

DIKTAT PEMBELAJARAN

Mata Kuliah : **BIOLOGI SEL DAN JARINGAN**

Kode Mata Kuliah : **BS-1**

Prodi/Jurusan : **PENDIDIKAN DOKTER**

Fakultas : **KEDOKTERAN**

Judul Diktat : **KIMIA SEL, METABOLIT PRIMER DAN SKUNDER**



Disusun oleh:

Dr. Drs. Edy Parwanto, M Biomed.

(NIK: 2775/USAKTI)

Universitas Trisakti

Jakarta

2022

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Kuasa atas selesainya diktat ini.

Diktat ini membahas tentang metabolit primer dan metabolit sekunder. Topik dalam buku ini dapat memperkaya pengetahuan bagi Mahasiswa Fakultas Kedokteran untuk lebih memahami tentang metabolit primer dan sekunder.

Kami membahas metabolit primer, antara lain karbohidrat, lipid, protein dan asam nukleat. Dalam metabolit sekunder dibahas tentang alkaloid, terpenoid dan senyawa fenolik. Kedua topik tersebut kami bahas dasar-dasar molekul penyusunnya.

Kami mengharapkan sumbangan pemikiran untuk perbaikan buku diktat ini.

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian buku diktat ini.

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I	KIMIA SEL	1
	1. Struktur sel	1
	2. Komponen kimia sel	2
BAB II	METABOLIT PRIMER	7
	1. Karbohidrat	7
	2. Lipid	11
	3. Protein	17
	4. Asam nukleat	21
	E. Signifikansi Klinis tentang sel epitel serviks	20
BAB III	METABOLIT SKUNDER	25
	1. Alkaloid	25
	2. Terpen	27
	3. Fenolik	32
	REFERENSI	37

Daftar gambar

Gambar 1. Sel eukariotik. Sumber: Britannica (2024).....	1
Gambar 2. Makromolekul di dalam sel	6
Gambar 3. Rumus bangun CO ₂ , H ₂ O, Glukosa, amylum dan glikogen.	7
Gambar 4. Pencernaan karbohidrat dalam mulut.	8
Gambar 5. Proses pencernaan karbohidrat pada manusia.	9
Gambar 6. Rumus molekul lipid.	11
Gambar 7. Penggolongan lipid menjadi 4 golongan.	12
Gambar 8. Proses pencernaan dan penyerapan lipid di dalam usus manusia.	13
Gambar 9. Metabolisme lipid dalam hati.	14
Gambar 10. Metabolisme lipid di dalam Pankreas.	15
Gambar 11. Posfolipid. Sumber: © 2023 Lumen Learning.	16
Gambar 12. Ikatan peptide	17
Gambar 13. Proses pencernaan protein dalam saluran cerna.	18
Gambar 14. Pencernaan protein di dalam lambung.	18
Gambar 15. Proses denaturasi protein di dalam lambung.	19
Gambar 16. Aksi enzim pepsin dalam pencernaan protein.	19
Gambar 17. Pencernaan protein di dalam usus.	20
Gambar 18. Pencernaan protein menghasilkan asam amino.	20
Gambar 19. Rumus struktur DNA. Sumber: © 2023 Lumen Learning.	21
Gambar 20. Monomer RNA. Sumber: © 2023 Lumen Learning	22
Gambar 21. Komposisi asam nukleat.	22
Gambar 22. Sumber atom pembentuk purin.	23
Gambar 23. Perubahan dari uridin triposfat menjadi sitidin triposfat.	23
Gambar 24. Degradasi DNA dan RNA.	24
Gambar 25. Rumus struktur alkaloid.	25
Gambar 26. Jalur biosintesis alkaloid tropane dan nikotin.	26
Gambar 27. Jalur biosintesis alkaloid isoquinolin.	27
Gambar 28. Penggolongan terpen.	28
Gambar 29. Rumus bangun monoterpene.	28
Gambar 30. Rumus bangun beberapa sesquiterpene.	29
Gambar 31. Rumus bangun beberapa diterpen.	30

Gambar 32. Rumus bangun beberapa sesterpen.	31
Gambar 33. Rumus bangun beberapa triterpen.	32
Gambar 34. Rumus struktur flavonoid.	33
Gambar 35. Rumus struktur dasar flavonoid.	34
Gambar 36. Beberapa contoh flavonoid yang menghambat inflamasi pada usus tikus.	34
Gambar 37. Jalur inflamasi yang menjadi target flavonoid.	36

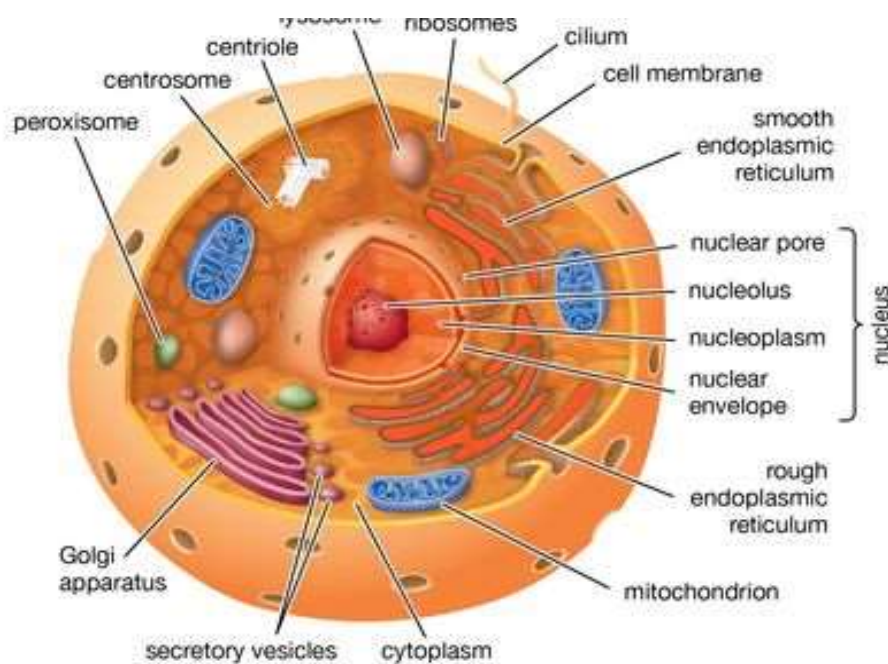
Daftar Tabel

Tabel 1. Kandungan air pada berbagai organ	2
Tabel 2. Kandungan zat gizi 1 sendok makan garam meja	3

BAB I. KIMIA SEL

1. Struktur Sel

Organisme dibedakan menjadi 2 yaitu organisme prokariotik dan eukariotik. Ciri organisme prokariotik yaitu tidak memiliki nukleus (karion). Organisme eukariotik memiliki nukleus. Contoh organisme prokariotik, yaitu : virus, bakteri, dan ganggang hijau biru. Contoh organisme eukariotik, yaitu : makhluk hidup golongan avertebrata dan vertebrata, pteridophyte maupun spermatophyta.



Gambar 1. Sel eukariotik. Sumber: Britannica (2024).

Keterangan : Nukleus, lubang inti, nukleolus, nukleoplasma, selaput inti, mitokondria, sitoplasma, gelembung kecil sekretorik, aparatus Golgi, peroksisom, sentrosom, sentriole, lysosom, ribosom, silia, selaput sel, retikulum endoplasma halus.

Telah kita ketahui bahwa sel tersusun atas organel sel. Organel sel tersusun oleh molekul-molekul. Molekul penyusun organel sel tersusun atas unsur kimia. Kita dapat menggolongkan unsur anorganik dan unsur organik, sehingga muncul cabang ilmu kimia an organik dan kimia organik. Unsur an organik dapat membentuk molekul an organik, demikian juga unsur-unsur organik dapat

membentuk molekul organik. Molekul penyusun organel sel tersebut merupakan komponen kimia sel. Komponen kimia sel dapat digolongkan menjadi 2, yaitu komponen an organik dan komponen organik. Komponen an organik sel, yaitu air, garam, mineral, dan ion. Komponen organik sel, yaitu karbohidrat, lipid, protein, asam nukleat, vitamin, dan hormon.

2. Komponen kimia sel

2.1. Air

Air diperlukan untuk semua aktivitas fisiologis sel. Fungsi air tersebut sebagai pelarut, sarana transpor zat yang masuk atau keluar sel, dan pengatur suhu. Air di dalam sel dibedakan menjadi 2, yaitu air bebas sebanyak 95%, dan air yang berikatan dengan molekul air sebanyak 5%. Kandungan air pada berbagai organ disajikan pada table 1.

Tabel 1. Kandungan air pada berbagai organ

Organ	Kandungan air (%)
Sumsum tulang	8-16
Usus	60-82
Badan putih pada otak	68-73
Badan abu-abu pada otak	82-85
Hati	73-77
Lemak	5-20
Paru-paru	80-83
Limfa	76-81
Ginjal	78-79
Otot	73-78
Kulit	60-76
Tulang	44-55

Sumber: Pethig'r R, KellS DB (1987).

2.2. Garam

Garam terbentuk dari reaksi antara asam dan basa. Pada reaksi tersebut dihasilkan juga molekul air. Sebaliknya, garam yang mengalami disosiasi

menghasilkan kat ion dan an ion. Pada proses disosiasi, senyawa ionik (misalnya garam) terpisah menjadi partikel, ion, atau radikal (yang lebih kecil), dan biasanya dapat dikembalikan ke bentuk semula. NaCl merupakan senyawa ionik yang dilarutkan dalam air menghasilkan 2 molekul yaitu ion Na⁺ dan 2 molekul ion Cl⁻.

Garam memiliki fungsi secara umum yaitu menjaga tekanan osmotik sel, dan juga mengatur pH. Intake garam ke dalam tubuh kita untuk menyeimbangkan kadar cairan. Perlu diingat bahwa kelebihan garam di dalam tubuh dapat mengakibatkan dampak negative. Oleh karena itu, meskipun kita memerlukan garam, tetapi harus dijaga agar tubuh tidak kelebihan kadar garam.

Salah satu jenis garam yang kita kenal yaitu natrium klorida. Unsur natrium tersebut, di dalam tubuh berfungsi antara lain: menghantarkan rangsangan saraf, mengencangkan otot, serta menjaga keseimbangan cairan dalam tubuh. Sebagian besar kandungan garam meja atau garam laut adalah natrium, tapi terdapat juga mineral lain. Kandungan zat gizi dalam satu sendok makan garam meja (± 15 gram) disajikan pada table 2.

Tabel 2. Kandungan zat gizi 1 sendok makan garam meja

a. natrium	$\pm 6,98$	gram
b. kalsium	$\pm 4,32$	miligram
c. magnesium	$\pm 0,18$	miligram
d. zat besi	$\pm 0,059$	miligram
e. kalium	$\pm 1,44$	miligram
f. seng	$\pm 0,018$	miligram
g. tembaga	$\pm 0,005$	miligram
h. mangan	$\pm 0,018$	miligram

Selain garam meja, kita mengenal garam laut. Garam laut mengandung sejumlah kecil fluoride dan selenium. Magnesium adalah mineral yang berperan penting dalam pembentukan struktur tulang, energi, dan protein dalam tubuh.

Magnesium juga memiliki manfaat lain, antara lain: meningkatkan kinerja metabolisme tubuh; menjaga kepadatan tulang; menghindari gangguan pernapasan; menghindari sembelit; mengurangi nyeri punggung dan kram.

Fungsi zat besi yang paling utama bagi tubuh antara lain untuk pembentukan hemoglobin (Hb), fungsi otot, fungsi otak, pengaturan suhu tubuh, metabolisme energi, dan sistem enzim. Hemoglobin (Hb) adalah media utama pembawa oksigen ke seluruh tubuh dan memberikan warna merah pada eritrosit (sel darah merah).

Hemoglobin sangat penting dan selalu diproduksi oleh tubuh karena manusia cenderung kehilangan darah setiap saat seperti ketika hancurnya sel darah merah karena memang sudah saatnya rusak, melalui luka dalam maupun luar. Wanita akan banyak kehilangan darah setiap bulannya selama periode menstruasi. Itulah mengapa perempuan lebih berisiko menderita anemia dibandingkan laki-laki. Saat seseorang kekurangan zat besi hingga kadar hemoglobin menurun, maka dapat menyebabkan anemia defisiensi zat besi. Zat besi sangat penting bagi kerja otot, karena zat besi merupakan unsur penting yang ada di otot berupa mioglobin. Mioglobin mengangkut oksigen dari hemoglobin dan berdifusi ke seluruh sel-sel otot. Tanpa zat besi, otot akan kehilangan kekuatan dan elastisitasnya; sehingga melemahnya otot adalah salah satu tanda yang paling jelas dari anemia defisiensi zat besi. Peningkatan perkembangan otak juga merupakan salah satu dari sekian banyak manfaat zat besi. Karena pasokan oksigen dalam darah dibantu oleh besi dan tentunya ini sangat penting karena otak menggunakan sekitar 20% oksigen darah.

Zat besi secara langsung berhubungan dengan kesehatan dan fungsi otak. Ia menunjang aktivitas kognitif dan membantu untuk menciptakan jalur saraf baru untuk mencegah gangguan kognitif seperti demensia dan penyakit Alzheimer. Oleh karena itu, bagi mereka yang terpenuhi kebutuhan zat besinya, akan lebih mudah untuk konsentrasi. Zat besi adalah fasilitator penting untuk membuat enzim yang berperan pada metabolisme energi dan pengaturan suhu tubuh.

Pada seseorang dengan anemia defisiensi zat besi maka fungsi pengaturan suhunya menjadi terganggu. Fungsi zat besi lainnya yaitu sebagai bagian penting metabolisme energi dalam tubuh manusia. Di dalam sel, zat besi merupakan komponen tubuh yang membentuk enzim yang membantu proses terjadinya pembentukan energi. Sumber energi didapatkan dari makanan yang dikonsumsi dan kemudian didistribusikan ke seluruh bagian tubuh. Zat besi juga merupakan bagian penting dari berbagai sistem enzimatik karena berkaitan dengan beberapa enzim tubuh untuk menjalankan fungsinya bagi tubuh.

Fungsi utama kalsium adalah untuk memberikan struktur dan kekuatan pada tulang. Sebagian besar mineral ini (sekitar 99%) disimpan dalam tulang dan gigi, sedangkan sisanya disimpan dalam darah dan cairan tubuh. Dalam darah, mineral ini adalah pengatur penting dari proses tubuh seperti kontraksi otot, pensinyalan impuls saraf, pensinyalan hormon, dan pembekuan darah.

Fungsi fosfor untuk tubuh, yaitu menjaga tulang serta gigi tetap kuat dan sehat; membantu penggunaan energi; menyaring racun di ginjal; memelihara fungsi ginjal; mengatur metabolisme tubuh; menjaga dan mengatur fungsi saraf dan otot, termasuk jantung; memelihara dan memperbaiki jaringan dan sel yang rusak; menghasilkan DNA dan RNA; menjaga detak jantung tetap teratur.

Dalam plasma terdapat berbagai jenis ion atau elektrolit. Ion dalam plasma darah antara lain:

- a. natrium
- b. kalium
- c. magnesium
- d. kalsium
- e. klorida
- f. bikarbonat
- g. posfat
- h. sulfat.

