



**MODUL BIOMEDIK 1
(KES 504)**

**MODUL SESI KE-2
KARBOHIDRAT DAN LIPID**

DISUSUN OLEH

Dr. Henny Saraswati, S.Si, M.Biomed

Universitas
Esa Unggul

UNIVERSITAS ESA UNGGUL

2021

KARBOHIDRAT DAN LIPID

A. Kemampuan Akhir Yang Diharapkan

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan mahasiswa mampu :

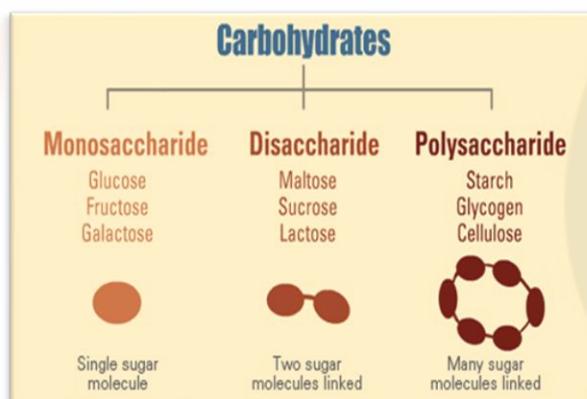
1. Menguraikan struktur sederhana karbohidrat dan lipid.
2. Menjelaskan klasifikasi karbohidrat dan lipid.
3. Menjelaskan manfaat karbohidrat dan lipid.
4. Menjelaskan dampak kekurangan karbohidrat dan lipid.

B. Uraian dan Contoh

Selamat datang kembali di perkuliahan kita. Pada sesi ini kita akan mulai membahas molekul kehidupan, yaitu karbohidrat dan lipid. Apa sih karbohidrat dan lipid ini? Jika kita mendengar karbohidrat, kita selalu terbayang tentang nasi dan sumber-sumber karbohidrat lainnya. Bisa juga saat kita mendengar kata lipid, yang terbayang adalah lemak yang menggemukkan badan. Tetapi, apakah hanya itu pengertian karbohidrat dan lipid? Mari kita belajar bersama di kesempatan sesi ini.

1. Karbohidrat

Karbohidrat disebut juga dengan **gula**. Tapi jangan terbayang dengan gula meja ya. Gula yang dimaksud di sini adalah molekul gula. Karbohidrat sendiri ternyata memiliki berbagai macam bentuk. Terdapat 3 kelompok karbohidrat yang dibedakan berdasarkan strukturnya, yaitu **monosakarida, disakarida dan polisakarida**.

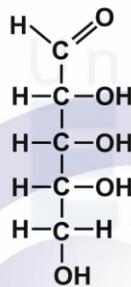


Gambar 1. Karbohidrat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu monosakarida, disakarida dan polisakarida

a. Monosakarida

Monosakarida adalah gula sederhana. Artinya hanya tersusun atas 1 molekul gula saja. Hal ini sesuai dengan asal kata monosakarida yaitu *mono* = satu dan *sacchar* = gula. Monosakarida ini memiliki rumus molekul $C_x(H_2O)_y$, dimana nilai $x > 3$. Monosakarida sendiri tersusun dari gugus karbonil ($C=O$) dan gugus hidroksi ($-OH$).

Ribose, a 5-carbon sugar



Gambar 2. Struktur molekul Ribosa, salah satu jenis monosakarida.

Berdasarkan jumlah atom karbon yang dimilikinya, maka monosakarida dapat dikelompokkan menjadi **triosa (3 atom C)**, **pentosa (5 atom C)**, **heksosa (6 atom C)** dan **heptose (7 atom C)**. Selain itu, berdasarkan gugus fungsionalnya monosakarida bisa juga dikelompokkan menjadi kelompok **aldosa**, yaitu yang memiliki **gugus aldehid** dan **ketosa** yang memiliki **gugus keton**.

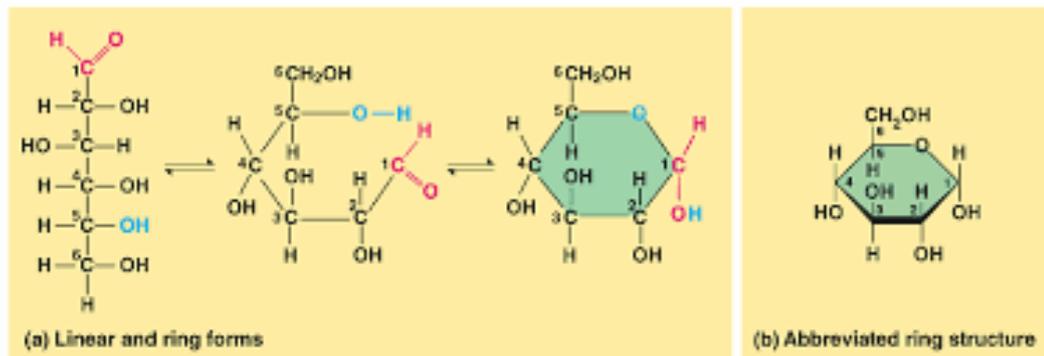
	Trioses ($C_3H_6O_3$)	Pentoses ($C_5H_{10}O_5$)	Hexoses ($C_6H_{12}O_6$)	
Aldoses	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \parallel \\ \text{H} - \text{C} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $ <p>Glyceraldehyde An initial breakdown product of glucose</p>	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \parallel \\ \text{H} - \text{C} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $ <p>Ribose A component of RNA</p>	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \parallel \\ \text{H} - \text{C} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $ <p>Glucose An energy source for organisms</p>	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \parallel \\ \text{H} - \text{C} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $ <p>Galactose An energy source for organisms</p>
Ketoses	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $ <p>Dihydroxyacetone An initial breakdown product of glucose</p>	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $ <p>Ribulose An intermediate in photosynthesis</p>	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $ <p>Fructose An energy source for organisms</p>	

Gambar 3. Pengelompokan monosakarida berdasarkan jumlah atom dan gugus fungsinya.

Gugus aldehid dan keton sendiri merupakan gugus dengan ikatan rangkap antara C dan O (C=O). Tetapi pada aldehid, terdapat atom H yang berikatan dengannya, sedangkan pada keton terdapat 2 molekul hidrokarbon (C-H-O) yang berikatan dengannya. Gugus aldehid ini terdapat pada ujung rantai karbon induk, sedangkan gugus keton terdapat di tengah.

Contoh monosakarida yang ada di sekitar kita adalah glukosa, fruktosa dan ribose. Fruktosa sendiri banyak terdapat pada tanaman, seperti pada buah dan sayur. Sedangkan ribose kita kenal sebagai salah satu penyusun asam nukleat, yaitu RNA yang akan kita bahas pada pertemuan berikutnya.

Coba kalian lihat struktur molekul ribose di gambar 2. Bentuk struktur ini disebut dengan struktur linier. Kita bisa juga menggambarkan struktur molekul ini menjadi bentuk cincin. Perhatikan gambar berikut.

