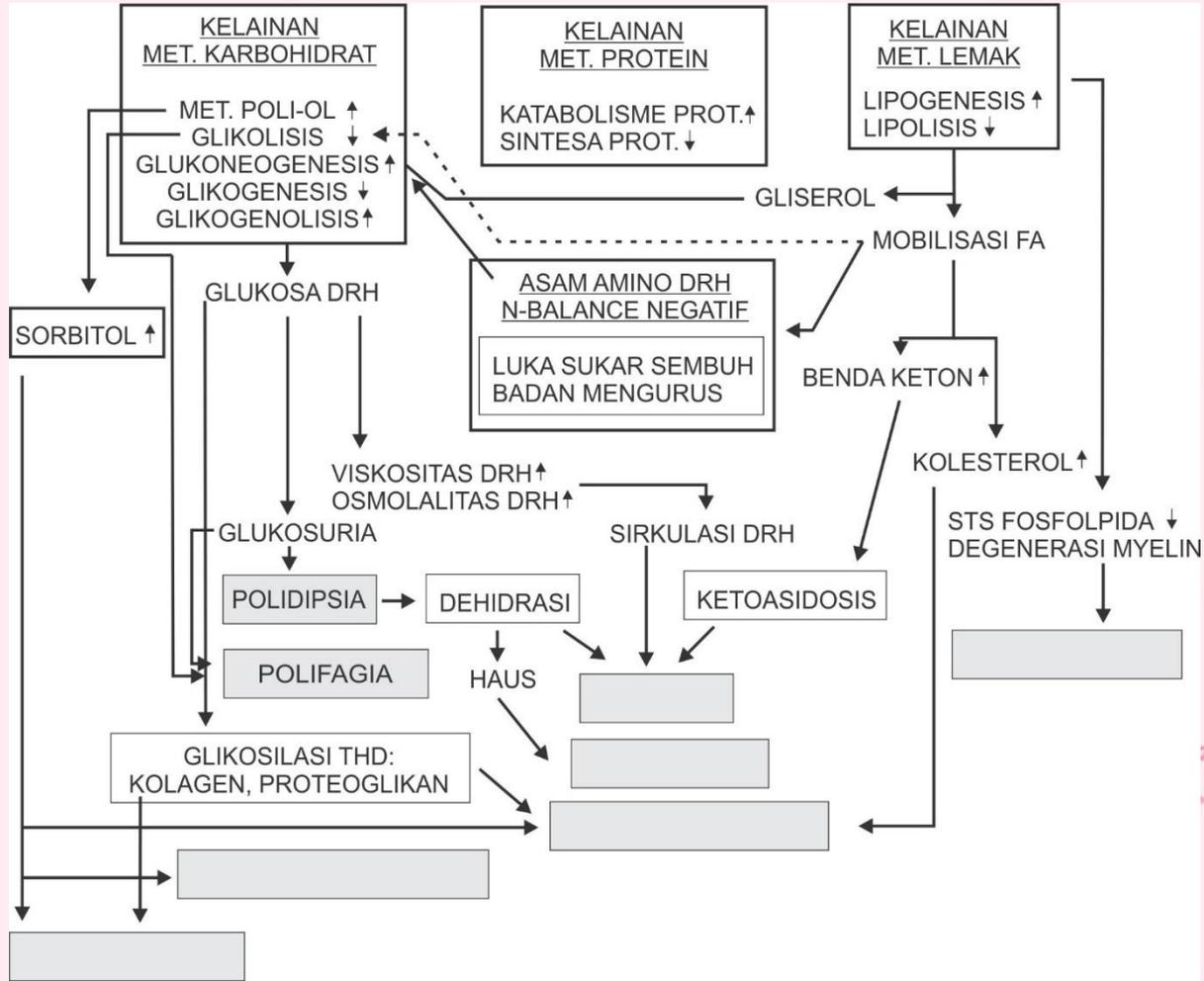
- Defisiensi insulin → fasilitas transport transmembran bagi asam amino berkurang → sehingga asam amino sulit memasuki sel → bahan baku untuk sintesa protein berkurang
- defisiensi insulin → berkurangnya pendorong proses transkripsi , translasi , replikasi maupun proliferasi sel → pertumbuhan jaringan akan terhambat → Luka pada DM sukar sembuh



Hubungan gejala klinik dengan kelainan metabolik pada penderita DM

- Dehidrasi mengakibatkan ras haus ----> minum banyak yang dinamakan polydipsia.
- Terhambatnya glikolisis dan oksidasi lebih lanjut untuk memperoleh enersi mengakibatkan ras lapar --> makan banyak yang dinamakan polifagia.
- Terhambatnya sintesa protein , replikasi dan proliferasi mengakibatkan sukarnya penyembuhan luka pada penderita DM
- Meningkatnya benda keton dalam darah (ketonemia) berakibat ketoasidosis, yang bila tidak segera ditanggulangi akan berakibat terjadi koma





LACTOSA INTOLERANCE (TIDAK TOLERAN TERHADAP LAKTOSA)

- Definisi
 - Suatu kelainan yang sering ditemukan pada anak-anak / bayi dengan gejala diarrhea (berak berak)
- Etiologi

adalah tidak tercernanya laktosa sebagai akibat dari insufisiensi laktase baik primer yang biasanya karena keturunan, atau sekunder karena adanya kelainan mukosa usus : sprue , kolitis , gastrointestinalis dan sebagainya



Dampak tidak tercernanya laktosa

- Banyaknya laktosa didalam lumen usus menyebabkan tekanan osmosa cairan dalam lumen lebih besar daripada didalam sel mukosa → air yang tertarik kedalam lumen usus → masa feces menjadi encer sampai diarrhea.
- Oleh aktifitas mikrobakteria yang ada didalam lumen usus laktosa mengalami fermentasi yang disamping menghasilkan gas CO_2 , metan (CH_4) juga menghasilkan bahan yang bersifat iritan.



Kelainan metabolisme karbohidrat yang lain

1. Glikogenosis , suatu kelainan yang berupa penumpukan glikogen di jaringan baik dalam kuantitas atau jenis glikogen . Ada beberapa tipe:
 - Tipe I = penyakit von Gierke
 - Tipe II = penyakit Pompe
 - Tipe III = limit dekstrinosis = penyakit Forbes / Cori
 - Tipe IV = amilopektinosis = penyakit Andersen
 - Tipe V = sindroma Mc Ardle .
2. Pentosuria .
3. Fruktosuria esensial
4. Intoleransi fruktosa heriditer .
5. Galaktosemia.



Thank You