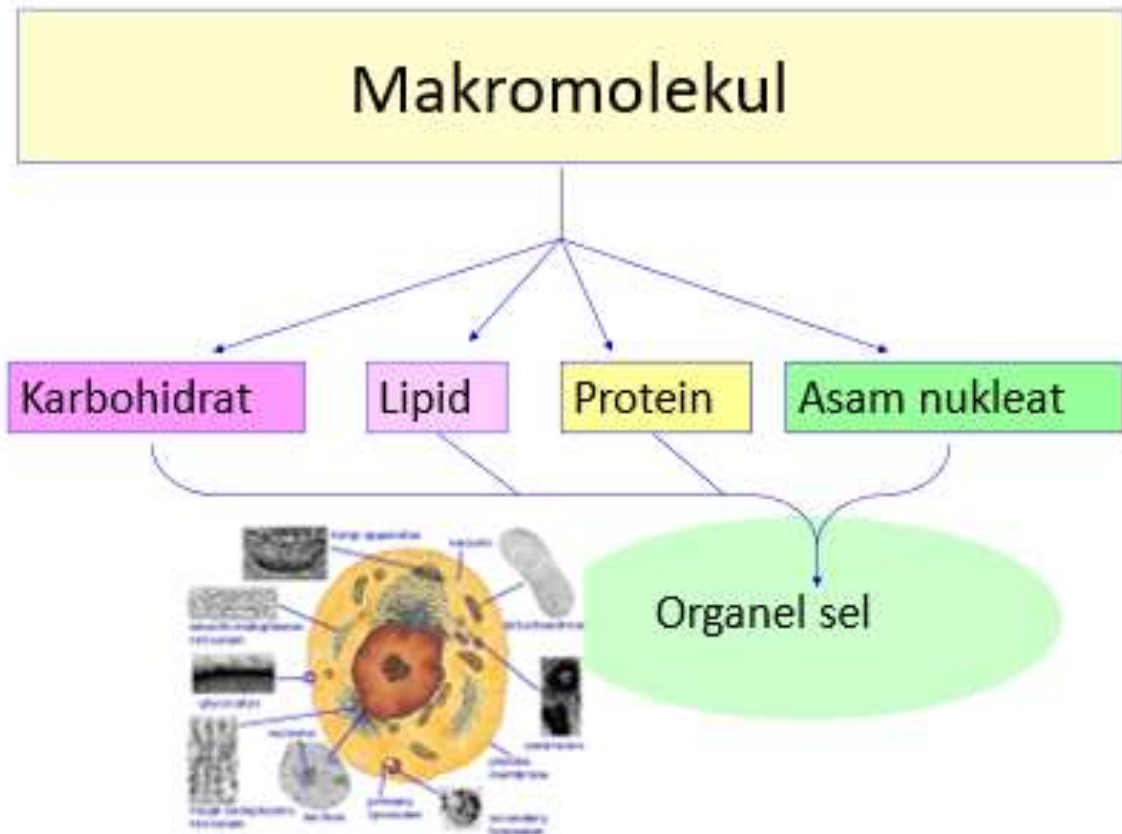
Beberapa ion membantu transmisi impuls listrik sepanjang membran sel di neuron dan otot. Ion lain membantu menstabilkan struktur protein dalam enzim. Selain itu, ion membantu melepaskan hormon dari kelenjar endokrin. Semua ion dalam plasma berkontribusi pada keseimbangan osmotik yang mengontrol pergerakan air antara sel dan lingkungannya.

Kandungan ion dalam plasma, meliputi :

a. Na ⁺	142 mmol/L
b. K ⁺	5.0 mmol/L
c. Mg ⁺²	1.5 mmol/L
d. Ca ⁺²	2.5 mmol/L
e. Cl ⁻	103 mmol/L
f. HCO ₃ ⁻	27 mmol/L
g. HPO ₄ ⁻²	1 mmol/L
h. SO ₄ ⁻²	0.5 mmol/L

2.2. Makromolekul

Di dalam sel terdapat makromolekul atau zat organik. Jenis makromolekul di dalam sel disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Makromolekul di dalam sel

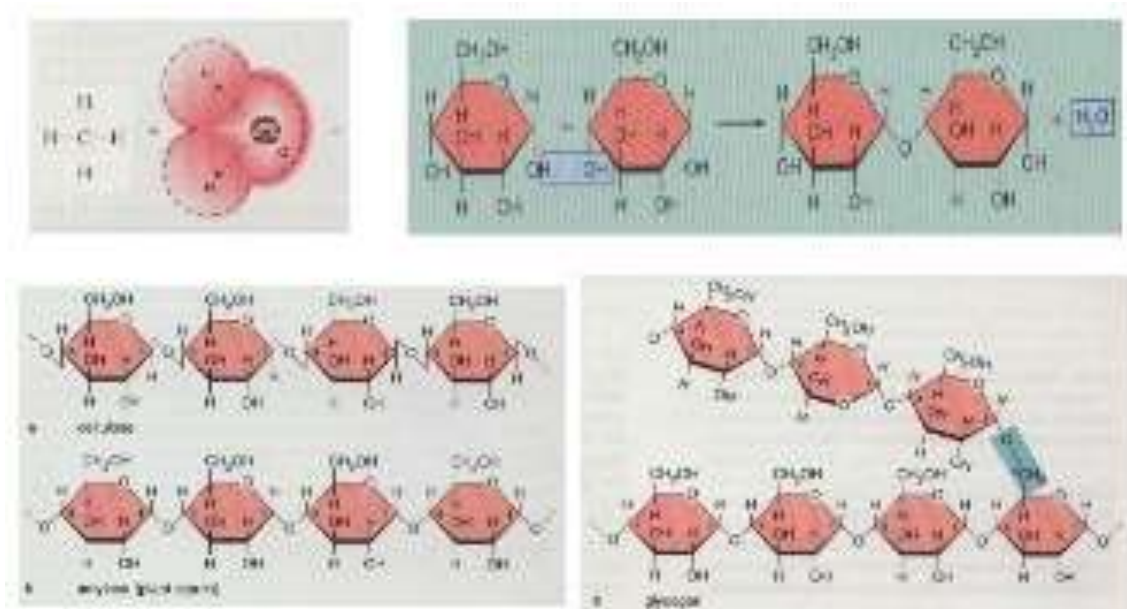
Karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat adalah empat kelas utama makromolekul biologis. Makromolekul tersebut diperlukan untuk kehidupan yang dibangun dari molekul organik yang lebih kecil. Unit penyusun makromolekul yaitu monomer. Monomer satu dengan yang lain digabungkan dengan ikatan kovalen membentuk polimer yang lebih besar. Jadi jelaskan bahwa polimer merupakan makromolekul.

BAB II. METABOLIT PRIMER

Metabolisme adalah serangkaian proses biokimia yang kompleks. Makhluk hidup melakukan metabolisme dan menghasilkan produk yang disebut sebagai metabolit. Metabolit primer merupakan zat yang dihasilkan oleh proses metabolisme tahap awal. Metabolisme tahap awal pada tumbuhan menghasilkan produk berupa gula sederhana, asam amino, asam nukleat dan lemak (lipid). Komponen yang termasuk metabolit primer tersebut digunakan untuk proses seluler, dan merupakan bahan penyusun utama makhluk hidup. Fungsi metabolit primer untuk menyokong kelangsungan hidup organisme.

1. Karbohidrat

Karbohidrat memiliki rumus umum $C_n (H_2O)_n$. Monomer karbohidrat yang mengandung 6 atom C berarti memiliki rumus molekul $C_6 H_{12} O_6$. Pada tumbuhan $C_6 H_{12} O_6$ disintesis dari CO_2 dan H_2O dengan proses fotosintesis. Selanjutnya, $C_6 H_{12} O_6$ digunakan untuk membentuk polimer. Rumus bangun CO_2 , H_2O , Glukosa, amylum dan glikogen disajikan pada gambar 3.



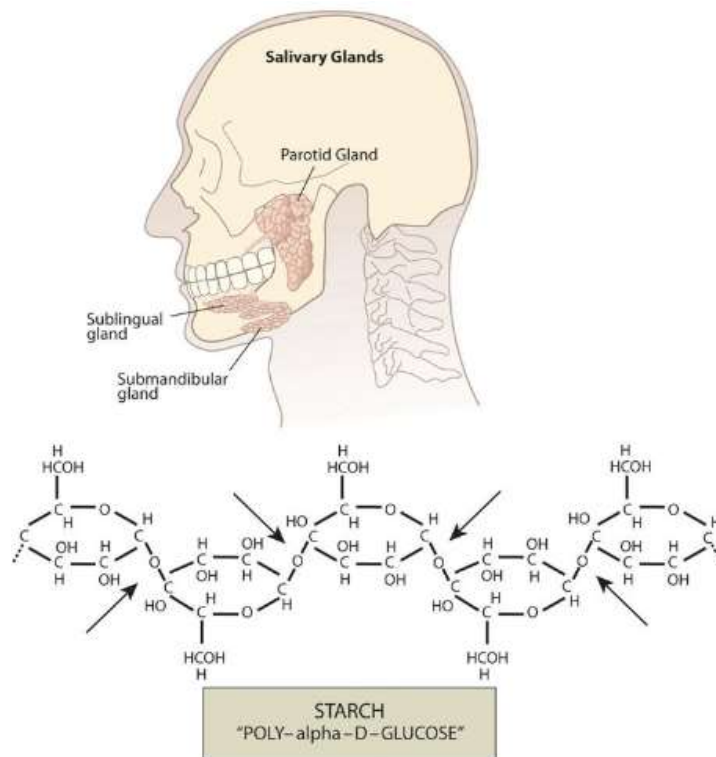
Gambar 3. Rumus bangun CO_2 , H_2O , Glukosa, amylum dan glikogen.

Tubuh memperoleh energi yang diperlukan untuk mendukung berbagai aktivitas sehari-hari. Kebutuhan karbohidrat bagi orang dewasa setiap hari berkisar antara 220 – 300 gram.

Ada beberapa fungsi karbohidrat bagi tubuh kita, antara lain:

- a. Sumber energi utama
- b. Pengendali berat badan
- c. Pencegah berbagai penyakit
- d. Penentu indeks glikemik

Pada awalnya, karbohidrat masuk ke tubuh melewati mulut kita. Di dalam mulut, karbohidrat mengalami pencernaan baik secara mekanik maupun kimiawi. Pencernaan secara kimiawi terhadap karbohidrat di dalam rongga mulut kita dilakukan oleh enzim amilase yang terdapat di dalam air liur. Pencernaan karbohidrat secara kimiawi dalam mulut disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Pencernaan karbohidrat dalam mulut.

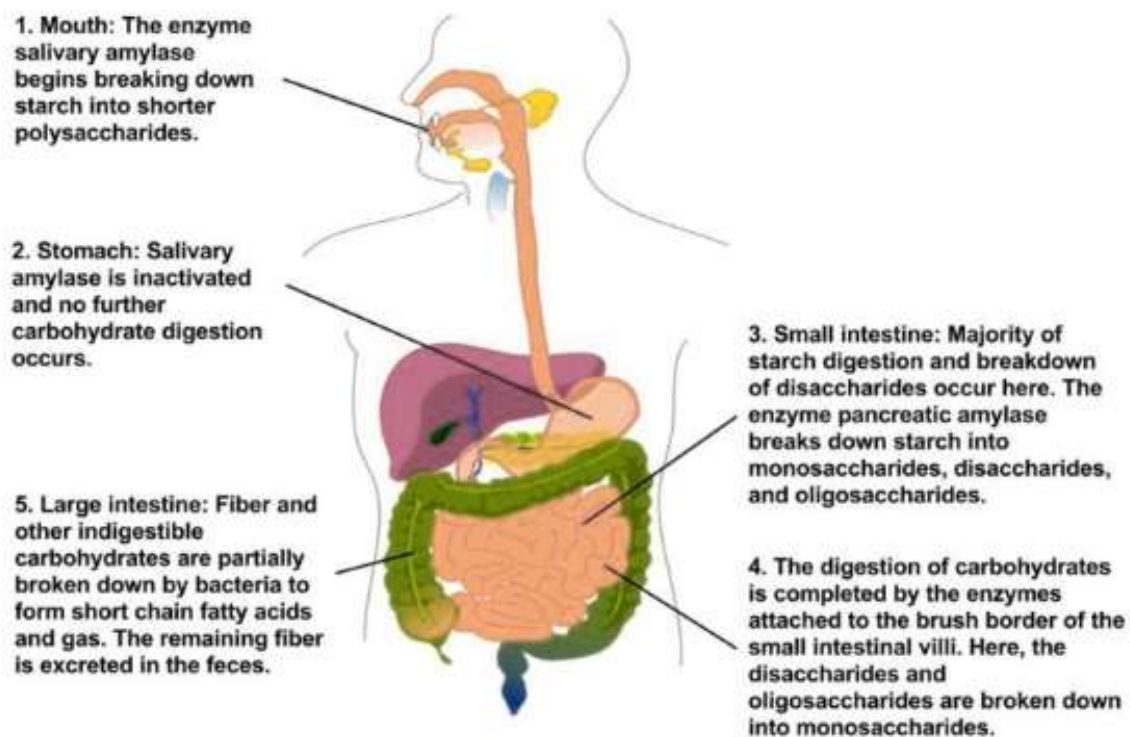
Sumber:

<http://pressbooks.bccampus.ca/sciencehumannutrition/chapter/digestion-and-absorption-of-carbohydrates/>

Selanjutnya, karbohidrat menuju ke lambung untuk dicerna baik mekanik maupun kimiawi. Perlu dicatat bahwa di dalam lambung, karbohidrat juga mengalami hidrolisis oleh HCl yang diproduksi oleh dinding lambung.

Karbohidrat di dalam tubuh mengalami pencernaan sehingga dihasilkan zat gula. Zat gula tersebut, kemudian diserap oleh saluran cerna, dan selanjutnya masuk ke aliran darah. Zat gula di dalam darah masuk ke dalam sel tubuh dengan bantuan insulin. Di dalam sel tubuh, zat gula tersebut digunakan sebagai sumber energi.

Secara ringkas proses metabolisme karbohidrat di dalam tubuh disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Proses pencernaan karbohidrat pada manusia. Sumber: Allison Calabrese / [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<http://pressbooks.bccampus.ca/sciencehumannutrition/chapter/digestion-and-absorption-of-carbohydrates/>

Jika kita makan karbohidrat kompleks, maka kandungan serat yang tinggi dalam makanan tersebut dapat mengontrol LDL maupun kadar gula darah. Inilah yang menyebabkan bahwa makanan karbohidrat kompleks baik untuk menurunkan resiko berbagai jenis penyakit yang berhubungan dengan LDL maupun kadar gula

darah. Contoh yang jelas, karbohidrat kompleks dapat menurunkan resiko terjadinya obesitas, diabetes tipe 2, penyakit jantung, stroke, maupun gangguan pencernaan.

Kita sering mendengar istilah indeks glikemik. Indeks glikemik digunakan sebagai indikator untuk menilai kecepatan karbohidrat atau gula di dalam makanan yang diserap ke dalam tubuh. Indeks glikemik yang tinggi menunjukkan bahwa makanan semakin cepat meningkatkan kadar gula darah. Sebaliknya dari pernyataan tersebut yaitu indeks glikemik yang rendah menunjukkan bahwa makanan semakin lambat meningkatkan kadar gula darah.

Sehubungan dengan indeks glikemik tersebut diatas, maka jika kita sering memakan makanan dengan indeks glikemik tinggi, misalnya kue manis, cokelat, roti tawar putih, dan minuman bersoda, maka dapat meningkatkan risiko terkena diabetes tipe 2. Namun demikian perlu kita ingat bahwa kekurangan karbohidrat juga berbahaya bagi tubuh kita. Gejala yang muncul apabila kita kekurangan karbohidrat antara lain, mual, pusing, dan lemas.

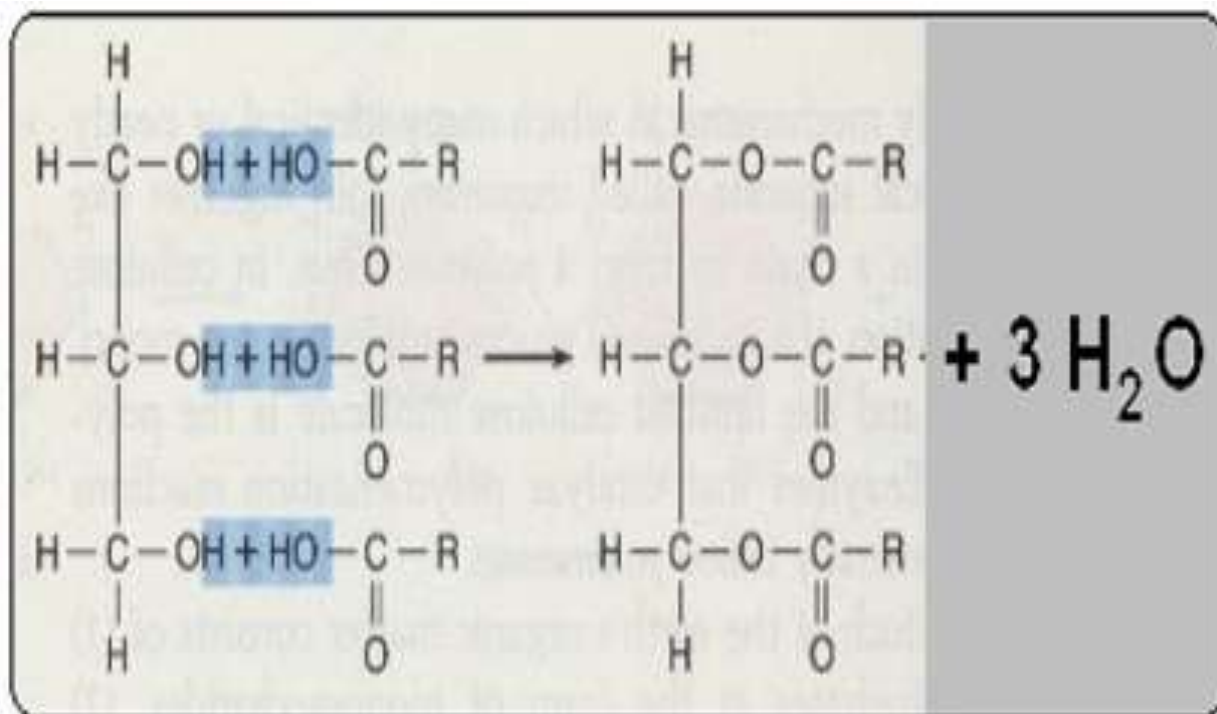
Orang yang menjalankan diet ekstrem yaitu membatasi asupan karbohidrat dan nutrisi lain maka berisiko terhadap sembelit dan dehidrasi. Oleh karena itu jika ingin diet seperti tersebut, sebaiknya konsultasikan ke dokter terlebih dahulu agar memperoleh saran dan anjuran yang tepat. Selain itu, kita juga memperoleh jenis makanan yang tepat untuk tubuh kita. Hasilnya kita dapat memperoleh manfaat maksimal untuk Kesehatan tubuh.