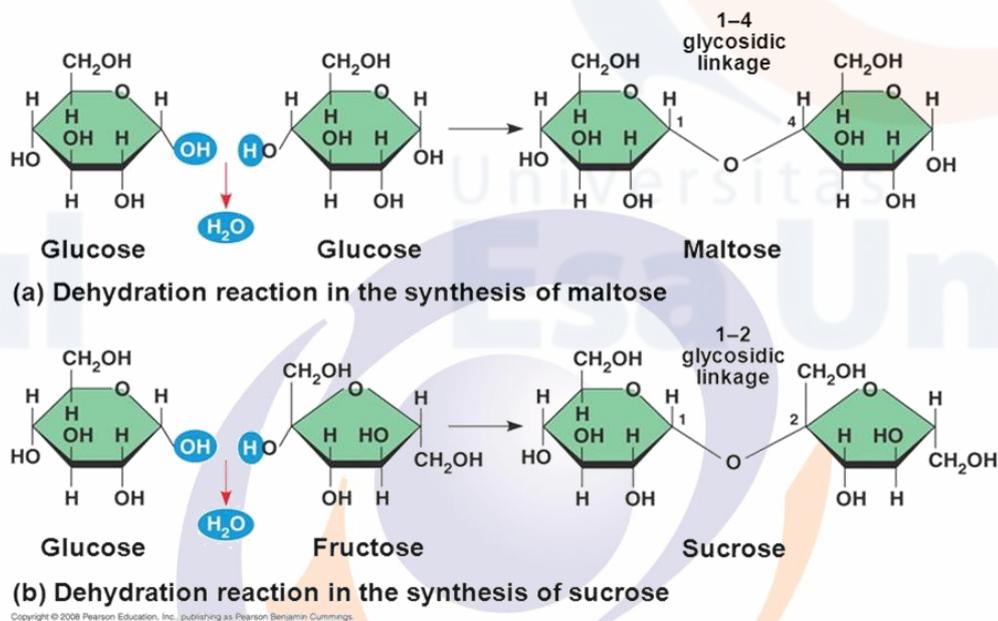


Gambar 4. Tahapan penulisan struktur fruktosa dari bentuk linier menjadi bentuk cincin (sumber: Reece et al, 2011).

Fruktosa merupakan heksosa yang dapat digambarkan secara linier seperti gambar 4.a. Kita juga bisa menggambarkan dalam bentuk cincin dengan cara memberi nomor pada setiap atom C, dari atas ke bawah, dengan nomor 1 – 6. Kemudian, atom C nomor 5 dihubungkan dengan atom C nomor 2 melalui atom O. Setelah itu penulisan C dapat dihilangkan dan diwakilkan dengan sudut yang terbentuk pada cincin ini (Gambar 4.b).

b. Disakarida

Kelompok gula yang lain yaitu disakarida. Jika pada monosakarida hanya tersusun dari satu molekul gula, maka pada **disakarida** ini tersusun dari **2 molekul gula (monosakarida)**. Kedua molekul ini terikat dengan ikatan **glikosidik**. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 5. Dua molekul glukosa akan membentuk maltosa (a), sedangkan ikatan antara glukosa dan fruktosa akan membentuk sukrosa (b). Ikatan yang terjadi antara 2 molekul monosakarida ini adalah ikatan glikosidik (sumber: Reece et al, Universitas Esa Unggul, 2011).

Pada gambar 5 terlihat adanya ikatan antara 2 molekul monosakarida membentuk molekul disakarida. Dua molekul glukosa yang berikatan akan membentuk maltosa, sedangkan glukosa dan fruktosa yang saling berikatan akan membentuk sukrosa. Jadi **maltosa** dan **sukrosa** adalah **disakarida**. Ikatan yang terjadi antar 2 molekul monosakarida adalah **ikatan glikosidik**. Ikatan ini terjadi dari reaksi dehidrasi antara 2 molekul monosakarida. Ingat, bahwa reaksi dehidrasi artinya menghasilkan molekul H_2O dan dapat membentuk polimer. Pada gambar 5 terlihat adanya pelepasan gugus $-OH$ dari glukosa dan atom O dari glukosa atau fruktosa membentuk H_2O .

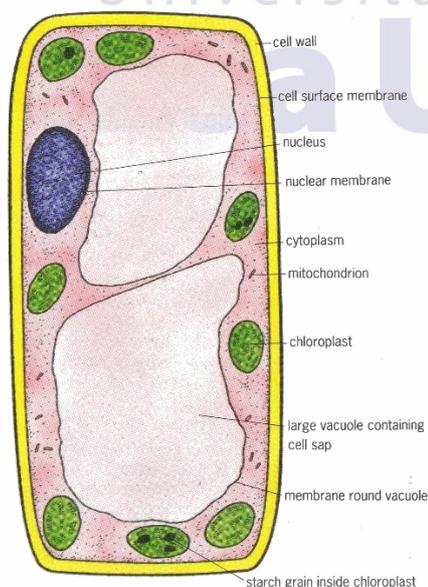
Contoh dari disakarida banyak sekali, seperti sukrosa, kita mengenalnya sebagai gula meja, atau gula yang bias akita konsumsi sebagai pemanis minuman dan makanan. Selain itu juga ada laktosa yang terdapat pada Air Susu Ibu (ASI) dan penting dalam pemenuhan gizi bayi. Maltosa merupakan bentuk disakarida yang berasal dari tanaman dan umumnya dapat diisolasi dari biji-bijian. Gula ini bisa menjadi bahan campuran dalam permen atau sereal.

c. Polisakarida

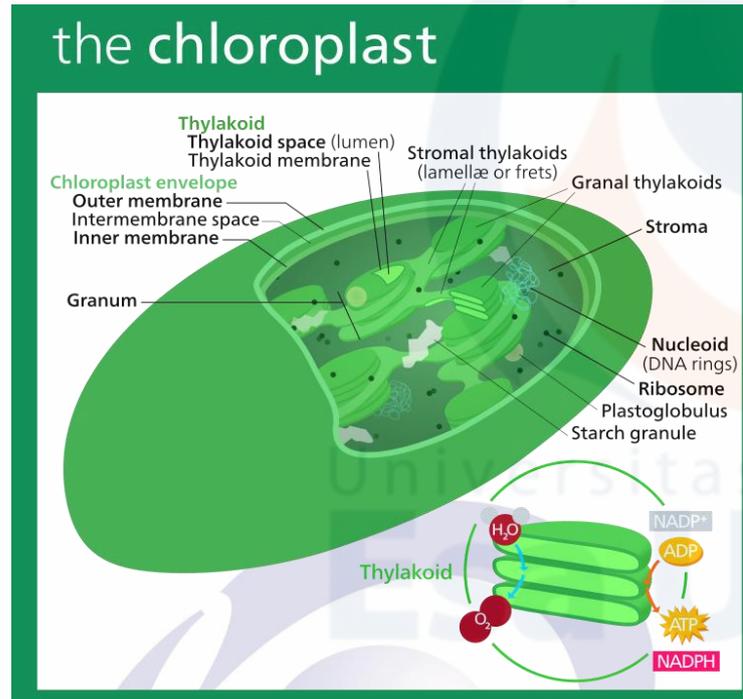
Jika disakarida merupakan gula yang berasal dari 2 monosakarida, maka **polisakarida** merupakan polimer gula, berasal dari **beberapa monosakarida**. Jumlah monosakarida ini bahkan bisa mencapai ratusan hingga ribuan. Sehingga polisakarida ini merupakan rangkaian monosakarida yang panjang. Ikatan yang terjadi antara monosakarida satu dengan lainnya dalam polisakarida adalah **ikatan glikosidik**. Polisakarida ini memiliki beberapa fungsi, antara lain :

- a. Sebagai tempat penyimpanan makanan, contohnya **pati** pada tanaman.
- b. Berperan dalam melindungi sel, contohnya **selulosa** pada sel-sel tanaman.

Polisakarida memiliki fungsi sebagai tempat penyimpanan makanan. Hal ini contohnya terdapat pada tanaman. Molekul polisakarida ini dikenal dengan nama **pati (starch)**. Pati terdapat di dalam kloroplas di sel yang merupakan salah satu bentuk plastid. Masih ingatkah kalian dimana letak kloroplas?

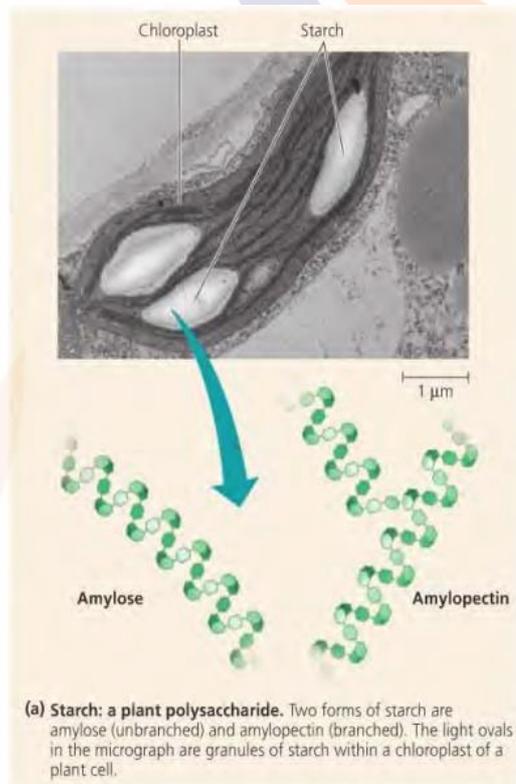


Gambar 6. Pati (starch) terdapat pada kloroplas.



Gambar 7. Letak pati dalam kloroplas (sumber: Wikipedia).

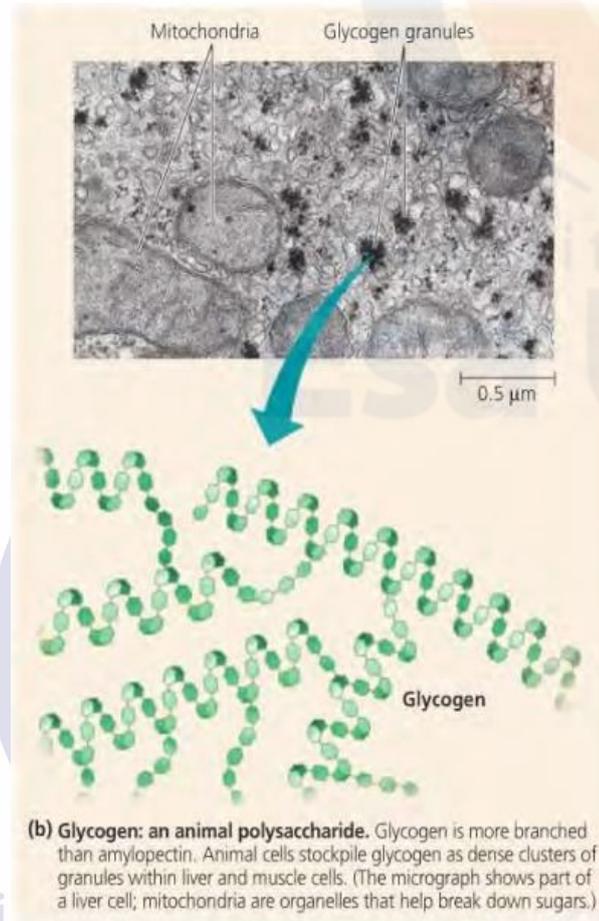
Bentuk pati dalam tanaman ada dalam 2 macam, yaitu amilosa dan amilopektin. Keduanya memiliki perbedaan struktur. Jika amilosa merupakan pati dengan ranti lurus, sedangkan amilopektin berbentuk rantai bercabang.



(a) Starch: a plant polysaccharide. Two forms of starch are amylose (unbranched) and amylopectin (branched). The light ovals in the micrograph are granules of starch within a chloroplast of a plant cell.

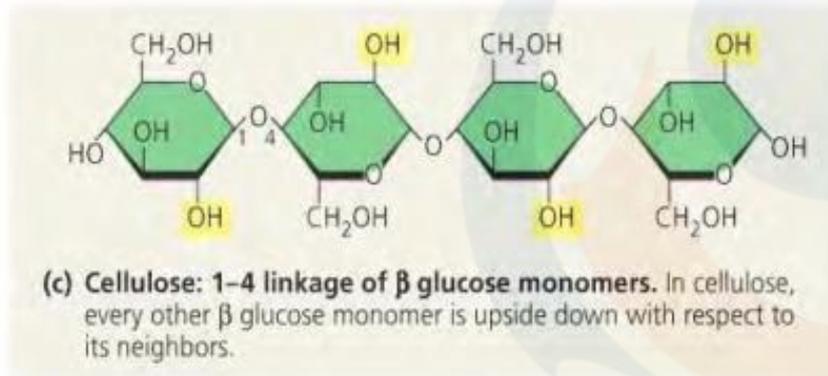
Gambar 8. Terdapat 2 bentuk pati (*starch*) yaitu amilosa dan amilopektin (sumber: Reece et al, 2011).

Pada sel hewan, juga terdapat polisakarida yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan makanan. Polisakarida ini disebut dengan **glikogen**. Pada manusia, glikogen banyak terdapat sel hati dan otot.

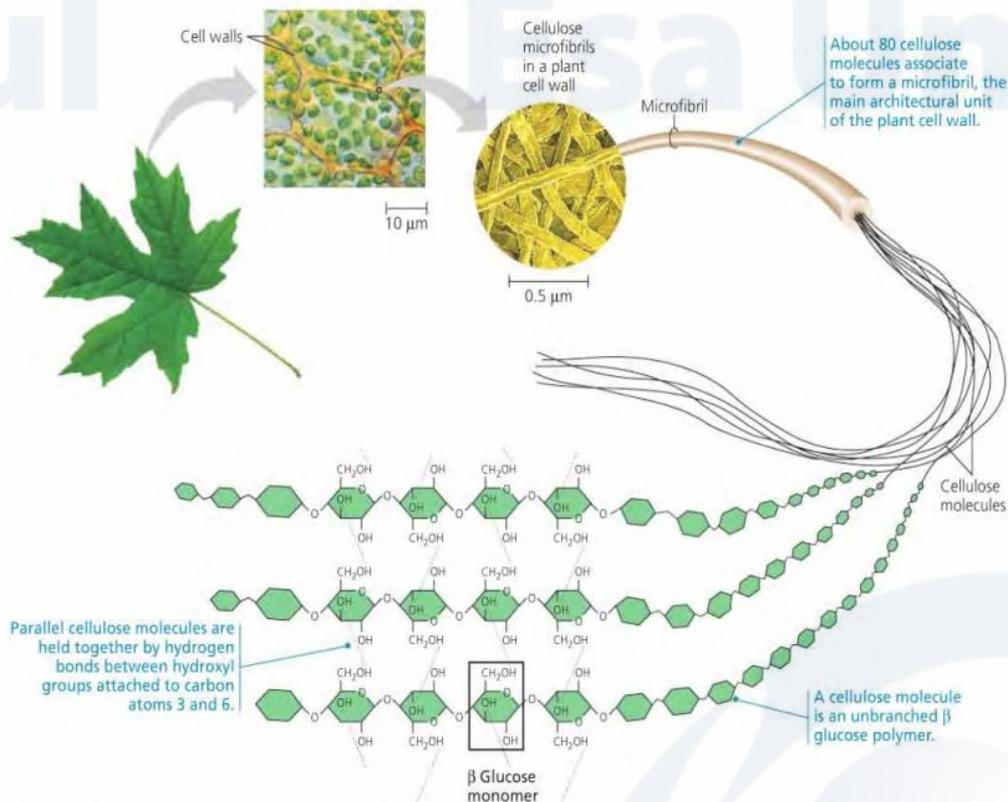


Gambar 9. Glikogen adalah polisakarida pada sel hewan. Pada manusia glikogen banyak terdapat pada sel-sel otot dan hati (sumber: Reece et al, 2011).