Pada hewan dan manusia, glukosa yang memiliki rumus $C_6 H_{12} O_6$ diperoleh dari pemecahan sumber bahan makanan yang dikonsumsi. Beberapa jenis bahan makanan yang mengandung karbohidrat antara lain:

- a. Nasi (nasi putih maupun nasi merah)
- b. Sagu
- c. Umbi-umbian
- d. Biji-bijian
- e. Gandum
- f. Kacang-kacangan
- g. Buah-buahan (pisang, apel, mangga, maupun kurma)
- h. Sayur (bayam maupun brokoli).

2. Lipid

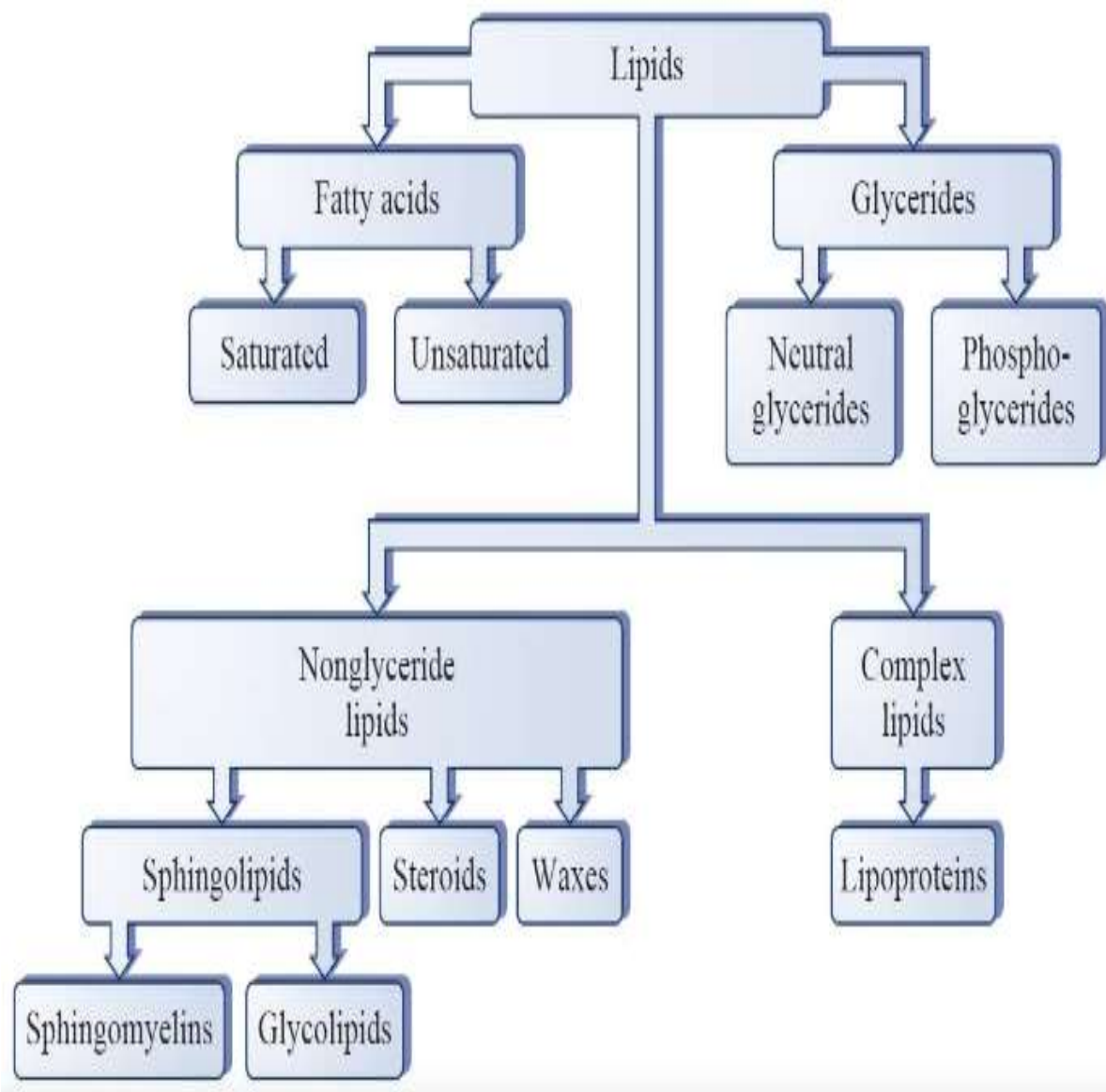
Lipid atau lemak merupakan ester asam lemak dan gliserol. Untuk membentuk satu molekul lipid diperlukan satu molekul gliserol dan 3 molekul asam lipid. Rumus molekul lipid disajikan pada gambar 6.



Gambar 6. Rumus molekul lipid.

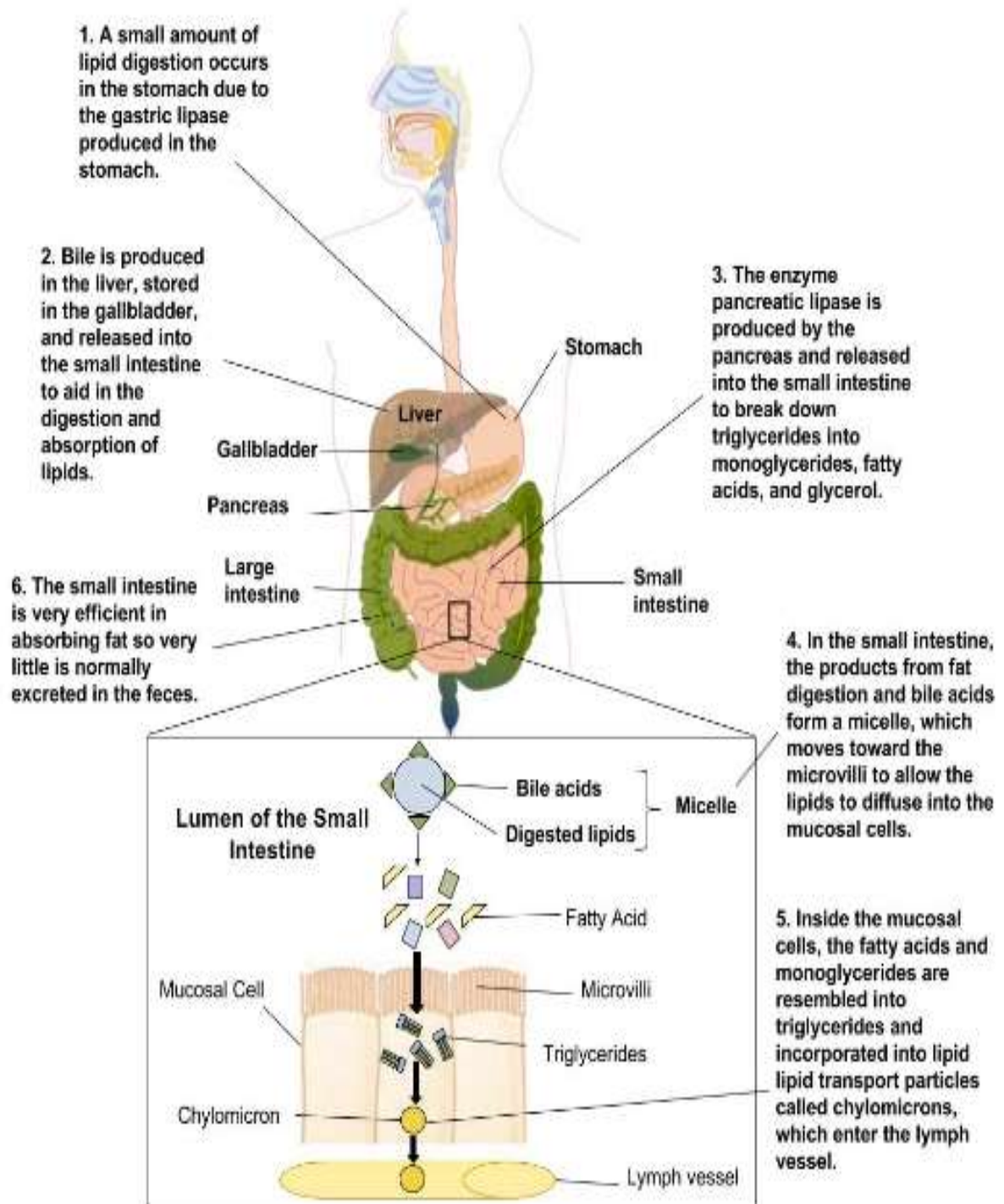
Rumus molekul di atas memperlihatkan lipid sederhana. Lipid dalam makanan mengalami metabolisme di dalam tubuh kita. Metabolisme tersebut meliputi pemecahan lipid yang dikandung dalam makanan menjadi monomer lipid, kemudian monomer lipid mengalami penyerapan oleh usus dan masuk ke system sirkulasi. Lipid dalam system sirkulasi dibawa ke hati selanjutnya ke sel tubuh. Di dalam sel tubuh kita, monomer lipid disintesis menjadi lipid. Proses mensintesis lipid disebut lipogenesis. Sebagian besar lipid di dalam tubuh kita berupa trigliserida dan kolesterol.

Penggolongan lipid dilakukan menjadi 4 golongan (gambar 7).



Gambar 7. Penggolongan lipid menjadi 4 golongan. Sumber: <http://www.creative-diagnostics.com/lipid-metabolism-and-enzymes.htm>

Lipid di dalam makanan mengalami proses pencernaan dan diserap oleh usus, selanjutnya dibawa ke hati, selanjutnya dibawa menuju ke jaringan lipid. Untuk lebih memudahkan pemahaman tentang proses pencernaan lipid dan penyerapannya di dalam usus manusia, berikut disajikan gambar 8.

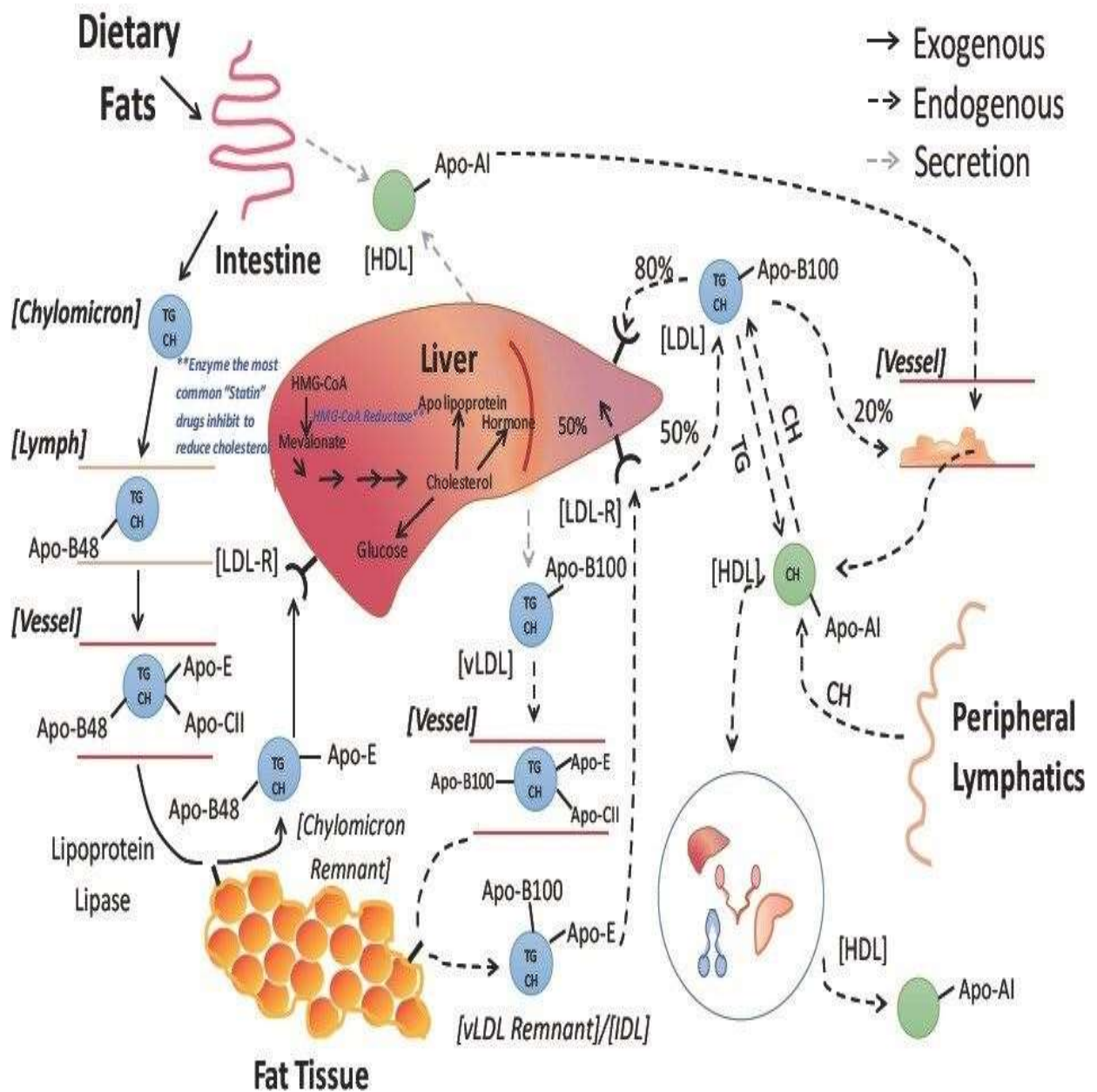


Gambar 8. Proses pencernaan dan penyerapan lipid di dalam usus manusia.

Sumber : Allison Calabrese / [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

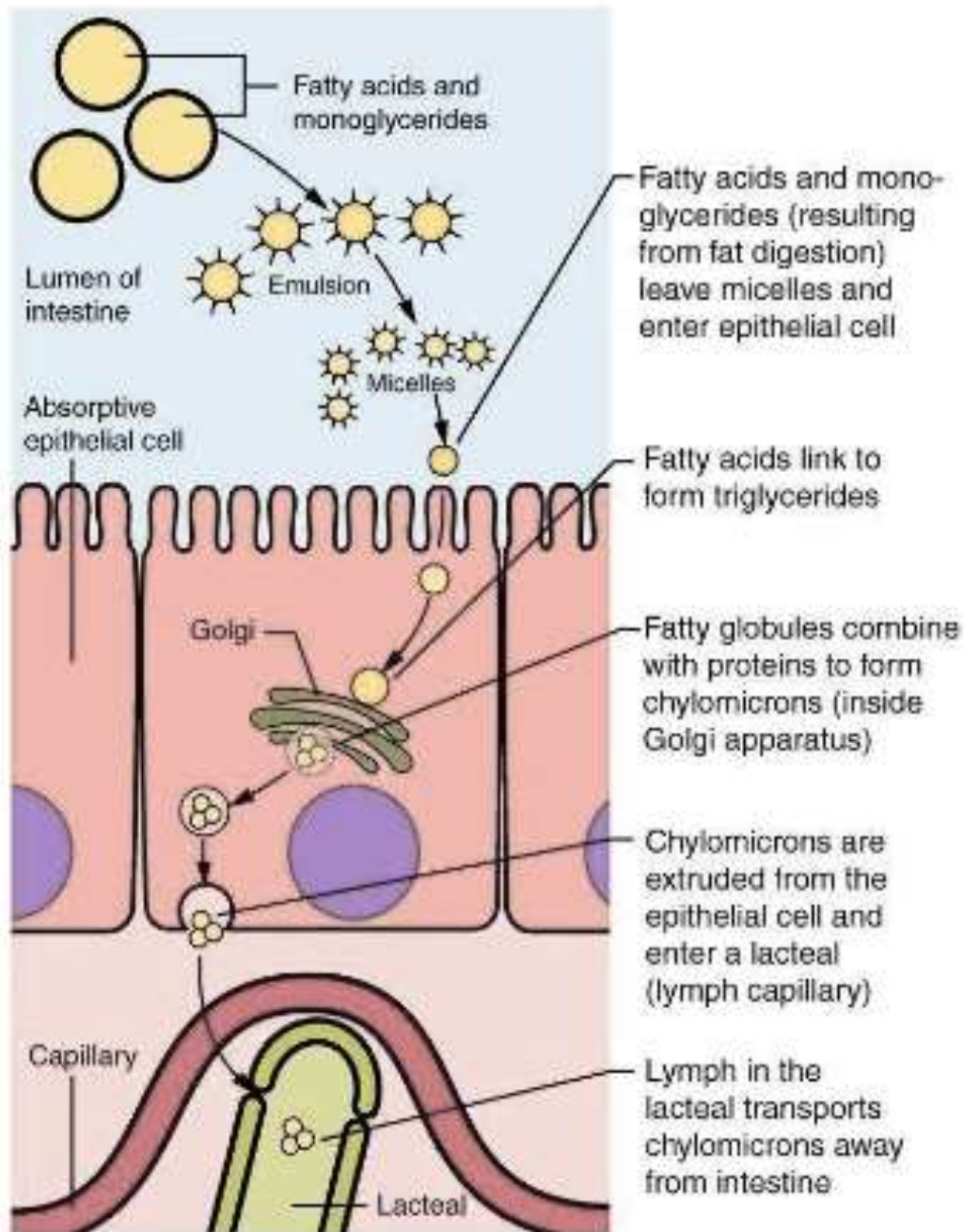
[http://med.libretexts.org/Bookshelves/Nutrition/Human_Nutrition_2020e_\(Hawaii\)/05%3A_Lipids/5.06%3A_Digestion_and_Absorption_of_Lipids](http://med.libretexts.org/Bookshelves/Nutrition/Human_Nutrition_2020e_(Hawaii)/05%3A_Lipids/5.06%3A_Digestion_and_Absorption_of_Lipids)

Selanjutnya lipid dari usus menuju ke hati untuk mengalami metabolisme lebih lanjut. Secara terinci metabolisme lipid di dalam hati disajikan pada gambar 9.