Selain sebagai penyimpanan makanan, polisakarida juga dapat berperan sebagai pelindung sel. Sehingga sel tidak mudah rusak dan hal ini sebagai mekanisme pertahanan hidup dari makhluk hidup. Contoh polisakarida yang dapat melindungi sel adalah **selulosa** yang terdapat pada sel-sel tanaman. Selulosa ini terdapat pada dinding sel dalam bentuk mikrofibril.



Gambar 10. Struktur molekul selulosa (sumber: Reece et al, 2011).



Gambar 11. Selulosa terdapat dalam bentuk mikrofibril di dinding sel (sumber: Reece et al, 2011).

Selulosa ini menjadikan sel tumbuhan tidak mudah untuk dihancurkan. Jika bagian dari tumbuhan ini dikonsumsi oleh hewan dan manusia, maka sel-sel tumbuhan ini tidak mudah untuk dicerna. Ada beberapa hewan yang memiliki enzim khusus untuk dapat mencerna selulosa, contohnya sapi. Organ pencernaan

hewan ini mengandung bakteri yang dapat menghasilkan enzim selulase untuk mencerna selulosa.

Selain selulosa, bentuk polisakarida yang dapat menjadi pelindung sel adalah kitin. Polisakarida ini menjadi pelindung tubuh bagi hewan golongan Arthropoda seperti serangga, laba-laba, udang dan kepiting. Kitin terdapat pada kulit terluar dari hewan-hewan ini.



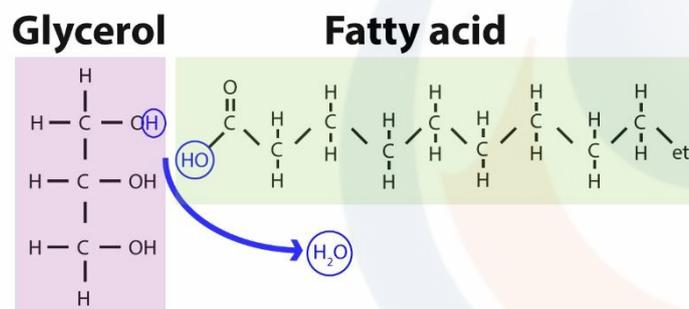
Gambar 12. Hewan golongan Arthropoda memiliki kitin sebagai pelindung struktur tubuhnya.

2. Lipid

Sama seperti karbohidrat, lipid juga tersusun dari beberapa molekul. Molekul-molekul ini memiliki sifat yang sama yaitu tidak larut di dalam air. Terdapat beberapa variasi dari lipid, yaitu lemak, fosfolipid dan steroid. Mari kita pelajari bersama ketiga variasi lipid ini.

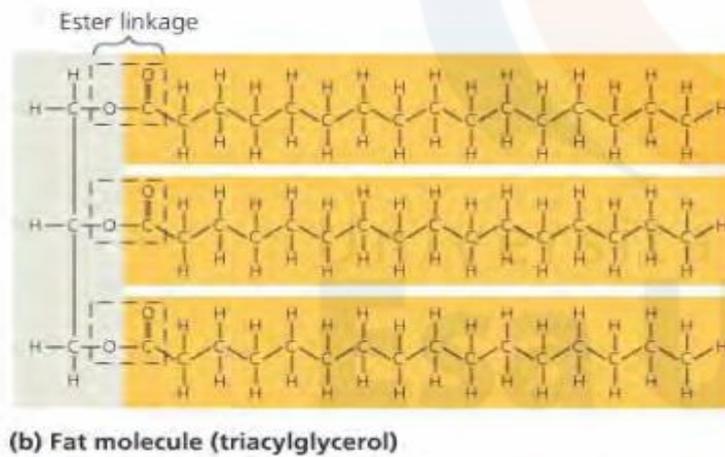
a. Lemak

Lemak tersusun atas molekul gliserol dan asam lemak (*fatty acid*) melalui reaksi dehidrasi. Ikatan yang terjadi antara gliserol dan asam lemak ini adalah ikatan ester.



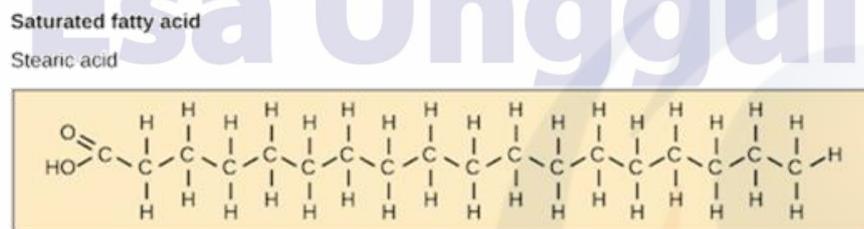
Gambar 13. Struktur molekul lemak.

Struktur molekul pada gambar 13 merupakan struktur dasar lemak. Ada juga bentuk lemak yang merupakan ikatan antara 3 molekul gliserol dan 3 molekul asam lemak. Molekul ini kita kenal dengan nama **triasilgliserol** atau **trigliserida**.



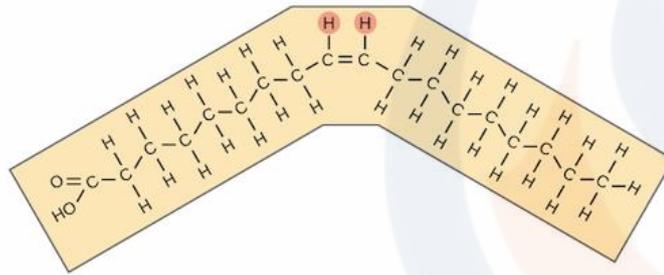
Gambar 14. Struktur molekul triasilgliserol atau trigliserida (sumber: Reece et al, 2011).

Lemak sendiri dapat dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu **lemak jenuh** dan **lemak tidak jenuh**. **Lemak jenuh** adalah lemak yang pada asam lemaknya terdapat **ikatan tunggal** antara atom-atom karbon (C) yang berdekatan (gambar 15.a). Sedangkan **lemak tidak jenuh** adalah jenis lemak dimana pada asam lemaknya terdapat **ikatan ganda** antara atom-atom karbon yang letaknya berdekatan (gambar 15.b).

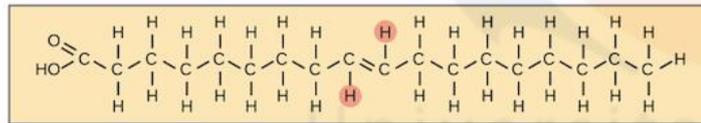


Gambar 15. Struktur molekul lemak jenuh, terdapat ikatan tunggal antar atom C (sumber: www.khanacademy.org)

Unsaturated fatty acids
Cis oleic acid



Trans oleic acid



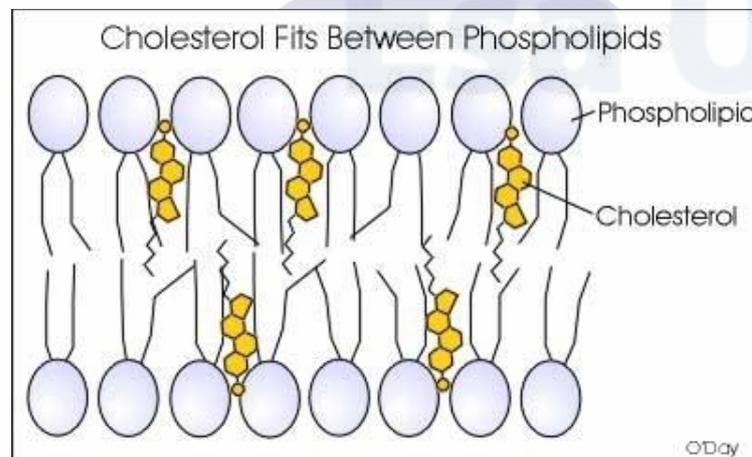
Gambar 16. Struktur molekul asam lemak tak jenuh, terdapat ikatan ganda pada atom C (sumber: www.khanacademy.org).

Di dalam kehidupan kita sehari-hari banyak contoh-contoh makanan dan minuman yang mengandung lemak jenuh dan tak jenuh. Karakteristik dari lemak jenuh adalah dapat membentuk struktur yang padat ketika terdapat pada suhu ruang. Contoh dari lemak jenuh pada makanan dan minuman antara lain daging hewan, susu sapi, mentega, minyak kelapa dan kuning telur.



Gambar 17. Mentega dan minyak kelapa adalah contoh bahan makanan yang mengandung lemak jenuh.

Lemak jenuh ini sering dihubungkan dengan peningkatan kadar *Low Density Lipoprotein* (LDL) di darah kita. Molekul LDL adalah lipoprotein, artinya merupakan gabungan lemak dan protein. Molekul ini membawa kolesterol dari hati ke seluruh sel di tubuh melalui peredaran darah. Kolesterol ini sangat penting bagi tubuh, contohnya untuk membentuk struktur membran sel (menjaga fluiditas membran sel), sehingga membran sel dapat melakukan proses transport ion-ion penting keluar dan masuk sel dengan baik. Jika tidak ada kolesterol, maka membran sel akan sangat kaku dan mudah rusak serta ion-ion penting yang diperlukan sel tidak dapat masuk.



Gambar 18. Kolesterol pada membran sel sangat penting untuk menjaga struktur dan fluiditas membran.

Selain itu kolesterol juga penting untuk pembentukan hormon estrogen, progesteron di dalam tubuh. Jika kadar LDL ini sangat tinggi di dalam darah, maka hal ini tidak baik bagi tubuh kita. Hal ini akan memicu pembentukan plak atau sumbatan pada pembuluh darah kita (*atherosclerosis*), yang berakibat terjadinya gangguan jantung dan stroke.

Jenis lemak yang kedua adalah **lemak tak jenuh** yang banyak terdapat pada ikan, kacang-kacangan, minyak zaitun dan alpukat. Pada suhu ruang, lemak ini tidak membentuk struktur yang padat, berbeda dengan lemak jenuh. Konsumsi lemak tak jenuh dalam makanan kita sehari-hari sangat dianjurkan karena dapat menurunkan kadar LDL sekaligus juga meningkatkan kadar *High Density Lipoprotein* (HDL) dalam darah. Molekul HDL berfungsi untuk membawa

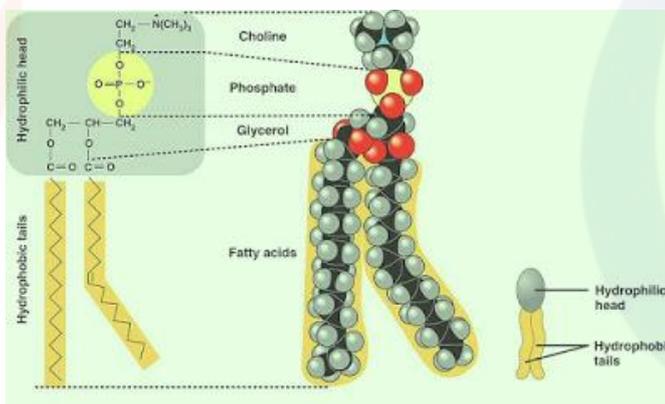
kolesterol dari dalam darah kembali menuju organ hati. Sehingga konsumsi lemak tak jenuh sangat baik untuk kesehatan jantung dan individu dengan kelebihan berat badan (1,2).



Gambar 19. Beberapa bahan makanan seperti ikan, kacang-kacangan, minyak zaitun dan alpukat banyak mengandung lemak tak jenuh.

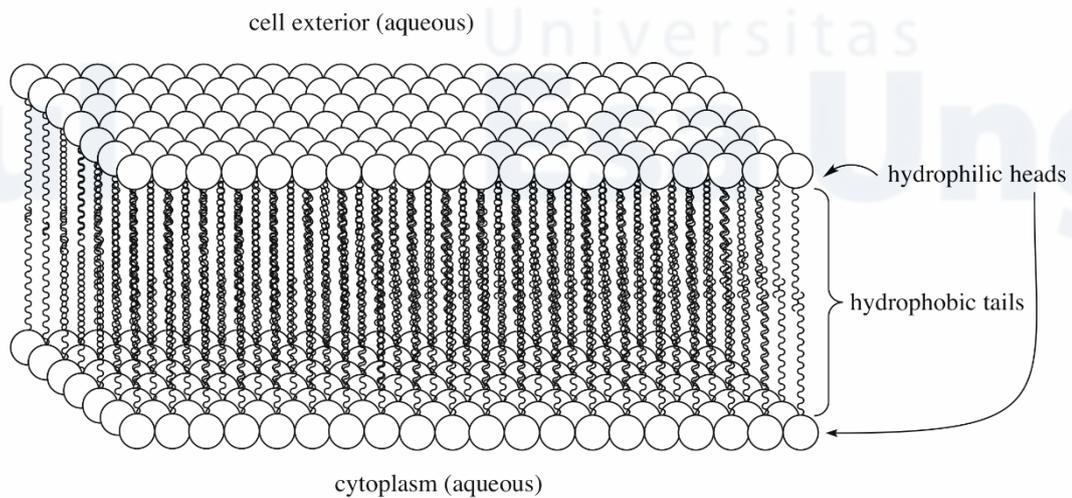
b. Fosfolipid.

Sekarang kita akan mengenal satu contoh lagi molekul yang termasuk dalam lipid, yaitu fosfolipid. Molekul ini merupakan bahan penyusun membran sel makhluk hidup baik hewan, manusia, tanaman bahkan bakteri. Fosfolipid tersusun atas 2 bagian, yaitu bagian hidrofobik (menghindari berinteraksi dengan air) dan hidrofilik (bisa berinteraksi dengan air).