Gambar 9. Metabolisme lipid dalam hati. Sumber: <http://www.creative-diagnostics.com/lipid-metabolism-and-enzymes.htm>

Selain di hati, lipid juga mengalami metabolisme di dalam pancreas. Metabolisme lipid dalam pancreas disajikan pada gambar 10.

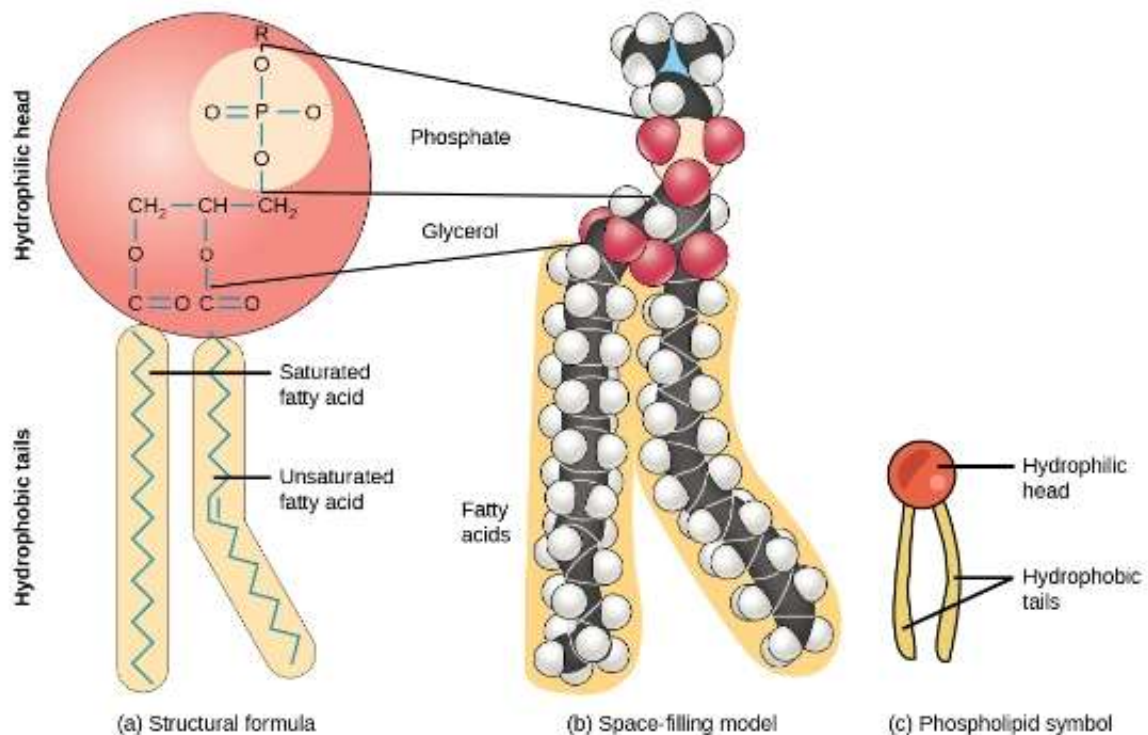


Gambar 10. Metabolisme lipid di dalam Pankreas. Sumber: <http://www.creative-diagnostics.com/lipid-metabolism-and-enzymes.htm>

Berdasar uraian tersebut di atas, lipid berfungsi sebagai penyusun sel. Sel lipid membentuk jaringan lipid. Hewan dan manusia yang memiliki jaringan lipid yang banyak, misalnya pada bagian paha, perut dan pinggul. Selain itu, lipid juga digunakan sebagai sumber energi tubuh. Sumber energi tubuh yang bersumber

pada lipid dapat berasal dari asupan lipid dalam makanan, dan dari lipid Cadangan atau lipid simpanan di dalam jaringan lipid. Orang gemuk yang sakit berkepanjangan sehingga asupan makanannya berkurang dapat memanfaatkan cadangan lipid dalam tubuh untuk dipecah menghasilkan energi tubuh. Hal inilah yang menyebabkan orang gemuk yang sakit berkepanjangan menjadi kurus. Jadi jelaslah bahwa orang gemuk yang sakit berkepanjangan menjadi kurus karena menggunakan lipid cadangan sebagai sumber energi.

Apabila lemak sederhana berikatan dengan senyawa posfat maka terbentuklah posfolipid. Posfolipid merupakan salah satu contoh lemak kompleks. Posfolipid penting sebagai penyusun membrane sel. Posfolipid disajikan pada gambar 11.



Gambar 11. Posfolipid. Sumber: © 2023 Lumen Learning.

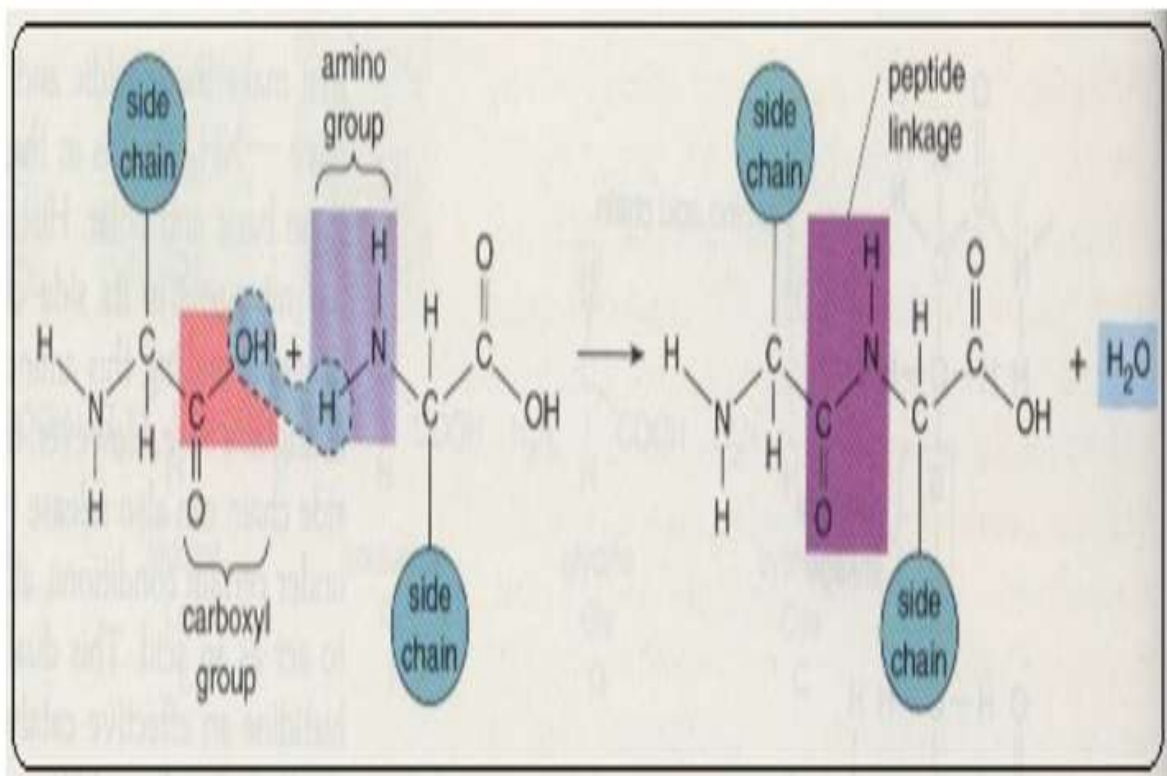
Diakses pada <http://lumenlearning.com/copyright/>, Maret 08 2024.

Lemak yang diproduksi oleh tumbuhan disebut lemak nabati, sedangkan lemak yang dihasilkan dalam tubuh hewan merupakan lemak hewani. Lemak nabati berguna untuk menjaga kesehatan tubuh karena dapat menurunkan kadar kolesterol dan mencegah penyakit tertentu. Lemak hewani merupakan lemak yang

diproduksi oleh sel hewan. Lemak yang disimpan dalam tubuh sangat berperan penting untuk menyimpan energi, mengatur suhu tubuh, dan melindungi anggota tubuh.

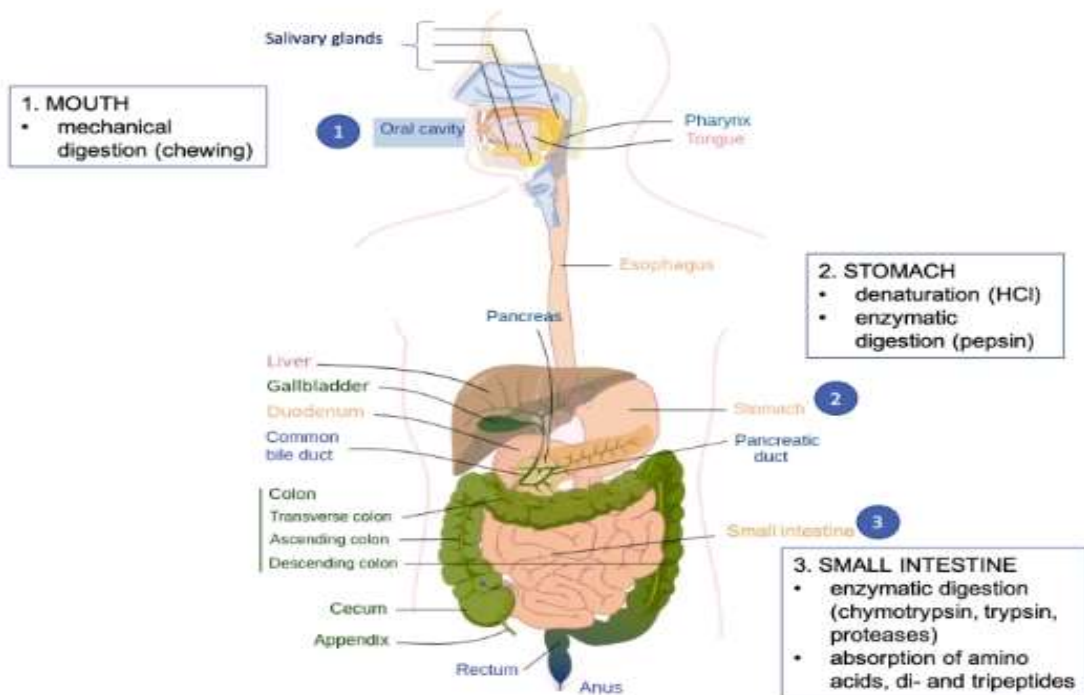
3. Protein

Protein merupakan polimer dari asam amino. Asam amino yang satu berikatan dengan asam amino yang lain dengan ikatan peptide sehingga terbentuk dipeptide. Protein disebut juga polipeptida karena terbentuk dari banyak asam amino. Ikatan pepetida disajikan pada gambar 12.



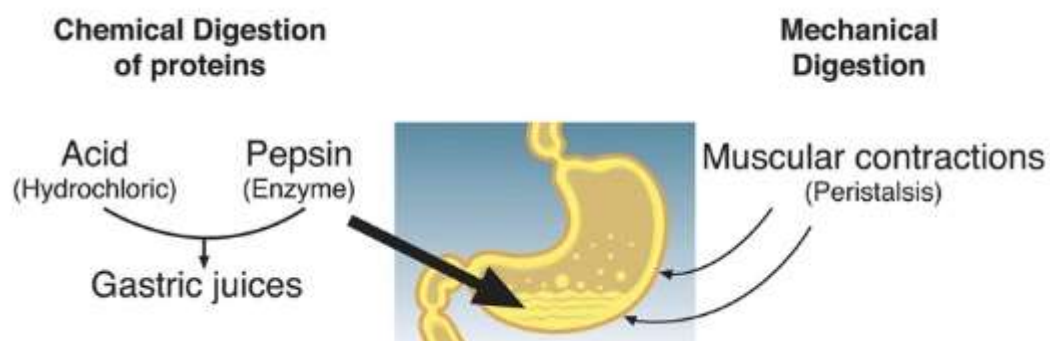
Gambar 12. Ikatan peptide

Pada prinsipnya, protein di dalam makanan mengalami pencernaan sampai menghasilkan asam amino. Asam amino hasil pencernaan protein yang berasal dari bahan makanan tersebut barulah diabsorpsi ke dalam oleh jonjot usus masuk ke dalam system sirkulasi. Proses pencernaan protein dalam saluran cerna disajikan pada gambar 13.



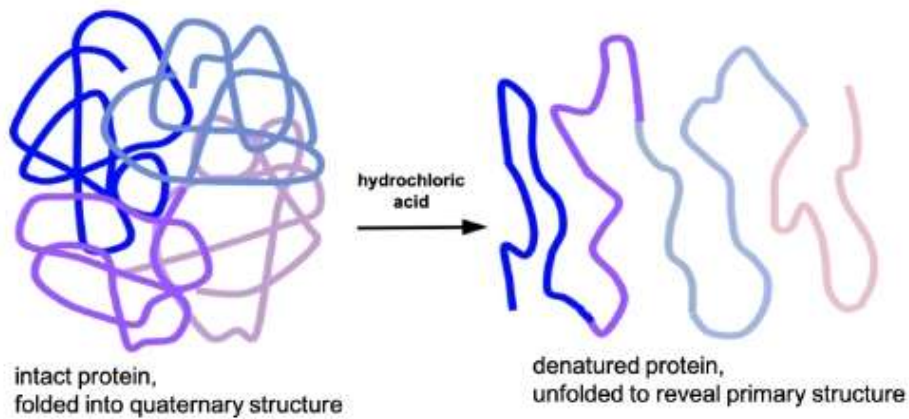
Gambar 13. Proses pencernaan protein dalam saluran cerna. Sumber : <http://openoregon.pressbooks.pub/nutritionscience/chapter/6d-protein-digestion-absorption/>

Di dalam lambung, protein dicerna baik secara fisik maupun secara kimia. Pencernaan protein di dalam lambung disajikan pada gambar 14.



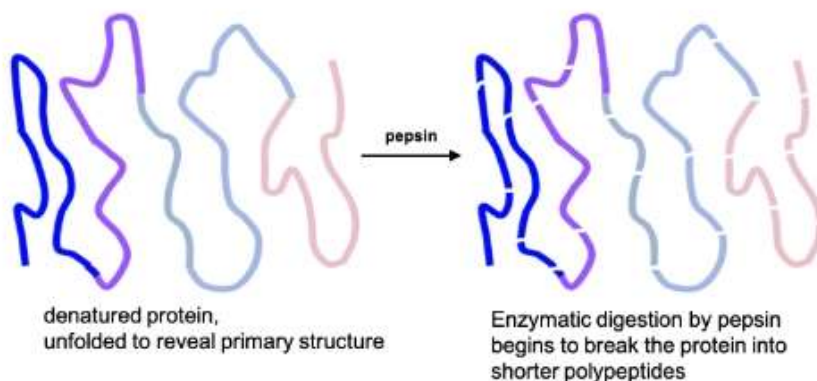
Gambar 14. Pencernaan protein di dalam lambung. Sumber : <http://openoregon.pressbooks.pub/nutritionscience/chapter/6d-protein-digestion-absorption/>

Di dalam lambung, protein dinaturasi oleh asam lambung menghasilkan protein primer. Proses denaturasi protein di dalam lambung disajikan pada gambar 15.