Gambar 20. Fosfolipid terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian yang hidrofobik dan bagian hidrofilik (sumber: Reece et al, 2011)

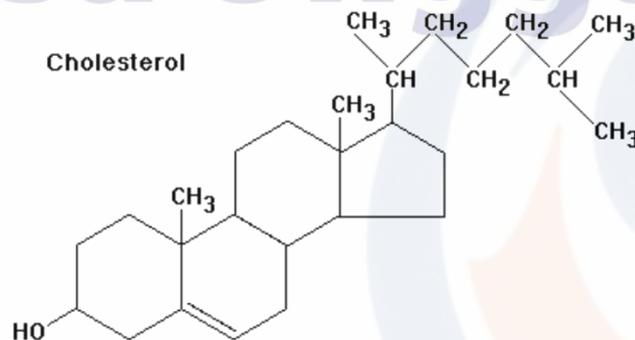
Pada gambar 20 terlihat bahwa fosfolipid terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian hidrofobik yang membentuk “ekor” (*hydrophobic tail*) dan bagian hidrofilik yang membentuk “kepala” (*hydrophilic head*). Pada membran sel, fosfolipid ini terdapat dalam 2 lapis (bilayer), sehingga membran sel sering disebut dengan fosfolipid bilayer (gambar 21). Membran sel ini berperan dalam membentuk struktur sel, transportasi ion-ion penting keluar masuk sel dan mempertahankan struktur sel.



Gambar 21. Struktur membran fosfolipid bilayer pada membran sel.

c. Steroid

Steroid juga merupakan salah satu bentuk lipid. Strukturnya adalah terdiri dari 4 cincin (Gambar 22).



Gambar 22. Kolesterol adalah salah satu bentuk steroid. Strukturnya terdiri dari 4 cincin.

Steroid bisa diproduksi di tanaman atau tubuh hewan. Fungsinya cukup sangat penting bagi kelangsungan hidup organisme, seperti dalam menjaga fluiditas membran sel dan juga dalam membentuk hormon-hormon yang diperlukan oleh organisme. Pada manusia steroid menjadi pembentuk hormon kelamin, seperti testosteron. Contoh lain dari steroid adalah kolesterol yang juga memiliki banyak fungsi dalam tubuh organisme.

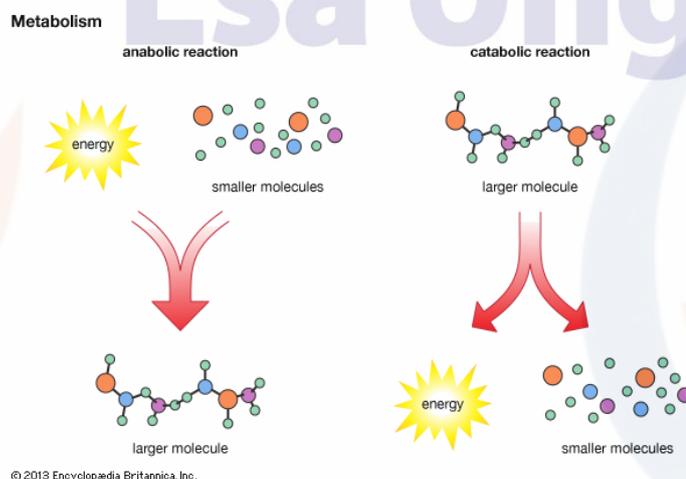
3. Metabolisme Sel.

Kita telah mempelajari beberapa molekul kehidupan di dalam tubuh organisme, yaitu karbohidrat dan lipid. Lalu bagaimanakah karbohidrat dan lipid ini dapat berperan dalam tubuh organisme? Jawabannya adalah melalui metabolisme sel.

Metabolisme sel adalah semua proses kimia di dalam tubuh yang berperan dalam pembentukan energi. Energi ini sangat penting untuk mendukung semua kegiatan organisme, seperti pergerakan tubuh dan reproduksi. Metabolisme sel sendiri dapat digolongkan menjadi 2 macam, yaitu :

1. **Anabolisme**
2. **Katabolisme**

Anabolisme merupakan proses pembentukan molekul besar dan kompleks dari molekul-molekul sederhana yang memerlukan energi. Sedangkan katabolisme adalah reaksi pemecahan molekul besar menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dan menghasilkan energi.



Gambar 23. Perbedaan anabolisme dan katabolisme

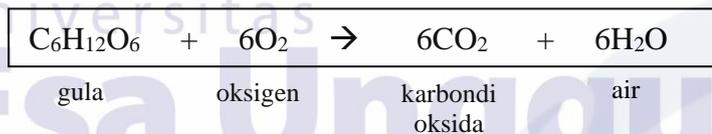
Reaksi **anabolisme** sering disebut dengan asimilasi. Contoh anabolisme seperti proses *pembentukan polimer (polimerisasi)*, *fotosintesis (pada organisme fotosintetik)* dan *kemosintetik (pada organisme non fotosintetik)*. Sedangkan contoh reaksi **katabolisme** antara lain *proses pernafasan (respirasi aerob)* dan *fermentasi (respirasi anaerob)*.

Kita akan membahas respirasi aerob yang kita lakukan setiap hari. Disebut dengan aerob, karena proses respirasi memerlukan molekul oksigen (O₂). Respirasi aerob ini ada beberapa macam, yaitu katabolisme karbohidrat, protein dan lipid. Kalian mungkin bisa menebak jika istilah-istilah ini berarti adalah pemecahan molekul karbohidrat, protein dan lipid. Ya, itulah proses yang terjadi.

Katabolisme Glukosa

Glukosa atau gula akan dikatabolisme menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Melalui reaksi ini akan didapatkan energi yang digunakan dalam kegiatan makhluk hidup. Karbohidrat sebagai gula dapat diubah menjadi energi dengan reaksi ini. Sehingga tidak mengherankan, jika setelah mengkonsumsi karbohidrat maka kita merasakan ada energi yang muncul dan membuat kita bersemangat melakukan kegiatan.

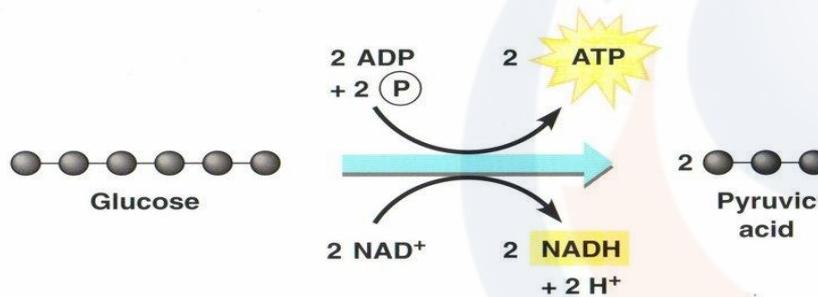
Rumus reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Tahapan katabolisme glukosa adalah :

1. Glikolisis.
2. Oksidasi piruvat.
3. Siklus Krebs.
4. Fosforilasi oksidatif.

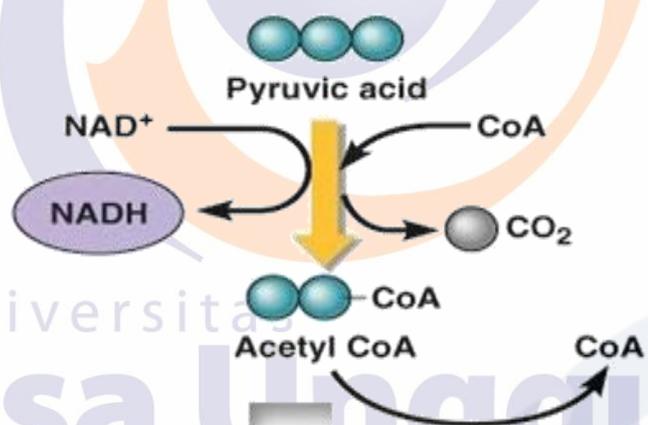
Proses **glikolisis** terjadi di sitoplasma sel. Pada proses ini terjadi perubahan **glukosa** menjadi **molekul piruvat + molekul NADH + molekul ATP (sumber energi)**.