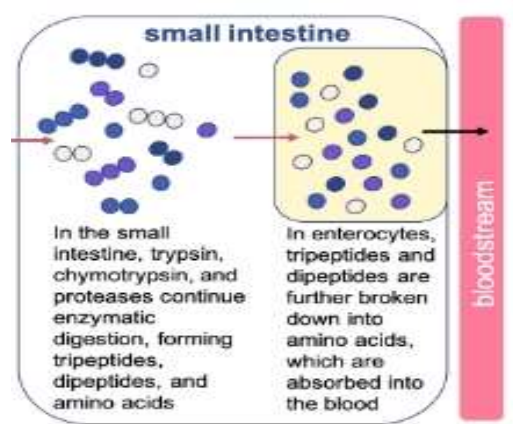
Gambar 15. Proses denaturasi protein di dalam lambung. Sumber : <http://openoregon.pressbooks.pub/nutritionscience/chapter/6d-protein-digestion-absorption/>

Langkah berikutnya yaitu memutus ikatan peptida pada rantai protein yang berstruktur primer oleh enzim pepsin. Aksi enzim pepsin dalam metabolisme protein tersebut disajikan pada gambar 16.



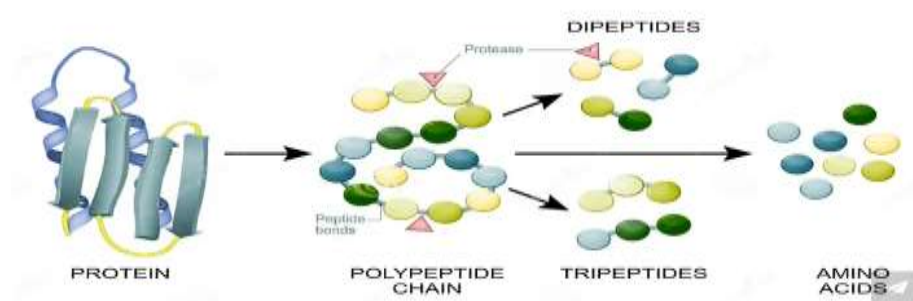
Gambar 16. Aksi enzim pepsin dalam pencernaan protein. Sumber : <http://openoregon.pressbooks.pub/nutritionscience/chapter/6d-protein-digestion-absorption/>

Hasil pencernaan protein di dalam lambung, selanjutnya masuk ke usus halus. Di dalam usus halus, protein dicerna oleh enzim-enzim protease sehingga tahap akhir dihasilkan asam amino. Secara ringkas pencernaan protein di dalam usus halus disajikan pada gambar 17.



Gambar 17. Pencernaan protein di dalam usus. Sumber : <http://openoregon.pressbooks.pub/nutritionscience/chapter/6d-protein-digestion-absorption/>.

Di dalam saluran cerna, protein dimetabolisme menghasilkan asam amino. Asam amino hasil metabolisme protein tersebut selanjutnya diserap oleh jonjot usus. Prinsip pencernaan protein menjadi asam amino disajikan pada gambar 18.



Gambar 18. Pencernaan protein menghasilkan asam amino. Sumber: <http://www.dreamstime.com/protein-digestion-enzymes-protein-digestion-enzymes-proteases-peptidases-digestion-breaks-protein-smaller-peptide-image220559499>

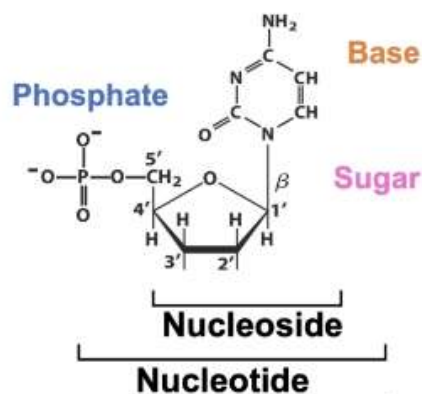
Fungsi protein bagi tubuh meliputi proses pembekuan darah, menjaga keseimbangan cairan, respons sistem imun tubuh, pembentukan hormon, pembentukan enzim, menjaga kesehatan mata, mengembangkan massa dan kekuatan otot, menjaga kesehatan tulang, memberikan rasa kenyang lebih lama, menjaga kebugaran tubuh, menjaga keseimbangan hormon, sumber energi, dan mendukung pertumbuhan sel tubuh

4. Asam nukleat

Asam nukleat disusun oleh zat gula, basa nitrogen dan posfat. Apabila zat gula deoksiribosa sebagai molekul inti asam nukleat maka disebut asam deoksiribonukleat (AND atau deoxyribonucleic acid=DNA), sedangkan asam nukleat yang mengandung zat gula ribose disebut asam ribonukleat (ARN atau ribonucleic acid=RNA). Senyawa posfat yang Menyusun DNA dan RNA sama, tetapi basa nitrogen yang Menyusun DNA dan RNA berbeda. Jenis basa nitrogen pada DNA yaitu adenin, timin, sitosin dan guanin, sedangkan pada RNA yaitu adenin, urasil, sitosin, dan guanin.

4.1. Struktur asam deoksiribonukleat (DNA)

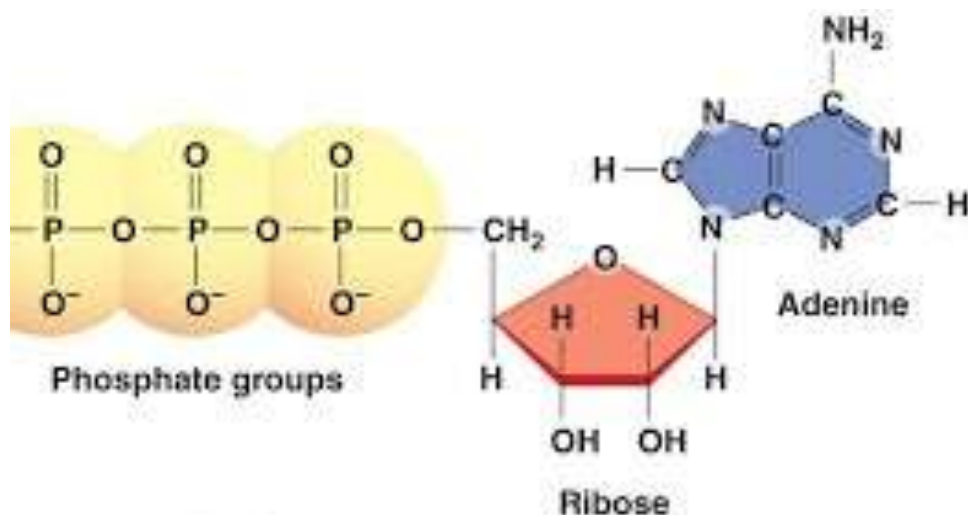
DNA disusun oleh zat gula deoksiribosa, basa nitrogen dan posfat. DNA terdapat pada inti sel eukariota. Prokariota juga ada yang memiliki DNA. DNA pada prokariota berbentuk sirkuler, tetapi pada eukariota berbentuk double heliks. DNA berperan sebagai pembawa informasi genetic, dan mengatur aktivitas sel. Replikasi DNA diperlukan untuk pembelahan sel. Rumus struktur monomer DNA disajikan pada gambar 19.



Gambar 19. Rumus struktur DNA. Sumber: © 2023 Lumen Learning.

4.2. Struktur asam ribonukleat (DNA)

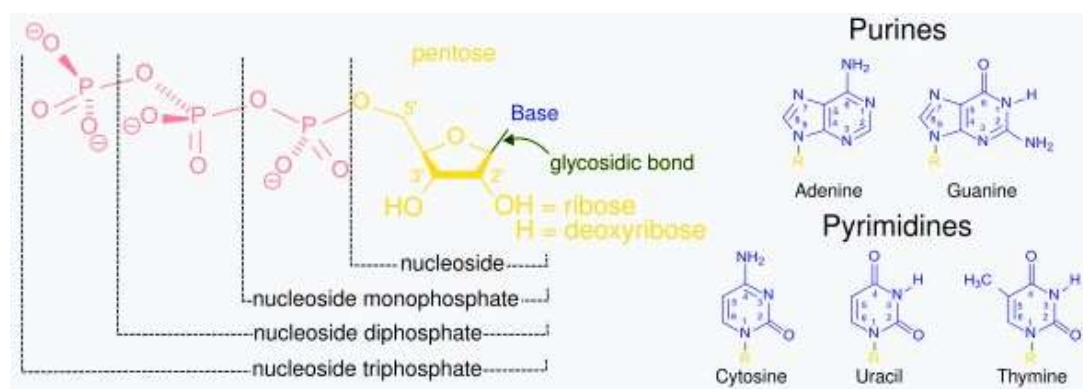
RNA disusun oleh zat gula deoksiribosa, basa nitrogen dan posfat. Pada sel eukariota, ada 3 jenis RNA yaitu mRNA, tRNA dan rRNA. RNA disintesis dari DNA dengan proses transkripsi. Selanjutnya RNA tersebut digunakan untuk sintesis protein. Rumus struktur monomer RNA disajikan pada gambar 20.



Gambar 20. Monomer RNA. Sumber: © 2023 Lumen Learning

4.3. Metabolisme asam nukleat

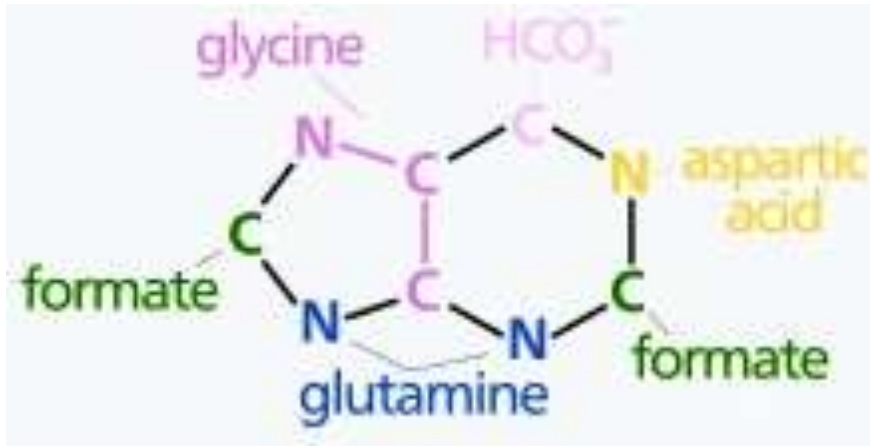
Berdasar uraian tersebut di atas, asam nukleat terdiri atas posfat, zat gula pentose, dan basa nitrogen. Untuk mempermudah memahami topik tersebut, berikut disajikan komposisi asam nukleat yang disajikan pada 21.



Gambar 21. Komposisi asam nukleat. Sumber:

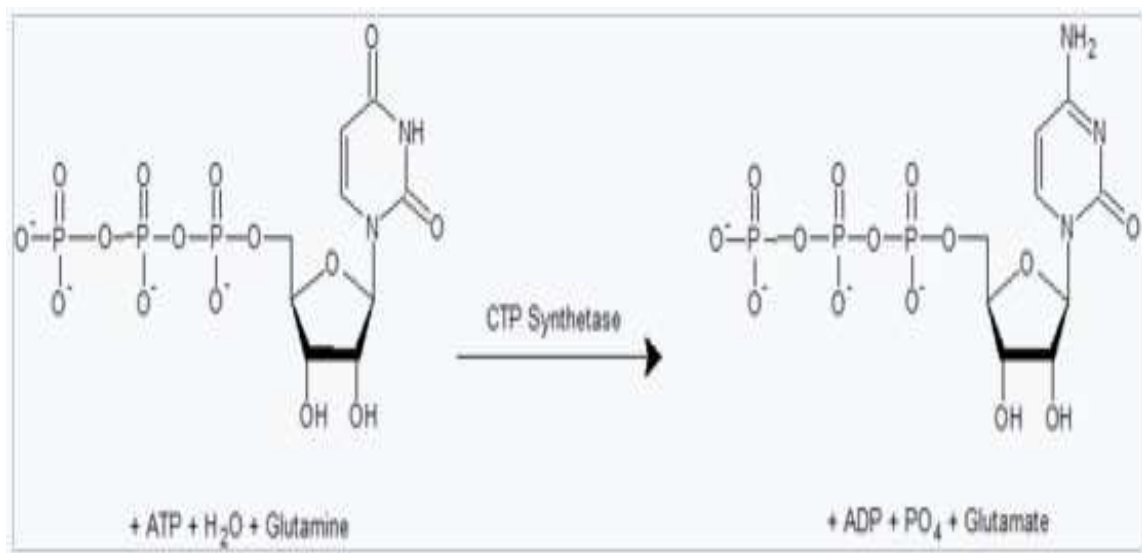
http://en.wikipedia.org/wiki/Nucleic_acid_metabolism

Perlu kita ketahui bahwa dalam sintesis DNA dan RNA tidak terlepas dari sintesis purin dan pirimidin yang menjadi cirikhas komponen penyusunnya. Adenin dan guanin sebagai 2 molekul yang termasuk purin. Purin dibentuk oleh atom-atom dari asam amino tertentu. Sumber atom pembentuk purin disajikan pada gambar 22.



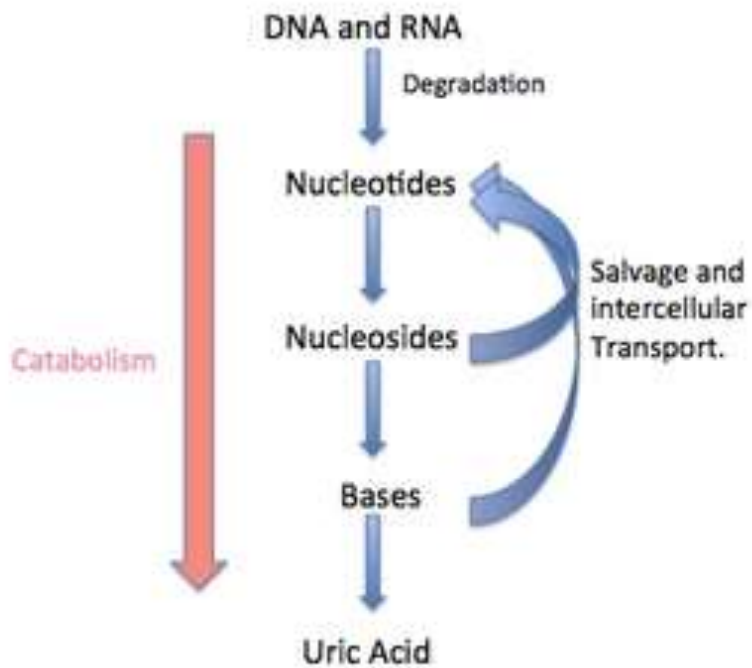
Gambar 22. Sumber atom pembentuk purin. Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Nucleic_acid_metabolism

Sitosin, Urasil dan Timin termasuk pirimidin. Dalam proses pembentukan pirimidin terlebih dahulu dibentuk molekul uridin. Selanjutnya molekul yang terbentuk digunakan untuk membentuk molekul pirimidin yang lain. Sebagai contoh perubahan dari uridin triposfat menjadi sitidin triposfat disajikan pada gambar 23.



Gambar 23. Perubahan dari uridin triposfat menjadi sitidin triposfat. Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Nucleic_acid_metabolism

Pada proses degradasi DNA dan RNA maka akan dihasilkan asam urat. Secara ringkas proses degradasi DNA dan RNA menghasilkan asam urat disajikan pada gambar 24.



Gambar 24. Degradasi DNA dan RNA. Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Nucleic_acid_metabolism

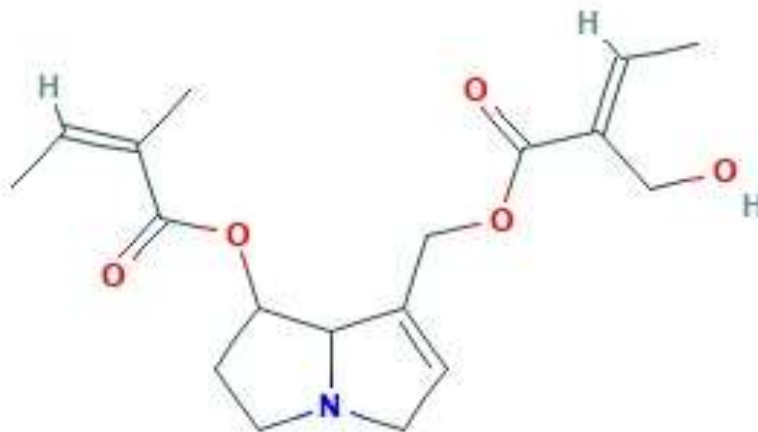
BAB III. METABOLIT SKUNDER

Metabolit sekunder merupakan produk alami yang diturunkan dan disintesa dari metabolit primer sebagai respon dari stres. Contoh produksi metabolit sekunder sebagai respon untuk mencegah herbivora. Berdasarkan struktur kimianya, metabolit sekunder dibedakan menjadi:

- a. alkaloid
- b. terpenoid
- c. senyawa fenolik.

1. Alkaloid

Alkaloid merupakan metabolit sekunder dengan rumus molekul $C_{18}H_{25}NO_5$. Rumus struktur alkaloid disajikan pada gambar 25.

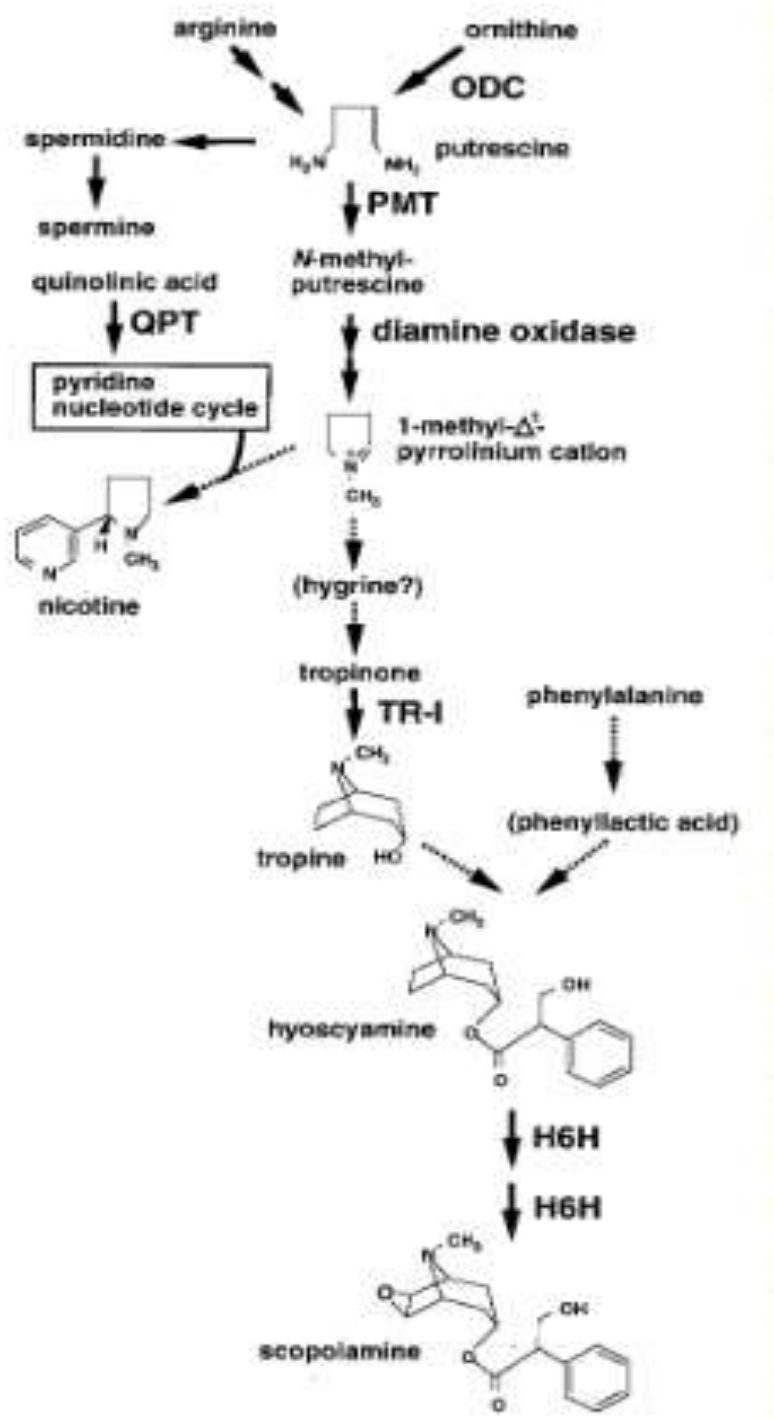


Gambar 25. Rumus struktur alkaloid. Sumber: PubChem (2024).

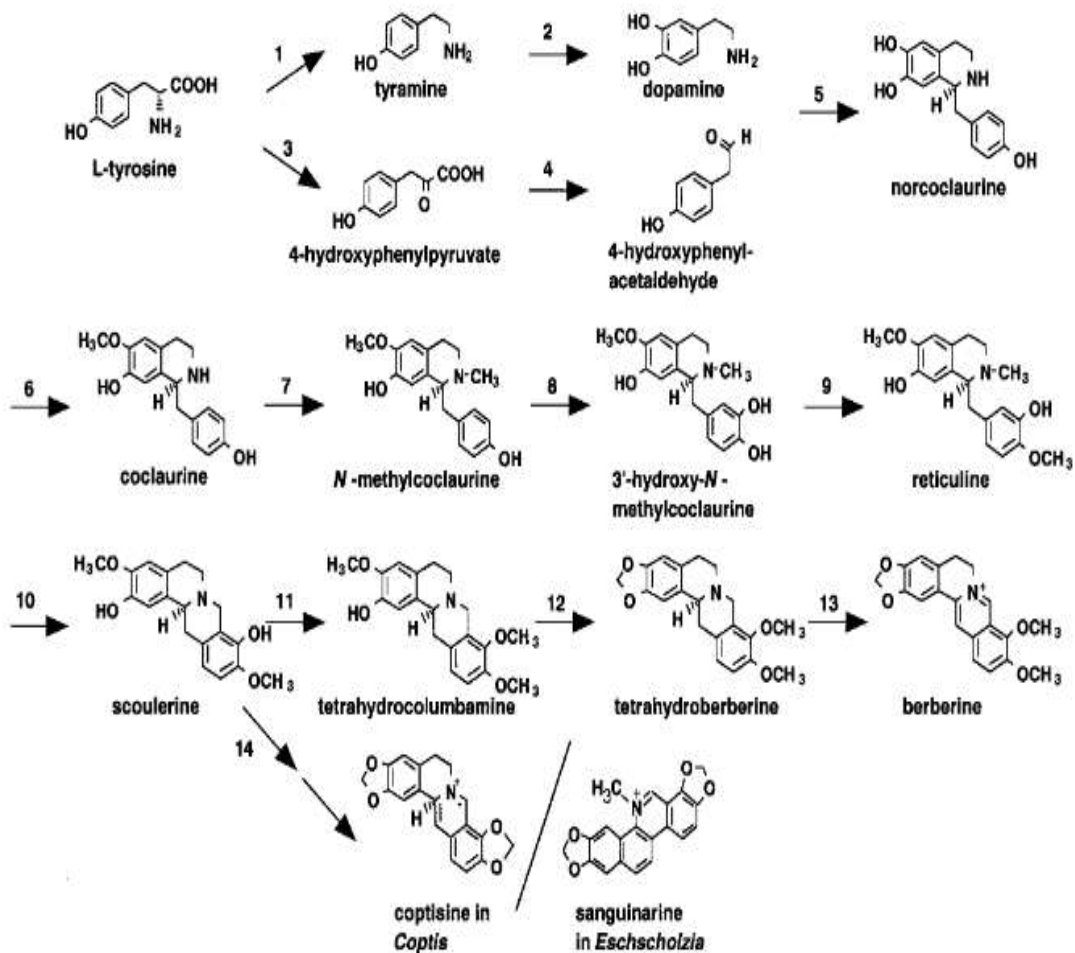
Contoh tumbuhan yang menghasilkan alkaloid antara lain *Lantana camara* Linn. Fungsi alkaloid digunakan untuk mempertahankan kehidupan tumbuhan. Beberapa jenis alkaloid telah digunakan dalam pengobatan, antara lain: quinin, kafein, atropine, kodein, piperin, saponin, reserpin, vinblastine, dan epedrin. Quinin digunakan untuk pengobatan penyakit malaria. Kafein digunakan sebagai penenang saraf. Atropine digunakan sebagai cairan tetesan mata. Kodein digunakan sebagai pereda nyeri, dan sebagai obat batuk. Piperin digunakan sebagai bioinsektisida. Saponin digunakan sebagai antibakteri. Reserpin digunakan sebagai obat disfungsi ereksi. Vinblastin digunakan untuk

penyembuhan kanker. Epedrin digunakan untuk mempengaruhi konstiksi pembuluh darah.:

Jalur biosintesis dari alkaloid tropane dan nikotin disajikan pada gambar 26, sedangkan jalur sintesis isoquinoline alkaloid disajikan pada gambar 27.



Gambar 26. Jalur biosintesis alkaloid tropane dan nikotin. Sumber: Sato et al., (20021).

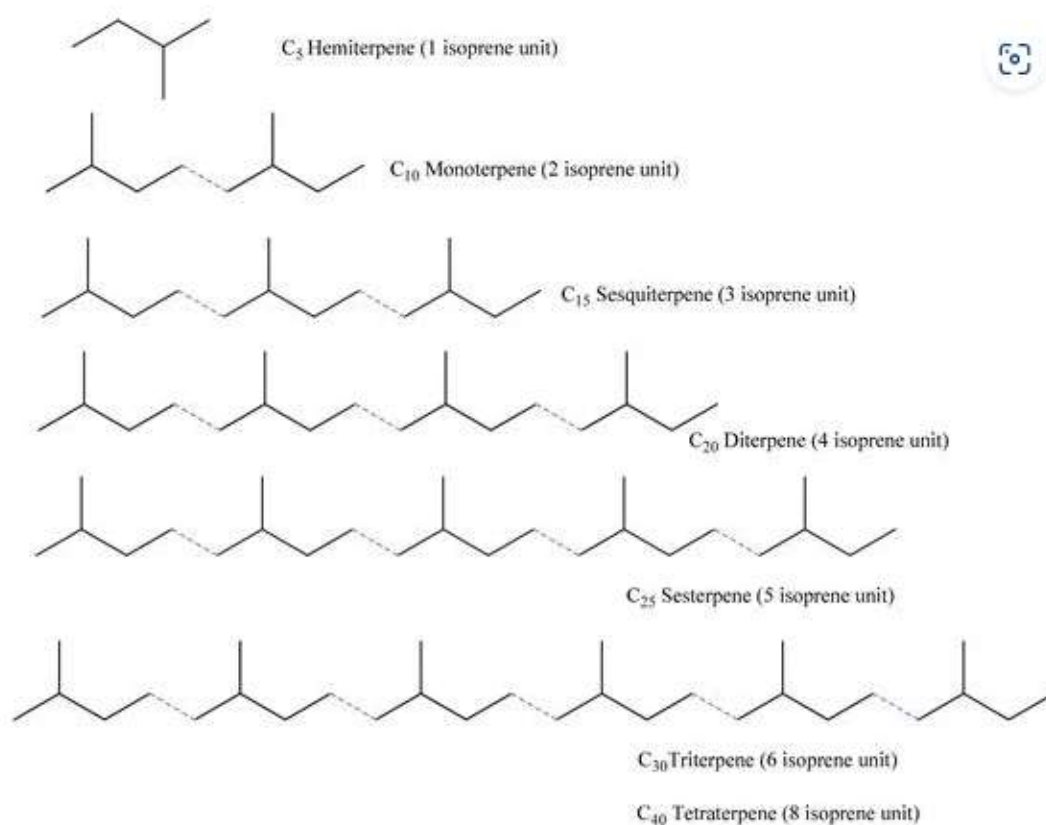


Gambar 27. Jalur biosintesis alkaloid isoquinolin. Sumber: Sato et al., (2021).

2. Terpen

Terpen merupakan senyawa produk tumbuhan yang disusun oleh isoprene (C_5H_8)_n. Terpen termasuk hidrokarbon tak jenuh yang diproduksi terutama oleh tumbuhan, khususnya tumbuhan golongan konifer. Penggolongan jenis terpen didasarkan atas banyaknya molekul isoprene, yaitu hemiterpenes (C_5H_8), monoterpenes ($C_{10}H_{16}$), sesquiterpenes ($C_{15}H_{24}$), diterpenes ($C_{20}H_{32}$), triterpenes ($C_{30}H_{48}$), tetraterpenes ($C_{40}H_{64}$), and polyterpenes (C_5H_8)_n. Senyawa turunan dari isoprene disebut terpenoid atau isoprenoid. Terpenoid dimanfaatkan antara lain dalam bidang bidang obat-obatan, makanan, hormon, vitamin, dan kosmetik.

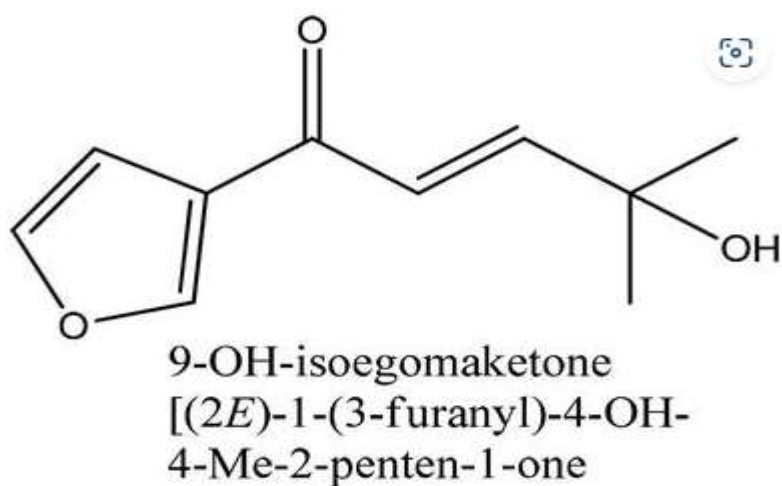
Penggolongan terpen disajikan pada gambar 28.



Gambar 28. Penggolongan terpen.

Sumber: <http://www.intechopen.com/chapters/62573>

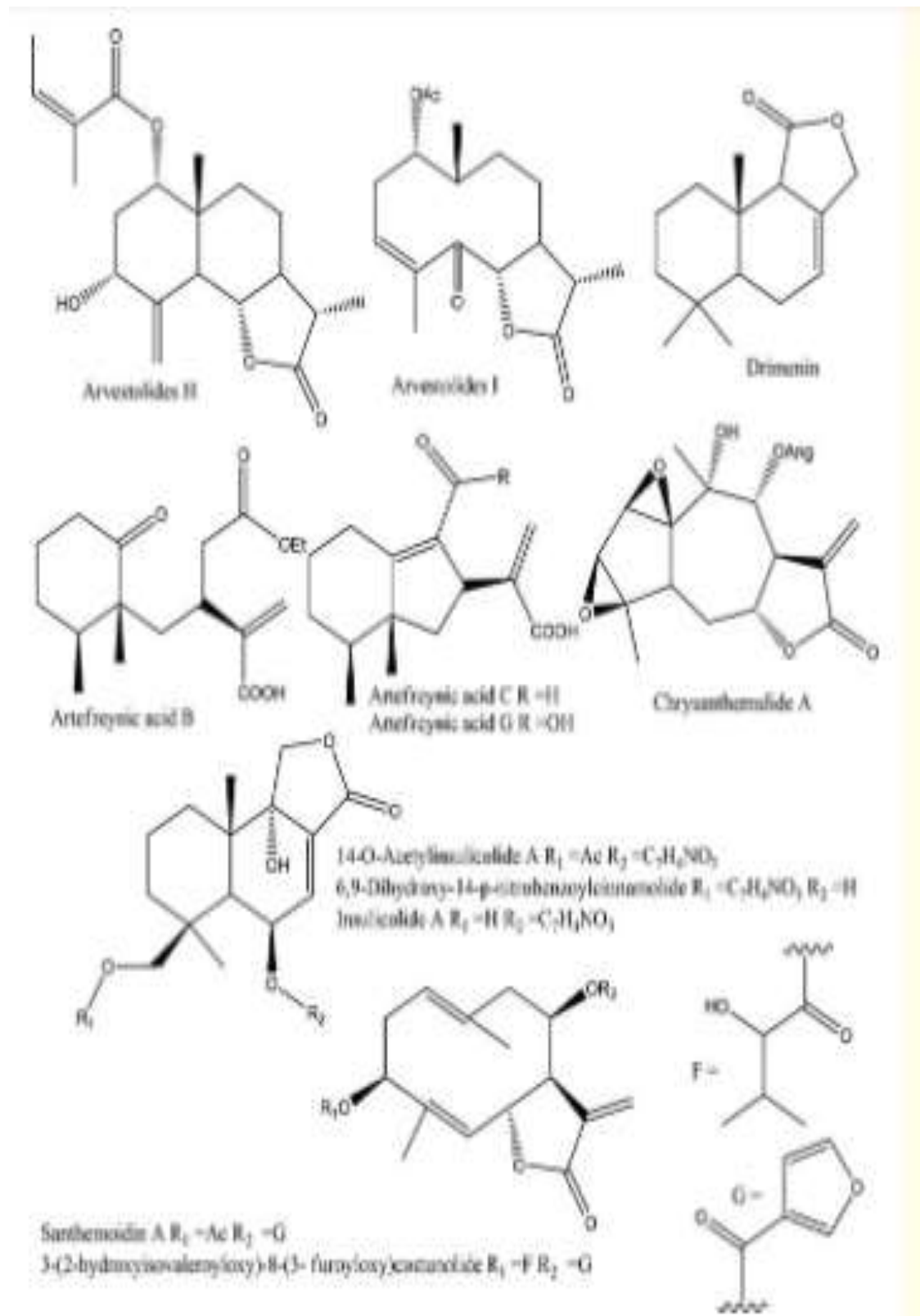
Rumus bangun monoterpene disajikan pada gambar 29.