Copyright © 2003 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Gambar 24. Proses glikolisis mengubah glukosa menjadi asam piruvat. Pada proses ini juga menghasilkan molekul ATP dan NADH.

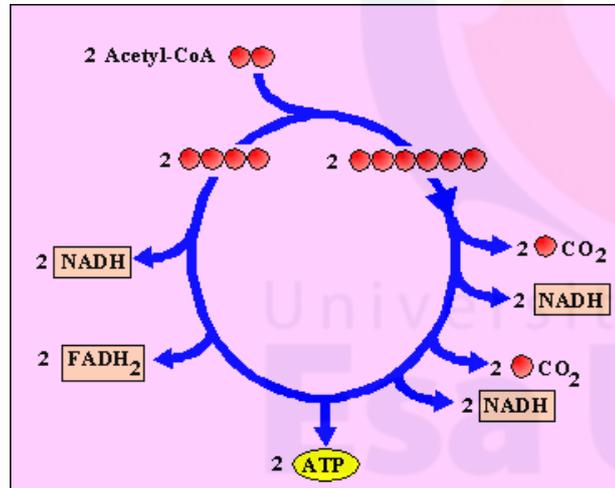
Setelah glikolisis, proses dilanjutkan dengan **oksidasi piruvat**. Proses ini terjadi di mitokondria, salah satu organel yang ada di dalam sel. Di proses ini terjadi perubahan **asam piruvat** menjadi **acetyl Co-A**, **NADH** dan **CO₂**.



Gambar 25. Proses oksidasi piruvat mengubah asam piruvat menjadi asetil koA, NADH dan CO₂.

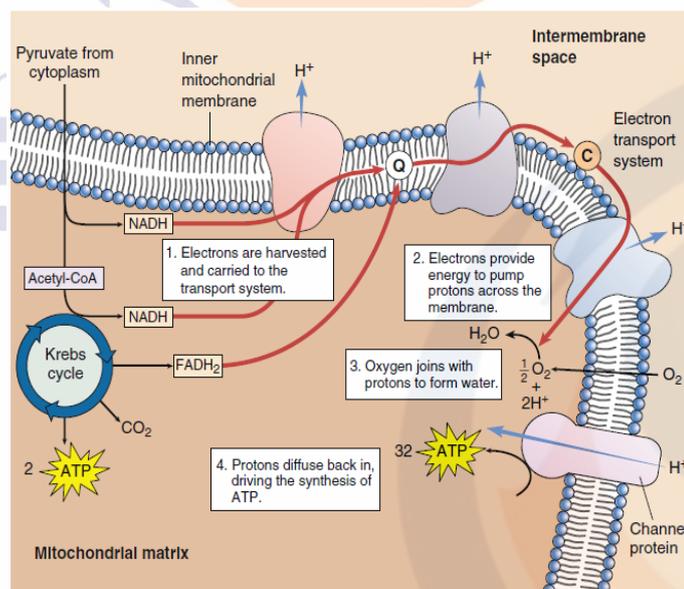
Hasil dari oksidasi piruvat kemudian digunakan lagi pada tahap berikutnya, yaitu Siklus Krebs. Tahapan ini terjadi juga di mitokondria dan dapat juga disebut dengan siklus **TCA** (*Tricarboxylic Acid cycle*) atau bisa juga disebut dengan *Citric Acid cycle*. Pada Siklus Krebs terjadi perubahan Asetil KoA menjadi molekul NADH, FADH₂ dan molekul ATP. Elektron yang dibawa oleh

molekul NADH dan FADH₂ kemudian digunakan dalam tahapan berikutnya, yaitu fosforilasi oksidatif melalui rantai transpor elektron.



Gambar 26. Siklus Krebs.

Proses respirasi selanjutnya adalah fosforilasi oksidatif. Pada tahapan ini elektron dari hasil siklus Krebs akan terjadi transpor elektron dari molekul-molekul organik dan protein yang satu ke yang lain, di membran mitokondria. Hasil dari fosforilasi oksidatif ini adalah terbentuknya ATP sebagai sumber energi.



Gambar 27. Rantai transpor elektron yang terjadi di membran mitokondria (sumber: pinterest).

Dari serangkaian katabolisme karbohidrat ini akan dihasilkan molekul ATP sebagai sumber energi bagi sel. Jumlah molekul ATP yang dihasilkan dari keseluruhan proses adalah 30 ATP, terdiri dari 2 dan 3 ATP dari proses glikolisis, 5 ATP dari oksidasi piruvat dan 20 ATP dari siklus Krebs.

TOTAL ATP Production from one Glucose molecule

Glycolysis: (Net yields)		
Stage I.	ATP	2 ATP
	2 NADH+H ⁺ → 2 FADH ₂ (to ETC)	3 ATP

Stage II.	Conversion of pyruvate to ACoA	5 ATP
	2 NADH + H ⁺ (to ETC)	5 ATP

Stage III.	TCA cycle	2 ATP
	ATP (at one site)	2 ATP
	NADH+H ⁺ at three steps (to ETC)	15 ATP
	FADH ₂ at one step (to ETC)	3 ATP

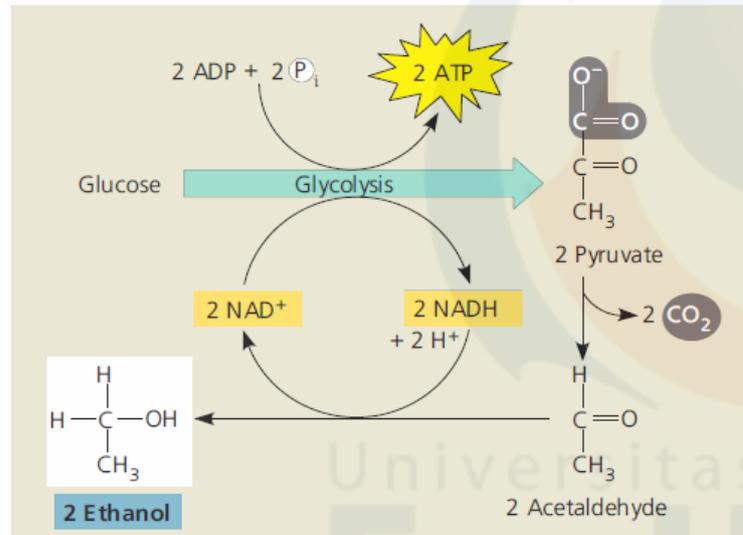
Total ATP from one molecule
of glucose = **30 ATP**

Gambar 28. Jumlah ATP yang dihasilkan dari katabolisme glukosa (sumber: <https://www.unm.edu>)

Katabolisme glukosa di atas adalah contoh respirasi aerob yang memerlukan oksigen (O₂). Namun, terdapat pula proses respirasi yang tidak memerlukan oksigen yang disebut respirasi anaerob. Contoh respirasi anaerob ini adalah proses fermentasi yang dapat dilakukan oleh yeast (ragi). Apakah kalian tahu praktik fermentasi yang dilakukan masyarakat kita dalam mengolah makanan? Ya, pembuatan tape. Makanan ini dibuat dengan proses fermentasi sumber gula dari singkong oleh sel-sel ragi. Ada 2 jenis reaksi fermentasi, yaitu :