Gambar 29. Rumus bangun monoterpene.

Sumber: <http://www.intechopen.com/chapters/62573>

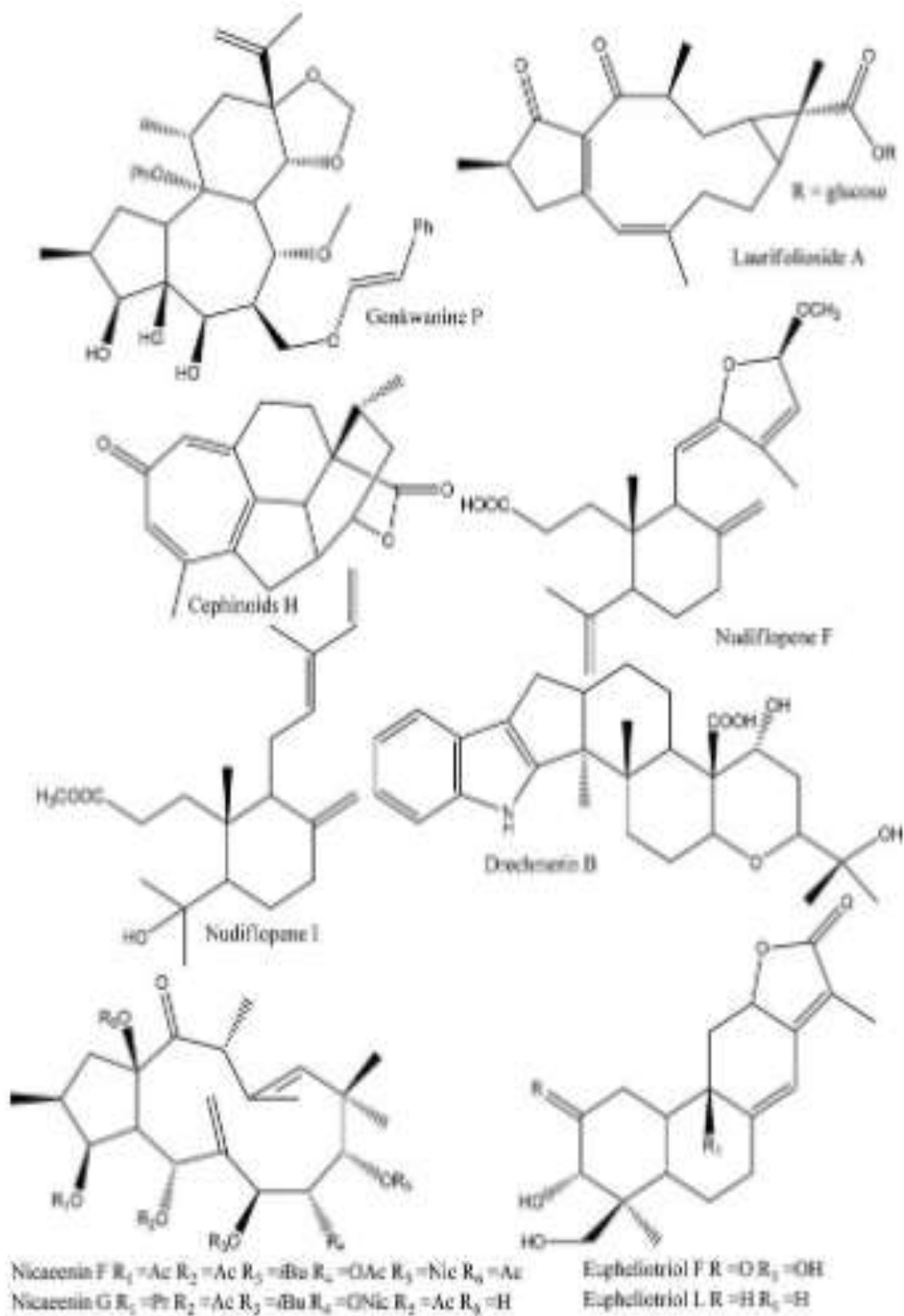
Rumus bangun beberapa sesquiterpene disajikan pada gambar 30.



Gambar 30. Rumus bangun beberapa sesquiterpene.

Sumber: <http://www.intechopen.com/chapters/62573>

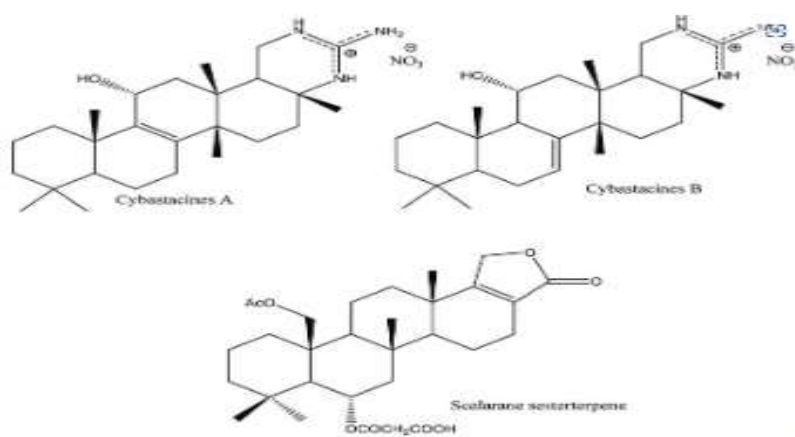
Rumus bangun beberapa diterpen disajikan pada gambar 31.



Gambar 31. Rumus bangun beberapa diterpen.

Sumber: <http://www.intechopen.com/chapters/62573>

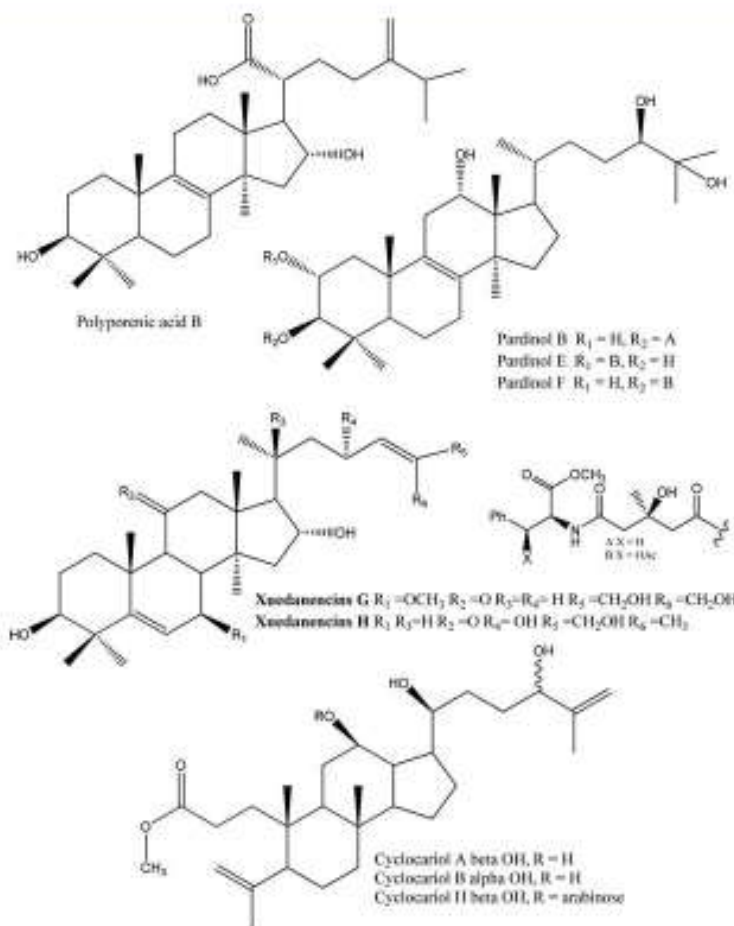
Rumus bangun beberapa sesterpen disajikan pada gambar 32.



Gambar 32. Rumus bangun beberapa sesterpen.

Sumber: <http://www.intechopen.com/chapters/62573>

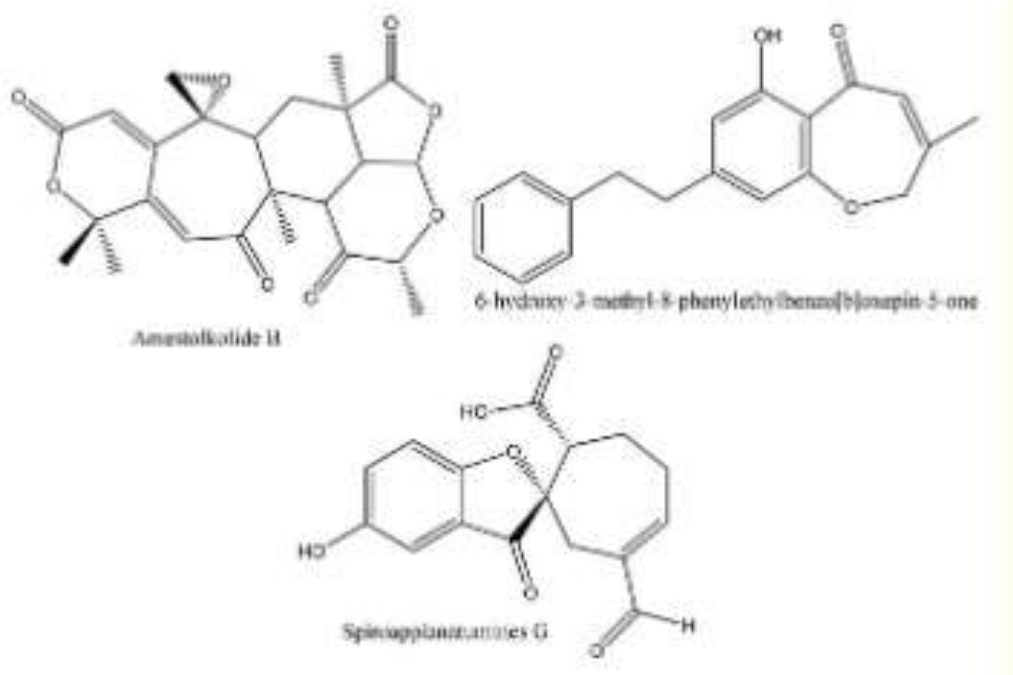
Rumus bangun beberapa triterpen disajikan pada gambar 33.



Gambar 33. Rumus bangun beberapa triterpen.

Sumber: <http://www.intechopen.com/chapters/62573>

Meroterpen merupakan metabolit skunder dengan kerangka terpenoid parsial. Rumus bangun beberapa meroterpen disajikan pada gambar 33.



Gambar 33. Rumus bangun beberapa meroterpen.

Sumber: <http://www.intechopen.com/chapters/62573>

3. Fenolik

Senyawa fenolik merupakan metabolit skunder yang mengandung cincin aromatic dengan 1 atau 2 gugus OH^- . Senyawa fenolik di alam terdapat sangat luas, mempunyai variasi struktur yang luas, mudah ditemukan di semua tanaman, daun, bunga dan buah. Ribuan senyawa fenolik alam telah diketahui strukturnya.

Contoh senyawa yang termasuk fenolik, antara lain:

- flavonoid
- fenol monosiklik sederhana
- fenil propanoid
- polifenol (lignin, melanin, tannin)
- kuinon fenolik.

Fungsi senyawa fenolik antara lain sebagai:

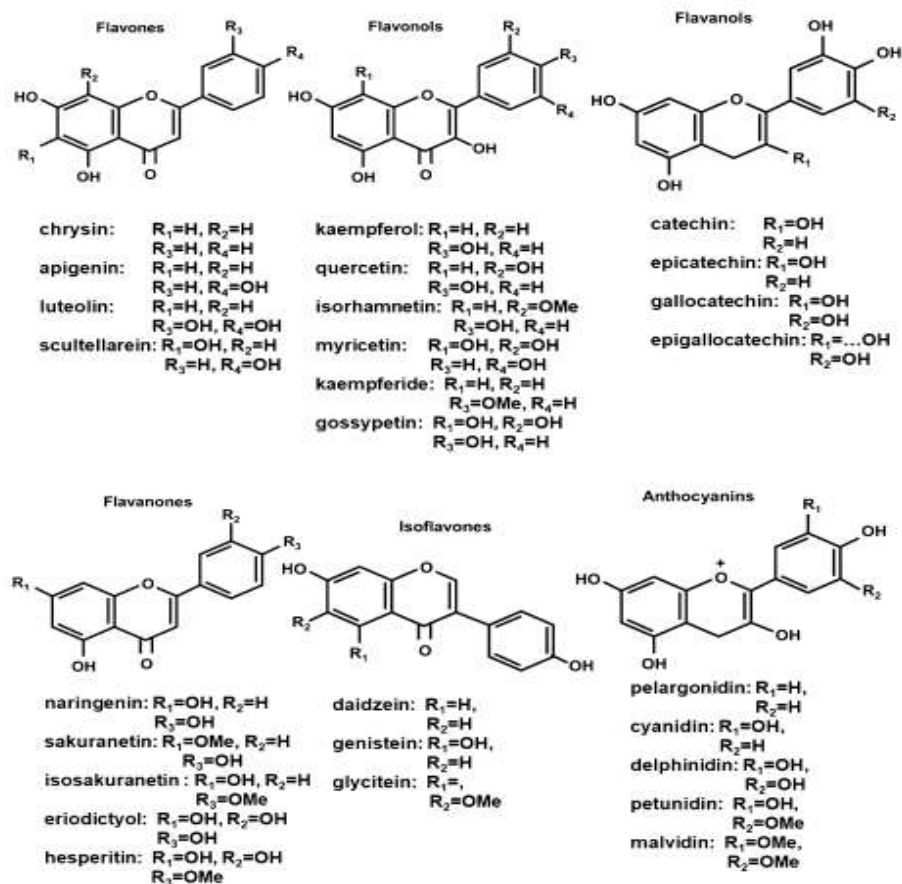
- pelindung terhadap sinar UV-B
- kematian sel

Tumbuhan yang menghasilkan senyawa fenolik dapat diekstraksi. Ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa fenolik dapat dimanfaatkan sebagai sediaan yang digunakan sebagai pelindung sinar UV-B. Selain sebagai pelindung terhadap sinar UV-B, ekstrak tumbuhan yang mengandung fenolik dapat dimanfaatkan untuk melindungi DNA dari proses dimerisasi, dan kerusakan DNA.

Hasil penelitian juga mendemonstrasikan bahwa senyawa fenolik dapat digunakan sebagai agen untuk mencegah dan mengobati beberapa penyakit, antara lain: disfungsi otak, arteriosklerosis, kanker, maupun diabetes.

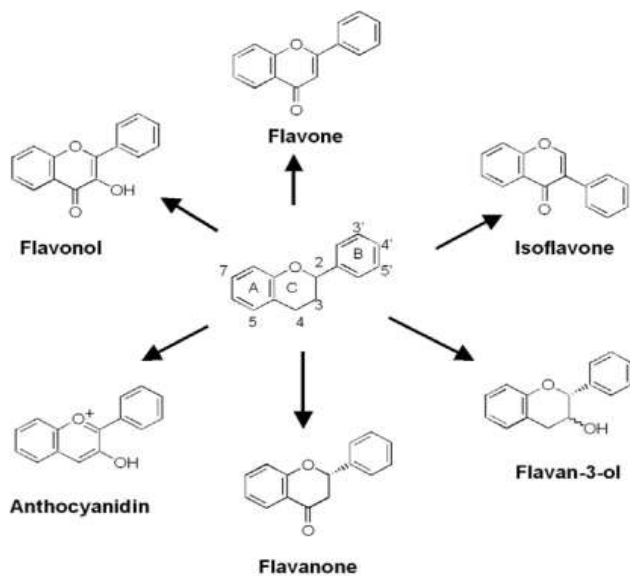
Flavonoid, sekelompok zat alami dengan struktur fenolik bervariasi, ditemukan dalam buah-buahan, sayuran, biji-bijian, kulit kayu, akar, batang, bunga, teh, dan anggur.

Untuk memperjelas uraian di atas, berikut merupakan rumus struktur flavonoid dan contoh masing-masing anggotanya. Rumus struktur flavonoid disajikan pada gambar 34.



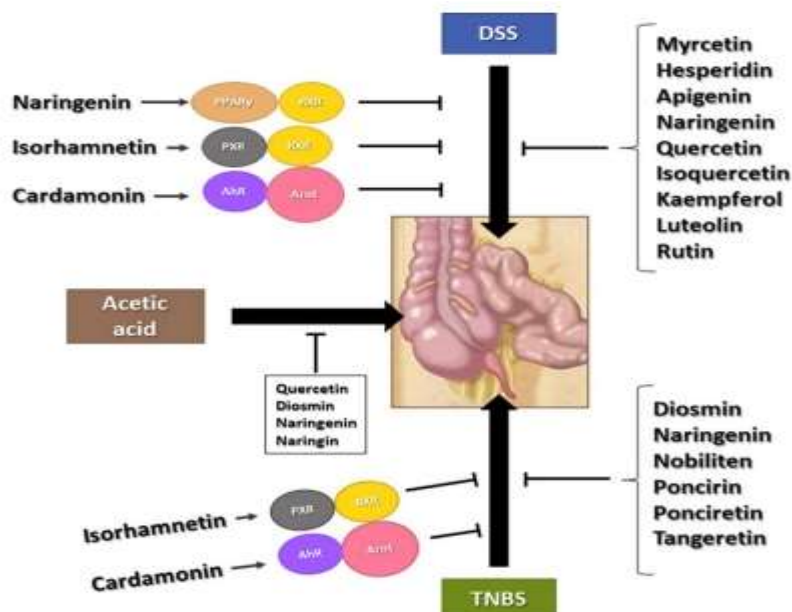
Gambar 34. Rumus struktur flavonoid. Sumber: Safe et al., (2021).

Peneliti lain juga memperlihatkan rumus struktur dasar flavonoid yang disajikan pada gambar 35.



Gambar 35. Rumus struktur dasar flavonoid. Sumber: Nishiumi et al., (2011).

Dalam penelitian menggunakan hewan coba tikus, ternyata flavonoid menghambat inflamasi dalam usus tikus. Beberapa contoh flavonoid yang menghambat inflamasi pada usus tikus disajikan pada gambar 35.



Gambar 36. Beberapa contoh flavonoid yang menghambat inflamasi pada usus tikus. Sumber: Safe et al., (2021).

Fungsi flavonoid antara lain:

1. Mengurangi risiko penyakit jantung

Molekul flavonoid berefek sebagai antioksidan dan juga antiinflamasi. Oleh karena itu, molekul flavonoid dapat mengurangi risiko [penyakit jantung](#). Kita ketahui bahwa antioksidan dapat menurunkan stress oksidatif dalam tubuh. Stres oksidatif dapat merusak sel-sel dan membrane termasuk sel dan membran pada pembuluh darah.

Selain sebagai antioksidan, flavonoid juga bersifat sebagai vasodilator yang melebarkan pembuluh darah sehingga menjaga tekanan darah yang sehat, akibatnya mengurangi kerja jantung.

2. Mencegah kanker

Flavonoid memiliki sifat sebagai antioksidan dan antikanker. Hal ini dapat dijelaskan bahwa flavonoid yang bersifat sebagai antioksidan dapat mencegah kerusakan DNA yang terpapar stres oksidatif. Oleh karena itu kita perlu mengkonsumsi buah dan sayur yang banyak mengandung senyawa antioksidan.

3. Menurunkan risiko terkena diabetes

Flavonoid dapat mengendalikan kadar gula darah, lipid, dan juga aktivitas enzim. Sifat flavonoid tersebut yang memungkinkan dapat mengurangi risiko diabetes.

4. Mencegah penyakit Alzheimer dan Parkinson

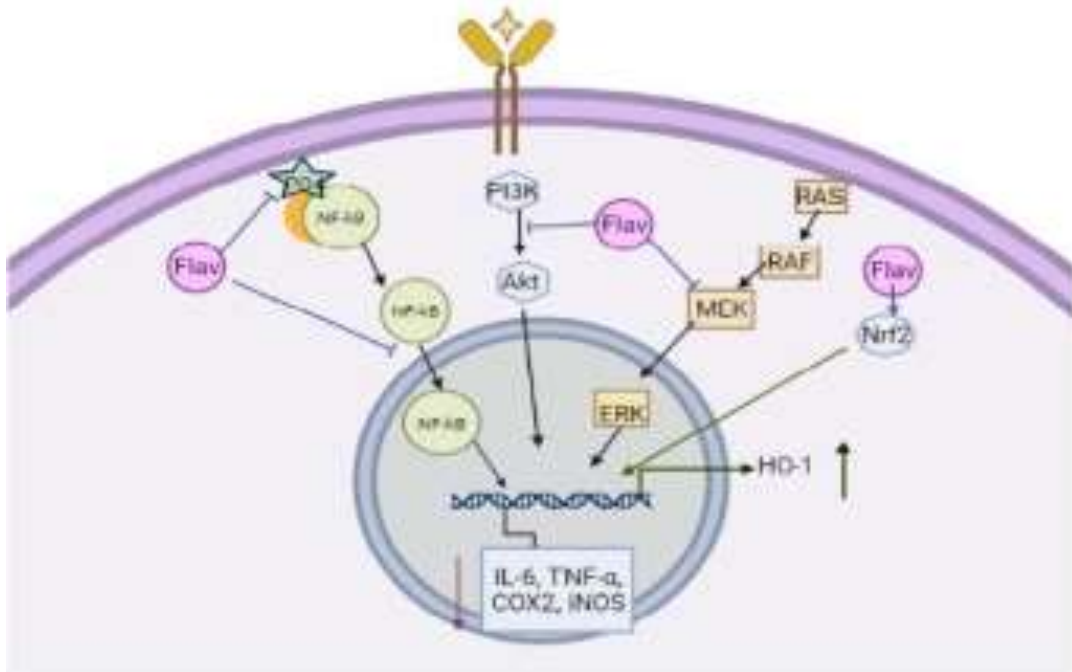
Flavonoid berperan dalam menjaga kerja enzim dan reseptor di otak. Sifat demikian yang memungkinkan dapat mencegah penyakit Alzheimer dan Parkinson.

5. Mencegah penuaan dini

Sifat flavonoid sebagai antioksidan memberi dampak mencegah penuaan kulit maupun dapat memperpanjang umur. Hal ini tentu berkaitan dengan antioksidan yang dapat mengilangkan sel-sel yang tua maupun sel-sel mati yang lain.

6. Mencegah peradangan

Flavonoid mencegah peradangan atau sebagai anti inflamasi. Berikut jalur inflamasi yang menjadi target flavonoid yang kami sajikan pada gambar 37.



Gambar 37. Jalur inflamasi yang menjadi target flavonoid. Sumber: Al-Khayri et al. (2022).

Daftar Pustaka

Abdel-Kader MSH, Alanazi AM, Alanazi MT, et al. Characterization and hepatoprotective evaluation of sesquiterpenes and diterpenes from the aerial parts of *Juniperus sabina* L. *Saudi Pharm J.* 2019, 27(7):920-929. doi: 10.1016/j.jsps.2019.06.006.

Al-Khayri JM, Sahana GR, Nagella P, et al. Flavonoids as Potential Anti-Inflammatory Molecules: A Review. *Molecules.* 2022 May 2;27(9):2901. doi: 10.3390/molecules27092901.

Balamurugan AG, Balossier S, Kannan J, et al. Development and in vitro characterization of sol-gel derived CaO-P2O5-SiO2-ZnO bioglass. *Acta Biomater.* 2007, 3: 255-262.

Balamurugan AAH, Rebelo AF, Lemos JH, et al. Suitability evaluation of solgel derived Si-substituted hydroxyapatite for dental and maxillofacial applications through in vitro osteoblasts response. *Dent. Mater.* 2008, 24: 1374-1380.

Batiha GE, Beshbishy AM, Ikram M, et al. The Pharmacological Activity, Biochemical Properties, and Pharmacokinetics of the Major Natural Polyphenolic Flavonoid: Quercetin. *Foods.* 2020 Mar 23;9(3):374. doi: 10.3390/foods9030374.

Britanica 2024. Eucaryota. <http://www.britannica.com/science/eukaryote>

Buehler JP, Chappuis JL, Saffar Y, et al. Strontium ranelate inhibits bone resorption while maintaining bone formation in alveolar bone in monkeys (*Macaca fascicularis*). *Bone* 2021, 29: 176-179.

Chen Q, Li J, Ma Y, et al. Occurrence and biosynthesis of plant sesterterpenes (C25), a new addition to terpene diversity. *Plant Commun.* 2021, 2(5),100184: 1-10. doi: 10.1016/j.xplc.2021.100184.

Chen Z, Ran W, Xiao-Li M, et al. Nitric oxide inhibitory sesquiterpenoids and its dimers from *Artemisia freyniana*. *J Nat Prod* 2018, 81 :866-78.

Creative Diagnostics., 2024. <http://www.creative-diagnostics.com>

Faustino C, Duarte N, Pinheiro L. Triterpenes Drug Delivery Systems, a Modern Approach for Arthritis Targeted Therapy. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2023, 17(1), 54: 1-42. doi: 10.3390/ph17010054.

Garg N, Abdel-Aziz SM, Aeron A. *Microbes in Food and Health*, Springer, Switzerland 2016, 42-45.

Harmel N, Almohamad R, Fauconnier M, et al. Role of terpenes from aphid-infested potato on searching and oviposition behavior of *Episyrphus balteatus*. *Insect Sci*. 2007, 14: 57-63.

Hartati S, Nurfaizin, Suwardiyono et al., Ekstraksi Gelombang Mikro Terpenoid Daun Surian (Toona sureni Merr),” *Inov. Tek. Kim.*, 2016, 1(2): 98–103. DOI: <http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v1i2.1656>

Hott MP, Deloffre Y, Tsouderos, et al. S12911-2 reduces bone loss induced by short-term immobilization in rats. *Bone* 2003, 33: 115-123.

Islam AK, Ali MA, Sayeed A, et al. An antimicrobial terpenoid from *Caesalpinia pulcherrima* Swartz.: Its characterization, antimicrobial and cytotoxic activities. *Asian J. Plant Sci*. 2003, 2: 17-24.

Jian-Chao Z, Ya-Li W, Tian-Yuan Z, et al. Indole diterpenoids from the endophytic fungus *Drechmeria* sp. as natural antimicrobial agents. *Phytochem* 2018, 48:21-8.

Kappers IF, Aharoni A, Van Herpen T, et al. Genetic engineering of terpenoid metabolism attracts bodyguards to *Arabidopsis*. *Science*. 2005, 309: 2070- 2072.

Mabou FD, Yossa IBN. TERPENES: structural classification and biological activities. *IOSR-JPBS* 2021, 16(3): 25-40. Available at: www.iosrjournals.Org

Ma EZ, Khachemoune A. Flavonoids and their therapeutic applications in skin diseases. *Arch Dermatol Res.* 2023 Apr;315(3):321-331. doi: 10.1007/s00403-022-02395-3.

Meunier PJ, Roux C, Seeman E, et al. The effects of strontium ranelate on the risk of vertebral fracture in women with postmenopausal osteoporosis. *N Engl. J. Med.* 2004, 350: 459-468.

Nezafati N, Moztafzadeh F, Hesarakhi S. Surface Reactivity and in vitro Biological Evaluation of Sol Gel Derived Silver/calcium Silicophosphate Bioactive Glass. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 2012, 17: 746-754. DOI 10.1007/s12257-012-0046-x

Khan J, Deb PK, Priya S, et al. Dietary Flavonoids: Cardioprotective Potential with Antioxidant Effects and Their Pharmacokinetic, Toxicological and Therapeutic Concerns. *Molecules.* 2021 Jun 30;26(13):4021. doi: 10.3390/molecules26134021.

Keeling CI, Bohlmann J. Genes, enzymes, and chemicals of terpenoid diversity in the constitutive and induced defence of conifers against insects and pathogens. *New. Phytol.* 2006, 170: 657-675.

Lai YH, Lim Y. Evaluation of Antioxidant Activities of the Methanolic Extract of Selected Ferns in Malaysia. *IPCBE* 2011, 20.

Nishiumi S, Miyamoto S, Kawabata K, et al. Dietary flavonoids as cancer-preventive and therapeutic biofactors. *Front Biosci (Schol Ed).* 2011 Jun 1;3(4):1332-62. doi: 10.2741/229. PMID: 21622274.

Oki AB, Parveen S, Hossain S, et al. Preparation and in vitro bioactivity of zinc containing sol-gel-derived bioglass materials. *J. Biomed. Mater. Res A* 2004, 69: 216-221.

Panche AN, Diwan AD, Chandra SR. Flavonoids: an overview. *J Nutr Sci.* 2016 Dec 29;5:e47. doi: 10.1017/jns.2016.41.

Panzavolta S, Torricelli, Sturba BL. et al. Setting properties and in vitro bioactivity of strontium-enriched gelatin-calcium phosphate bone cements. *J. Biomed. Mater. Res. A* 2008, 84: 965-972.

Perveen S. Introductory Chapter: Terpenes and Terpenoids. 2018. <http://www.intechopen.com/chapters/62573>. DOI: 10.5772/intechopen.79683

Pettit GR, Tan R, Cichacz ZA. Antineoplastic agents. 542. Isolation and structure of sesterstatin 6 from the Indian Ocean sponge *Hyrtilis erecta*. *J Nat Prod.* 2005 Aug;68(8):1253-5. doi: 10.1021/np0402221.

Pethig'r R, KellS DB. The passive electrical properties of biological systems: their significance in physiology, biophysics and biotechnology. *Phys. Med. Biol.*, 1987, 32(8): 933-970. DOI: 10.1088/0031-9155/32/8/001.

Pettit GR, Tan R, Cichacz ZA. Antineoplastic agents. 542. Isolation and structure of sesterstatin 6 from the Indian Ocean sponge *Hyrtilis erecta*. *J Nat Prod.* 2005 Aug;68(8):1253-5. doi: 10.1021/np0402221.

PubChem. Alkaloid A. NCBI, National Library of Medicine. Diakses pada <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Alkaloid-A>, Maret 08 2024.

Saboori AM, Sheikhi F, Moztarzadeh M, et al. Sol–gel preparation, characterisation and in vitro bioactivity of Mg containing bioactive glass. *Adv. Appl. Ceram.* 2009, 108: 155-161.

Safe S, Jayaraman A, Chapkin RS. Et al., Flavonoids: structure–function and mechanisms of action and opportunities for drug development. *Toxicol Res.* (2021) 37:147–162 <https://doi.org/10.1007/s43188-020-00080-z>

Sato F, Hashimoto T, Hachiya A, et al. Metabolic engineering of plant alkaloid biosynthesis. *PNAS* 2001, 98 (1): 367–372.

Simbolon RA, Halimatussakdiah, Amna U. Uji Kandungan Senyawa Metabolit Sekunder pada Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium guajava* L.var. *Pomifera*) dari

KotaLangsa, Aceh. *Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan* 2021, 3(1): 12-18. DOI: <https://doi.org/10.33059/jq.v3i1.3493>

Seeman EJ, Devogelaer P, Lorenc R, et al. Strontium ranelate reduces the risk of vertebral fractures in patients with osteopenia. *J. Bone Miner. Res.* 2008, 23: 433-438.

© 2023 Lumen Learning. Diakses pada <http://courses.lumenlearning.com/suny-osbiology2e/chapter/components-and-structure/>, Maret 08 2024.

Tan Z, Halter B, Liu D, Gilbert ER, Cline MA. Dietary Flavonoids as Modulators of Lipid Metabolism in Poultry. *Front Physiol.* 2022 Apr 25;13:863860. doi: 10.3389/fphys.2022.863860.

Zwenger S, Basu C. Plant terpenoids: applications and future potentials. *Biotechnol Mol Biol Rev* 2008, 3 (1): 001-007, Available online at <http://www.academicjournals.org/BMBR>.