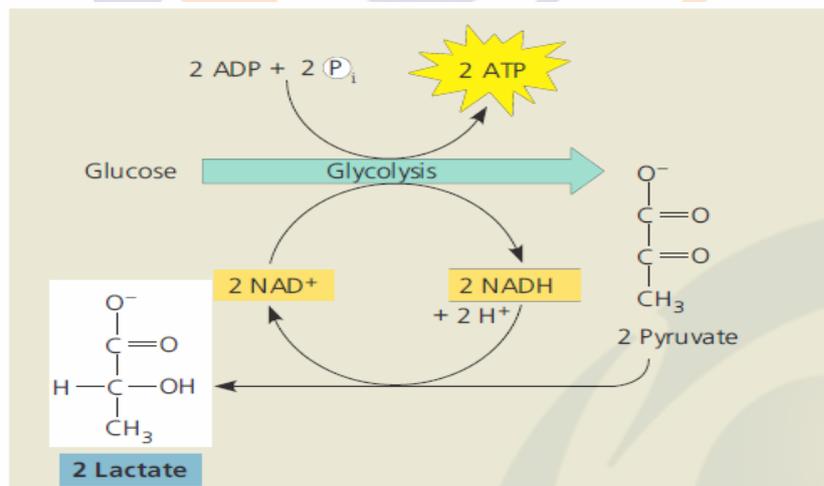
1. Fermentasi alkohol.
2. Fermentasi asam laktat.

Pada **fermentasi alkohol**, juga terjadi glikolisis mengubah glukosa menjadi asam piruvat. Setelah itu piruvat ini diubah menjadi etil alkohol (etanol).



Gambar 29. Pada fermentasi alkohol, asam piruvat hasil glikolisis kemudian diubah menjadi etanol (etil alkohol) (sumber: Reece et al, 2011).

Sedangkan pada fermentasi asam laktat, piruvat dari proses glikolisis akan diubah menjadi asam laktat.

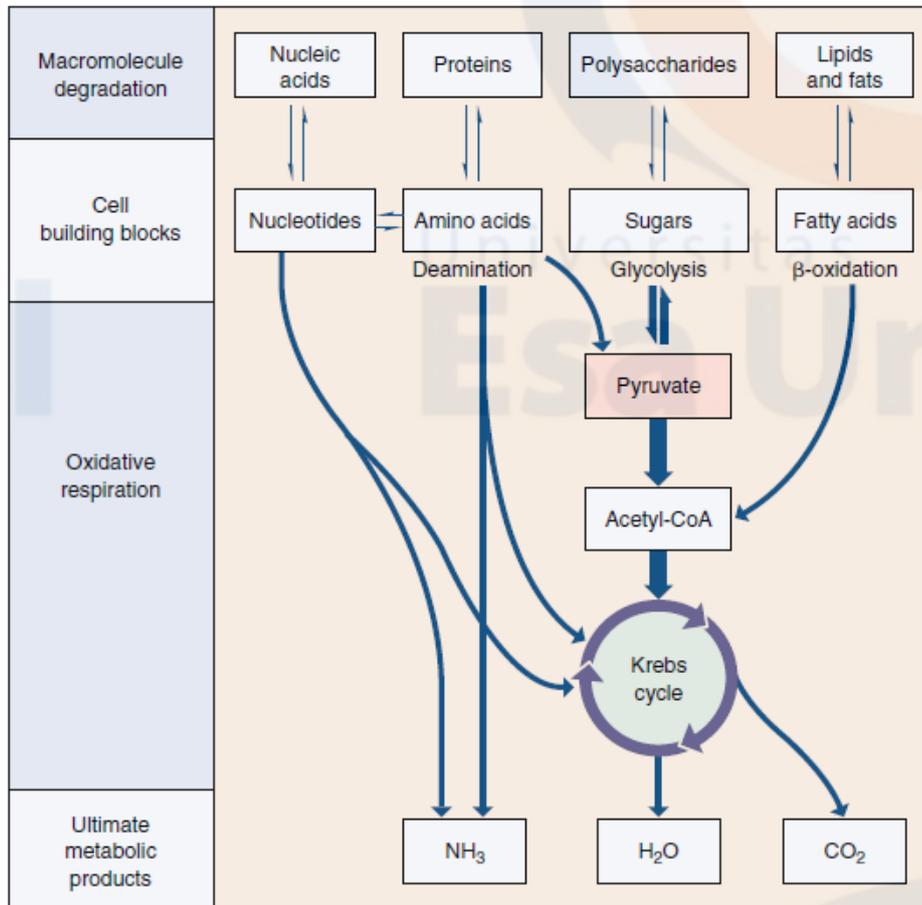


Gambar 30. Pada proses fermentasi asam laktat, piruvat diubah menjadi asam laktat (sumber: Reece et al, 2011).

Katabolisme Lipid

Sama seperti karbohidrat, lipid juga dapat dipecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Lipid akan akan dipecah menjadi asam lemak dan gliserol. Kemudian asam lemak ini akan dikatalisa oleh enzim menjadi acetyl Co-

A. Proses ini disebut dengan proses β -oksidasi. Proses selanjutnya molekul acetyl-Co-A ini akan diubah menjadi energi melalui Siklus Krebs. Tahapan ini sama dengan yang terjadi pada karbohidrat.



Gambar 31. Diagram alir menggambarkan proses katabolisme karbohidrat, protein, asam nukleat dan lipid (sumber: Reece et al, 2021).

Manfaat Karbohidrat dan Lipid

Dari pemaparan di atas, kita dapat mengetahui pentingnya karbohidrat dan protein bagi suatu organisme. Manfaat dari molekul kehidupan ini dapat kita rangkum sebagai berikut, yaitu :

- a. Berperan dalam penyediaan energi bagi tubuh.
- b. Berperan sebagai cadangan makanan.
- c. Berperan dalam pembentukan hormon.
- d. Berperan dalam menjaga suhu tubuh.

Kesimpulan

Makhluk hidup memiliki berbagai molekul kehidupan, diantaranya adalah karbohidrat dan lipid. Karbohidrat adalah gula, yang dibedakan menjadi beberapa kelompok berdasarkan panjang rantai gulanya yaitu monosakarida, disakarida dan polisakarida. Lipid merupakan molekul kehidupan yang tersusun atas asam lemak dan gliserol dan berperan dalam pembentukan hormon-hormon penting bagi tubuh. Semua molekul tubuh akan mengalami metabolisme, yaitu diolah untuk kepentingan tubuh. Metabolisme ini dapat dibagi menjadi katabolisme dan anabolisme. Contoh katabolisme yaitu respirasi sel yang diperlukan untuk pembentukan energi bagi tubuh.

C. Latihan

- a. Apa yang dimaksud dengan karbohidrat?
- b. Lipid tersusun atas.....
- c. Proses metabolisme dimana terjadi penguraian molekul besar menjadi molekul lebih kecil dan sederhana disebut.....

D. Kunci Jawaban

- a. Karbohidrat adalah gula yang merupakan salah satu molekul kehidupan pada organisme.
- b. Asam lemak dan gliserol.
- c. Katabolisme

E. Daftar Pustaka

1. DiNicolantonio JJ, O'Keefe JH. Effects of dietary fats on blood lipids: A review of direct comparison trials. *Open Hear.* 2018;5(2):1–5.
2. Morton AM, Furtado JD, Mendivil CO, Sacks FM. Dietary unsaturated fat increases HDL metabolic pathways involving apoE favorable to reverse cholesterol transport. *JCI Insight.* 2019;4(7).
3. Reece, J.B et al. *Campbell Biology.* 6th Ed. Benjamin Cummings. Boston. 2011.